



فصل ۱

کیهان زادگاه الفبای هستی



هدف‌های آموزشی فصل ۱

عنصرها چگونه پدید آمدند؟

با چگونگی تولید عنصرها براساس نظریه مه‌بانگ آشنا شود.
 با توجه به عناصر مشترک و غیرمشترک در سیاره‌ها، یکسانی منشأ تولید عناصر را توضیح دهد.
 مفهوم قانون پایستگی جرم و انرژی را در فرایندهای هسته‌ای درک کند.
 به عظمت خالق یکتا در آفرینش و نظم بخشیدن به جهان هستی پی ببرد.

آیا همه اتم‌های یک عنصر پدیدارند؟

تکنسیم، نخستین عنصر ساخت بشر
 مهارت محاسبه تعداد ذره‌های زیر اتمی را با توجه به نماد علمی عنصر به دست آورد.
 با نماد عدد اتمی و عدد جرمی آشنا شود.
 مفهوم ایزوتوپ و رادیو ایزوتوپ را درک کند.
 با برخی رادیو ایزوتوپ‌ها و کاربرد آنها آشنا شود.
 به تلاش دانشمندان هسته‌ای کشورمان در توسعه دانش و صنعت هسته‌ای، ارج نهاده.

طبقه‌بندی عنصرها

مهارت تعیین موقعیت هر عنصر با توجه به جدول دوره‌ای عنصرها را کسب و در خود تقویت کند.
 با جدول دوره‌ای عنصرها آشنا شود.
 مهارت استفاده از جدول دوره‌ای برای پیش‌بینی برخی خواص عنصرها را کسب کند.

جرم اتمی عنصرها

با یکای اندازه‌گیری جرم اتم‌ها آشنا شود.
 بتواند جرم اتمی عنصرها را براساس یکای جرم اتمی توصیف کند.
 مهارت محاسبه یکای جرم اتمی را کسب و در خود تقویت کند.

شمارش ذره‌ها از روی جرم آنها

با مول به عنوان یکای شمارش ذره‌ها (اتم، مولکول و یون) آشنا شود.
 بزرگی عدد آووگادرو و علت استفاده از آن را درک کند.
 مهارت تبدیل یکاهای مول به گرم و برعکس را کسب و در خود تقویت کند.
 مهارت محاسبه تعداد اتم‌ها در جرم معینی از عنصر را به دست آورد.

نور، کلید شناخت جهان

نشر نور و طیف نشری

با کاربرد و اهمیت نور در شناخت برخی پدیده‌های زندگی آشنا شود.
 درک کند که برای شناخت پدیده‌های اطراف، ابزار و آشکارساز مناسب لازم است.
 ارتباط بین رنگ نور، انرژی نور و طول موج آن را درک کند.
 با مفهوم طیف نشری خطی آشنا شود.
 بداند هر عنصر طیف نشری خطی ویژه‌ای دارد که منحصر آن عنصر است و برای شناسایی عنصر از آن استفاده می‌شود.

■ کشف ساختار اتم

ارتباط طیف نشری خطی عنصرها با مقادیر کوانتومی بودن انرژی الکترون‌ها و ساختار لایه اتم را پیدا کند. (رفتار: طیف نشری خطی – ساختار: لایه‌ای بودن ساختار اتم)

۱ با ساختار لایه‌ای اتم آشنا شود و بر اساس آن حالت‌های برانگیخته و پایه را توضیح دهد.

۲ با عدد کوانتومی اصلی به عنوان نمادی برای نمایش شماره لایه‌های الکترونی آشنا شود.

۳ مفهوم کوانتومی بودن انرژی الکترون را درک کند.

■ توزیع الکترون‌ها در لایه‌ها و زیرلایه‌ها

۱ بتواند از روابط ریاضی مناسب برای توصیف زیرلایه‌ها و تعداد و گنجایش آنها استفاده کند.

۲ با نماد زیرلایه‌ها و تعداد آن در هر لایه آشنا شود.

۳ ارتباط میان زیرلایه‌های اتمی و چگونگی چینش عناصر در جدول دوره‌ای را درک کند.

۴ مهارت توزیع الکترون‌ها در میان زیرلایه‌ها را کسب و در خود تقویت کند.

■ آرایش الکترونی اتمی

۱ مفهوم اصل آفبا را درک کند.

۲ مهارت نوشتن آرایش الکترونی اتم را طبق اصل آفبا کسب کند.

۳ با مفهوم لایه ظرفیت و الکترون‌های ظرفیت آشنا شود و مهارت تعیین تعداد الکترون ظرفیت را کسب کند.

۴ با توجه به آرایش الکترونی اتم، مهارت یافتن شماره دوره و گروه عنصر را کشف و در خود تقویت کند.

■ ساختار اتم و رفتار آن

۱ با مفهوم پایداری و واکنش‌پذیری آشنا شود.

۲ با آرایش هشت‌تایی به عنوان معیاری برای واکنش‌پذیری آشنا شود.

۳ مهارت نوشتن مدل الکترون – نقطه‌ای را کسب و در خود تقویت کند.

۴ با راه‌های رسیدن به آرایش هشت‌تایی از طریق تشکیل آنیون و کاتیون آشنا شود.

۵ مهارت نوشتن نماد یون پایدار برای برخی عناصر گروه‌های اصلی را کسب و در خود تقویت کند.

■ تبدیل اتم‌ها به یون‌ها

۱ با مفهوم پیوند یونی آشنا شود.

۲ با توجه به اصل خنثی بودن ترکیب‌های یونی، تعداد آنیون و کاتیون در فرمول شیمیایی یک ترکیب یونی را توضیح دهد.

۳ مفهوم ترکیب یونی دوتایی را درک کند.

۴ روش نوشتن فرمول شیمیایی و نام شیمیایی برخی ترکیب‌های یونی دوتایی را کسب و در خود تقویت کند.

■ تبدیل اتم‌ها به مولکول‌ها

۱ با چگونگی تشکیل پیوند کووالانسی با استفاده از مدل الکترون – نقطه‌ای آشنا شود.

۲ با شرایط تشکیل پیوند کووالانسی آشنا شود.

۳ مهارت رسم مدل الکترون – نقطه‌ای برخی مولکول‌ها را کسب و در خود تقویت کند.

۴ مفهوم فرمول مولکولی را درک کند.

تلسکوپ‌هایی که کیهان را از روی زمین می‌نگرند، باید از جو آشفته زمین به ورای آن خیره شوند، جوی که پیوسته نور و تصویر ستاره‌ها و کهکشان‌ها را منحرف و آشفته می‌کند. تلسکوپ هابل از قرارگاه خود بر فراز جو، دید روشن و واضحی از سیاره‌های نزدیک تا اخترش‌هایی در فاصلهٔ میلیاردها سال نوری می‌دهد. از زمان پرتاب هابل تاکنون بیش از یک میلیون مشاهدهٔ علمی به وسیلهٔ آن انجام شده که یکی از بزرگ‌ترین یافته‌های آن، تخمین سن دقیق کیهان (۱۳/۷ میلیارد سال) است.

امروزه کاوشگرها و فضاپیماها به جهانی ورای زمین سفر کرده و تلسکوپ‌های غول‌پیکر، میلیاردها سال نوری در اعماق کیهان نفوذ می‌کنند، ستاره‌شناسان نیز با روش‌هایی پیشرفته از باریکهٔ کم‌سوی یک پرتو، شناسنامهٔ فیزیکی و شیمیایی ستاره‌های دور دست را تهیه می‌کنند. این در حالی است که کیهان‌شناسان، آغاز پیدایش عالم را شبیه‌سازی و آیندهٔ کهکشان‌ها را براساس مدل‌های علمی پیش‌بینی می‌کنند. این دستاوردهای شگفت‌انگیز پله‌ای از نردبانی بلند می‌باشد که هزاران سال پیش با نخستین کنجکاوای های انسان در آسمان شب، بنا شده است.

ستاره‌شناسی برخلاف شیمی، فیزیک و زیست‌شناسی، علمی با موضوعات در دسترس نیست، در واقع ستاره‌شناسان نمی‌توانند بر روی اجسامی که بررسی می‌کنند، آزمایش انجام دهند. هر چند کاوشگرها و فضاپیماهایی که به فضا فرستاده می‌شوند اندکی راه‌گشا بوده‌اند، اما ستاره‌ها و کهکشان‌ها از ما بسیار دورند و باید از همین فاصله رصد شوند. زمانی رصد تنها به دریافت نور مرئی از اجسام آسمانی محدود می‌شد اما امروزه در سایهٔ پیشرفت فناوری از امواج رادیویی تا پرتوهای گاما دریافت شده و از هر یک، اطلاعات ویژه‌ای دربارهٔ کیهان آشکار می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱- برخی یافته های ستاره شناسی از پرتوهای گوناگون

پرتو به کار رفته	ابزار به کار رفته	سال	یافته
رادییوی	تلسکوپ آرسیبو	۲۰۰۸	شناسایی مولکول های زیستی در بقایای یک انفجار ستاره ای در فاصله ۲۵۰ سال نوری از زمین
فروسرخ	تلسکوپ هرسل	۲۰۱۳	ورود آب به سیاره مشتری به دلیل برخورد دنباله دار شومیکر – لوی به سطح آن
فرابنفش	ماهواره سوئیفت	۲۰۱۳	تهیه بهترین نقشه فرابنفش از کهکشان ابر ماژلانی بزرگ هنگام تولد ستارگان جوان در آن
پرتو ایکس	تلسکوپ NuSTAR	۲۰۱۳	اندازه گیری سرعت چرخش یک سیاه چاله ابر پر جرم
پرتو گاما	تلسکوپ GIAST	۲۰۱۱	یافتن دو حباب غول پیکر هر یک به قطر ۲۵۰۰۰ سال نوری در قلب کهکشان راه شیری

ساعت کیهانی

پیش از مهبانگ، قابل تصور و توصیف نیست، زیرا زمان وجود نداشته است! فضا و زمان همواره با یکدیگر توصیف می شوند، به گونه ای که اینشتین آن را پیوستار فضا – زمان نامیده است. در واقع هنگامی که زمان آغاز شد، فضا شروع به انبساط نمود یا هنگامی که فضا خلق شد، زمان جریان یافت.

مهبانگ، فرضیه ای است که چگونگی پیدایش بخش مادی جهان هستی و آغاز همه چیز کیهان (فضا، زمان و سازنده های ماده در آن) را توضیح می دهد. ساعت کیهانی حدود ۱۳/۷ میلیارد سال پیش در توپ آتشین و بسیار بسیار چگال که در آن ماده و پادماده از انرژی ساخته شدند، شروع به تیک تاک کرد. این توپ به تدریج منبسط و سرد شد، به طوری که هم اکنون نیز در حال انبساط و سرد شدن است. در پایان سومین دقیقه، ماده اولیه همه مادی که امروزه پیرامون ماست (سه عنصر آغازین : هیدروژن، هلیوم و لیتیم) ساخته شده بود.

جرم‌های موجود در کیهان مانند سیاره‌ها، ستارگان، ابرهای گازی و کهکشان‌ها تنها حدود ۵٪ از همه ماده و انرژی کیهان را در بر می‌گیرند. در واقع حدود ۲۰ برابر آنها به صورت نامرئی یا تاریک است که با پیشرفته‌ترین تلسکوپ‌ها نیز تابشی از آنها دریافت و درک نمی‌شود.

ستاره، زادگاه و چرخه زندگی

حتی درخشان‌ترین ستاره‌ها زندگی خود را پنهان از دید، در اعماق توده‌های عظیم و تاریک از گاز و غبار به نام ابرهای مولکولی آغاز می‌کنند. در واقع زندگی ستاره با توده‌ای چگال از گاز و غبار به نام پیش ستاره آغاز می‌شود.

هنگامی که پیش ستاره‌ها آغاز به تابش می‌کنند، ابرها را با تابش‌های گسیل‌شده خود، داغ و روشن می‌کنند. چنین ابر درخشانی، سحابی (از نوع نشری) نامیده می‌شود. با افزایش میزان تابش، بقیه ابر تیره با تابشی قدرتمندتر فشرده شده و به درون فرو می‌ریزد (می‌رُمبد). طی میلیون‌ها سال، این ابر به ستاره تبدیل می‌شود.

ستاره‌ها، خورشیدهایی بسیار دوردست هستند که انرژی خود را از همجوشی هسته‌ای تأمین می‌کنند، در واقع به دلیل چگالی بسیار زیاد پیش‌ستاره، دما به اندازه‌ای افزایش می‌یابد که واکنش همجوشی هسته‌ای در مرکز آن آغاز می‌شود. با مهیا شدن شرایط مناسب، نخستین واکنش، هسته‌های هیدروژن را به یکدیگر جوش می‌دهد تا هلیوم پدید آید.

هنگامی که ذخیره هیدروژن رو به پایان است و واکنش‌های هسته‌ای در مرکز آن رو به خاموشی می‌رود، ستاره به جای کم‌فروغ و ناپدید شدن، باد کرده و به غول سرخ و درخشانی تا صدها برابر بزرگ‌تر از خودش تبدیل می‌شود. این تغییر و تبدیل به این دلیل رخ می‌دهد که در اعماق هسته ستاره از منبع انرژی جدیدی که همان هلیوم است، استفاده می‌شود و تا مدتی دیگر هم درخشان می‌ماند.

در دوره پیری ستاره، هلیوم به کربن و اکسیژن و در پرجرم‌ترین ستاره‌ها به آهن تبدیل می‌شود. سرانجام چیزی به نام سوخت باقی نمی‌ماند و پرجرم‌ترین ستاره‌ها در کیهان، زندگی خود را با انفجار عظیمی به نام «انفجار نوآختری» به پایان می‌برند و ستاره، ماده خود را به فضا پرتاب می‌کند

به ازای هر ذره زیر اتمی و سازنده اتم‌های مواد پیرامون ما، ذره‌ای با جرم برابر اما بار الکتریکی ناهمنام وجود دارد. برای نمونه پادذره الکترون (نگاترون: e^-)، پوزیترون (e^+) نام دارد. از برخورد این دو ذره به یکدیگر، همه جرم به انرژی تبدیل می‌شود.

ستاره‌شناسان میزان روشنایی جرم آسمانی را با یکای «قدر» بیان می‌کنند. هر چه عدد قدر کوچک‌تر باشد، ستاره پر نورتر است. درخشان‌ترین ستاره‌ها، قدرهای منفی دارند. برای نمونه در یک شب تاریک، کم‌نورترین ستاره‌ای که با چشم غیر مسلح دیده می‌شود، قدری حدود ۶ دارد. (جدول ۲).

جدول ۲- ویژگی برخی ستاره‌ها

نام ستاره	قدر	رده طیفی	فاصله (سال نوری)
سهیل	۰/۶	F _۵	۳۱۳
نسر واقع	۰	A _۱	۲۵/۳
آخراالنهر	۰/۵	B _۲	۱۴۴

از سوی دیگر رنگ هر ستاره‌ای به دمای آن بستگی دارد. داغ‌ترین ستاره آبی – سفید و خنک‌ترین آنها نارنجی – قرمز است. در واقع هرچه ستاره داغ‌تر، آبی‌تر و هرچه سردتر باشد، سرخ‌تر است.

ستاره‌ها در هفت رده طیفی M و K و G و F و A و B و O جای می‌گیرند که O داغ‌ترین و M سردترین رده است. هر رده، خود به ۱۰ زیر رده (از صفر تا ۹، یعنی از داغ‌ترین تا خنک‌ترین) تقسیم می‌شود.

عنصر یا نوکلید

برخی نوکلیدها دارای Z و N یکسان هستند و تنها در خواص پرتوزایی مانند پایداری و نیم عمر با یکدیگر تفاوت دارند. به این حالت ایزومری هسته‌ای (ایزوباری ایزوتوبی) گفته می‌شود. در واقع این نوکلیدها در حالت برانگیخته هستند که واکنجستگی آنها با نیم عمر مناسب همانند فرایند هسته‌ای رخ می‌دهد. در این فرایند انرژی به صورت پرتوهای گاما گسیل می‌شود. برای نمایش نوکلید برانگیخته با نیمه پایدار از حرف m پس از A استفاده می‌شود، مانند: ^{137m}Ba و ^{99m}Tc .

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که شعاع هر نوکلید متناسب با توان $\frac{1}{3}$ از عدد جرمی است $(r \propto A^{\frac{1}{3}})$.

گاهی به کار بردن واژه عنصر براساس تعریف آن (ماده‌ای که با روش‌های شیمیایی به ساده‌تر از خود تجزیه نمی‌شود) با چالش همراه است. در دانش هسته‌ای، نوکلید واژه‌ای همگانی و رایج بوده و گونه‌ای دارای هسته با ترکیب و ساختار مشخص است. هر نوکلید با عددهای پروتونی (Z)، نوترونی (N) و نوکلئونی (A) مشخص می‌شود به طوری که نماد آن ${}_Z^AX_N$ است. از آنجا که در واکنش هسته‌ای، عدد نوکلئونی اهمیت ویژه‌ای دارد، نوکلیدها را اغلب با نماد AX نمایش می‌دهند مانند: ${}^{238}\text{U}$ و ${}^{56}\text{Fe}$ و ${}^{32}\text{P}$ و ${}^{14}\text{C}$ و ${}^2\text{H}$ و ${}^1\text{H}$. جدول ۳، رابطه میان برخی نوکلیدها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- رابطه میان برخی نوکلیدها

حالت	شباهت در	تفاوت در	نمونه
ایزوباری	A	N و Z	${}^2\text{H}$ و ${}^3\text{He}$
ایزوتوبی	Z	N و A	${}^2\text{H}$ و ${}^3\text{H}$
ایزوتونی	N	Z و A	${}^2\text{H}$ و ${}^3\text{He}$
ایزودیفاری	ثابت = N-Z	A و N, Z	${}^2\text{H}$ و ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{Li}$

تاکنون ۲۷۹ نوکلید پایدار شناخته شده که ۲۶۴ تای آن طبیعی و ۱۵ نوکلید، ساختگی هستند. اگر $\frac{N}{Z} \approx 1$ باشد، با نوکلید سبک سروکار داریم، هر چه نسبت $\frac{N}{Z}$ بزرگ‌تر باشد، نوکلید سنگین‌تر است. سنگین‌ترین نوکلید طبیعی پایدار، ${}^{209}\text{Bi}$ بوده و تنها پیش از آن سه نوکلید ${}^3\text{H}$ و ${}^{238}\text{U}$ و ${}^{235}\text{U}$ که سبک‌تر از آن هستند، ناپایدارند. جدول ۴، ویژگی نوکلئون‌های سازنده ۲۶۴ نوکلید طبیعی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- N و Z برای ۲۶۴ نوکلید طبیعی

Z	N	شمار نوکلیدها
زوج	زوج	۱۵۷
زوج	فرد	۵۲
فرد	زوج	۵۰
فرد	فرد	۵

* پنج نوکلید طبیعی با Z فرد و N فرد عبارت‌اند از :



در میان نوکلیدها، برخی پایداری ویژه‌ای دارند و به نوکلیدهای جادویی معروف‌اند. Z برای این نوکلیدها به ترتیب ۲، ۸، ۲۰، ۲۸، ۵۰، ۸۲ هستند. در واقع این نوکلیدها انرژی بستگی هسته بالایی دارند، از این رو دارای فراوانی بالا و شمار ایزوتوپ‌های بیشتری هستند.

انرژی بستگی هسته

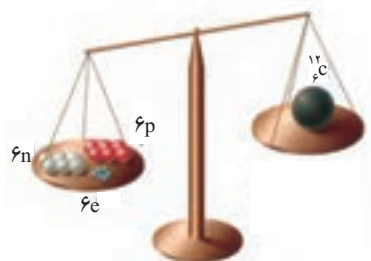
یک مول از ${}^{12}_6\text{C}$ دقیقاً جرمی برابر با ۱۲g دارد. هنگامی که جرم آن را از روی ذره‌های زیراتمی سازنده محاسبه می‌کنیم، بیشتر از ۱۲g خواهد شد!!! هر اتم کربن ${}^6_6\text{p}$ و ${}^6_6\text{n}$ در هسته و ${}^6_6\text{e}$ پیرامون هسته دارد، از این رو یک مول ${}^{12}_6\text{C}$ محتوی ${}^6\text{mol}(\text{p})$ ، ${}^6\text{mol}(\text{n})$ و ${}^6\text{mol}(\text{e})$ است. با این توصیف جرم یک مول ${}^{12}_6\text{C}$ برابر است با :

$$?g = {}^6\text{mol}(\text{p}) \times \frac{1/0.00073g}{1\text{mol}(\text{p})} = 6/0.00438g$$

$$?g = {}^6\text{mol}(\text{n}) \times \frac{1/0.00187g}{1\text{mol}(\text{n})} = 6/0.01122g$$

$$?g = {}^6\text{mol}(\text{e}) \times \frac{0/0.00055g}{1\text{mol}(\text{e})} = 0/0.0033g$$

$$1\text{mol}({}^{12}_6\text{C}) = 12/0.993g$$



شکل ۱- جرم یک مول ${}^{12}_6\text{C}$ ۱۲ گرم است

آیا می‌دانید این تفاوت جرم نشان‌دهنده چیست؟ چرا جرم اتم از مجموع جرم ذره‌های سازنده آن کمتر است؟ به دیگر سخن جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌ها کمتر است؟ این تفاوت جرم مطابق رابطه ایششتین :

$$E=mc^2 = [(12/0.993 - 12) \times 10^{-3} \text{kg}] \times (3 \times 10^8 \text{ms}^{-1})^2 = 8/94 \times 10^{-9} \text{J} = 8/94 \times 10^{-9} \text{kJ}$$

هنگام تشکیل یک مول ${}^{12}_6\text{C}$ از ذره‌های سازنده آن به انرژی تبدیل می‌شود. این مقدار انرژی را که به طور عمده وابسته به نوکلئون‌هاست (جرم الکترون‌ها ناچیز می‌باشد)، «انرژی بستگی هسته» می‌نامند. در واقع هنگام تشکیل یک مول ${}^{12}_6\text{C}$ از ${}^6\text{mol}(\text{p})$ ، ${}^6\text{mol}(\text{n})$ و ${}^6\text{mol}(\text{e})$ به اندازه $8/94 \times 10^{-9} \text{kJ}$ انرژی آزاد می‌شود به دیگر سخن هنگام جدا کردن ذره‌های زیراتمی به ویژه نوکلئون‌ها از یکدیگر به همین اندازه انرژی نیاز است.

با این توصیف انرژی بستگی به ازای یک مول نوکلئون (E) برای آن برابر است با :

$$\text{kJ} = 1\text{mol}(\text{نوکلئون}) \times \frac{1\text{mol}({}^{12}_6\text{C})}{12\text{mol}(\text{نوکلئون})} \times \frac{8/94 \times 10^{-9} \text{kJ}}{1\text{mol}({}^{12}_6\text{C})} = 7/45 \times 10^{-9} \text{kJ}$$

اگر همین روند محاسبه برای یک مول ^{13}C انجام شود:

$$?g = 6 \text{ mol}(p) \times \frac{1/00730g}{1\text{mol}(p)} = 6/04380g$$

$$?g = 7 \text{ mol}(n) \times \frac{1/00870g}{1\text{mol}(n)} = 7/06090g$$

$$?g = 6 \text{ mol}(e) \times \frac{0/00055g}{1\text{mol}(e)} = 0/00033g$$

$$1\text{mol}(^{13}\text{C}) = 13/1080g$$

از آنجا که جرم دقیق یک مول ^{13}C برابر $13/10335$ است پس تفاوت جرم ناشی از تشکیل یک مول ^{13}C از ذره‌های سازنده آن برابر با $0/10465$ است. این مقدار جرم به $9/42 \times 10^9 \text{ kJ}$ انرژی تبدیل می‌شود.

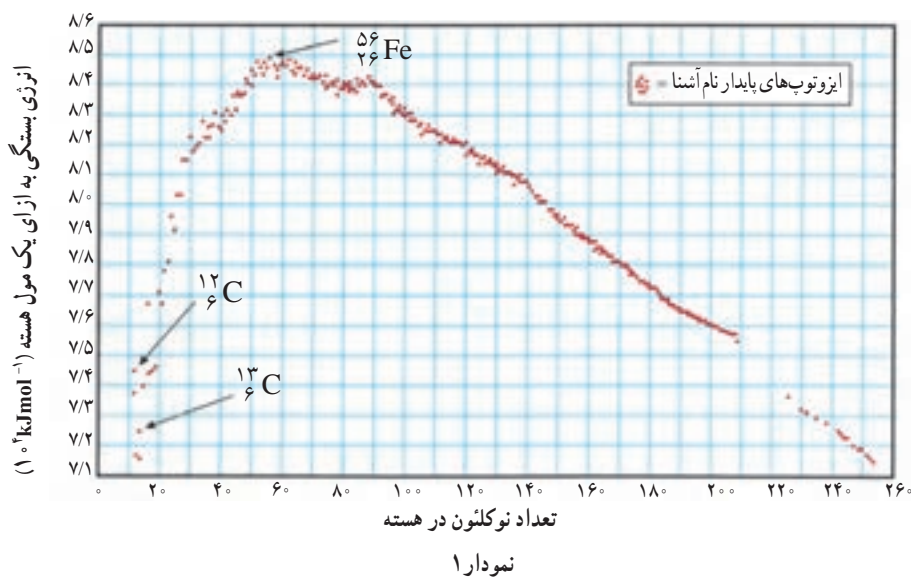
$$E = mc^2 = (0/10465 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2 = 9/42 \times 10^9 \text{ kJ}$$

با این توصیف انرژی بستگی به ازای یک مول نوکلئون (E) برای آن برابر است با:

$$? \text{ kJ} = 1\text{mol}(\text{نوکلئون}) \times \frac{1\text{mol}(^{13}\text{C})}{13\text{mol}(\text{نوکلئون})} \times \frac{9/42 \times 10^9 \text{ kJ}}{1\text{mol}(^{13}\text{C})} = 7/25 \times 10^8 \text{ kJ}$$

اگر به انرژی بستگی هسته به ازای یک مول نوکلئون توجه کنید درمی‌یابید که هسته ^{12}C از هسته ^{13}C پایدارتر است (چرا؟).

اگر چنین محاسبه‌ای برای دیگر هسته‌ها انجام شود، می‌توان نمودار زیر را برای هسته‌های گوناگون رسم کرد.



مطابق این نمودار اتم‌های ^{56}Fe پایدارترین هسته را دارند، به همین دلیل فراوان‌ترین عنصر در هسته مرکزی زمین و چهارمین عنصر فراوان در پوسته جامد زمین است.

پایداری هسته‌ها

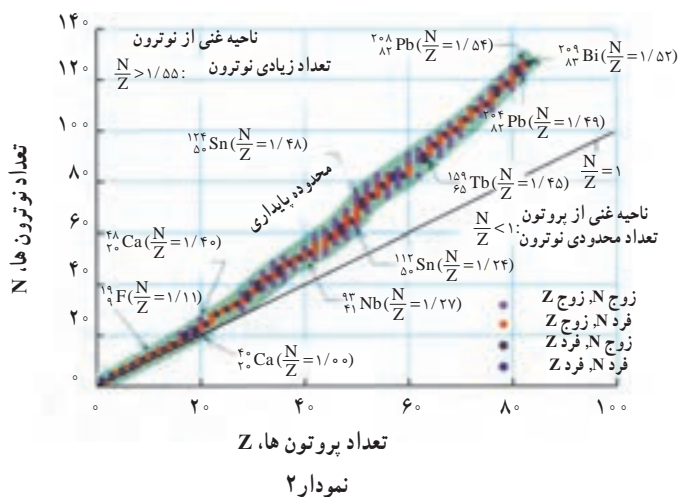
پروتون‌ها و نوترون‌ها به‌عنوان ذره‌های سازنده هسته، نوکلئون نامیده می‌شوند. در هسته، نیروی رانشی کولنی بین پروتون‌ها و نیروی ربایش هسته‌ای میان همه سازنده‌های هسته حتی پروتون‌ها و نوترون‌ها وجود دارد. از دیدگاه نیروی هسته‌ای تفاوتی میان پروتون و نوترون وجود ندارد از این رو آنها را با نام همگانی نوکلئون می‌خوانند به دیگر سخن هر گاه واژه نوکلئون را به کار می‌بریم، هدف همان پروتون یا نوترون است.

نیروی هسته‌ای با اینکه بسیار قوی می‌باشد اما یک نیروی کوتاه بُرد است. در واقع هر نوکلئون تنها با نوکلئون‌های مجاور برهم‌کنش دارد. اما نیروی کولنی با اینکه از قدرت کمتری برخوردار است اما بلندبرد به شمار می‌رود زیرا هر پروتون به تمام پروتون‌های موجود در هسته نیروی رانشی وارد می‌کند. به همین دلیل با افزایش شمار پروتون‌ها در هسته، نقش نیروی کولنی آشکارتر، اهمیت آن بیشتر و باعث ناپایداری هسته می‌شود. ایزوتوپ‌هایی که هسته ناپایدار دارند با گذشت زمان واپاشیده شده و سرانجام به هسته‌ها یا ایزوتوپ‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند.

واپاشی برخی ایزوتوپ‌ها، بسیار سریع در حالی که واپاشی برخی از آنها به اندازه‌ای کند است که از زمان تشکیل زمین تاکنون هنوز به طور کامل از بین نرفته‌اند.

عنصرهای موجود در طبیعت $1 \leq Z \leq 92$ دارند، در حالی که عنصرها با $Z > 92$ را به‌طور مصنوعی تهیه می‌کنند و آنها را فرا اورانیومی می‌نامند.

در نمودار زیر خط $N=Z$ و روند تغییر N به Z نشان داده شده است.



در نمودار بالا ناپایداری ایزوتوپ‌ها با خط $N=Z$ مشخص شده است اما با افزایش تدریجی Z ، کم‌کم از آن منحرف می‌شود به طوری که ایزوتوپ‌های سنگین‌تر دارای تعداد نوترون بیشتر از پروتون هستند. توجه کنید که افزایش تعداد نوترون‌ها در هسته بر رایش هسته‌ای می‌افزاید بدون اینکه بر رانش کولنی اثری داشته باشد.

ترازهای انرژی در هسته: انرژی نوکلئون‌های هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های پیرامون هسته کوانتیده است، (نوکلئون‌ها در هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی داشته باشند) اما تفاوت میان ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته بسیار بیشتر از ترازهای انرژی الکترون‌هاست، به طوری که تفاوت ترازهای

انرژی واکنش‌های شیمیایی در حدود چند الکترون ولت است در حالی که انرژی لازم برای برانگیختگی هسته‌ها اغلب در گستره کیلو الکترون ولت تا میلیون الکترون ولت است از این رو هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

انرژی الکترون؛ در اتم در حدود چند الکترون ولت ($1\text{eV} = 1/6 \times 10^{-19}\text{J}$) است اما تفاوت ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته‌های سبک حدود مگا یا میلیون الکترون ولت (MeV) و در هسته‌های سنگین حدود کیلو الکترون ولت (keV) می‌باشد.

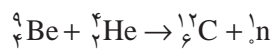
همان‌گونه که الکترون‌های پیرامون هسته اتم می‌توانند با جذب انرژی از حالت پایه به حالت برانگیخته بروند، نوکلئون‌ها نیز با جذب انرژی می‌توانند به ترازهای انرژی بالاتر رفته و هسته را برانگیخته کنند. بدیهی است که هسته‌های برانگیخته نیز ناپایدارند و می‌توانند با نشر فوتون به حالت پایه بازگردند. انرژی فوتون گسیل شده در این فرایندها برابر با تفاوت انرژی حالت برانگیخته و حالت پایه است

$$(\Delta E = E_p - E_i = h\nu)$$

توجه کنید که انرژی واکنش‌های شیمیایی در حدود چند الکترون ولت است در حالی که انرژی لازم برای برانگیختگی هسته‌ها اغلب در گستره کیلو الکترون ولت تا میلیون الکترون ولت است. از این رو هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

معادله و انواع واکنش‌های هسته‌ای

در معادله یک واکنش هسته‌ای، نوکلیدها با A و Z معین اما بدون بار الکتریکی نوشته می‌شوند مانند:



نکته قابل توجه در واکنش‌های هسته‌ای، رعایت پایستگی Z و A است.

برای نمونه در واکنش: ${}^1_0\text{n} + {}^4_2\text{He} \rightarrow \dots + {}^1_1\text{P}$ ، جای خالی ${}^{16}_8\text{O}$ است.

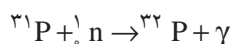
برای بررسی و درک آسان‌تر، واکنش‌های هسته‌ای را در چهار دسته طبقه‌بندی می‌کنند.

مدل‌های ارائه شده برای هسته اتم

دانش بشر در حوزه هسته و نیروهای هسته‌ای به اندازه‌ای نیست که درک کاملی از آنها داشته باشد، از این رو برای درک بهتری از آنها مدل‌های گوناگونی ارائه شده است، هر چند که هر یک از مدل‌ها، محدودیت‌هایی دارند.

مدل قطره‌ای بر پایه مقایسه اتم و قطره مایع است، بدین ترتیب که نوکلئون‌ها در هسته را می‌توان همانند مولکول‌ها در قطره دانست. نوکلئون‌ها، فضایی با حجم معین را در هسته اشغال می‌کنند و همگی با سهمی یکسان در نیروهای هسته‌ای شرکت دارند (برابر در نظر گرفتن سهم نوکلئون‌ها، نارسایی این مدل به شمار می‌رود زیرا آنهایی که در سطح هستند تنها از یک سو به آنها نیروی کشش وارد می‌شود). همان‌گونه که در قطره، کشش سطحی پدید می‌آید، در هسته نیز چنین است. این ویژگی در مدل قطره‌ای، توضیح واکنش‌های هسته‌ای ساختگی بر اثر ذره‌های شتاب‌دار را ممکن می‌سازد. به گونه‌ای

در دانش هسته‌ای می‌توان معادله واکنش را به صورت خلاصه نمایش داد. برای نمونه واکنش رو به رو در متن را به صورت ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ نمایش می‌دهند. با این توصیف معادله واکنش ${}^{31}\text{P}(n, \gamma){}^{32}\text{P}$ به صورت زیر است:



که انرژی جنبشی ذره‌های نفوذکننده در هسته، میان همه نوکلئون‌ها تقسیم شده و هسته برانگیخته می‌شود (همانند اینکه قطره‌ای از مایع گرم می‌شود). در این شرایط، ذره یا مجموعه‌ای از ذره‌ها هنگام پیدایش هسته‌ای نو می‌توانند به بیرون پرتاب شوند.

در مدل دیگر معروف به مدل سطحی می‌توان از الگوی هسته و الکترون‌ها در اتم کمک گرفت، به گونه‌ای که نوکلئون‌ها در هسته، سطح انرژی معینی دارند و این سطوح با تعداد معینی نوکلئون به تدریج اشغال شده و پس از پر شدن کامل، هسته معینی پدید می‌آید.

در میان آنها هسته‌ها با $Z=۲$ و $A=۲, ۴, ۵, ۸, ۱۲, ۱۶$ یا $Z=۲$ و $A=۲, ۴, ۵, ۸$ به هسته‌های جادویی معروف‌اند و از پایداری ویژه‌ای برخوردار هستند، به گونه‌ای که در واکنش‌های هسته‌ای به صورت هسته‌های پایدار پدید می‌آیند. مدل سطحی بیانگر ویژگی‌های هسته از جمله نحوه تشکیل، ثبات، جذب نوترون، اسپین هسته و ... است.

یکی از نکات برجسته مدل سطحی، این است که برخی هسته‌های پرتوزا از قاعده $\frac{N}{Z} \geq 1/5$ پیروی نمی‌کنند! چنین هسته‌هایی برانگیخته هستند و می‌توانند با نشر پرتو به حالت‌های پایدارتر برسند، برای نمونه ^{14}C ، ^{40}K ، ^{59}Fe و $^{99\text{m}}\text{Tc}$ از این دسته‌اند.

واکنش‌های هسته‌ای

۱- تلاشی (واپاشی) هسته‌ای: در این دسته از واکنش‌ها افزون بر انرژی، گاهی ذره‌های پر انرژی نیز تولید می‌شوند.

واپاشی آلفا: در این واکنش‌ها، نوکلیدها با $A > 209$ و $Z > 83$ به ذره‌های آلفا همراه با نوکلید سبک‌تر و پایدارتر تبدیل می‌شود. تبدیل رادیو ایزوتوبی از پولونیم به سرب از آن جمله است.

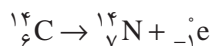


این واپاشی، ویژه هسته‌های سنگین است و انرژی حاصل از این واکنش به طور عمده صرف جنبش ذره‌ها در فراورده‌ها می‌شود، گویی انرژی این واکنش واپاشی هم‌ارز با انرژی جنبشی ذره‌های فراورده است. ذره‌های آلفا، سنگین، با برد بسیار کوتاه بوده که به آسانی قابل جذب هستند. اگر این ذره‌ها از راه تنفس یا گوارش وارد بدن شوند، به بافت‌ها آسیب جدی می‌زنند.

واپاشی گاما: اگر در نشر آلفا، انرژی حاصل از واپاشی، برابر با مجموع انرژی جنبشی ذره‌های فراورده باشد، نوکلید تولیدشده در حالت پایه است، اما اگر انرژی حاصل از واپاشی بیش از مجموع انرژی جنبشی ذره‌های فراورده باشد، نوکلید تولید شده در حالت برانگیخته است و با نشر گاما به حالت پایه برمی‌گردد، مانند:

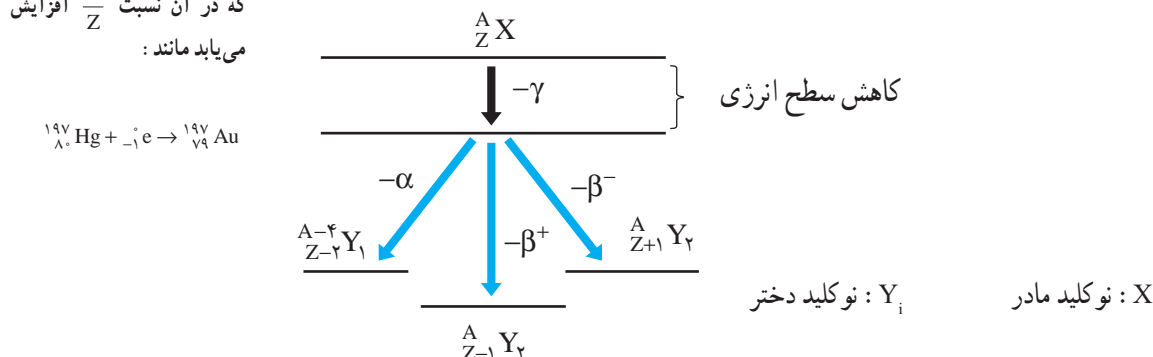


واپاشی بتا: در این واکنش‌ها ممکن است ${}_{-1}^0\text{e}(\beta^-)$ یا ${}_{+1}^0\text{e}(\beta^+)$ نشر شود که در این شرایط تنها Z تغییر می‌کند و A ثابت می‌ماند مانند:



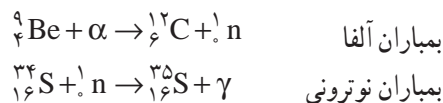
رادیو نوکلیدی که آغازگر یک واکنش فروپاشی هسته‌ای است، رادیو نوکلید مادر و فراورده تولید شده، رادیو نوکلید دختر است.

همان گونه که واکنش های بالا نشان می دهند، در نشر ${}_{-1}^0e$ ، نسبت $\frac{N}{Z}$ کاهش اما در نشر ${}_{+1}^0e$ ، نسبت $\frac{N}{Z}$ افزایش می یابد. شکل ۲، نمایی از واکنش های واپاشی را نشان می دهد.

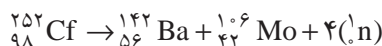


شکل ۲- نمایی از واکنش های واپاشی هسته ای

۲ تبدیل هسته ای: در این واکنش ها، با بمباران یک نوکلید با ذره های زیراتمی یا یون های پرانرژی، یک نوکلید تازه پدید می آید، مانند:



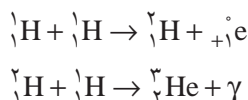
۳ شکاف هسته ای: در این واکنش ها، یک نوکلید سنگین تر و ناپایدارتر به دو نوکلید سبک تر و پایدارتر به همراه چند نوترون شکسته می شود مانند:



رادیونوکلیدهای فقیر از نوترون با گیراندازی الکترون یا گسیل پوزیترون (${}_{+1}^0e$) فروپاشی می شوند. پزشکان هسته ای به عنوان کاربران اصلی گسیلنده پوزیترون برای روشی به نام توموگرافی گسیل پوزیترون (PET) هستند. گسیلنده های پوزیترون با نیم عمرهای کوتاه که برای مصرف پزشکی در سیکلوترون موجود در بیمارستان ها تولید می شود، بیشتر به کار می روند.

* این واکنش چه تفاوتی با واکنش تلاشی هسته ای دارد؟ توضیح دهید.

۴ گداخت هسته ای: در این واکنش ها، با همجوشی نوکلیدهای سبک تر، نوکلیدهای سنگین تر پدید می آیند مانند:



واپاشی از دیدگاه کتی

اگر نمونه ای محتوی اتم های پرتوزا باشد با گذشت زمان این اتم ها دچار تلاشی می شوند، از این رو تلاشی (فروپاشی آزاد) سبب کم شدن تعداد اتم های پرتوزا در نمونه خواهد شد. آهنگ فروپاشی هر هسته از اتم های رادیو ایزوتوپ، ثابت فروپاشی (λ) نام دارد.

تصور کنید نمونه ای دارای $1000/1000$ هسته رادیو ایزوتوپ است و در هر ثانیه $10/1000$ هسته (یک درصد آن) فروپاشیده می شود، در این صورت برای آن $\lambda = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ یا 1% در ثانیه است.

سرعت فروپاشی هم ارز با سرعتی است که از شمار هسته های پرتوزا کاسته می شود.

با این توصیف شمار اتم‌هایی که در هر لحظه فروپاشیده می‌شود (dN) برابر است با :

$$dN = \underbrace{-\lambda}_{\text{سرعت فروپاشی}} \times \underbrace{N}_{\text{شمار اتم‌ها}} \times \underbrace{dt}_{\text{گستره زمانی}}$$

$$\int_N^N \frac{dN}{N_0} = -\lambda \int_0^t dt \rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$$

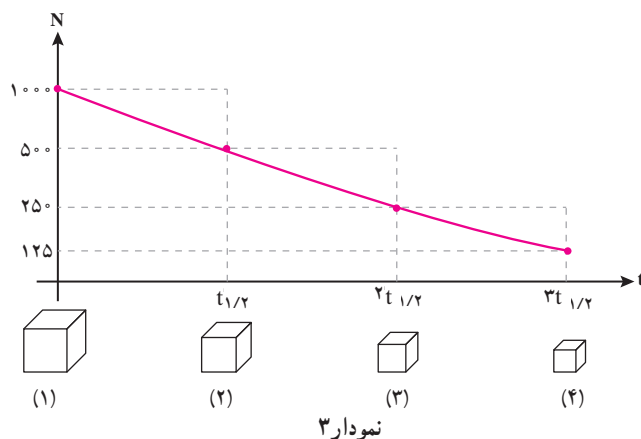
N ، شمار اتم‌های پرتوزا در زمان t و N_0 ، شمار اتم‌های پرتوزا را در آغاز ($t=0$) نشان می‌دهد. رابطه بالا سینتیک پرتوزایی را نشان می‌دهد که مطابق آن شمار اتم‌های پرتوزا در نمونه با زمان به صورت نمایی کاهش می‌یابد. این رابطه را به صورت زیر بازنویسی می‌کنند :

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow I = I_0 e^{-\lambda t}$$

I_0 و I شدت تابش در زمان t و $t=0$ را نشان می‌دهند و یکای s^{-1} دارند.

نیم عمر ($t_{1/2}$) : مدت زمانی است که شمار اتم‌های پرتوزا به نصف مقدار آغازی در نمونه می‌رسد.

نمودار صفحه بعد گذشت چند نیم عمر از یک نمونه 1000 اتمی را نشان می‌دهد.



نمودار ۳

۱ آغاز اندازه‌گیری (نمونه آغازی) ۲ پس از گذشت ۱ نیم عمر

۳ پس از گذشت ۲ نیم عمر ۴ پس از گذشت ۳ نیم عمر

با این توصیف، نیم عمر مدت زمانی است که طی آن $N = \frac{N_0}{2}$ خواهد شد، بنابراین :

$$\ln \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \xrightarrow[t = \frac{t_{1/2}}{2}]{N = \frac{N_0}{2}} \ln 2 = \lambda t_{1/2} \rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

واکنش واپاشی مواد پرتوزا از دیدگاه نظری تا بی‌نهایت ($t = \infty$) ادامه دارد اما برای نمونه‌های آزمایشی در عمل اغلب با گذشت 10 زمان نیم عمر، شمار اتم‌های پرتوزا به اندازه‌ای کاهش می‌یابد که نمونه غیر فعال به شمار می‌رود.

گسیلنده‌های α و β حتی برای تشخیص و درمان نباید به کار روند، زیرا پرتوهایی با ذره‌های بسیار پرانرژی هستند. تشخیص بیماری اغلب با تابش‌های گاما از 30 تا 300 الکترون ولت انجام می‌شود.

با توجه به اینکه مقدار ماده پرتوزای به کار رفته در پزشکی بسیار کم است، به روش‌های پزشکی هسته‌ای، روش‌های ردیاب نیز گفته می‌شود.

برخی رادیو داروها که طبیعت درمانی دارند، پرتوهایی گسیل می‌کنند که به DNA و بافت‌ها آسیب می‌رساند، این آسیب زمانی مفید است که نتایج و هدف از به کارگیری آن تخریب یا توقف سلول‌های سرطانی است. تبدیل جرم الکترون یا پوزیترون به انرژی از رابطه انیشتین پیروی می‌کند.

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$E = mc^2 = 8.198 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = 8.198 \times 10^{-14} \text{ J} \times \frac{1 \text{ eV}}{1.602 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$= 511.7 \times 10^3 \text{ eV}$$

$$= 511.7 \text{ keV}$$

گلوکز یک منبع غذایی و همچنین یک منبع تأمین انرژی یاخته‌ها در بدن است.

عمرسنجی با پرتوزایی: با زمان‌سنج پرتوزایی می‌توان عمر کانی‌ها، سنگ‌های آسمانی، یافته‌های باستان‌شناسی و... را برآورد کرد. اساس این زمان‌سنج، ثابت بودن سرعت تلاشی ماده پرتوزا است. بیش از پنجاه ایزوتوپ برای عمرسنجی به کار می‌روند. یکی از مهم‌ترین رادیوایزوتوپ‌ها، ^{14}C است.

^{14}C فراورده واکنش $^{14}_7\text{N} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{p}$ است که پیوسته در فضا از واکنش نوترون پرتوهای کیهانی بر نیتروژن موجود در اتمسفر پدید می‌آید و به صورت $^{14}\text{CO}_2$ (عضو ثابت اتمسفر) در می‌آید. این کربن دی‌اکسید در فرایند جابه‌جایی مواد وارد بدن موجودات زنده می‌شود. از این رو در گیاهان و جانوران تا زمانی که زنده‌اند، به مقدار ثابت و معینی ^{14}C وجود دارد. در واقع در بدن هر موجود زنده با گذشت زمان ^{14}C فروپاشیده می‌شود اما از سوی دیگر با مصرف غذا دوباره تأمین خواهد شد، گویی یک حالت تعادل برقرار است.

پس از مرگ جاندار، مقدار ^{14}C کاهش می‌یابد، با این توصیف فسیل‌هایی مانند چوب‌ها، استخوان‌ها و دیگر بقایای جانداران مقدار کمتری ^{14}C دارند. با تعیین اختلاف ^{14}C موجود در این بقایا با ^{14}C موجود در بدن موجودات زنده، می‌توان عمر آنها را برآورد کرد (نیم‌عمر ^{14}C را 5760 ± 50 سال در نظر می‌گیرند: $t_{1/2} = 5760 \pm 50 \text{ y}$).

با پیشرفت فناوری دستگاه‌های جدید می‌توان با دقت بالا مقدار ^{14}C را در یک نمونه اندازه‌گیری نمود. به عنوان مثال نمونه‌هایی از مومیایی‌های مصری با ^{14}C عمرسنجی شدند که عمر آنها حدود 3000 سال برآورد گردید و با عمر حقیقی آنها حدود 3000 سال با این روش تفاوتی از 50 تا 100 سال را نشان می‌دهد اما برای برآورد عمر بقایایی با عمر 200 تا 300 سال با خطای بسیار بالایی همراه است. برای نمونه اگر ^{14}C موجود در یک نمونه چوب، 40% مقدار طبیعی آن باشد، عمر نمونه چوب به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$\text{Ln} \frac{N}{N_0} = -\lambda t \rightarrow \text{Ln} 0.4 = -\frac{0.693}{5760 \text{ y}} t \rightarrow t \approx 7616 \text{ y}$$

$$t_{1/2} = \frac{\text{Ln} 2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{0.693}{5760 \text{ y}}$$

رادیو داروها

رادیو دارو، ماده‌ای محتوی رادیوایزوتوپ است که برای تشخیص یا درمان بیماری‌های انسان به کار می‌رود. رادیو دارو از دو جزء تشکیل شده است. نخست دارو که بر اساس نظر متخصصین در عضوی معین یا مشارکت در فعالیت فیزیولوژیکی عضو انتخاب می‌شود. دومین جزء، یک رادیو نوکلید مناسب است که به داروی انتخاب شده متصل می‌شود. اما رادیو دارویی ایده‌آل است که، دارای شرایطی مانند دسترسی آسان، نیم‌عمر مؤثر و کوتاه با کمترین عوارض جانبی باشد. پس از مصرف رادیو دارو، تابش‌های گسیل شده از آن با یک آشکارساز بررسی می‌شود.

آشکارسازهای ویژه و اختصاصی، تابش گسیل شده از بدن را جمع آوری کرده و آنها را به شکل های فضایی نشست گرفته از تابش نشان می دهند و به این ترتیب تصویرها ساخته و تهیه می شوند. گروه ویژه ای از رادیو داروها، PET هستند که برای توموگرافی گسیل پوزیترون (Positron Emission Tomography) به کار می روند، روشی که پوزیترون ها را تصویربرداری می کند. این فناوری بر پایه رادیوایزوتوپ هایی بنا شده است که با گسیل پوزیترون فروپاشی می شوند. جدول ۵ برخی از ایزوتوپ های گسیلنده پوزیترون به کار رفته در PET را نشان می دهد.

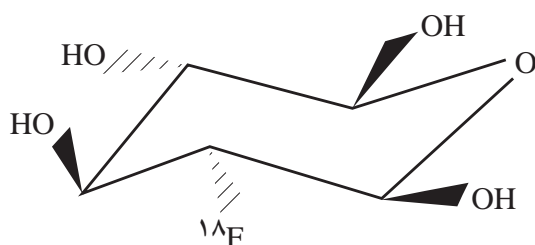
جدول ۵- برخی ایزوتوپ های به کار رفته در PET

رادیوایزوتوپ	نیمه عمر فروپاشی (دقیقه)	انرژی (keV)
^{15}O	۲	۵۱۱
^{13}N	۹/۹۷	۵۱۱
^{11}C	۲۰/۴	۵۱۱
^{18}F	۱۰۹	۵۱۱
^{64}Cu	۹/۷۴	۵۱۱

* ۵۱۱ keV انرژی حاصل از نابودی الکترون و پوزیترون هنگام برخورد به یکدیگر است (ماده و ضد ماده)، که ویژگی بنیادی برای چنین کاربردی است.

یکی از مهم ترین برتری های PET، نفوذ و پخش رادیوایزوتوپ هایی است مانند ^{15}O ، ^{13}N ، ^{18}F در ترکیب های آلی است که اجازه تصویربرداری فیزیولوژیکی بر پایه بیوشیمی را در مغز، قلب، عروق و ... می دهد.

برای نمونه داکسی گلوکز -۲- فلوئورو - ^{18}F (FDG) با ساختار زیر :



رادیو داروی تشخیصی داخل وریدی است که در تصویربرداری PET برای سوخت و ساز غیرطبیعی گلوکز، تشخیص سرطان یا کمک در ارزیابی بدخیمی در بیماران با سرطان مشخص به کار می رود. ^{18}F جایگزین مناسبی برای اتم H است زیرا رادیو ایزوتوپ هیدروژن (^3H) با نیم عمر ۱۲/۳۲ سال، کارایی ندارد.

یکی از رادیو نوکلیدهای پر کاربرد در پزشکی $^{99\text{m}}\text{Tc}$ است که افزون بر راکتور (واکنش گاه)، در ژنراتور (مولد) نیز تولید می شود. ژنراتورهای تولید رادیونوکلید «اسب کاری» داروسازی هسته ای به شمار

می‌روند، زیرا اختراع آنها باعث شد تا وسیله‌ای ماندگار و بادوام برای تأمین خدمات رادیو دارو، در دسترس باشد. رایج‌ترین ژنراتور به کار رفته در عمل $^{99m}\text{Tc} / ^{99}\text{Mo}$ است. در رادیو نوکلید مادر (^{99}Mo) دارای نیم‌عمر $66/7$ ساعت که با نشر گاما و بتا فروپاشی نموده و به ایزوتوپ دختر ^{99m}Tc با نیم‌عمر $6/02$ ساعت تبدیل می‌شود. یکی از نمک‌های ^{99m}Tc ، سدیم پرتکتات ($\text{Na } ^{99m}\text{TcO}_4$) که برای تصویربرداری از غده تیروئید به کار می‌رود.

تکنسیم (^{99m}Tc)

تکنسیم، نخستین عنصر ساختگی است، شاید تصور شود که این عنصر به دلیل کمیاب بودن، به طور ساختگی تهیه شده است، اما چنین نیست! زیرا در تصویربرداری پزشکی اهمیت شایانی دارد هر چند که این عنصر باید از واکنش‌های هسته‌ای و گران تهیه شود. ^{99m}Tc از ^{99}Mo با نشر β تولید می‌شود. ^{99m}Tc با نیم‌عمر $6/01 \text{ h}$ با آزاد شدن به صورت پرتوی گاما (140 keV) به حالت پایه (^{99}Tc) فروپاشی می‌شود (^{99}Tc نیم‌عمر $2/1 \times 10^5$ سال دارد).

^{99m}Tc مورد نیاز بیمارستان‌ها در مولد $\text{Mo} - \text{Tc}$ با حفظ سربی تهیه می‌شود. در این مولد رادیو ایزوتوپ ^{99}Mo به شکل یون مولیدات ($^{99}\text{MoO}_4^{2-}$) جذب سطحی شده بر روی ستونی از آلومینا (Al_2O_3) می‌باشد. این یون در یک واکنش هسته‌ای به یون پرتکتات ($^{99m}\text{TcO}_4^-$) تبدیل می‌شود. یون پرتکتات با محلول سدیم کلرید از ستون شسته می‌شود. یون پرتکتات با رادیو داروی ساخته شده با دقت و کنترل به رگ بیمار تزریق می‌شود.

برای یک بیمارستان به طور میانگین روزانه حدود $1 \mu\text{g}$ از ^{99m}Tc برای تصویربرداری نیاز است.

مولد « $^{99m}\text{Tc} - ^{99}\text{Mo}$ »

نیم‌عمرهای ^{99}Mo و ^{99m}Tc
ساختار مفیدی برای مولد تشکیل
می‌دهند.

رادیو نوکلید ^{99}Mo دارای نیم‌عمر حدود 66 ساعت بوده که با گسیل β^- ، حدود 87% به حالت نیمه (شبه) پایدار ^{99m}Tc و 13% باقی مانده به حالت پایدار ^{99}Tc فروپاشی می‌شود. رادیو نوکلید ^{99m}Tc نیم‌عمر حدود 6 ساعت دارد در حالی که نیم‌عمر حالت پایدار ^{99}Tc حدود $2/1 \times 10^5$ سال است که با گسیل β^- به ^{99}Ru فروپاشی می‌شود.

مولد ستون مایع

مولد $^{99m}\text{Tc} - ^{99}\text{Mo}$ نخستین بار در آزمایشگاه ملی بروکهاون معرفی شد. پیش از آن ^{99m}Tc به کار رفته با بوتانون (متیل اتیل کتون : MEK) از محلول 2° درصد جرمی محلول NaOH و ^{99}Mo استخراج می‌شد. پس از استخراج، فاز آلی تبخیر شده و $^{99m}\text{TcO}_4^-$ در محلول نمکی ایزوتونیک (هم فشار اسمزی) برای استفاده کلینیکی حل خواهد شد. در این روش نخست محلول 2° درصد جرمی NaOH و ^{99}Mo در یک ستون شیشه قرار می‌گیرد، سپس جریان MEK از میان ستون عبور کرده و از ته آن خارج می‌شود. MEK، در این مسیر $^{99m}\text{TcO}_4^-$ را استخراج نموده و ^{99}Mo در محلول آبی باقی می‌ماند. شست‌وشوهای پی در پی ستون می‌تواند پیش یا پس از رسیدن به تعادل گذاری بین ^{99}Mo و

$^{99m}\text{TcO}_4^-$ انجام شود. مزیت این روش هزینهٔ پایین تهیهٔ $^{99m}\text{TcO}_4^-$ و عیب آن، نیاز به انجام کار با دست است. این مولد به ندرت در پزشکی هسته‌ای به کار می‌رود.

مولد ستون جامد

این مولد جایگزین روش استخراج با حلال شد. مولد ^{99m}Tc و ^{99}Mo یا مولی از آلومینا (Al_2O_3) بارگذاری شده در یک ستون پلاستیکی یا شیشه‌ای ساخته شده است. رادیو نوکلید ^{99}Mo به شکل یون MoO_4^{2-} (مولیدات) در مقادیر گوناگون روی Al_2O_3 بارگذاری می‌گردد و با محلول ۰/۹ درصد جرمی NaCl شسته می‌شود. ستون‌های مولد برای حفاظت از تابش، حفاظ سری دارند. پس از جذب ^{99}Mo روی آلومینا، این رادیو نوکلید به ^{99m}Tc فروپاشی می‌شود. رادیو نوکلید ^{99m}Tc به صورت محلول سدیم پرتکتات ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) با محلول ۰/۹ درصد جرمی NaCl شسته می‌شود.

قانون تناوبی مندلیف، تناوب شیمیایی



شکل ۳- تصویری از ید، برم و کلر

شیمی‌دان‌ها در قرن نوزدهم به شدت مشغول فعالیت‌های علمی بودند. یکی از مهم‌ترین تلاش‌های آنها جداسازی و شناسایی همهٔ عناصر بود. شیمی‌دان‌ها در سراسر جهان ترکیب‌های مختلف را به عناصرهای سازندهٔ آنها تجزیه کردند تا خواص عناصرها را مطالعه و بررسی کنند. در نتیجهٔ این تلاش‌ها تا سال ۱۸۶۰ میلادی تقریباً ۷۰ عنصر از ۱۱۸ عنصری که امروزه شناخته شده‌اند، شناسایی، جداسازی و مطالعه

شده بودند. به عبارت دیگر، در ساختار هزاران ترکیب یا مخلوط شیمیایی گوناگونی که بررسی شده بودند، فقط ۷۰ عنصر یافت شد.

همچنان که عناصرها کشف می‌شدند، خواص آنها بررسی می‌شد و داده‌های زیادی به دست می‌آمد، از این‌رو دسته‌بندی این داده‌ها به روش‌های سودمند که بتواند به فهم خواص عناصرها کمک کند، ضروری به نظر می‌رسید.

دوبراینر^۱ (۱۸۴۹-۱۹۲۸) دانشمند آلمانی در سال ۱۸۲۹ میلادی دریافت که می‌توان عناصرها را در دسته‌های سه تایی (triads) مرتب کرد. وی مشاهده کرد که همهٔ عناصرهای موجود در هر دستهٔ سه تایی تشابه قابل توجهی در خواص شیمیایی دارند. هر یک از این دسته‌ها روند منظمی را در خواص فیزیکی مانند چگالی، نقطهٔ ذوب و به طور خاص در جرم اتمی نشان می‌دادند (جدول ۶).

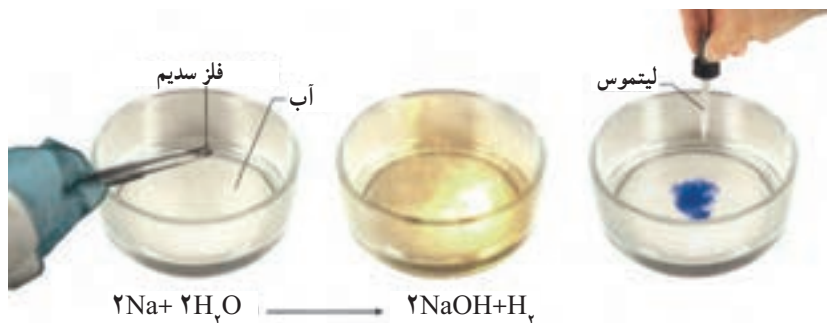
۱- J. W. Döbereiner

جدول ۶ - سه تایی هالوژن

عنصر	جرم اتمی	چگالی $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	نقطه ذوب	نقطه جوش
کلر	۳۵/۴۵۳	۰/۰۰۳۲۱	-۱۰۱	-۳۴
برم	۷۹/۹۰۴	۳/۱۲	-۷	۵۹
ید	۱۲۶/۹۰۴	۴/۹۳	۱۱۴	۱۸۵

پس از وی در سال ۱۸۶۵ میلادی نیولندز^۱ (۱۸۳۷-۱۸۹۸) دانشمند انگلیسی پیشنهاد کرد که ۶۲ عنصر شناخته شده می‌توانند براساس افزایش جرم اتمی در هفت گروه مرتب شوند. او همچنین پیشنهاد کرد که عنصر هشتم، خواص مشابهی با عنصر گروه اول و عنصر نهم خواصی مانند عنصر دوم دارد. به‌طوری که خواص فیزیکی و شیمیایی ۲۰ عنصر نخست در گروه‌های هفت‌گانه تکرار می‌شد. جالب است بدانید که نظریه وی با تمسخر روبه‌رو شد و برای چاپ شدن در مجله‌های علمی تأیید نشد. اگرچه اساساً، نگاه نیولندز به ارتباط تناوبی عنصرها درست بود، اما ۲۰ سال طول کشید تا نظر وی پذیرفته شود. سرانجام در سال ۱۸۸۷ نیولندز مدال دیوی (Davy) را با متانت و بزرگواری از انجمن سلطنتی انگلستان قبول کرد.

بزرگ‌ترین پیشرفت در زمینه دسته‌بندی عنصرها با کارهای مندلیف^۲ (۱۸۳۴-۱۹۰۷) به‌دست آمد. وی در دهه ۱۸۶۰ میلادی، عنصرها و خواص آنها را روی کارت‌های مشخصی فهرست کرد. سپس، چیدمان‌های گوناگونی از این کارت‌ها را برای یافتن الگوهای مشخص و متنوع بررسی کرد. وقتی که وی عنصرها را برحسب افزایش جرم اتمی مرتب کرد، کشف مهمی رخ داد. (عنصرهای Ne، He، و Ar در زمان مندلیف کشف نشده بودند، لذا وی عنصرهای دیگری را به‌جای آنها قرار داده بود). با چیدن عنصرها به این روش، مندلیف کشف کرد که خواص شیمیایی عنصرها در یک الگوی منظم تکرار می‌شود. برای نمونه؛ خواص سدیم را در نظر بگیرید. عنصر سدیم آن‌قدر فعال است که در طبیعت به‌طور آزاد یافت نمی‌شود، اما شیمی‌دان‌ها عنصر سدیم را به‌صورت خالص از ترکیب‌های آن جدا کرده‌اند. سدیم، فلزی نقره‌ای رنگ، نرم با چگالی کم و نقطه ذوب پایین است. سدیم به شدت واکنش پذیر است به‌طوری که می‌توان واکنش‌پذیری زیاد آن را با انداختن یک تکه سدیم در آب به نمایش گذاشت (شکل ۴).



شکل ۴- واکنش سدیم با آب

مانند همه دانشمندان آن زمان، مندلیف تمام آنچه را که درباره سدیم کشف شده بود، می دانست. اما، ذکاوت، تلاش و تمرکز سبب شد او از این اطلاعات، نکته مهمی را کشف کند و به جهانیان ارائه دهد. وی چیدمان های گوناگون کارت های خود را چندین بار بررسی کرد تا ارتباطی بین عنصرهایی که خواص مشابه دارند، بیابد. سرانجام در یک نوع از چیدمان ها، نکته جالبی توجه وی را جلب کرد و پی برد هشتمین عنصر از سری سمت چپ کارت سدیم با هشتمین عنصر از سری سمت راست سدیم دارای خواص شیمیایی یکسانی با سدیم اند. این عنصرها لیتیم و پتاسیم بودند (جدول ۷). هر دو عنصر با اکسیژن و آب واکنش داده و به ترتیب $\text{Li}_2\text{O(s)}$ ، $\text{K}_2\text{O(s)}$ ، LiOH(aq) و KOH(aq) می دهند که شبیه ترکیب های سدیم اند. وی همچنین مشاهده کرد که سایر ویژگی های شیمیایی و فیزیکی این سه عنصر شبیه یکدیگر است.

آیا این ترتیب فقط یک اتفاق بود؟!

مندلیف در فهرست خود این الگوی ۸ کارت جلوتر و ۸ کارت عقب تر را برای عنصرهای دیگر نیز مشاهده کرد. به طوری که منیزیم با اکسیژن واکنش داده و اکسیدی به فرمول MgO می دهد. عنصرهای هشتم جلوتر و عقب تر از منیزیم نیز اکسیدی با فرمول مشابه می دادند. این عنصرها Ca و Be بودند. مندلیف در ادامه بررسی هایش، مشاهده کرد که اگر کارت های عنصرها را طوری بچیند که عنصرها با خواص شیمیایی مشابه در یک ستون قرار بگیرند، هشت گروه پدید می آید (جدول ۷).

جدول ۷- هشت گروه به دست آمده از فعالیت مندلیف

I 1 H H_2O	II	III	IV	V	VI	VII	VIII 2 He No oxide
3 Li Li_2O	4 Be BeO	5 B B_2O_3	6 C CO_2	7 N N_2O_5	8 O SO_2	9 F F_2O	10 Ne No oxide
11 Na Na_2O	12 Mg MgO	13 Al Al_2O_3	14 Si SiO_2	15 P P_2O_5	16 S SO_2	17 Cl Cl_2O	18 Ar No oxide
19 K K_2O	20 Ca CaO						

هنگامی که مندلیف جدول خود را ارائه کرد، ۷۰ عنصر شناخته شده بود. وقتی وی این عنصرها را در ستون های هشت تایی برحسب خواص شیمیایی مشابه مرتب کرد، برخی از خانه های جدول خالی ماند. این خانه ها متعلق به عنصرهایی بودند که تا آن زمان کشف نشده بودند (شکل ۵).

۱۴ سیلیسیم ۲۸/۰۸۶
اکاسیلیسیم عنصر ناشناخته
۵۰ قلع ۱۱۸/۷۱

شکل ۵- جای خالی در گروه ۱۴

بر اساس این جدول، مندلیف موفق شد خواص شیمیایی و فیزیکی عنصرهایی که کشف نشده بودند را پیش‌بینی کند. این کار شبیه به یک ترفند وحقه بود. کاری که شیمی‌دان‌های پیش از وی قادر به انجام آن نبودند.

در واقع وی هیچ تفسیری برای تشابه خواص و تغییر تدریجی آنها در یک گروه و یا یک دوره نداشت ولی نظام‌های موجود در جدولش، به او جرئت داد تا خواص فیزیکی و شیمیایی برخی عنصرهای ناشناخته را پیش‌گویی کند. به گونه‌ای که با بررسی خواص عنصرهای بالا و پایین و نیز چپ و راست خانه‌های خالی و میانگین گرفتن از خواص آنها، این پیش‌گویی‌ها را انجام داد.

یکی از ناکامی‌های مندلیف این بود که مجبور شد عنصر سنگین‌تر Te با جرم اتمی $127/6 \text{amu}$ را پیش از عنصر سبک‌تر I با جرم اتمی $126/9 \text{amu}$ بگذارد تا تشابه خواص عنصرها در یک ستون رعایت شود. او تصور می‌کرد که این بی‌نظمی به دلیل دقت کم در اندازه‌گیری جرم اتمی Te است و باید جرم اتمی آن ۱۲۵ باشد. غافل از اینکه پس از کشف ساختار اتم معلوم شد جرم اتمی ملاک مناسبی برای دسته‌بندی عنصرها نیست.



شکل ۶- جدول ارائه شده توسط مندلیف و تمبری به افتخار فعالیت‌های وی

جدول تناوبی امروزی

دسته‌بندی عنصرها کمک شایانی به پیشنهاد مدل‌های اتمی و دستیابی به ساختار اتم کرد. به گونه‌ای که، آن دسته از مدل‌های اتمی‌ای پذیرفته می‌شد که توانایی بیشتری برای توجیه و تفسیر خواص عنصرها و ترکیب‌های آنها داشت.

در سال ۱۹۱۳ میلادی، موزلی^۱ (۱۸۸۷-۱۹۱۵) دانشمند جوان انگلیسی که با رادرفورد کار می‌کرد، مشخص نمود که طول موج تابش‌های X نشر شده از هر عنصر با تعداد پروتون‌های آن عنصر، ارتباط مستقیم دارد: $\sqrt{\nu} = a(z-b)$ ، فرکانس پرتو ایکس نشر شده از آند فلزی دستگاه، Z عدد اتمی فلز در آند، a ثابتی برابر با $5 \times 10^7 \text{s}^{-1}$ و $b = 1$ است). پس از این آزمایش‌ها، شیمی‌دان‌ها بی‌برند که دسته‌بندی عنصرها با افزایش عدد اتمی، ناهماهنگی‌های جدول مندلیف را برطرف می‌کند.

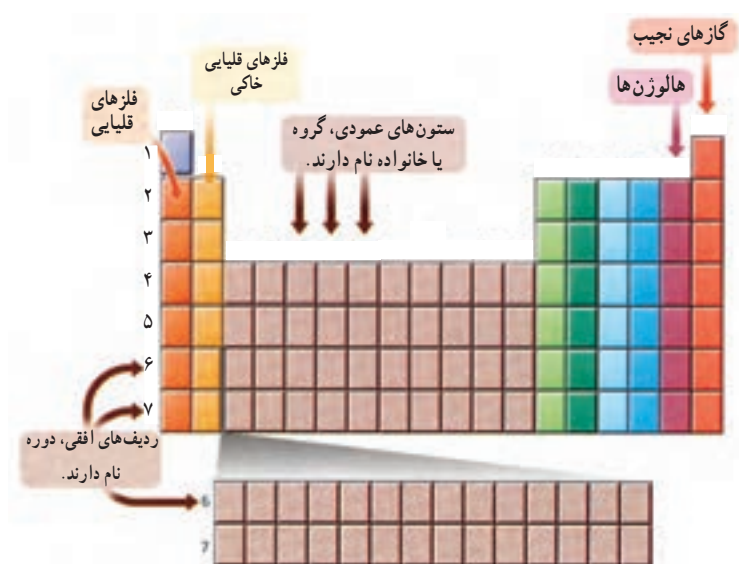
^۱ - H.G.J. Moseley

ویژگی‌های جدول تناوبی: آیا تاکنون اطلاعات داده شده در جدول‌های ورزشی از یک روزنامه را بررسی کرده‌اید؟ در این جدول‌ها، برخی از نمادها، خلاصه‌نویسی‌ها، واژه‌های مخفف و مجموعه‌ای از کدها به کار می‌رود. اگر شما با این ویژگی‌ها آشنا نباشید، برای یافتن اطلاعات مفید از آن سر درگم خواهید شد.

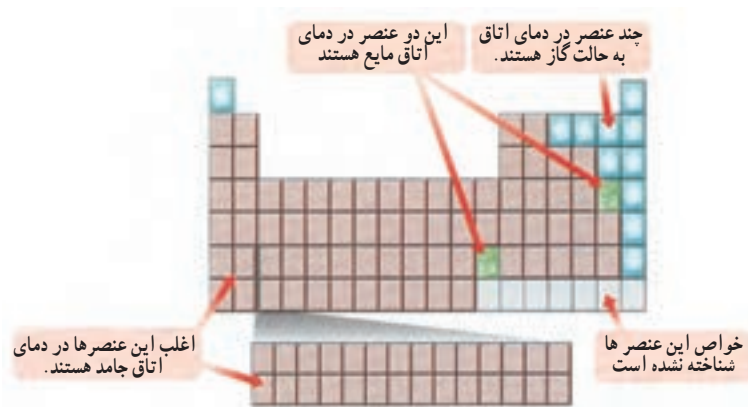
جدول تناوبی نیز دارای نمادها، داده‌های عددی، خلاصه‌نویسی‌ها، کدها و ... است که اطلاعات زیادی دربارهٔ عناصرها ارائه می‌دهد.

جدول تناوبی چه اطلاعاتی به ما می‌دهد؟

آ) جدول تناوبی شمارهٔ گروه، تناوب، حالت فیزیکی و نوع عناصرها را نشان می‌دهد (شکل ۷.۷. آ و ب).



شکل ۷- آ



شکل ۷- ب، برخی از مشخصات جدول تناوبی

ب) جدول تناوبی محل قرار گرفتن اکتینیدها و لانتانیدها را نشان می‌دهد.

شکل ۸- نمایش دیگری از جدول تناوبی

پ) جدول تناوبی همچنین دسته‌بندی عنصرها را براساس زیرلایه‌های درحال پرشدن نشان می‌دهد، زیرا خواص شیمیایی عنصرها وابسته به آرایش الکترونی آنها است. از این رو، وقتی عنصرها را با پرشدن لایه‌ها و زیرلایه‌ها بررسی می‌کنید، چهار دسته از عنصرها به‌دست خواهد آمد.

شکل ۹- جدول تناوبی عنصرها و دسته‌بندی آنها

گروه‌ها را چگونه شماره‌گذاری می‌کنند؟

شکل ۱۰، قراردادهای شماره‌گذاری گروه‌های جدول تناوبی را در آمریکا و اروپا نشان می‌دهد. در این قراردادها، حرف A، گروه اصلی و حرف B، گروه فرعی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰- آ- جدول تناوبی عنصرها - قرارداد آمریکایی

شکل ۱۰- ب- جدول تناوبی عنصرها - قرارداد اروپایی

در دهه‌های اخیر شماره‌گذاری گروه‌ها به یکی از موضوعات جالب تبدیل شده بود؛ به گونه‌ای که پس از بحث‌های فراوان و مداوم، سرانجام آیوپاک در سال ۱۹۸۵ میلادی پیشنهاد کرد که گروه‌ها را از شماره ۱ تا ۱۸ شماره‌گذاری کنند (شکل ۱۱).

شکل ۱۱- جدول تناوبی عنصرها - قرارداد آیوپاک

یافته‌های جدید دربارهٔ خواص فیزیکی و شیمیایی عناصرها (به‌ویژه عنصرهای تناوب ششم و هفتم) سبب شده است تا دانشمندان دسته‌بندی جدیدی از عناصرها را ارائه دهند. در این دسته‌بندی جدید، محل لاتانیدها و اکتینیدها تغییر کرده است (شکل ۱۲).

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
H	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Pb	Bi	Po	At	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Lu	Hf	Ta	W	

جرم اتمی

برای همه ایزوتوپ‌ها به استثنای ^{12}C (به دلیل توافق جهانی بین تمام شیمی دان‌ها) جرم اتمی با عدد جرمی برابر نیست. با توجه به تعریف واحد جرم اتمی، جرم‌های اتمی را جرم‌های اتمی نسبی می‌نامند. در واقع، جرم‌های اتمی به ما می‌گویند که یک اتم در مقایسه $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن با اتم کربن - ۱۲ چقدر سنگین‌تر است. به عنوان نمونه، اتم ^1H دارای جرم اتمی 1.00783 amu است. این عدد نشان می‌دهد که یک اتم ^1H به اندازه 1.00783 سنگین‌تر از یک دوازدهم یک اتم کربن - ۱۲ است. به عبارت دیگر، جرم یک اتم ^{12}C ، تقریباً ۱۲ برابر جرم یک اتم ^1H است. یک اتم ^{24}Mg دارای جرم اتمی 23.98504 amu است پس جرم یک اتم ^{24}Mg تقریباً دو برابر یک اتم کربن - ۱۲ است و از آنجا که $1 \text{ amu} = 1.66054 \times 10^{-24} \text{ g}$ است، بنابراین می‌توان جرم یک اتم را برحسب گرم محاسبه کرد.

به عنوان نمونه، جرم یک اتم کربن - ۱۲ (تنها اتمی که عدد جرمی و جرم اتمی آن باهم برابر است) برحسب گرم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$12 \text{ amu} \times \frac{1.66054 \times 10^{-24} \text{ g}}{1 \text{ amu}} = 1.99265 \times 10^{-23} \text{ g}$$

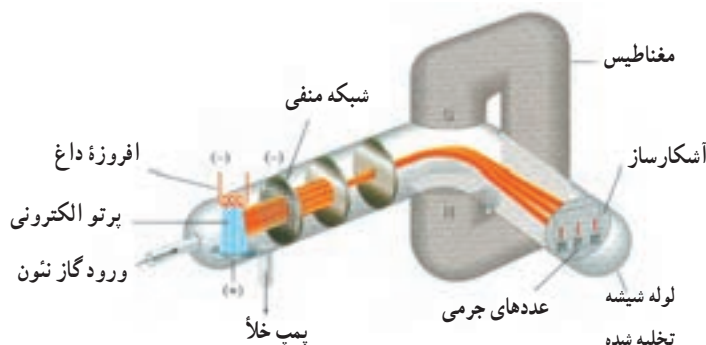
با اینکه نام واحد جرم اتمی به دالتون (Da) تغییر کرده است، در ادامه از همان عبارت واحد جرم اتمی استفاده می‌کنیم. یک اتم ^{12}C ، جرم ۱۲ دالتون (۱۲ Da یا 12 amu) دارد.

جدول ۸ - ویژگی‌های ذره‌های زیراتمی

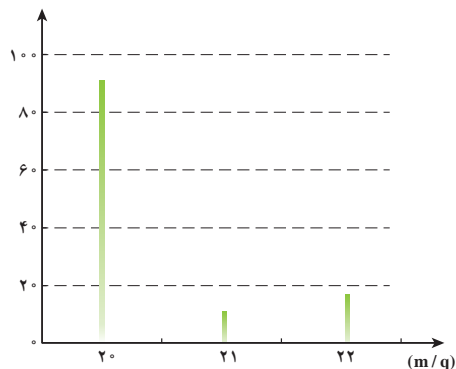
ذره	گرم (g)	یکای جرم اتمی (amu)	بار الکتریکی نسبی	نماد
الکترون	9.109383×10^{-28}	0.0005485799	-۱	e^- یا ${}_{-1}^0e$
پروتون	1.672622×10^{-24}	1.007276	+۱	p^+ یا ${}_{+1}^1p$
نوترون	1.674927×10^{-24}	1.008665	۰	n^0 یا 1_0n

با استفاده از جرم پروتون، نوترون و الکترون (جدول ۸) جرم دقیق یک اتم را نمی‌توان محاسبه کرد. به جز ^1H (که هسته آن شامل یک پروتون است)، مجموع جرم ذره‌های تشکیل دهنده یک هسته، همیشه بزرگ‌تر از جرم واقعی آن هسته است. این تفاوت جرم برحسب انرژی، بیان‌کننده انرژی بستگی هسته است که پیش از این با آن آشنا شدید.

خواص شیمیایی یک عنصر با پروتون‌ها و الکترون‌های موجود در اتم‌های آن تعیین می‌شود و در شرایط عادی نوترون‌ها در تغییرهای شیمیایی نقشی ندارند. بنابراین، خواص شیمیایی و واکنش‌پذیری ایزوتوپ‌های یک عنصر یکسان است. برای تعیین نوع ایزوتوپ‌های یک عنصر، جرم دقیق ایزوتوپ‌ها و مقدار نسبی هر ایزوتوپ، از طیف‌سنج جرمی استفاده می‌کنند (شکل ۱۳-آ).



شکل ۱۳- آ- طیف‌سنج جرمی ساده برای جداسازی ایزوتوپ‌ها
فراوانی نسبی



شکل ۱۳- ب- طیف حاصل از طیف‌سنج جرمی

در این دستگاه، با بمباران بخار اتم‌های ماده به وسیله الکترون، یون‌های مثبت تشکیل می‌شوند. این یون‌ها به سمت یک شکاف دارای بار منفی جذب می‌شوند. این ذره‌ها در اثر نیروی جاذبه شتاب می‌گیرند و با سرعت زیاد از شکاف می‌گذرند. سپس، پرتو یون‌های تشکیل شده، از یک میدان مغناطیسی عبور می‌کند. ذره‌های باردار هنگام گذشتن از میدان مغناطیسی، از مسیر مستقیم خود منحرف شده و مسیری دایره‌ای را طی می‌کنند. میزان انحراف هر ذره به نسبت جرم به بار (m/q) آن بستگی دارد. تمام یون‌هایی که از آخرین شکاف می‌گذرند، مقدار m/q یکسان دارند. یون‌هایی که m/q متفاوت دارند، با تنظیم میدان مغناطیسی یا ولتاژ اعمال شده برای شتاب دادن، وادار به عبور از این شکاف می‌شوند. بنابراین، تمام یون‌های تشکیل شده را می‌توان به صورت مستقل از شکاف عبور داد. آشکارساز طیف‌سنج جرمی، شدت هر کدام از پرتوهای یونی را که به مقدار نسبی هریک از ایزوتوپ‌های موجود بستگی دارد، اندازه‌گیری می‌کند.

به عنوان مثال، با استفاده از یک طیف سنج جرمی، نسبت جرمی ^{28}Si به ^{12}C به صورت زیر اندازه گیری می شود:

$$\frac{\text{جرم اتم } ^{28}\text{Si}}{\text{جرم استاندارد } ^{12}\text{C}} = 2/331411$$

از این نسبت جرمی، جرم ایزوتوپ ^{28}Si را به دست می آوریم:

$$\begin{aligned} \text{جرم } ^{12}\text{C} \times \text{نسبت جرمی اندازه گیری شده} &= \text{جرم ایزوتوپی } ^{28}\text{Si} \\ = 2/331411 \times 12 \text{ amu} &= 27/97693 \text{ amu} \end{aligned}$$

افزون بر جرم ایزوتوپ ها، از طیف سنج جرمی، فراوانی نسبی هر ایزوتوپ در نمونه ای از یک عنصر نیز به دست می آید (شکل ۱۳-ب). به عنوان مثال، درصد فراوانی ^{28}Si برابر ۹۲/۲۳٪ است. چنین اندازه گیری هایی، داده های مورد نیاز برای به دست آوردن جرم اتمی یک عنصر را در اختیار قرار می دهد. جرم اتمی میانگین، جرم ایزوتوپ های طبیعی بر مبنای فراوانی آنها است.

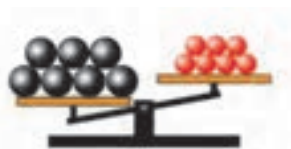
هر ایزوتوپ طبیعی یک عنصر، بخش معینی از جرم اتمی آن را تشکیل می دهد. دیدید که ۹۲/۲۳٪ از اتم های Si را ^{28}Si تشکیل می دهد. با استفاده از این درصد فراوانی به صورت یک کسر و ضرب کردن آن در جرم ایزوتوپی ^{28}Si ، بخشی از جرم اتمی Si به دست می آید که مربوط به ^{28}Si است:

$$\text{Si در جرم اتمی } ^{28}\text{Si} = 27/97693 \text{ amu} \times 0/9223 = 25/8031 \text{ amu}$$

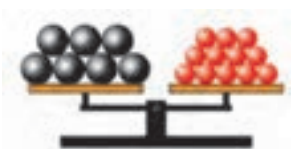
با محاسباتی مشابه، بخش مربوط به ^{29}Si ($28/976495 \text{ amu} \times 0/0467 = 1/3532 \text{ amu}$) و مربوط به ^{30}Si ($29/973770 \text{ amu} \times 0/0310 = 0/9292 \text{ amu}$) به دست می آید. با جمع این سه بخش (و گرد کردن نتیجه تا دو رقم اعشار)، جرم اتمی سیلیسیم به دست می آید:

$$\text{Si جرم اتمی} = 25/8031 \text{ amu} + 1/3532 \text{ amu} + 0/9292 \text{ amu} = 28/0855 \text{ amu} = 28/09 \text{ amu}$$

توجه کنید جرم اتمی، مقداری میانگین است و میانگین ها را باید با احتیاط تفسیر کرد. برای مثال اگر در جامعه ای میانگین تعداد کودکان در هر خانواده ۲/۴ نفر باشد، مسلماً هیچ خانواده ای ۲/۴ کودک نخواهد داشت. بر این پایه هیچ اتمی از سیلیسیم، جرمی برابر با $28/09 \text{ amu}$ ندارد. با این حال در بیشتر کاربردهای آزمایشگاهی، یک نمونه سیلیسیم را متشکل از اتم هایی با این جرم اتمی میانگین در نظر می گیریم. در شکل ۱۴، جرم اتمی به صورت نسبی نشان داده شده است.



(ب)



(آ)

شکل ۱۴- نسبت جرم اتم های گوناگون در یک ترازو

برای درک بهتر، یک مسئله ساده طرح می شود. نقره ($_{47}\text{Ag}$) دارای ۴۶ ایزوتوپ شناخته شده است،

عدد جرمی، یک عدد صحیح است که مجموع شمار پروتون‌ها و نوترون‌ها را نشان می‌دهد. این عدد در سمت چپ و بالای نماد شیمیایی عنصر نوشته می‌شود. در حالی که جرم اتمی، جرم یک اتم را برحسب amu نشان می‌دهد، به همین دلیل اغلب عدد صحیحی نیست. با توجه به نزدیکی عدد جرمی و جرم اتمی، نباید آنها را اشتباه به کاربرد.

در هفت کمیت اصلی (طول، جرم، زمان، مقدار ماده، شدت جریان الکتریکی، دما و شدت روشنایی)، شش کمیت (به جز جرم) در مقایسه با یک مرجع اندازه‌گیری می‌شوند، یعنی:

$$\Delta t = t - t_{\text{مرجع}}$$

$$\Delta T = T - T_{\text{مرجع}}$$

t، زمان و T، دما را نشان می‌دهد.

جرم کمیتی تعریف نشده است (در فیزیک همه تعریف‌ها به‌صورت یک کمیت متناسب با جرم آمده است) و به‌صورت نسبی اندازه‌گیری می‌شود (جرم جسم تقسیم بر ۱ kg). به همین دلیل حاصل، عددی بدون یکا است. اینک می‌توان چنین نوشت:

$$x = \frac{\text{جرم جسم}}{1 \text{ kg}} \rightarrow$$

$$1 \text{ kg} \times x = x \text{ kg}$$

$$\frac{1 \text{ atom C}}{1 \text{ amu}} = 12 \rightarrow$$

$$1 \text{ atom C} = 12 \text{ amu}$$

بر این پایه:

$$\frac{1 \text{ atom Fe}}{1 \text{ amu}} = 55.847 \rightarrow$$

$$1 \text{ atom Fe} = 55.847 \text{ amu}$$

اما فقط دو ایزوتوپ ^{107}Ag و ^{109}Ag در طبیعت موجود است. با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی جرمی که در جدول زیر آمده، جرم اتمی Ag را محاسبه کنید.

ایزوتوپ	جرم (amu)	فراوانی (%)
^{107}Ag	۱۰۶/۹۰۵۰۹	۵۱/۸۴
^{109}Ag	۱۰۸/۹۰۴۷۶	۴۸/۱۶

از جرم و فراوانی دو ایزوتوپ Ag، باید جرم اتمی Ag (میانگین جرم‌های ایزوتوبی) را بیابیم. هر جرم ایزوتوبی را در کسر فراوانی آن ضرب می‌کنیم تا بخش مربوط به هر ایزوتوپ در جرم اتمی به دست آید. مجموع این بخش‌های ایزوتوبی با جرم اتمی میانگین برابر است.

یافتن بخش مربوط به هر ایزوتوپ در جرم اتمی:

$$\text{فراوانی کسری} \times \text{جرم ایزوتوبی} = \text{بخش مربوط به } ^{107}\text{Ag} \text{ در جرم اتمی}$$

$$= 106/90509 \text{ amu} \times 51/84 = 55/42 \text{ amu}$$

$$108/90476 \text{ amu} \times 48/16 = 52/45 \text{ amu}$$

$$52/45 + 55/42 = 107/87 \text{ amu}$$

هر بخش را تا چهار رقم بامعنی گرد کرده‌ایم؛ زیرا تعداد ارقام بامعنی در مقادیر فراوانی برابر ۴ است. با مراجعه به جدول تناوبی مشخص می‌شود که این جرم اتمی (تا دو رقم بعد از اعشار) درست است.

بر دانش خود بیفزایید

محاسبه عدد آووگادرو

یکی از صحیح‌ترین روش‌های تعیین عدد آووگادرو، استفاده از پراش پرتو ایکس (X) است. به این صورت که با تاباندن پرتو ایکس بر بلور یک فلز، می‌توان طول یال سلول واحد را به دست آورد. سپس با استفاده از روابط کمتی میان چگالی، حجم، جرم سلول واحد و تعداد اتم‌ها (در سلول واحد) می‌توان عدد آووگادرو را حساب کرد. برای نمونه، فلز نقره در شبکه بلوری مکعبی وجوه مرکز پر متبلور می‌شود و دارای چگالی $10/5^\circ$ گرم بر سانتی متر مکعب است. طول یال سلول واحد برای این عنصر با استفاده از پراش پرتو ایکس برابر $408/6$ پیکومتر به دست آمده است (شکل ۱۵). برای یافتن جرم سلول واحد، باید حجم آن را حساب کنیم و در رابطه چگالی قرار دهیم.

$$V_{\text{سلول واحد}} = a^3 = (408/6 \times 10^{-12} \text{ m})^3 = 6/822 \times 10^{-29} \text{ m}^3$$

$$d_{\text{سلول واحد}} = \frac{m_{\text{سلول واحد}}}{V_{\text{سلول واحد}}} \Rightarrow 10/5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \left(\frac{10^\circ \text{cm}}{1 \text{ m}} \right)^3 = \frac{m_{\text{سلول واحد}}}{6/822 \times 10^{-29} \text{ m}^3}$$

$$\Rightarrow m_{\text{سلول واحد}} = 7/163 \times 10^{-22} \text{ g}$$

حال از روی جرم سلول واحد و تعداد اتم‌های موجود در آن، می‌توان جرم یک اتم نقره را حساب کرد.

$$\text{اتم } ۴ = \left(۶ \times \frac{۱}{۲}\right) + \left(۸ \times \frac{۱}{۸}\right) = \text{تعداد اتم‌ها در سلول واحد}$$

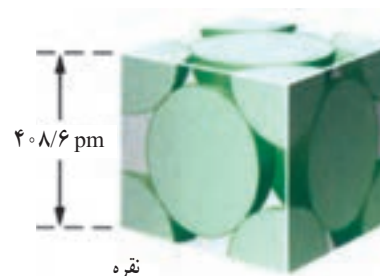
مرکز وجوه گوشه‌ها

$$\Rightarrow \text{جرم } ۱ \text{ اتم نقره} = \frac{\text{جرم سلول واحد} \times ۱۰^{-۲۲} \text{ g}}{\text{تعداد اتم‌های سلول واحد}} = \frac{۷/۱۶۳ \times ۱۰^{-۲۲} \text{ g}}{۴} = ۱/۷۹۱ \times ۱۰^{-۲۲} \text{ g}$$

در پایان، با داشتن جرم اتمی میانگین نقره، ثابت آووگادرو به صورت زیر به دست می‌آید:

$$N_A = \frac{۱۰۷/۸۲ \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{۱/۷۹۱ \times ۱۰^{-۲۲} \text{ g}} = ۶/۰۲۳ \times ۱۰^{۲۳} \text{ mol}^{-1}$$

البته عدد آووگادرو نیز برابر با $۶/۰۲۳ \times ۱۰^{۲۳}$ است. با این تفاوت که یکا ندارد.



نقره

$$d = ۱۰/۵۰ \text{ g/cm}^3$$

شکل ۱۵- سلول واحد بلور فلز نقره

دماسنج فروسرخ

در پژوهش‌های علمی بسته به گستره اندازه‌گیری دما، از سه نوع دماسنج، استفاده می‌شود. دماسنج گازی (که براساس قانون گازهای ایده‌آل کار می‌کند)، دماسنج مقاومت الکتریکی پلاتین (که براساس تغییر مقاومت الکتریکی سیم پلاتینی با دما کار می‌کند) و تفسنج (یا پیرومتر که براساس تابش‌های گرمایی کار می‌کند).

می‌دانید که هر ماده و جسم مادی بسته به دمایش، از خود تابش‌های الکترومغناطیسی گسیل می‌دارد. چنین تابش‌هایی را، تابش‌های گرمایی می‌نامند. از تابش‌های گرمایی می‌توان به‌عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری دما استفاده کرد. این روش تفسنجی و ابزار آن تفسنج نام دارد. در واقع تفسنج دستگاهی است که برخلاف اغلب دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که اندازه‌گیری دمای آن هدف ماست، دمای آن را می‌سنجد.

از تفسنج‌ها برای اندازه‌گیری و سنجش دماهای گوناگون استفاده می‌شود. تفسنج‌ها بر دو نوع هستند: تفسنج تابشی و تفسنج نوری.

یکی از انواع تفسنج تابشی، دماسنج فروسرخ است که برای اندازه‌گیری دمای پایین‌تر از ۵۰۰°C به کار می‌رود، زیرا در این گستره دمایی، تابش‌های گرمایی گسیل شده از اجسام مادی در ناحیه فروسرخ قرار می‌گیرد. برخی تفسنج‌ها برای اندازه‌گیری دما تا ۱۱۰۰°C نیز کارایی دارند.

برای محاسبه ثابت آووگادرو می‌توان از قوانین فارادی در برق‌کافت و همچنین پخش شدن ذره‌های ریز روغن بر سطح آب نیز استفاده کرد.

طیف‌های اتمی و نظریه اتمی بور^۱

با استفاده از نظریه اینشتین یکی دیگر از مسائل پیچیده فیزیک در قرن نوزدهم یعنی طیف‌های نشری اتم‌ها نیز حل شد.

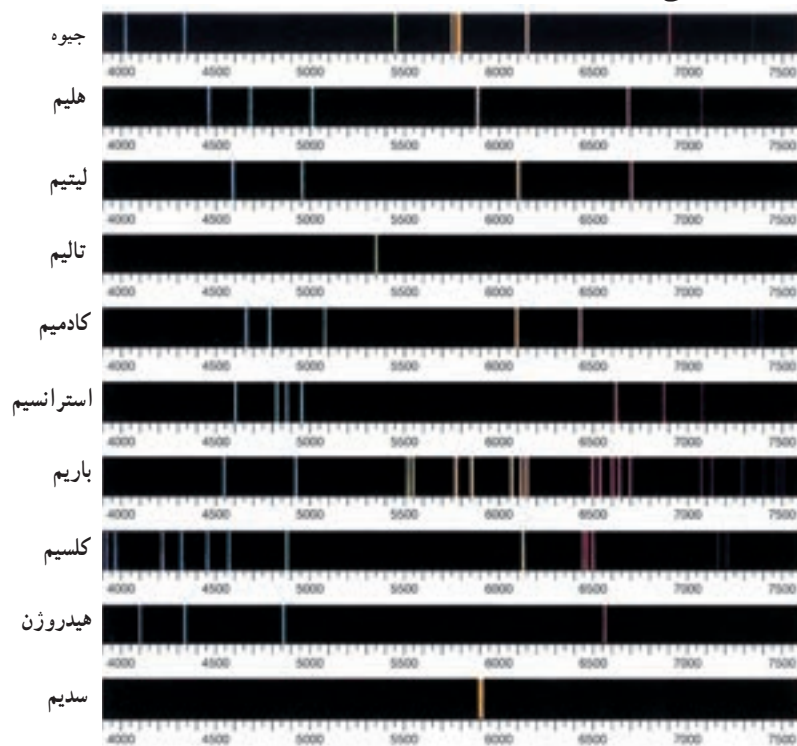
طیف‌های نشری: از قرن هفدهم که نیوتن نشان داد نور خورشید از اجزایی با رنگ‌های مختلف تشکیل شده و از ترکیب آنها، نور سفید (بخشی از طیف الکترومغناطیس) ایجاد می‌شود، شیمی‌دانان و فیزیک‌دانان به بررسی طیف‌های نشری (طیف‌های پیوسته یا خطی مربوط به تابش نشر شده از مواد) پرداختند. طیف نشری یک ماده را می‌توان با دادن انرژی گرمایی یا نوع دیگری از انرژی (مانند تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا برای مواد گازی شکل) به ماده مشاهده کرد. برای نمونه یک قطعه آهن که در کوره از شدت گرم قرمز یا سفید شده است، نوری گسیل می‌دارد که بخش مرئی طیف نشری آن را تشکیل می‌دهد. یک ویژگی مشترک بین طیف‌های نشری خورشید و یک ملتهب گرم شده، آن است که هر دو پیوسته‌اند. طیف نشری یک جامد داغ و ملتهب، به دما وابسته است.

* همان‌گونه که طیف

اما طیف‌های نشری اتم‌های گازی شکل، گستره پیوسته‌ای از طول موج‌های قرمز تا بنفش نیست. اتم‌ها خطوط روشنی را در نواحی مختلفی از طیف مرئی تولید می‌کنند. این طیف‌های خطی در واقع مربوط به نشرهایی با طول موج‌های خاص‌اند (شکل ۱۶-آ).

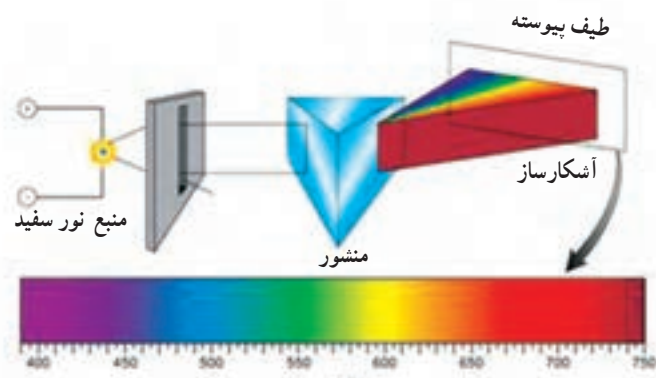
نشری سدیم نشان می‌دهد، رنگ
زرد شعله نمک‌های آن، تأییدی بر
شاخص‌ترین خط موجود در طیف
آن است.

* رنگ زرد لامپ‌های سدیم
در مه‌شکن را می‌توان دلیلی بر بالا
بودن ضریب شکست نور زرد
دانست.



شکل ۱۶- آ — طیف نشری برخی عناصرها

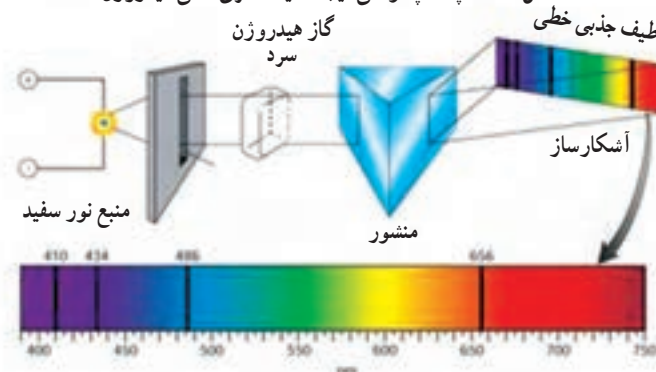
اساس طیف نثري و طيف جذبي اتم‌های گازی هر عنصر همانند شکل ۱۶- ب، پ و ت است.



شکل ۱۶- ب- چگونگی ایجاد طیف پیوسته



شکل ۱۶- پ- چگونگی ایجاد طیف نثري خطی هیدروژن



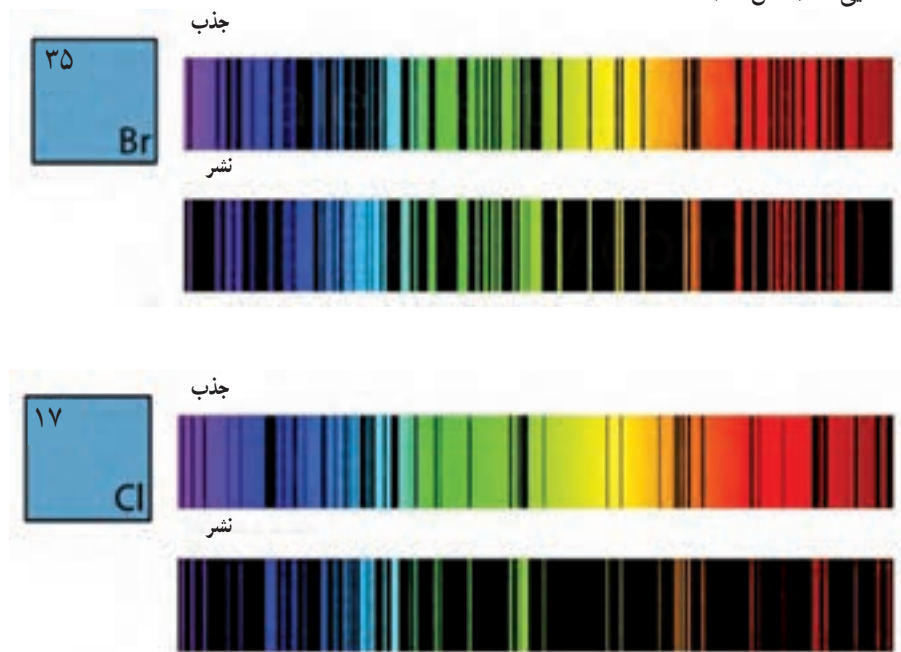
شکل ۱۶- ت- چگونگی ایجاد طیف جذبی خطی هیدروژن

اگر اتم‌های گازی یک عنصر در هر دو نوع طیف‌سنجی به کار روند، طیف نثري خطی با طیف جذبی خطی همخوانی دارد به گونه‌ای که :

۱ از روی هم گذاشتن آنها طیف پیوسته‌ای همانند آنچه که هنگام عبور نور سفید از منشور رخ می‌دهد (رنجین کمان) پدید می‌آید.

۲ اتم‌های گازی هر عنصر، همان طول موج‌هایی را که در حالت برانگیخته نشر می‌کنند تا به حالت پایه برگردند همان طول موج را در حالت پایه جذب می‌کنند، تا برانگیخته شوند.

هر عنصر، طیف نثری منحصر به فردی دارد. از خطوط مشخصه در طیف‌های اتمی می‌توان برای شناسایی اتم‌ها استفاده کرد، درست مانند اثر انگشت که برای شناسایی انسان‌ها به کار می‌رود. استفاده از خطوط نثری برای شناسایی اتم‌ها از مدت‌ها قبل در شیمی متداول بود، اما منشأ این خطوط بعدها و در اوایل قرن بیستم شناسایی شد (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- طیف نثری و جذبی عنصرهای برم و کلر

طیف نثری لیتیم

طیف نثری خطی هر عنصر در گستره مرئی، منحصر به فرد بوده و دارای نوارهای رنگی ویژه‌ای است. جایگاه هر نوار رنگی با طول موج آن مشخص می‌شود.

گاهی یک نوار رنگی ممکن است از چند خط رنگی تشکیل شده باشد که طول موج بسیار نزدیکی به یکدیگر دارند. برای نمونه در طیف نثری خطی لیتیم سه خط رنگی با طول موج‌های $460/283\text{nm}$ ، $460/290$ و $460/289$ یک نوار رنگی می‌سازند.

از سوی دیگر مشاهده برخی خطوط رنگی در طیف نثری بستگی به غلظت نمونه دارد، به طوری که برخی از آنها در هر غلظتی از نمونه مشاهده می‌شوند (Persistent lines) اما برخی دیگر با کاهش غلظت نمونه، قابل مشاهده نخواهند بود، برای نمونه خط رنگی $413/262\text{nm}$ در طیف نثری لیتیم از این دسته است.

دیگر خطوط رنگی در طیف نثری لیتیم شامل:

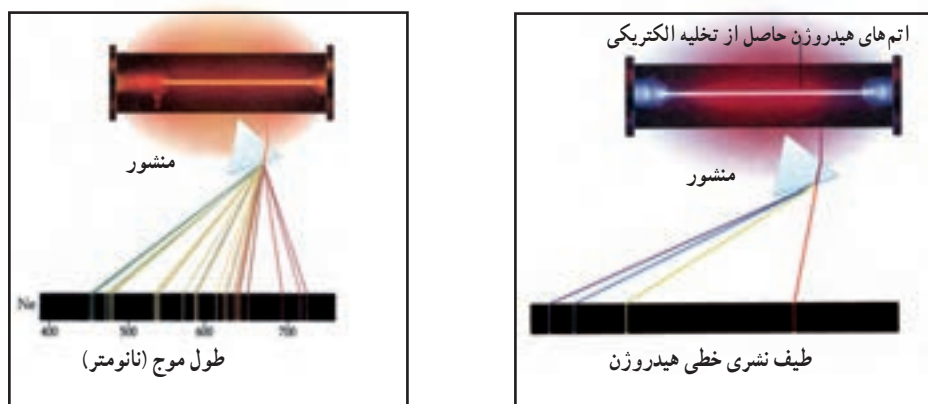
$460/290$ و $460/289$ ، $460/283\text{nm}$ ، $497/175$ ، $497/166$ ، $610/366$ ، $610/356$ ، $610/354\text{nm}$
 $670/79$ ، $670/76\text{nm}$

این خطوط رنگی، چهار نوار رنگی را در طیف نثری خطی لیتیم می‌سازند.

طیف نوری اتم هیدروژن و مدل اتمی بور

در سال ۱۹۱۳، به فاصله کمی پس از کشف پلانک و اینشتین، نیلزبور (۱۸۸۵-۱۹۶۲)، فیزیکدان دانمارکی، توصیفی نظری از طیف نوری اتم هیدروژن (شکل ۱۸) ارائه داد. این توصیف با اینکه از جنبه‌هایی نادرست است، اما در توجیه طیف‌های اتمی هیدروژن بسیار موفق بود و گام تاریخی مهمی در مسیر پیشرفت نظریه کوانتومی اتم به شمار می‌رود. پیش از بور فیزیکدانان، اتم را متشکل از یک هسته و الکترونی که به دور آن می‌چرخد، می‌دانستند. در این مدل سیاره‌ای (شبیه حرکت یک ماهواره به دور زمین، شکل ۱۹)، فرض می‌شد که نیروی الکترواستاتیکی جاذبه، بین الکترون و هسته دقیقاً با نیروی جانب به مرکز مربوط به چرخش الکترون موازنه می‌شود.

مشکلی که در مدل رادرفورد وجود دارد، آن است که، براساس مدل کلاسیکی، الکترونی که به دور هسته می‌چرخد، یک شتاب جانب به مرکز به دست می‌آورد. از طرف دیگر، هنگامی که یک ذره باردار شتابدار می‌شود، از طریق نشر تابش الکترومغناطیس مقداری انرژی از دست می‌دهد و در نتیجه در مدار کوچک‌تری حرکت می‌کند. بنابراین، با پذیرفتن چنین مدلی، الکترون در زمانی حدود 10^{-9} s باید روی هسته سقوط کند و هیچ اتمی پایدار نمی‌ماند.

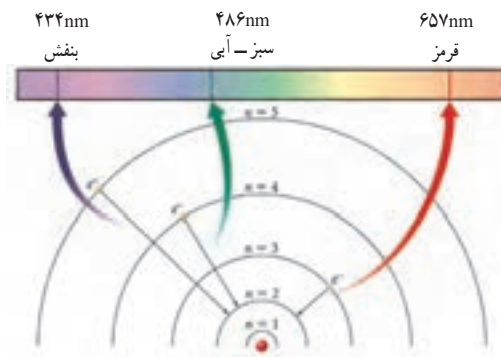


شکل ۱۸- طیف نوری اتم هیدروژن



شکل ۱۹- حرکت یک ماهواره حول زمین

بور برای پاسخ دادن به این ابهام، محدودیتی را برای حرکت چرخشی الکترون به دور هسته در نظر گرفت. در اتم هیدروژن الکترون تک، فقط مجاز است در مدارهای معینی (که او آنها را حالت‌های ایستا نامید) حرکت کند. از آنجا که هر مدار به انرژی وابسته است، انرژی‌های مربوط به حرکت الکترون در این مدارهای مجاز نیز باید دارای مقادیری معین بوده و با کوانتیده باشد. بور فرض کرد که یک الکترون تا زمانی که در یک مدار معین قرار دارد، انرژی از دست نمی‌دهد. همچنین خطوط طیف نشری مربوط به انتقال الکترون از یک مدار مجاز به مدار دیگری با انرژی پایین‌تر است که سبب آزاد شدن یک کوانتوم انرژی (یک فوتون) به شکل نور می‌شود (شکل ۲۰). انرژی این فوتون ($h\nu$) برابر با اختلاف انرژی دو مدار است.



شکل ۲۰- فرایند نشر در یک اتم برانگیخته بر اساس نظریه بور

بور عبارت‌هایی برای شعاع و انرژی مدارهای معین اتم هیدروژن به دست آورد. به این منظور، او از این فرض استفاده کرد که اندازه حرکت زاویه‌ای الکترونی که به دور هسته می‌چرخد، کوانتیده است. در حالت ایستای n ام (n یک عدد صحیح مثبت است)، اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون برابر با $n\hbar$ است ($\hbar = h/2\pi$).

$$l = mvr \quad (۱۴)$$

در این رابطه m ، نشان‌دهنده جرم، v نشان‌دهنده سرعت و r شعاع دوران است. با فرض برابری نیروی جاذبه هسته - الکترون و نیروی جانب به مرکز حرکت چرخشی الکترون، می‌توان عبارتی برای سرعت الکترون به دست آورد:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (۱۵)$$

با محاسبه سرعت الکترون از رابطه (۱۵) و قرار دادن در معادله (۱۴) خواهیم داشت:

$$n\hbar = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 v} \quad (۱۶)$$

$$v_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 n \hbar} \quad (17)$$

برای شعاع مدار n ام داریم :

$$r_n = n^2 a_0 \quad (18)$$

که در آن :

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} \quad (19)$$

کمیت a_0 شعاع بور نام دارد. با استفاده از مقادیر ثابت پلانک، بار و جرم الکترون، شعاع بور به دست

$$a_0 = 5/292 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.5292 \text{ \AA} \quad (20)$$

می آید :
اگر انرژی پتانسیل الکترون در اتم هیدروژن ($Z = 1$) بر پایه قانون کولن برابر با $\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ باشد، در مورد انرژی کل یک الکترون می توان نوشت :

$$E = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (21)$$

با استفاده از معادله (۱۵) داریم :

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = m v^2 \quad (22)$$

$$E_n = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_0 n^2} \quad (23)$$

بنابراین :

$$E_n = -R_H \left(\frac{1}{n^2} \right) \quad (24)$$

یا

در رابطه (۲۴) با بزرگ شدن n ،

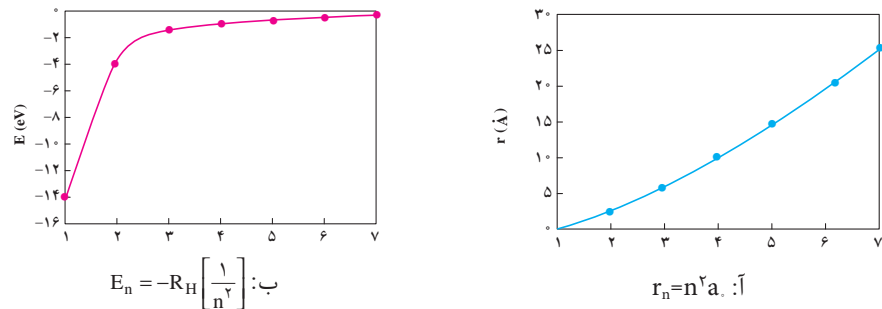
$\frac{1}{n^2}$ کوچک شده، در حالی که $-\frac{1}{n^2}$ بزرگ تر می شود :

$$-\frac{1}{\infty} (=0) < -\frac{1}{9} < -\frac{1}{4} < -\frac{1}{1}$$

یونش هنگامی که الکترون در دورترین فاصله نسبت به هسته قرار می گیرد و از میدان جاذبه هسته خارج می شود، برهم کنشی با آن ندارد و انرژی پتانسیل برابر با صفر خواهد شد.

R_H که ثابت ریدبرگ نام دارد، برابر با $2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$ است. عدد n ، عدد کوانتومی اصلی نام دارد و دارای مقادیر ∞ و 7 و 6 و 5 و 4 و 3 و 2 و 1 است.

علامت منفی در معادله (۲۴) قراردادی و اختیاری بوده و نشان می دهد انرژی یک الکترون در یک اتم، پایین تر از انرژی یک الکترون آزاد (الکترونی در فاصله بی نهایت از هسته اتم) است. براساس این قرارداد، به انرژی الکترون آزاد نیز مقدار صفر اختصاص داده می شود که از نظر ریاضی معادل با قرار دادن بی نهایت به جای n در معادله (۲۴) است؛ به طوری که $E_{\infty} = 0$. با نزدیک تر شدن الکترون به هسته (افزایش n)، E_n منفی تر و قدر مطلق آن بزرگ تر می شود. منفی ترین مقدار، مربوط به $n = 1$ بوده که با پایدارترین حالت انرژی همخوانی دارد. این حالت، حالت پایه نامیده می شود. با افزایش n ، پایداری الکترون کاهش می یابد. هریک از ترازهای مربوط به $n = 2, 3, \dots$ یک حالت برانگیخته نام دارد که انرژی آن از حالت پایه بیشتر است. گفته می شود اتم هیدروژنی که الکترون آن دارای n بزرگ تر از ۱ باشد، برانگیخته شده است. شعاع هریک از مدارهای بور به n^2 بستگی دارد. بنابراین، با افزایش n ، شعاع بور به سرعت افزایش می یابد. شکل ۲۱ نمودارهای شعاع و انرژی الکترون در اتم هیدروژن را برحسب n نشان می دهد.



شکل ۲۱- نمودار تغییرات (آ) شعاع تراز ب) انرژی الکترون اتم هیدروژن در نظریه بور

با استفاده از نظریه بور می‌توان طیف خطی اتم هیدروژن را تفسیر کرد. انرژی تابشی جذب شده به وسیله اتم سبب می‌شود که الکترون از حالتی با انرژی کمتر (n کوچک‌تر) به حالتی با انرژی بیشتر (n بزرگ‌تر) منتقل شود. برعکس، هنگامی که الکترون از یک حالت پرانرژی‌تر به یک حالت کم‌انرژی‌تر می‌رود، انرژی تابشی (به شکل فوتون) نشر می‌شود.

حرکت کوانتیده الکترون از یک حالت انرژی به حالت دیگر، مشابه حرکت یک توپ تنیس به سمت بالا یا پایین در یک پلکان است. توپ می‌تواند روی هریک از پله‌ها باشد، اما هرگز بین پله‌ها قرار نمی‌گیرد. حرکت از پله پایین‌تر به پله بالاتر نیازمند صرف انرژی است، اما حرکت در جهت عکس، انرژی آزاد می‌کند. مقدار انرژی مبادله شده در یک حرکت به فاصله بین پله‌های مبدأ و مقصد بستگی دارد. به طور مشابه، در مدل اتمی بور نیز مقدار انرژی لازم برای جابه‌جایی الکترون به اختلاف انرژی بین حالت‌های آغازی و پایانی بستگی دارد.

برای اعمال معادله (۲۴) به فرایند نشر در اتم هیدروژن، فرض می‌کنیم که الکترون در ابتدا در یک حالت برانگیخته با عدد کوانتومی اصلی n_i است. در فرایند نشر، الکترون به یک حالت کم‌انرژی‌تر با عدد کوانتومی اصلی n_f سقوط می‌کند. این حالت کم‌انرژی‌تر، ممکن است یک حالت برانگیخته دیگر یا حالت پایه باشد. اختلاف انرژی بین حالت‌های پایانی و آغازی عبارت است از:

$$\Delta E = E_f - E_i \quad (25)$$

با استفاده از معادله (۲۴) داریم:

$$E_i = -R_H \left(\frac{1}{n_i^2} \right) \quad \text{و} \quad E_f = -R_H \left(\frac{1}{n_f^2} \right)$$

بنابراین :

$$= R_H \left(\frac{1}{n_i^2} \right) - \left(\frac{1}{n_f^2} \right) \quad (26)$$

از آنجا که این انتقال به نشر یک فوتون با فرکانس ν یا انرژی $h\nu$ منجر می شود (معادله ۲۶)، می توان نوشت :

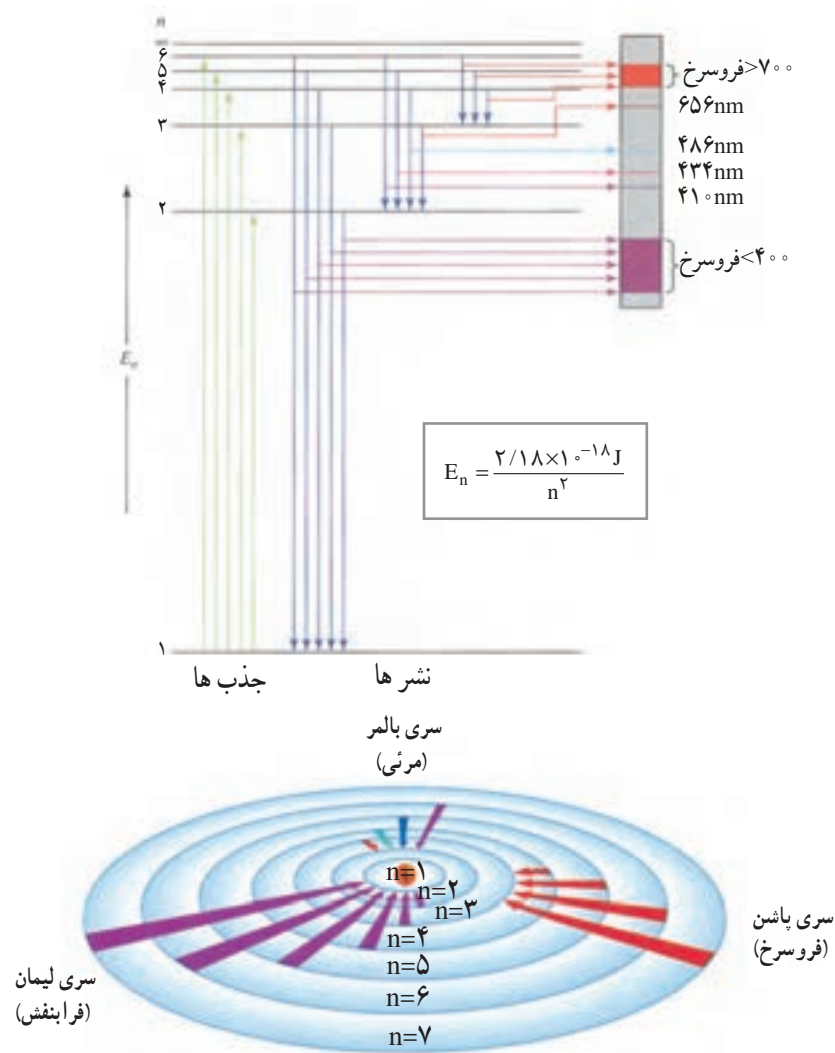
$$\Delta E = h\nu = R_H \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (27)$$

هنگامی یک فوتون نشر می شود که $n_i > n_f$ باشد. بنابراین، جمله درون پرانتز منفی و ΔE نیز منفی است (انرژی در محیط آزاد می شود). هنگامی انرژی جذب می شود که $n_i < n_f$ باشد. در این صورت ΔE مثبت است. هر خط طیفی در طیف نشری با یک انتقال خاص در اتم هیدروژن متناظر است. هنگام مطالعه تعداد زیادی از اتم های هیدروژن همه انتقال های ممکن، مشاهده شده و بنابراین همه خطوط طیفی نیز ظاهر می شوند. شدت روشنی خطوط طیفی به تعداد الکترون های نشر شده با طول موج معین بستگی دارد.

طیف نشری هیدروژن دارای محدوده وسیعی از طول موج ها از فروسرخ تا فرابنفش است (جدول ۹). هر مجموعه براساس کاشف آن نام گذاری شده است. مطالعه سری بالمر ساده تر است؛ زیرا تعدادی از خطوط طیفی آن در محدوده مرئی قرار دارد (شکل ۲۲).

جدول ۹ — سری های مختلف در طیف نشری اتم هیدروژن

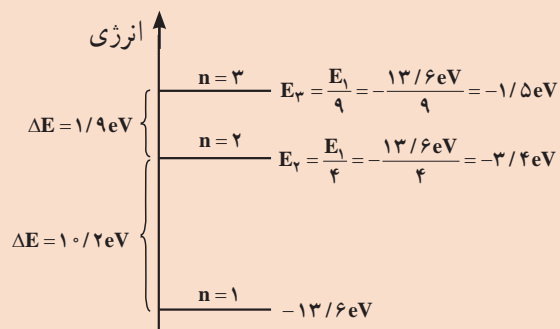
سری	n_f	n_i	ناحیه طیفی
لیمان	۱	۲، ۳، ۴، ...	فرابنفش
بالمر	۲	۳، ۴، ۵، ...	مرئی و فرابنفش
پاشن	۳	۴، ۵، ۶، ...	فروسرخ
براکت	۴	۵، ۶، ۷، ...	فروسرخ



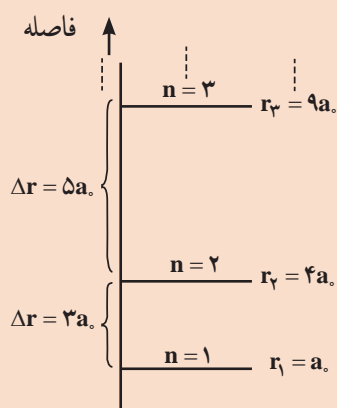
شکل ۲۲- طیف نشری هیدروژن براساس مدل بور

مدل بور با وجود موفقیت در توجیه خطوط طیفی اتم هیدروژن، محدودیت‌هایی نیز دارد. این مدل اساساً مدلی تک‌الکترونی است و فقط برای اتم هیدروژن و دیگر گونه‌های هیدروژن – مانند $(\text{He}^+, \text{Li}^{2+}, \text{Be}^{3+}, \text{B}^{4+}, \text{C}^{5+}, \text{N}^{6+}, \text{O}^{7+}, \dots)$ که یک الکترون دارند، رضایت‌بخش است. برای گونه‌هایی که بیش از یک الکترون دارند، افزون بر جاذبه‌های هسته – الکترون، دافعه‌های الکترون – الکترون اضافی نیز وجود دارد که استفاده از مدل بور را ناممکن می‌کنند. افزون بر آن، مدل اتمی بور قادر به توجیه شدت خطوط طیفی و ظهور خطوط طیفی اضافی در حضور میدان‌های مغناطیسی همچنین چگونگی تشکیل مولکول‌ها از اتم‌ها نیست. با اینکه نظریه بور به‌عنوان یک توصیف دقیق و علمی از اتم، نادرست است اما هنوز هم از عباراتی نظیر حالت پایه و حالت برانگیخته استفاده می‌شود و ایده اصلی مدل بور یعنی کوانتیده بودن انرژی یک اتم، همچنان معتبر است.

انرژی هر تراز با تفاوت انرژی میان ترازها، همچنین فاصله هر تراز تا هسته با فاصله میان ترازها، متفاوت است. این ویژگی‌ها در نمودارهای زیر آمده است.



* با افزایش n ، به تدریج E_n بزرگ‌تر و ΔE برای دو تراز متوالی کوچک‌تر می‌شود.



* با افزایش n ، به تدریج r_n بزرگ‌تر و Δr نیز بزرگ‌تر می‌شود.

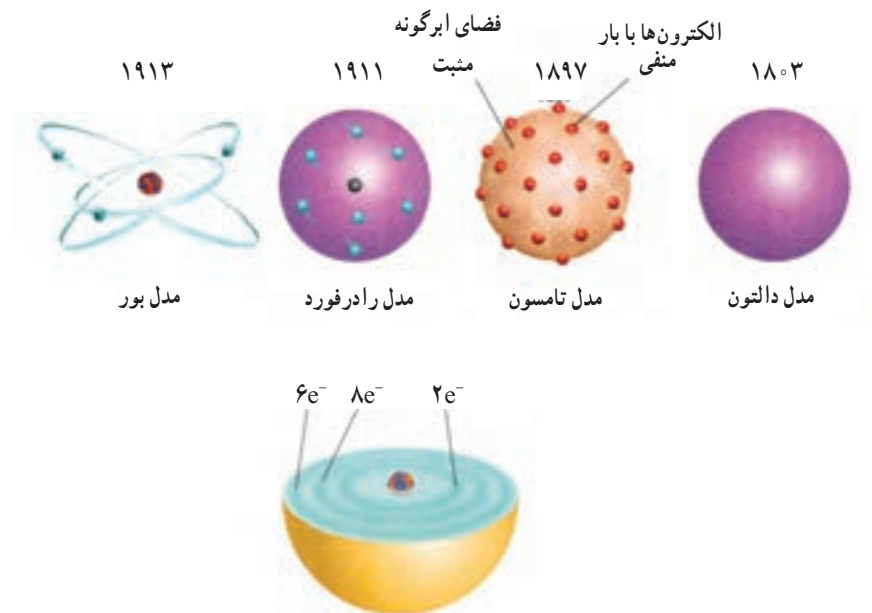
بدون شک، مدل بور نقش مهمی در درک ما از اتم‌ها دارد و این اعتقاد بور که انرژی یک الکترون در اتم کوانتیده است کاملاً درست است، اما این نظریه توصیف کاملی از رفتار الکترون در اتم‌ها ارائه نمی‌دهد. در سال ۱۹۲۶، اروین شرودینگر^۱ (۱۸۸۷-۱۹۶۱)، فیزیک‌دان اتریشی، با استفاده از روش ریاضی پیچیده‌ای، معادله‌ای را (مشابه با قوانین حرکت نیوتن برای اجسام ماکروسکوپی) فرمول‌بندی کرد. در این معادله، هم رفتار ذره‌ای (برحسب جرم، m) و هم رفتار موجی (برحسب یک تابع موج، ψ) که به موقعیت سیستم در فضا بستگی دارد) در نظر گرفته شده است.

^۱ — E. Schrodinger

$$-\frac{\hbar^2}{8\pi^2m}\left[\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right]+V\psi=E\psi \quad (32)$$

هریک از پاسخ‌های معادله شرودینگر (یعنی هر حالت انرژی یک اتم) به یک تابع موج معین وابسته است که یک اوربیتال اتمی نیز نامیده می‌شود. گفتنی است واژه اوربیتال در مدل مکانیک کوانتومی، هیچ شباهتی به یک مدار در مدل بور ندارد. در مدل بور یک مدار را مسیر حرکت یک الکترون به دور هسته در نظر می‌گیرند، در حالی که یک اوربیتال، تابعی ریاضی است که هیچ مفهوم یا معادل فیزیکی آشکاری ندارد.

بر اساس مطالب ارائه شده تاکنون، سیر تکاملی مدل‌های اتمی همانند شکل ۲۳ است.



شکل ۲۳- خلاصه‌ای از نظریه‌هایی که نظریه کلاسیکی را به نظریه کوانتومی رساند. مدل‌های ارائه شده برای هرکدام از این نظریه‌ها نیز نشان داده شده است.

الگوی زیر روند و سیر تکامل نظریه کلاسیک برای ماده و انرژی را تا رسیدن به نظریه کوانتومی نشان می‌دهد:



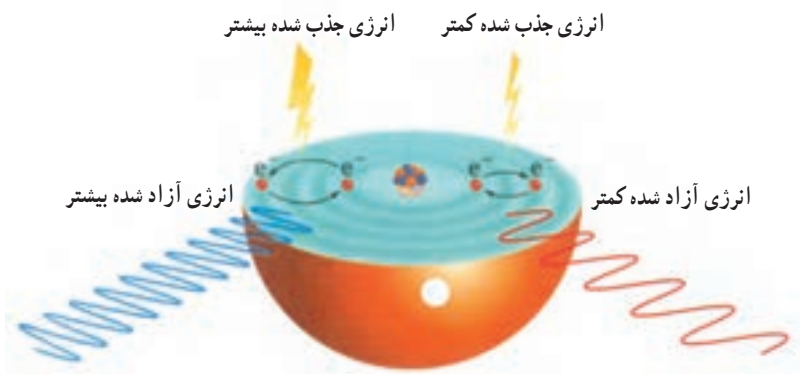
الکترون در هر تراز دارای مقدار مشخصی انرژی است و بین ترازها نمی تواند قرار گیرد (شکل ۲۴) و می تواند با جذب انرژی به ترازهای بالاتر جهش کند یا با نشر انرژی به ترازهای پایین تر منتقل شود (شکل ۲۴).

خرمن گندم از دور به صورت
توده ای زردرنگ و زیبا است. دیدن
آن از نزدیک دانه های جدا از هم را
نشان می دهد. پیوستگی توده ماده
در نگاه ماکروسکوپی و کوانتیده بودن
آن در نگاه میکروسکوپی با این مثال
قابل توصیف است.



شکل ۲۴- انرژی الکترون کوانتومی است.

شکل ۲۵ روند جذب و نشر انرژی هنگام جابه جایی الکترون در اتم بر اساس مدل کوانتومی را نشان می دهد.

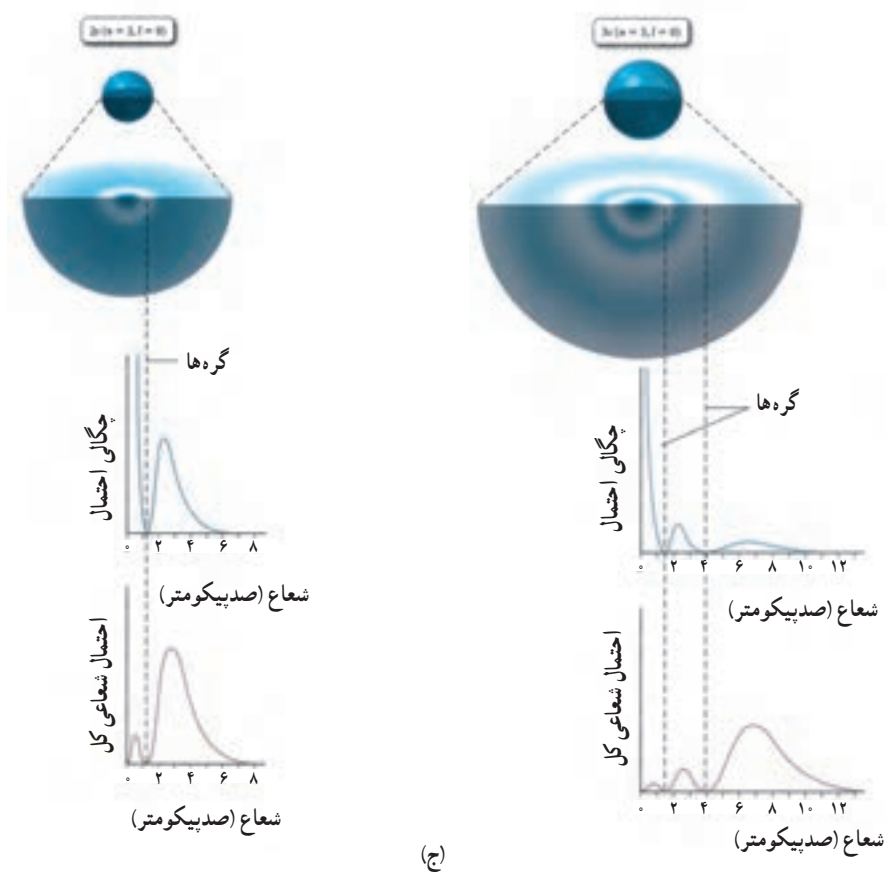
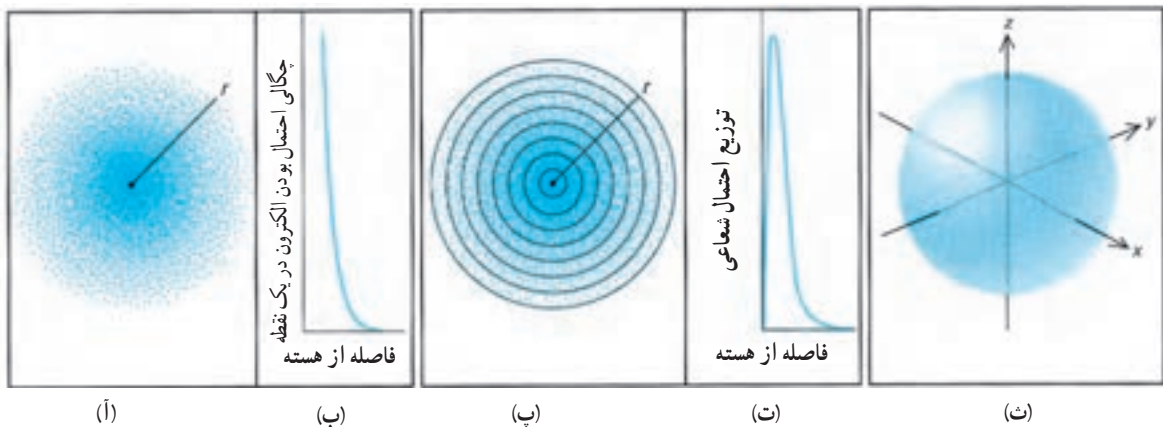


شکل ۲۵- در نتیجه جابه جایی الکترون، انرژی جذب یا نشر می شود

براساس اصل عدم قطعیت، تعیین موقعیت و اندازه حرکت دقیق الکترون در هر لحظه ممکن نیست. با این حال، می توان توضیح داد که الکترون احتمالاً کجاست؛ در چه محلی بیشترین احتمال برای حضور یک الکترون وجود دارد یا الکترون در کجا وقت بیشتری را سپری می کند. با آنکه تابع موج (اوربیتال اتمی) هیچ مفهوم فیزیکی مستقیمی ندارد، مربع تابع موج (ψ^2) با چگالی احتمال (معیاری از احتمال یافتن الکترون در یک حجم بسیار کوچک با شرایط ویژه از اتم) برابر است (ψ می تواند مقادیر مثبت یا منفی داشته باشد، اما ψ^2 همیشه مثبت بوده و برای مقداری که یک احتمال را نشان می دهد، قابل انتظار است). برای یک تراز انرژی معین، می توان این احتمال را با یک نمودار چگالی احتمال الکترونی یا به طور خلاصه نمودار چگالی الکترونی نمایش داد. در شکل ۲۶-آ، مقدار ψ^2 برای یک حجم معین به صورت چگالی معینی از نقاط نشان داده شده است. هرچه چگالی نقاط بیشتر باشد، احتمال یافتن الکترون در آن حجم بالاتر است.

نمودارهای چگالی الکترونی گاهی نمایش های «ابر الکترونی» نامیده می شوند. اگر بتوانیم عکسی با نوردهی طولانی از الکترون در حرکت موجی اطراف هسته بگیریم، به صورت «ابری» از موقعیت های الکترونی ظاهر می شود. ابر الکترونی تصویری ذهنی از الکترون است که به سرعت با زمان تغییر موقعیت می دهد؛ این به آن مفهوم نیست که یک الکترون ابری پراکنده از بار است. توجه کنید که چگالی احتمال الکترونی با افزایش فاصله از هسته (r) در امتداد یک خط، کاهش می یابد. همین مفهوم در نمودار ψ^2 برحسب r در شکل ۲۶-ب نیز به طور گرافیکی نشان داده شده است. توجه شود که به دلیل ضخامت خط رسم شده، نمودار روی محور قرار گرفته است، اما در واقع احتمال اینکه یک الکترون از هسته دور باشد، بسیار کم، اما غیر صفر است.

احتمال کلی یافتن الکترون در هر فاصله r از هسته کمیت مهمی است. برای یافتن این احتمال به طور ذهنی فضای اطراف هسته را به لایه های کروی نازک و هم مرکز (مانند لایه های یک پیاز) تقسیم (در شکل ۲۶-پ به صورت سطح مقطع هایی نشان داده شده اند) و بررسی می کنیم تا بدانیم بیشترین احتمال برای یافتن الکترون در کدام لایه کروی وجود دارد. این نمودارها بررسی مجموع مقادیر ψ^2 درون هر لایه کروی است. کاهش شدید چگالی الکترونی با فاصله (در شکل ۲۶-ت) اثر مهمی دارد. در نزدیکی هسته، سرعت افزایش حجم در لایه بیشتر از سرعت کاهش چگالی احتمالی آن است. در نتیجه، احتمال کلی یافتن الکترون در لایه دوم بیشتر از لایه اول است. با این حال، چگالی الکترونی به قدری شدید کاهش می یابد که این اثر در فاصله های بزرگ تر زود از بین می رود. بنابراین، در فاصله های بزرگ تر با اینکه حجم لایه ها همچنان در حال افزایش است، احتمال کلی هر لایه به تدریج کم می شود. به دلیل این اثرهای متضاد، کاهش چگالی احتمال الکترونی و افزایش حجم لایه، احتمال کلی در فاصله ای معین از هسته، یک پیک نشان می دهد. شکل ۲۶-ث این اثر را به صورت یک نمودار توزیع احتمال شعاعی نشان می دهد.



شکل ۲۶- چگالی احتمال الکترونی در اتم هیدروژن (حالت پایه و برانگیخته)

قله توزیع احتمال شعاعی برای اتم H در حالت پایه در فاصله 529 Å یا $10^{-11} \times 529$ از هسته ظاهر می‌شود و با شعاع بور که برای نزدیک‌ترین مدار به هسته به‌دست آمده، برابر است (شکل ۲۶-ج). بنابراین، حداقل برای حالت پایه، مدل شرودینگر پیش‌بینی می‌کند که الکترون بیشترین زمان خود را در همان فاصله‌ای از هسته سپری می‌کند که براساس پیش‌بینی بور تمام زمان خود را در آن می‌گذراند. تفاوت بین واژه‌های «بیشترین» و «تمام» منعکس‌کننده عدم قطعیت در موقعیت الکترون در مدل شرودینگر در مقایسه با مدل بور است.

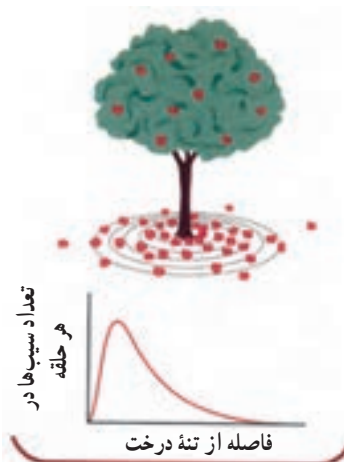
تا چه فاصله‌ای از هسته می‌توان الکترونی پیدا کرد؟ یا به‌طور معادل «اندازه اتم چقدر است؟» از شکل ۲۶-ب به یاد آورید که احتمال یافتن الکترون در فاصله‌ای دور از هسته صفر نیست. بنابراین، نمی‌توان حجم معینی به اتم نسبت داد. با این حال، اتم‌ها اغلب با یک احتمال 90% نمایش داده می‌شوند، مانند آنچه در شکل ۲۶-ث نشان داده شده است. شکل ۲۶-ث حجمی را نشان می‌دهد که الکترون اتم هیدروژن 90% از وقت خود را درون آن سپری می‌کند.

گازهای نجیب (عنصرهای گروه ۱۸)

عنصرهای این گروه تا مدت‌ها، گازهای «بی‌اثر» یا «نادر» نامیده می‌شدند ولی دیگر این نام‌گذاری درست نیست! اکنون عنصرهای این گروه، فعالیت شیمیایی ویژه و نسبتاً محدود دارند. این گازها (Rn و Xe، Kr، Ar، Ne، He) در هوا وجود دارند و از فراورده‌های جانبی تقطیر جزء به جزء هوای مایع می‌باشند. درصد هلیوم در ذخایر معینی از گاز طبیعی بالاتر از هواست. هلیوم دومین عنصر فراوان جهان و آرگون سومین عنصر در هوای خشک است.







جدول ۱- درصد فراوانی گازهای تشکیل‌دهنده هواکره

ترکیب هوای خشک	
گاز	درصد حجمی
N_2	۷۸/۰۳
O_2	۲۰/۹۹
Ar	۰/۹۳
CO_2	۰/۰۳
Ne	۰/۰۰۱۵
H_2	۰/۰۰۱۰
He	۰/۰۰۰۵
Kr	۰/۰۰۰۱
Xe	۰/۰۰۰۰۸
Rn	بسیار ناچیز



شکل ۲۷- نموداری از «تعداد سبب‌های درون یک حلقه» در فاصله خاصی از درخت یک پیک نشان می‌دهد که مشابه با شکل ۲۶-پ است.

توزیع احتمال شعاعی سبب‌ها تشبیهی است که می‌تواند روشن کند چرا نمودار توزیع احتمال شعاعی یک پیک نشان می‌دهد و سپس سقوط می‌کند. سبب‌هایی را در نظر بگیرید که از درخت سبب پایین افتاده‌اند؛ چگالی سبب‌ها نزدیک تنه درخت بزرگ‌تر است و با افزایش فاصله از تنه درخت کمتر می‌شود. زمین اطراف درخت را به حلقه‌های هم‌مرکز به فاصله یک قدم تقسیم می‌کنیم و سبب‌های درون هر حلقه را جمع می‌زنیم. چگالی سبب‌ها در اولین حلقه دارای بیشترین مقدار است، اما حلقه دوم به دلیل افزایش شعاع دایره مساحت بزرگ‌تری دارد و بنابراین شامل تعداد کلی سبب بیشتری است. با دور شدن از تنه درخت حلقه‌ها مساحت بیشتری دارند اما چگالی سبب‌ها در آنها کمتر است.

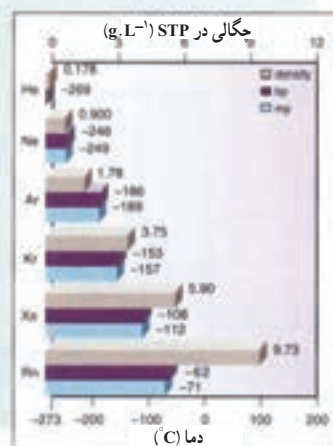
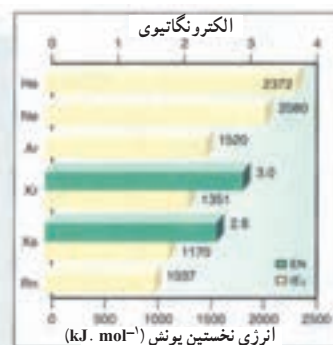
راه‌ها	عدد اتمی نماد جرم اتمی آرایش الکترونی‌های ظرفیت حالت‌های اکسایش متداول
	2 He 4.003 1s ² (none)
	10 Ne 20.18 2s ² 2p ⁶ (none)
	18 Ar 39.95 3s ² 3p ⁶ (none)
	36 Kr 83.80 4s ² 4p ⁶ (+2)
	54 Xe 131.3 5s ² 5p ⁶ (+2, +4, +6, +8)
	86 Rn (222) 6s ² 6p ⁶ (+2)



Atomic radius (pm)
He 31
Ne 71
Ar 96
Kr 112
Xe 131
Rn (142)

خواص اتمی: به جز He که آرایش الکترونی 1s² دارد، آرایش الکترونی دیگر اتم‌ها به ns²np⁶ ختم می‌شود. از Kr، Xe و Rn ترکیب‌هایی شناخته شده است. Xe با واکنش‌پذیری بیشتر در ترکیب‌ها با عدد اکسایش +۲ تا +۸ یافت شده است. این گروه دارای عنصرهایی با بیشترین IE_۱ در هر دوره است. از بالا به پایین با افزایش عدد اتمی، شعاع افزایش و IE کاهش می‌یابد.

خواص فیزیکی: دمای ذوب و جوش بسیار پایین عنصرهای این گروه نشان‌دهنده نیروهای جاذبه بسیار ضعیف میان ذره‌های آنهاست. از بالا به پایین با اینکه نیروهای پراکندگی قوی‌تر می‌شود، ولی در گستره دمایی کمی، به حالت مایع هستند. از بالا به پایین جگالی آنها نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۲۸- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی گازهای نجیب

نخستین بار هنری کاوندیش در سال ۱۷۶۶ هنگام آزمایش روی هوا، توانست با حذف نیتروژن (هواى فلورسته شده)، گاز اکسیژن و گاز کربن دی اکسید (با روش های شیمیایی)، مقدار ناچیز و ناخالصی به اندازه یک قسمت در ۱۲۰ از گاز ناشناخته ای تهیه کند که باعث جلوگیری از انجام واکنش می شد. پس از یک قرن دریافتند این جزء ناشناخته مخلوطی از گاز آرگون و دیگر گازهای نجیب است.

در خورشید گرفتگی سال ۱۸۶۸، خط نشری جدیدی در طیف هاله خورشید دیده شد که مربوط به هیچ عنصر شناخته شده ای نبود. در آن زمان دو دانشمند به نام های جی. ان. لوک لیر و ای. فرانکلند وجود عنصر جدیدی را پیش بینی کردند که نام مناسب هلیوم (با ریشه یونانی هم ارز با خورشید) به آن داده شد. در سال های آغازین دهه ۱۸۹۰ دو پژوهشگر به نام های لرد رابلی و ویلیام رامسی، به اختلافی میان چگالی گاز نیتروژن جداسازی شده از هوا و نیز گاز نیتروژن جداسازی شده از آمونیاک دست یافتند. آنها با آزمایش های دشوار و پیوسته، شناسایی عنصر جدیدی را پیش بینی کردند که در جدول پس از کلر جای می گیرد. آنها در سال ۱۸۹۵ با گزارشی کامل از آزمایش های خود، آرگون را معرفی نمودند (آرگون واژه ای یونانی هم ارز با کار نکن یا تنبل است).

نزدیک به سه سال رامسی و ام. دبلیو. تراورس سه عنصر دیگر به نام های نئون (در زبان یونانی هم ارز با جدید)، کریپتون (در زبان یونانی هم ارز با پنهان) و زنون (در زبان یونانی هم ارز با غریب) را از تقطیر جزء به جزء هوای مایع در دماهای پایین جداسازی کردند. آخرین گاز نجیب (رادون) در سال ۱۹۰۲ از فراورده تلاشی هسته ای جداسازی شد.

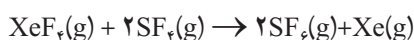
گاز آرگون برای پر کردن لامپ های روشنایی به کار می رود؛ زیرا با افروزه (فیلامان) داغ واکنش نمی دهد و با انتقال گرما از آن، بر عمر فیلامان می افزاید. این گاز نیز به عنوان محیط بی اثر (خشی) در جوش کاری و لحیم کاری در فرایندهای متالورژیکی به کار می رود. در این فرایندها آرگون، فلز داغ را از اکسایش محافظت می کند. هلیوم در بالن های سبک تر از هوا (چگالی آن نزدیک به ۱۴٪ چگالی هواست) و برای انجام فرایندها در دماهای پایین به کار می رود؛ زیرا دمای جوش هلیوم از مواد شیمیایی شناخته شده کمتر است (۴/۲K). هلیوم یکی از سازنده های اصلی ستاره هاست. چراغ های نئون از حباب های تخلیه شده دارای گاز نئون با فشار پایین تر ساخته می شوند. طیف نشری نئون عامل رنگ قرمز - نارنجی روشن در تابلوهای نئونی است.

با این که همه ایزوتوپ های رادون پرتوزا هستند ولی نسبت به وجود آن در بیشتر خانه ها نگرانی وجود دارد؛ زیرا رادون عاملی پنهان برای ابتلا به سرطان ریه به شمار می رود (رادون بیشتر از دیوارهای زیرزمین و کف اتاق ها وارد خانه می شود).

همه گازهای نجیب به دلیل آرایش الکترونی پایدار، تک اتمی هستند.

در سال ۱۹۶۲ نیل بارتلت دریافت که PtF_6 هنگامی که در معرض هواست، تغییر رنگ می دهد. او به همراه دی. اچ. لو همان نشان داد که PtF_6 یک اکسنده بسیار قوی است و تغییر رنگ به دلیل $Xe^+[PtF_6]^-$ است. هر چند که بعدها دریافتند این تغییر رنگ به دلیل مخلوط پیچیده ای از چند ترکیب زنون است.

در چند ماه پس از آن، ترکیب‌های XeF_2 و XeF_4 بررسی شد و امروزه ده‌ها ترکیب از گازهای نجیب شناخته شده است (ولی باز هم شمار آنها در مقایسه با ترکیب‌های عنصرهای دیگر گروه‌ها، نسبتاً کم است). ترکیب‌های پایدار شناخته شده تنها از کریپتون، زنون و رادون است. تنها یک ترکیب دوتایی از کریپتون، KrF_2 با قطعیت شناخته شده که در 1°C به عنصرهای سازنده‌اش تجزیه می‌شود. بیشتر ترکیب‌های پایدار گازهای نجیب از ترکیب‌های زنون با عنصرهای الکترونگاتیو مانند O ، F و Cl بوده و نیز شماری ترکیب با پیوندهای $\text{Xe}-\text{C}$ ، $\text{Xe}-\text{N}$ ، و حتی $\text{Xe}-\text{Cr}$ گزارش شده است. ترکیب‌های فلوئوردار زنون، عامل‌های فلوئوردارکننده مناسبی به شمار می‌روند؛ برای نمونه:











































XeF_4 در آب پایدار است. XeF_4 و XeF_6 در آب به دلیل آب‌کافت، XeO_3 تولید می‌کنند. XeO_3 به صورت خطرناکی منفجر شونده است.

جدول ۱۱- برخی ویژگی‌های ترکیب‌های Xe

ویژگی ترکیب	دمای ذوب ($^\circ\text{C}$)	طول پیوند (pm)	شکل فضایی	$\Delta H_{\text{تشکیل}}$ ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)
XeF_2	۱۲۹	۲۰۰	خطی	-۱۰۹
XeF_4	۱۱۷/۱	۱۹۵/۲	مسطح مربعی	-۲۱۸
XeF_6	۴۹	-	هشت وجهی	-۲۹۸

قاعده هشت تایی در تشکیل یون‌ها

گروه ۱		گروه ۲		گروه ۱۳		گروه ۱۶		گروه ۱۷	
Li^+	Li	Be^{2+}	Be	B^{3+}	B	O	O^{2-}	F	F^-
									
0.68	1.34	0.31	0.90	0.23	0.82	0.73	1.40	0.71	1.33
Na^+	Na	Mg^{2+}	Mg	Al^{3+}	Al	S	S^{2-}	Cl	Cl^-
									
0.97	1.54	0.66	1.30	0.51	1.18	1.02	1.84	0.99	1.81
K^+	K	Ca^{2+}	Ca	Ga^{3+}	Ga	Se	Se^{2-}	Br	Br^-
									
1.33	1.96	0.99	1.74	0.62	1.26	1.16	1.98	1.14	1.96
Rb^+	Rb	Sr^{2+}	Sr	In^{3+}	In	Te	Te^{2-}	I	I^-
									
1.47	2.11	1.13	1.92	0.81	1.44	1.35	2.21	1.33	2.20

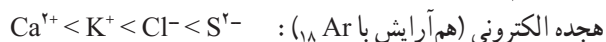
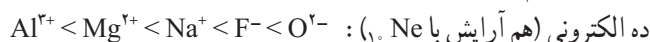
آیا همه فلزها هنگام تشکیل کاتیون از قاعده هشت تایی پیروی می‌کنند؟

از آنجا که نوع و اندازه یون‌ها نقش مهمی در تعیین ساختار و پایداری ترکیب‌های یونی دارد، بررسی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به شکل روبه‌رو که شعاع اتمی را در مقایسه با شعاع یون پایدار (با آرایش گاز نجیب) برای عنصرهای گروه‌های اصلی نشان می‌دهد، دقت کنید.

شکل ۲۹- روند تغییر شعاع اتمی عنصرها در گروه‌های ۱، ۲، ۱۳، ۱۶ و ۱۷ در مقایسه با شعاع یونی آنها

در این شکل، شعاع کاتیون از اتم فلز سازنده کوچک تر است؛ درحالی که شعاع آنیون از اتم نافلز سازنده بزرگ تر است. همچنین در هر گروه (یون های هم بار) از بالا به پایین، شعاع یونی افزایش می یابد؛ زیرا با افزایش عدد کوانتومی اصلی (n)، شعاع اوربیتال پُر شده بیرونی یک یون، اندازه یون و اتم سازنده (هر دو) افزایش می یابد.

در این شکل می توان یون های هم الکترون نیز یافت مانند :



افزایش شعاع

عامل مهم در این افزایش شعاع، کاهش Z^* است؛ زیرا در این گونه ها شمار الکترون و شمار لایه های الکترونی یکسان است و با افزایش عدد اتمی به تدریج Z^* بیشتر شده، شعاع کاهش می یابد. در این جدول یون های Li^{+} ، Be^{2+} و B^{3+} دو الکترونی اند که آرایشی همانند $\text{He}: 1s^2$ دارند. از سوی دیگر Ga^{3+} یونی پایدار است؛ درحالی که ۲۸ الکترون داشته و به آرایش $3d^{10}$ ختم می شود. این نمونه به همراه کاتیون هایی مانند Sn^{2+} و Sn^{4+} و ... از دسته p نشان می دهند که قاعده هشت تایی را برای همه یون های پایدار عنصرهای گروه های اصلی نمی توان به کار برد.

اولین عنصر گروه ۱۳ در دوره سوم با از دست دادن سه الکترون در شرایط مناسب، به آرایش هشت تایی می رسد و کاتیونی با بار الکتریکی +۳ تشکیل می دهد. اما عنصرهای دوره های چهارم، پنجم و ششم همین گروه با از دست دادن به ترتیب، یک و سه الکترون بدون رسیدن به آرایش هشت تایی، کاتیون های +۱ و +۳ تشکیل می دهند.

جدول ۱۲- کاتیون عنصرهای گروه ۱۳

نام یون	بار الکتریکی	عنصر گروه ۱۳
یون آلومینیم	+۳	$_{13}\text{Al}$
یون گالیم	+۳ و (+۱)	$_{31}\text{Ga}$
یون ایندیم (III)، یون ایندیم (I)	+۳ و +۱	$_{49}\text{In}$
یون تالیم (III) و یون تالیم (I)	+۳ و +۱	$_{81}\text{Tl}$

در عنصرهای گروه ۱۴ از دوره های چهارم، پنجم و ششم نیز چنین روندی دیده می شود.

جدول ۱۳- کاتیون عنصرهای گروه ۱۴

نام یون	عدد اکسایش در ترکیب ها	عنصر گروه ۱۴
یون ژرمانیم (IV)، یون ژرمانیم (II)	+۴ و (+۲)	$_{32}\text{Ge}$
یون قلع (IV)، یون قلع (II)	+۴ و +۲	$_{50}\text{Sn}$
یون سرب (IV)، یون سرب (II)	+۴ و +۲	$_{82}\text{Pb}$

* عدد اکسایش درون پرانتز کمتر در ترکیب ها متداول است.

^{21}Sc با از دست دادن سه الکترون ظرفیت در شرایط مناسب، با تشکیل کاتیون $+3$ به آرایش هشت تایی می‌رسد. دیگر فلزهای واسطه با از دست دادن یک یا چند الکترون ظرفیت خود، کاتیون‌هایی با بارهای الکتریکی گوناگون تشکیل می‌دهند، بدون اینکه به آرایش هشت تایی برسند.

هیدروژن با یک الکترون پیرامون هسته، هنگامی که H^+ تشکیل می‌دهد به یک پروتون تبدیل شده که حجم بسیار کوچکی دارد (نسبت بار به حجم یا چگالی بار آن بسیار زیاد است) و به تنهایی در ساختار هیچ یک از ترکیب‌های یونی دیده نشده است!

این یون در محلول‌های آبی به سرعت به یون هیدرونیوم (H_3O^+) تبدیل شده و سپس آب پوشی می‌شود. همچنین با مولکول‌های دیگر همانند NH_3 به سرعت به یون آمونیوم (NH_4^+) تبدیل می‌شود و در ساختار بلوری ترکیب‌های یونی جای می‌گیرد. توجه کنید که یون آمونیوم در بلور ترکیب‌های یونی و نیز محلول‌های آبی، رفتاری شبیه به کاتیون‌های قلیایی دارد.

پاسخ پرسش‌های فصل اول

«خود را بیازمایید» صفحه ۳

آ) در زمین، آهن و در سیاره مشتری، هیدروژن فراوان‌ترین عنصر است.

ب) اکسیژن و گوگرد

پ) سیاره مشتری

ت) از جنس گاز است زیرا عنصرهای سازنده آن نافلزهایی هستند که گازند یا به آسانی به گاز تبدیل می‌شوند، برای نمونه کربن و گوگرد می‌توانند به شکل $\text{CO}_2(\text{g})$ و $\text{SO}_2(\text{g})$ نیز موجود باشند.

ث) در زمین عنصرهایی مانند فلزهای طلا، نقره، مس، کروم، پلاتین و ... همچنین نافلزهایی مانند کربن، فسفر، ید و ... یافت می‌شوند.

«پیوند با ریاضی» صفحه ۴

آ)

$$m = 0.024 \text{ g} = 2/4 \times 10^{-2} = 2/4 \times 10^{-6} \text{ kg}, c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$E = mc^2 = (2/4 \times 10^{-6} \text{ kg})(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2 = 2/16 \times 10^{11} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 2/16 \times 10^8 \text{ kJ}$$

ب)

$$\frac{\text{ذوب } 1 \text{ g آهن}}{\text{ذوب } x \text{ g آهن}} = \frac{247 \text{ J}}{2/16 \times 10^{11} \text{ J}} \rightarrow x = 8/74 \times 10^8 \text{ g}$$

* در اینجا اگر با تناسب حل شود، درک آن آسان‌تر است اما پس از تدریس عامل «کسر» تبدیل باید به صورت زیر حل شود :

$$? \text{ g Fe} = 2/16 \times 10^{11} \text{ J} \times \frac{1 \text{ g Fe}}{247 \text{ J}} = 8/74 \times 10^8 \text{ g}$$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۶

■ آ) شباهت‌ها : نماد شیمیایی، Z، تعداد الکترون و خواص شیمیایی.

تفاوت‌ها : A، N نیم عمر، پایداری، خواص فیزیکی وابسته به جرم، درصد فراوانی در طبیعت.

ب) سه ایزوتوپ (^1H ، ^2H و ^3H)

پ) ^3H که نیم عمر کوتاه‌تری دارد.

ت) به جز ^1H و ^2H ، ^5H ایزوتوپ پرتوزا هستند.

ث) به جز ^1H و ^2H ، ^5H ایزوتوپ دیگر.

ج) به جز ^1H و ^2H ، ^5H ایزوتوپ دیگر.

چ) نشان می‌دهد که به ازای هر صد اتم از یک عنصر چند ایزوتوپ معین وجود دارد.

$$\text{۲} \quad \text{درصد فراوانی } {}^6\text{Li} = \frac{\text{تعداد اتم های } {}^6\text{Li}}{\text{تعداد کل اتم ها در نمونه}} \times 100 = \frac{3}{50} \times 100 = 6\%$$

برای محاسبه درصد فراوانی ${}^7\text{Li}$ در نمونه دو راه وجود دارد:
(آ) مجموع درصد فراوانی ایزوتوپ ها برابر 100% است از این رو درصد فراوانی ${}^7\text{Li}$ برابر با 94% خواهد بود.

$$\text{(ب)} \quad \text{درصد فراوانی } {}^7\text{Li} = \frac{\text{تعداد اتم های } {}^7\text{Li}}{\text{تعداد کل اتم ها در نمونه}} \times 100 = \frac{47}{50} \times 100 = 94\%$$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۹

گلوکز در بدن انسان یکی از مهم ترین منابع تأمین غذا و انرژی برای سلول هاست، از این رو رشد غیرعادی و سریع سلول ها و تشکیل توده های سرطانی در قسمتی از بدن با مصرف سریع و غیرعادی گلوکز آشکار می شود. گلوکز نشان دار شده با ${}^{18}\text{F}$ با نیم عمر کوتاه که جایگزین اتم H شده است، بهترین گزینه برای تشخیص توده های سرطانی است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۳

۱ ${}^{13}\text{Al}$: دوره سوم، گروه ۱۳.

۲ ${}^4\text{Ca}$: دوره چهارم، گروه ۲.

۷ ${}^{25}\text{Mn}$: دوره چهارم، گروه ۷.

۱۶ ${}^{34}\text{Se}$: دوره چهارم، گروه ۱۶.

۲ ${}^{18}\text{Ar}$ ، زیرا ${}^4\text{He}$ و ${}^{18}\text{Ar}$ هردو در گروه ۱۸ جدول دوره ای جای دارند از این رو رفتاری مشابه خواهند داشت.

۳ گزینه (ب). اتم برم، زیرا هردو در گروه ۱۷ جدول دوره ای جای دارند.

۴ ${}^{31}\text{Ga}$ ، زیرا ${}^{13}\text{Al}$ و ${}^{31}\text{Ga}$ هردو از عنصرهای گروه ۱۳ جدول دوره ای هستند و در ترکیب ها می توانند با رفتاری مشابه، کاتیون با بار الکتریکی $+3$ پدید آورند.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۵

۱ (آ)

نماد ایزوتوپ	درصد فراوانی در طبیعت	عدد جرمی (A)	جرم اتمی میانگین
${}^7\text{Li}$	۹۴	۹۴	۶/۹۴
${}^6\text{Li}$	۶	۶	

(ب)

$$\dots + (\text{فراوانی آن} \times \text{جرم اتمی ایزوتوپ دوم}) + (\text{فراوانی آن} \times \text{جرم اتمی ایزوتوپ اول}) = \text{جرم اتمی میانگین}$$

(مجموع فراوانی‌ها در طبیعت که برابر با ۱۰۰ است)

* اگر جرم اتمی هر ایزوتوپ را برابر با عدد جرمی آن در نظر بگیریم:

$$\text{Li جرم اتمی میانگین} = \frac{(7 \text{ amu} \times 94) + (6 \text{ amu} \times 6)}{100} = 6.94 \text{ amu}$$

(آ ۲)

$$\text{Cl جرم اتمی میانگین} = \frac{(37 \text{ amu} \times 24/2) + (35 \text{ amu} \times 75/8)}{100} = 35.48 \text{ amu}$$

(ب) در جدول دوره‌ای جرم اتمی میانگین کلر، 35.48 amu درج شده است. با توجه به اینکه جرم هر پروتون و نوترون اندکی از 1 amu بیشتر است باید جرم اتمی میانگین محاسبه شده کمتر از 35.48 شود. * توجه: اما چرا بیشتر شده است؟ در محاسبه بالا پروتون و نوترون به صورت جدا از هم در نظر گرفته شده در حالی که هنگام تشکیل هسته و سپس اتم بخشی از جرم آنها مطابق $E=mc^2$ به انرژی تبدیل می‌شود که به آن انرژی بستگی هسته می‌گویند. در واقع جرم اتمی میانگین درج شده در جدول دوره‌ای از مجموع جرم پروتون، نوترون و الکترون برحسب amu کمتر است.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۶

(آ)

جرم ۱ عدد (گرم)	جرم ۵۰ عدد (گرم)
۴/۵	۲۲۵
۰/۰۵۶	۲/۸
۰/۰۲۲	۱/۱
۰/۰۰۲	۰/۱

(ب) ترازوی دیجیتالی (همانند تصویر حاشیه ۱۶) تا یک صدم گرم را نشان می‌دهد، در واقع دقت آن $\pm 0.1\%$ گرم است. از این رو می‌توان جرم یک عدد کاغذ A۴، عدس و برنج را با آن اندازه‌گیری کرد. (پ) جرم کمترین تعداد ممکن و قابل شمارش را با ترازو اندازه‌گیری نموده سپس جرم نمونه را به تعداد دانه‌های خاکشیر تقسیم می‌کنیم تا جرم میانگین یک دانه خاکشیر به دست آید. (ت) خیر، زیرا دانه‌های برنج ممکن است به لحاظ اندازه، حجم و جرم اندکی متفاوت از یکدیگر باشند. * توجه: الزامی نیست که میانگین مجموعه‌ای از داده‌ها برابر با یکی از آنها باشد. برای نمونه ممکن است میانگین آزمون شیمی در کلاس درس شما $14/8$ باشد، بدیهی است که نمره برگه آزمون هیچ دانش‌آموزی $14/8$ نخواهد بود.

«پیوند با ریاضی» صفحه ۱۷

۱ در اینجا اگر با تناسب حل شود، درک آن آسان تر است:

$$\frac{1 \text{ atom H}}{x \text{ atom H}} = \frac{1/66 \times 10^{-24} \text{ g}}{1 \text{ g}} \rightarrow x = 6/02 \times 10^{23} \text{ atom H}$$

اما پس از تدریس کسر «عامل» تبدیل باید به صورت زیر حل شود:

$$? \text{ atom H} = 1 \text{ g} \times \frac{1 \text{ amu}}{1/66 \times 10^{-24} \text{ g}} \times \frac{1 \text{ atom H}}{1 \text{ amu}} = 6/02 \times 10^{23} \text{ atom H}$$

$$N_A = 6/02 \times 10^{23} \quad ۲$$

$$? \text{ g H} = 6/02 \times 10^{23} \text{ atom H} \times \frac{1/66 \times 10^{-24} \text{ g}}{1 \text{ atom H}} = 1 \text{ g H}$$

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۹

۱ آ

$$? \text{ g Al} = 5 \text{ mol Al} \times \frac{27 \text{ g Al}}{1 \text{ mol Al}} = 135 \text{ g Al}$$

ب)

$$? \text{ mol S} = 0/08 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S}}{32 \text{ g S}} = 2/5 \times 10^{-3} \text{ mol S}$$

۲

$$? \text{ atom Zn} = 0/2 \text{ mol Zn} \times \frac{6/02 \times 10^{23} \text{ atom Zn}}{1 \text{ mol Zn}} = 1/204 \times 10^{23} \text{ atom Zn}$$

۳

$$? \text{ mol Cu} = 9/03 \times 10^{20} \text{ atom Cu} \times \frac{1 \text{ mol Cu}}{6/02 \times 10^{23} \text{ atom Cu}} = 1/5 \times 10^{-3} \text{ mol Cu}$$

$$? \text{ g Cu} = 1/5 \times 10^{-3} \text{ mol Cu} \times \frac{63/55 \text{ g Cu}}{1 \text{ mol Cu}} = 9/53 \times 10^{-2} \text{ g Cu}$$

«خود را بیازمایید» صفحه ۲۱

هرچه طول موج نور نشر شده کوتاه تر باشد، انرژی و در نتیجه دمای آن بیشتر است، از این رو به شعله آبی رنگ اجاق گاز، دمای 275°C و شعله شمع، دمای 175°C نسبت داده می شود و دمای 80°C مربوط به ششوار صنعتی است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۲۳

هیدروژن است، زیرا تعداد نوارهای رنگی و جایگاه آنها با طیف نشری خطی هیدروژن همخوانی دارد.

* این پرسش نشان می‌دهد که برای تعیین نوع عنصر باید طیف نشری خطی آن را با الگوهای اصلی مقایسه کرد، در واقع به‌خاطر سپردن طیف نشری خطی عنصرها جزء اهداف نیست.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۲۸

۱) در هر ردیف، رنگ نارنجی شامل ۲ عنصر، رنگ آبی شامل ۶ عنصر، رنگ سبز شامل ۱۰ عنصر و رنگ زرد شامل ۱۴ عنصر است.

ب) لایه دوم از دو بخش تشکیل شده است که یکی گنجایش ۲ الکترون و دیگری گنجایش ۶ الکترون را دارد.

پ) چهار نوع زیرلایه وجود دارد که به ترتیب گنجایش ۲، ۶، ۱۰ و ۱۴ الکترون دارند.

$$a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_l \quad (l \geq 0) \quad \text{در یک دنباله عددی:} \quad \begin{matrix} +y \\ \rightarrow \end{matrix}$$

a_0 جمله نخست، a_1 جمله دوم و ... جمله عمومی (l ام) است. هر جمله از جمله پیش از خود به اندازه قدر نسبت (y) بیشتر و از جمله پس از خود به اندازه آن کمتر است.

جمله نخست $a_0 =$

$$a_1 = a_0 + (y)$$

$$a_2 = a_0 + 2(y)$$

$$a_l = a_0 + l(y)$$

دنباله موجود در پرسش نیز چنین است:

$$a_0 = 2$$

$$a_1 = 2 + 2$$

$$a_2 = 2 + 2(2)$$

$$a_l = 2 + l(2) \rightarrow a_l = 2l + 2$$

* چرا گاهی دانش‌آموزان به $a_l = 2l - 4$ می‌رسند؟

دنباله عددی هنگامی که $l \geq 0$ باشد به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$a_0, a_1, \dots, a_l, \quad l \geq 0$$

جمله نخست $a_0 =$

$$a_1 = \text{جمله دوم} = a_0 + y$$

$$a_2 = \text{جمله سوم} = a_0 + 2(y)$$

$$a_l = \text{جمله } l\text{ام} = a_0 + (l-1)y$$

به همین دلیل اگر همکار محترم دنباله را به‌صورت زیر در نظر بگیرد:

$$a_0 = 2$$

$$a_1 = 2 + 2$$

$$a_2 = 2 + 2(2)$$

$$a_1 = 2 + (1-1)4 \rightarrow a_1 = 2 + 41 - 4 = 41 - 2$$

جمله عمومی $41-2$ به دست می‌آید که در آن $1 \geq 1$ باید باشد.

(ب)

زیرلایه	۲ الکترونی	۶ الکترونی	۱۰ الکترونی	۱۴ الکترونی
مقدار مجاز l	۰	۱	۲	۳

(پ) * توجه کنید هر مقدار از l نماد و نوع زیرلایه را نشان می‌دهد، شمار مقدارهای l شمار زیرلایه‌ها را در آن لایه الکترونی مشخص می‌کند.

نماد زیرلایه	s	p	d	f
حداکثر گنجایش زیرلایه	۲	۶	۱۰	۱۴
مقدار مجاز l	۰	۱	۲	۳

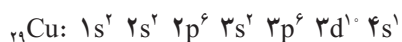
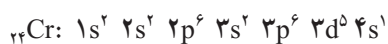
(ت) زیرلایه پنجم ($l=4$) حداکثر گنجایش $4l+2=4(4)+2=18$ الکترون را دارد.

«خود را بیازمایید» صفحه ۳۲

۱

نماد شیمیایی عنصر	آرایش الکترونی
${}_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$
${}_{18}\text{Ar}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
${}_{20}\text{Ca}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
${}_{33}\text{As}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$
${}_{34}\text{Se}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$

۲



* بیرونی‌ترین لایه الکترونی، بزرگ‌ترین n است، از این رو برای دو اتم کروم و مس، بیرونی‌ترین زیرلایه، $4s$ می‌باشد.

«خود را بیازمایید» صفحه ۳۳

آ ۱

نماد عنصر	${}^3\text{Li}$	${}^8\text{O}$	${}^{10}\text{Ne}$	${}^{14}\text{Si}$	${}^{20}\text{Ca}$	${}^{27}\text{Co}$	${}^{35}\text{Br}$
شماره گروه	۱	۱۶	۱۸	۱۴	۲	۹	۱۷
شماره دوره	۲	۲	۲	۳	۴	۴	۴

ب

نماد عنصر	آرایش الکترونی فشرده	شماره لایه ظرفیت	تعداد الکترون ظرفیت
${}^3\text{Li}$	$[\text{He}] 2s^1$	۲	۱
${}^8\text{O}$	$[\text{He}] 2s^2 2p^4$	۲	۶
${}^{10}\text{Ne}$	$[\text{He}] 2s^2 2p^6$	۲	۸
${}^{14}\text{Si}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$	۳	۴
${}^{20}\text{Ca}$	$[\text{Ar}] 4s^2$	۴	۲
${}^{27}\text{Co}$	$[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$	۴	۹
${}^{35}\text{Br}$	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^5$	۴	۷

ب

■ شماره لایه ظرفیت اتم عنصر = شماره دوره عنصر در جدول دوره ای

■ گروه های ۱ تا ۱۲

■ گروه های ۱۳ تا ۱۸، در این عناصرها تعداد الکترون های ظرفیت ۱۰ تا کمتر از شماره گروه عنصر

در جدول دوره ای است.

■ در عنصرهای دسته d، شماره دوره عنصر برابر با بزرگ ترین n در آرایش الکترونی و شماره گروه

برابر با مجموع الکترون های موجود در زیر لایه های s و ۳d (در حالت کلی تر، ns و $(n-1)d$) است.

۲

شماره گروه: ۱۴	شماره گروه: ۱۳
${}^{12}\text{C}: [\text{He}] 2s^2 2p^2$	${}^{13}\text{Al}: [\text{Ne}] 3s^2 3p^1$
شماره دوره: ۲	شماره دوره: ۳
شماره گروه: ۸	شماره گروه: ۱۲
${}^{26}\text{Fe}: [\text{Ar}] 3d^6 4s^2$	${}^{30}\text{Zn}: [\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2$
شماره دوره: ۴	شماره دوره: ۴

۲ اگر در آرایش الکترونی اتم، زیر لایه ای که در حال پر شدن است، از نوع:

■ s باشد، عنصر در دسته s قرار می گیرد.

■ p باشد، عنصر در دسته p قرار می‌گیرد.

■ d باشد، عنصر در دسته d قرار می‌گیرد.

■ f باشد، عنصر در دسته f قرار می‌گیرد.

«خود را بیازمایید» صفحه ۳۵

(آ)

عنصر	${}^3\text{Li}$	${}^4\text{Be}$	${}^5\text{B}$	${}^6\text{C}$	${}^7\text{N}$	${}^8\text{O}$	${}^9\text{F}$	${}^{10}\text{Ne}$
آرایش الکترونی فشرده	$[\text{He}] 2s^1$	$[\text{He}] 2s^2$	$[\text{He}] 2s^2 2p^1$	$[\text{He}] 2s^2 2p^2$	$[\text{He}] 2s^2 2p^3$	$[\text{He}] 2s^2 2p^4$	$[\text{He}] 2s^2 2p^5$	$[\text{He}] 2s^2 2p^6$
تعداد الکترون‌های ظرفیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
آرایش الکترون—نقطه‌ای	$\text{Li} \cdot$	$\text{Be} \cdot$	$\cdot \text{B} \cdot$	$\cdot \ddot{\text{C}} \cdot$	$\cdot \ddot{\text{N}} :$	$:\ddot{\text{O}}:$	$:\ddot{\text{F}}:$	$:\ddot{\text{Ne}}:$
عنصر	${}^{11}\text{Na}$	${}^{12}\text{Mg}$	${}^{13}\text{Al}$	${}^{14}\text{Si}$	${}^{15}\text{P}$	${}^{16}\text{S}$	${}^{17}\text{Cl}$	${}^{18}\text{Ar}$
آرایش الکترونی فشرده	$[\text{Ne}] 3s^1$	$[\text{Ne}] 3s^2$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$
تعداد الکترون‌های ظرفیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
آرایش الکترون—نقطه‌ای	$\text{Na} \cdot$	$\text{Mg} \cdot$	$\cdot \text{Al} \cdot$	$\cdot \ddot{\text{Si}} \cdot$	$\cdot \ddot{\text{P}}:$	$:\ddot{\text{S}}:$	$:\ddot{\text{Cl}}:$	$:\ddot{\text{Ar}}:$

(ب) مشابه یکدیگر است زیرا الکترون‌های ظرفیت برابری دارند از این رو شمار نقطه‌ها پیرامون نماد شیمیایی آنها یکسان است.

(پ) برای عنصرهای گروه ۱ و ۲، شمار الکترون‌های ظرفیت یا نقطه‌های پیرامون نماد شیمیایی برابر است درحالی که برای عنصرهای گروه ۱۳ تا ۱۸، ده تا کمتر از شماره گروه است.

«با هم ببیندیشیم» صفحه ۲۸

۱ انتظار می‌رود اتم عنصرهای گروه ۱، ۲ و ۱۳ با از دست دادن الکترون، به کاتیون تبدیل شوند و به آرایش گاز نجیب دوره پیش از خود برسند، درحالی که انتظار می‌رود اتم عنصرهای گروه ۱۵، ۱۶ و ۱۷ با به دست آوردن الکترون، به آنیون تبدیل شوند و به آرایش الکترونی گاز نجیب پس از خود در همان دوره برسند. برای اتم عنصرهای گروه ۱۴ انتظار می‌رود ۴ الکترون به دست آورند یا ۴ الکترون از دست بدهند تا به آرایش گاز نجیب برسند (این پیش‌بینی دانش‌آموزان می‌باشد که ممکن است درست یا نادرست باشد! سریع قضاوت نکنید!)

(ب) بررسی جدول که بر اساس یافته‌های پژوهشی و داده‌های تجربی است نشان می‌دهد که: اغلب اتم عنصرهای گروه ۱ و ۲ و آلومینیم از گروه ۱۳ در شرایط مناسب با از دست دادن الکترون به کاتیون تبدیل می‌شوند و به آرایش الکترونی گاز نجیب دوره پیش از خود می‌رسند، درحالی که اغلب

اتم عنصرهای گروه ۱۵، ۱۶ و ۱۷ در شرایط مناسب با به دست آوردن الکترون به آنیون تبدیل می شوند و به آرایش الکترونی گاز نجیب پس از خود در همان دوره می رسند، اما اتم عنصرهای گروه ۱۴ هیچ یونی تشکیل نمی دهند.

کاتیون آن یون	تعدادی از همه	سه چهار
پیش	کاتیون آن یون	از دست دادن گرفتن
پس	کاتیون آن یون	از دست دادن به دست آوردن

۳



انتظار می رود اتم عنصر شماره ۷ جدول با به دست آوردن سه الکترون در شرایط مناسب، به آنیون با بار الکتریکی ۳- و اتم عنصر شماره ۱۲ با از دست دادن دو الکترون در شرایط مناسب، به کاتیون با بار الکتریکی ۲+ تبدیل شود.

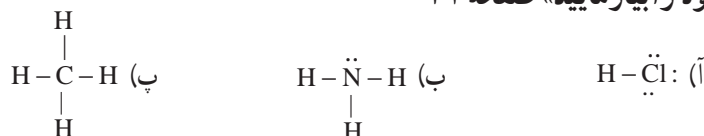
«با هم بیندیشیم» صفحه ۳۹

۱ نخست نماد شیمیایی کاتیون سپس نماد شیمیایی آنیون (بدون بار الکتریکی) را می نویسیم، اما تعداد آنها را به گونه ای انتخاب می کنیم که ترکیب یونی حاصل از لحاظ بار الکتریکی خنثی باشد، این تعداد را به صورت زیروند برای کاتیون و آنیون می نویسیم.



۳ در جدول نام ترکیب های یونی از بالا به پایین به ترتیب، منیزیم اکسید، کلسیم کلرید، پتاسیم اکسید، سدیم فسفید و لیتیم برمید است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۴۱

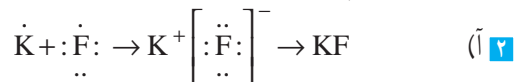


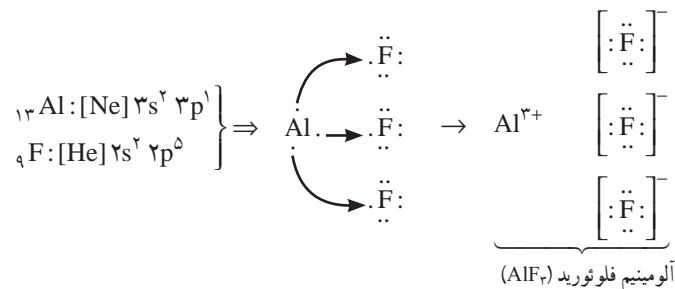
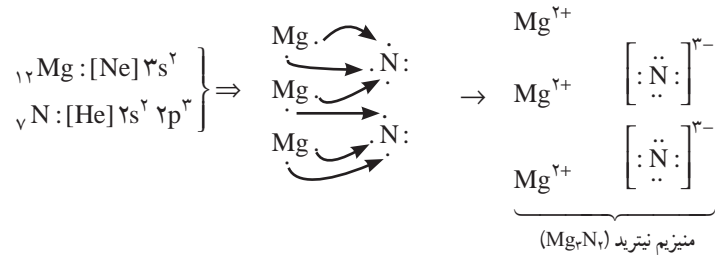
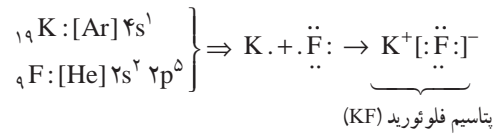
«تمرین های دوره ای» صفحه ۴۲



(ب) دوره چهارم و گروه ۸. (پ) به دسته d تعلق دارد.

(ت) بله زیرا ایزوتوپ های آهن دارای Z یکسان، در نتیجه شمار الکترون های یکسانی هستند.





۳ آ

$$\text{جرم اتمی میانگین منیزیم} = \frac{(24 \text{ amu} \times 78/7) + (25 \text{ amu} \times 10/13) + (26 \text{ amu} \times 11/17)}{100} = 24/32 \text{ amu}$$

ب) همه ایزوتوپ‌های یک عنصر به دلیل اینکه Z یکسان دارند تنها یک مکان را در جدول دوره‌ای اشغال می‌کنند.

۴ وجود نمک خوراکی (یون‌های Na⁺ و Cl⁻) در خیارشور می‌تواند باعث رسانایی شود زیرا یون‌ها به سوی قطب‌های ناهم‌نام حرکت می‌کنند، پس از مدتی حرکت انتقالی یون‌ها در بافت گیاهی محدود شده اما با وجود میدان الکتریکی، یون‌های سدیم با جذب انرژی شروع به نشر می‌کنند. این فرایند باعث ایجاد رنگ زرد درخشان می‌شود (نشر یون‌های کلرید در گستره فرابنفش است و دیده نمی‌شود).

۵ آ) اتم یُد به I⁻ و اتم باریم به یون Ba²⁺ تبدیل می‌شود.

ب)

توجه کنید که برای اتم‌ها با Z > ۳۶ و تنها در دسته s و p باید آرایش الکترونی داده شود سپس براساس آن پرسش طرح گردد.

۶ آ) اگر هر سال را ۳۶۵/۲۵ روز در نظر بگیریم، در یک سال ۳۶۵/۲۵ × ۱۰^{۲۲} J انرژی از سوی

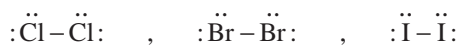
خورشید به سوی زمین گسیل می‌شود.

$$E=mc^2 \rightarrow 365/25 \times 10^{22} \text{ J} = m \times (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2 \quad (\text{ب})$$

$$m \approx 4/0.6 \times 10^9 \text{ kJ} \approx 4/0.6 \times 10^4 \text{ Ton} \approx 4/0.6 \times 10^{10} \text{ g}$$

$$? \text{ mol C} = 0/36 \text{ gC} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12/01 \text{ gC}} \approx 0/3 \text{ mol C} \quad \text{۷}$$

$$? \text{ atom C} = 0/3 \text{ mol C} \times \frac{6/02 \times 10^{23} \text{ atom C}}{1 \text{ mol C}} = 1/80.6 \times 10^{22} \text{ mol C} \quad \text{۸}$$



۹ (آ) ۱- دوره اول، گروه ۱۸ ۲- دوره دوم، گروه ۱۸

۳- دوره سوم، گروه ۲ ۴- دوره چهارم، گروه ۱۰

(ب) اتم‌های شماره ۱ و ۲، زیرا لایه‌های الکترونی آنها به‌طور کامل از الکترون پر شده است (اتم گاز نجیب هستند).

(پ)

با فلزات ترکیبی تشکیل نمی‌دهد. (۲): $1s^2 2s^2 2p^6$

با فلزات ترکیب یونی تشکیل می‌دهد. (۳): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 \equiv X$

(ت) $_{18}\text{Y}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$

به جز زیرلایه ۳d، دیگر زیرلایه‌ها از الکترون پر شده‌اند در واقع از هفت زیرلایه آن، شش زیرلایه به‌طور کامل از الکترون پر شده است.

۱۰ برای این کار کافی است هر خط را در طیف نمونه با توجه به جایگاه آن، با خطوط موجود در الگوی طیف نشری تک‌تک فلزها مقایسه کنید. با انجام این کار درمی‌یابید که تنها فلزهای مس و جیوه در نمونه وجود دارند.

۱۱ (آ) دانش‌آموزی با جمع جرم اتمی میانگین اتم‌های سازنده مولکول کربن دی‌اکسید جرم مولکولی آن را محاسبه کرده است:

$$\text{CO}_2 \text{ جرم مولکولی} = \text{CO}_2 \text{ جرم یک مولکول} = 16/00 \text{ amu} + 12/01 \text{ amu} + 16/00 \text{ amu} = 44/01 \text{ amu}$$

(ب) جرم یک مول (جرم مولی) کربن دی‌اکسید $44/01 \text{ g}$ است به‌طوری‌که می‌توان نوشت:

$$1 \text{ mol CO}_2 = 44/01 \text{ g CO}_2$$

زیرا:

$$\begin{aligned} ? \text{ g CO}_2 &= 1 \text{ mol CO}_2 \times \frac{6/02 \times 10^{23} \text{ molecule CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \times \frac{44/01 \text{ amu}}{1 \text{ molecule CO}_2} \times \frac{1/66 \times 10^{-24} \text{ g}}{1 \text{ amu}} \\ &= 44/01 \text{ g CO}_2 \end{aligned}$$

(پ) جرم مولی کربن دی‌اکسید بر اساس داده‌های جدول دوره‌ای نیز به‌صورت $44/01 \text{ g mol}^{-1}$ بیان می‌شود.

(ت) $\text{Cl}_2 = 70/9 \text{ g mol}^{-1}$, $\text{HCl} = 36/46 \text{ g mol}^{-1}$, $\text{NaCl} = 58/44 \text{ g mol}^{-1}$

$\text{CaF}_2 = 78/08 \text{ g mol}^{-1}$, $\text{SO}_2 = 64/06 \text{ g mol}^{-1}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 101/96 \text{ g mol}^{-1}$

فصل ۲

ردپای گازها در زندگی



هدف‌های آموزشی فصل ۲

مقدمه

هوا، معجونی ارزشمند

- ۱ با هواکره به عنوان شناخته شده‌ترین مخلوط گازی آشنا شود.
- ۲ با اجزای هواکره و تغییر نوع گازها با تغییر ارتفاع آشنا شود.
- ۳ رابطه میان لایه‌ای بودن هواکره و تغییر دما را درک کند.
- ۴ رابطه ریاضی میان دما برحسب درجهٔ سلسیوس و دما برحسب کلوین را به دست آورد و بتواند در موقعیت‌های مختلف از این دو یکا استفاده کند.
- ۵ با کاربرد برخی از گازهای تشکیل دهندهٔ هواکره در زندگی و صنعت آشنا شود و راه تثبیت برخی از آنها را بداند.
- ۶ با فرایند تقطیر هوای مایع به عنوان روشی برای جداسازی اجزای هواکره آشنا شود.
- ۷ به اهمیت و نقش هواکره در زندگی موجودات زنده و انسان پی ببرد.
- ۸ با برخی از کاربردهای گاز هلیوم آشنا شود.

اکسیژن گازی واکنش پذیر در هواکره

- ۱ مفهوم واکنش پذیری گاز اکسیژن را با توجه به شواهد تجربی درک کند.
- ۲ مفهوم واکنش پذیری را به عنوان ملاکی برای فعالیت شیمیایی مواد درک کند.
- ۳ با واکنش سوختن کامل آشنا شده و تفاوت آن را با سوختن ناقص درک کند.
- ۴ با واکنش سوختن برخی فلزها و نافلزها آشنا شود.
- ۵ خطر تولید کربن مونوکسید در سوختن ناقص را درک کرده و نسبت به روش‌های جلوگیری از گاز گرفتگی توجه نشان دهد.

واکنش‌های شیمیایی و قانون پایستگی جرم

موازنه کردن معادلهٔ شیمیایی

- ۱ با مفهوم قانون پایستگی جرم آشنا شود.
- ۲ قانون پایستگی جرم را در بررسی کمی واکنش‌ها به کار گیرد.
- ۳ نقش قانون پایستگی جرم در موازنهٔ معادله‌های شیمیایی را درک کند.
- ۴ مهارت موازنه کردن یک معادلهٔ شیمیایی را کسب و در خود تقویت کند.

ترکیب شدن اکسیژن با فلزها و نافلزها

نام‌گذاری ترکیب‌های یونی

- ۱ با فرایند اکسایش آشنا شود.
- ۲ با پدیدهٔ زنگ زدن و خوردگی آهن به عنوان یکی از اکسایش‌های متداول آشنا شود.
- ۳ علت به کارگیری برخی فلزها در کاربردهای صنعتی را درک کند.

۴ مهارت نام‌گذاری و فرمول‌نویسی برخی ترکیب‌های یونی دو تایی از یک یون فلزی با اعداد اکسایش گوناگون را کسب و در خود تقویت کند.

نام‌گذاری ترکیب‌های مولکولی

ساختار لوویس

- ۱ مهارت نام‌گذاری و فرمول‌نویسی برخی اکسیدهای نافلزی را کسب و در خود تقویت کند.
- ۲ با یکی از روش‌های ساده برای رسم آرایش الکترون – نقطه‌ای و رسیدن به آرایش هشت‌تایی آشنا شود.
- ۳ مهارت رسم ساختار لوویس برخی مولکول‌ها و یون‌های تک مرکزی که از قاعده هشتایی پیروی می‌کنند را کسب و در خود تقویت کند.

خواص اکسیدهای فلزی

- ۱ با کاربردهای برخی اکسیدهای فلزی و نافلزی در زندگی آشنا شود.
- ۲ مهارت تشخیص اکسید فلزی از اکسید نافلزی را براساس فرمول و نام آن کسب و در خود تقویت کند.
- ۳ مهارت تعیین محدوده اسیدی یا بازی بودن مواد را با کمک یک شناساگر مناسب کسب کند.
- ۴ با مفهوم اکسید اسیدی و اکسید بازی آشنا شود.
- ۵ به تأثیر اکسیدهای اسیدی تولید شده بر محیط‌زیست پی برده و نسبت به کنترل و کاهش آنها توجه نشان دهد.

چه بر سر هواکره می‌آوریم؟

اثر گلخانه‌ای

- ۱ با تأثیر افزایش میزان کربن دی‌اکسید بر بخش‌های مختلف کره زمین آشنا شود.
- ۲ با عنوان یک شهروند آگاه به مسئولیت خود در حفظ محیط‌زیست با کاهش تولید کربن دی‌اکسید، عمل کند.
- ۳ با تحلیل داده‌ها، منبع تولید انرژی مناسب در جهت کاهش ردپای کربن دی‌اکسید را انتخاب کند.
- ۴ چگونگی تأثیر کربن دی‌اکسید در ایجاد اثر گلخانه‌ای را درک کند.
- ۵ چگونگی ایجاد اثر گلخانه‌ای را شرح دهد.

شیمی سبز راهی برای محافظت هواکره

- ۱ با شیمی سبز به عنوان راهی برای محافظت هواکره آشنا شود.
- ۲ با برخی راه‌های پیشنهادی شیمی سبز برای کاهش آلودگی هواکره آشنا شود.
- ۳ نسبت به نقش شیمی در حفظ و کاهش مصرف منابع طبیعی نگرش مثبت پیدا کند.
- ۴ مفهوم توسعه پایدار را درک کند.
- ۵ دریابد که در تولید هر ماده باید جنبه‌های توسعه پایدار را در نظر بگیرد.

■ اوزون دگرشکلی از اکسیژن

- ۱ با گاز اوزون و خواص آن آشنا شود.
- ۲ به اثر حفاظتی لایه اوزون در برابر تابش‌های فرابنفش پی‌برد.
- ۳ مفهوم واکنش برگشت پذیر را درک کند.
- ۴ با چگونگی تولید اوزون تروپوسفری و آثار آن آشنا شود.

■ خواص و رفتار گازها

- ۱ مفهوم تراکم پذیری گازها را درک کند.
- ۲ اثر تغییر دما، فشار و مقدار گاز را بر حجم آن توضیح دهد.
- ۳ اثر تغییر حجم گازها با تغییر دما و فشار را از دید مولکولی توصیف کند.
- ۴ با قانون آووگادرو آشنا شود.
- ۵ با مفهوم شرایط استاندارد و حجم مولی گازها در این شرایط آشنا شود.
- ۶ مهارت تبدیل مول و جرم یک نمونه گاز به حجم آن در شرایط استاندارد را کسب و در خود تقویت کند (استوکیومتری فرمولی)

■ از هر گاز چقدر؟

- ۱ با مفهوم استوکیومتری واکنش آشنا شود.
- ۲ بتواند نسبت مولی میان مواد شرکت کننده در واکنش را بنویسد.
- ۳ مهارت حل مسائل استوکیومتری واکنش را با استفاده از عامل تبدیل مناسب، کسب و در خود تقویت کند.

■ تولید آمونیاک، کاربردی از واکنش گازها در صنعت

- ۱ با فرایند هابر به عنوان کاربرد صنعتی گازها آشنا شود.
- ۲ به اهمیت شیمی در توسعه صنعتی، کشاورزی و افزایش تولید فراورده‌های شیمیایی پی‌برد.
- ۳ با نقش تلاش و پشتکار دانشمندان در یافتن شرایط بهینه برای تولید یک فراورده آشنا شود.
- ۴ با یکی دیگر از کاربردهای گاز نیتروژن آشنا شود.

هواکره

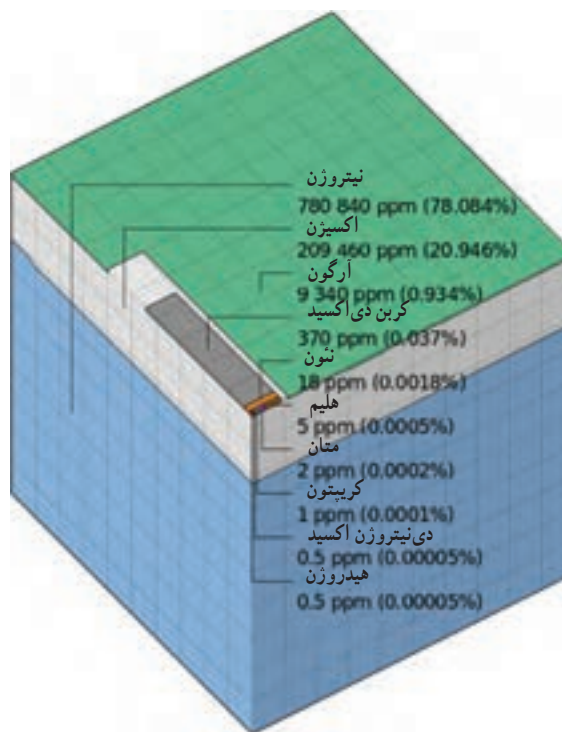
هواکره نقش حیاتی در بقای زندگی در این سیاره ایفا می کند این کار با جذب بسیاری از پرتوهای مضر کیهانی از فضای بیرونی و از تابش الکترومغناطیس خورشیدی انجام می شود. همچنین با جذب دوباره بسیاری از پرتوهای فروسرخ بازتابش شده از زمین، دمای زمین را تثبیت کرده و از افزایش ناگهانی دما جلوگیری می کند.

هواکره یک منبع کربن دی اکسید برای فتوسنتز و اکسیژن برای تنفس است. این بخش از کره زمین، نیتروژن لازم برای رشد باکتری های تثبیت کننده نیتروژن که ترکیب های شیمیایی نیتروژن دار ضروری برای رشد گیاه را تولید می کنند، فراهم می سازد. هواکره آب را بین اقیانوس و زمین به جریان می اندازد. متأسفانه، به دلیل افزایش فعالیت های صنعتی، هواکره به عنوان مکانی برای رهاسازی بسیاری از مواد آلاینده استفاده می شود. این امر باعث صدمه به پوشش گیاهی و مواد شده، زندگی انسان را کوتاه کرده و ویژگی های هواکره را تغییر می دهد.

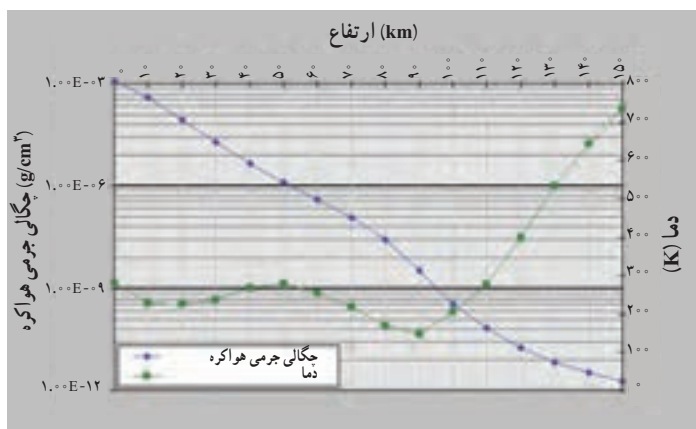
مشخصات فیزیکی هواکره :

دسته	درصد	گاز
اجزای اصلی	۷۸/۰۸	N _۲
	۲۰/۹۵	O _۲
	۰/۹۳۴	Ar
اجزای کم	۰/۰۳۵	CO _۲
	$۱/۸۱۸ \times ۱۰^{-۳}$	Ne
اجزای جزئی	$۵/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$	He
	$۱/۱۴ \times ۱۰^{-۴}$	Kr
	$۸/۷ \times ۱۰^{-۶}$	Xe
	۲×۱۰^{-۴}	CH _۴
	$۲/۵ \times ۱۰^{-۵}$	NO
	۵×۱۰^{-۵}	H _۲
	۲×۱۰^{-۸}	SO _۲
	ناچیز	O _۳
	۱×۱۰^{-۶}	NH _۳
	$۱/۲ \times ۱۰^{-۵}$	CO
	۱×۱۰^{-۵}	NO _۲
	ناچیز	I _۲
	$۱۰^{-۶} - ۱۰^{-۸}$	H _۲ O _۲
	$۱۰^{-۱۰} - ۱۰^{-۱۳}$	HO
	$۱۰^{-۸} - ۱۰^{-۱۰}$	HO _۲
	$۱۰^{-۷} - ۱۰^{-۸}$	H _۲ CO

در منابع شیمی، مقدار جزئی هواکره را که مقادیر ناچیزی دارند، اغلب با ppm و گاهی با ppb گزارش می‌کنند (شکل صفحه بعد).



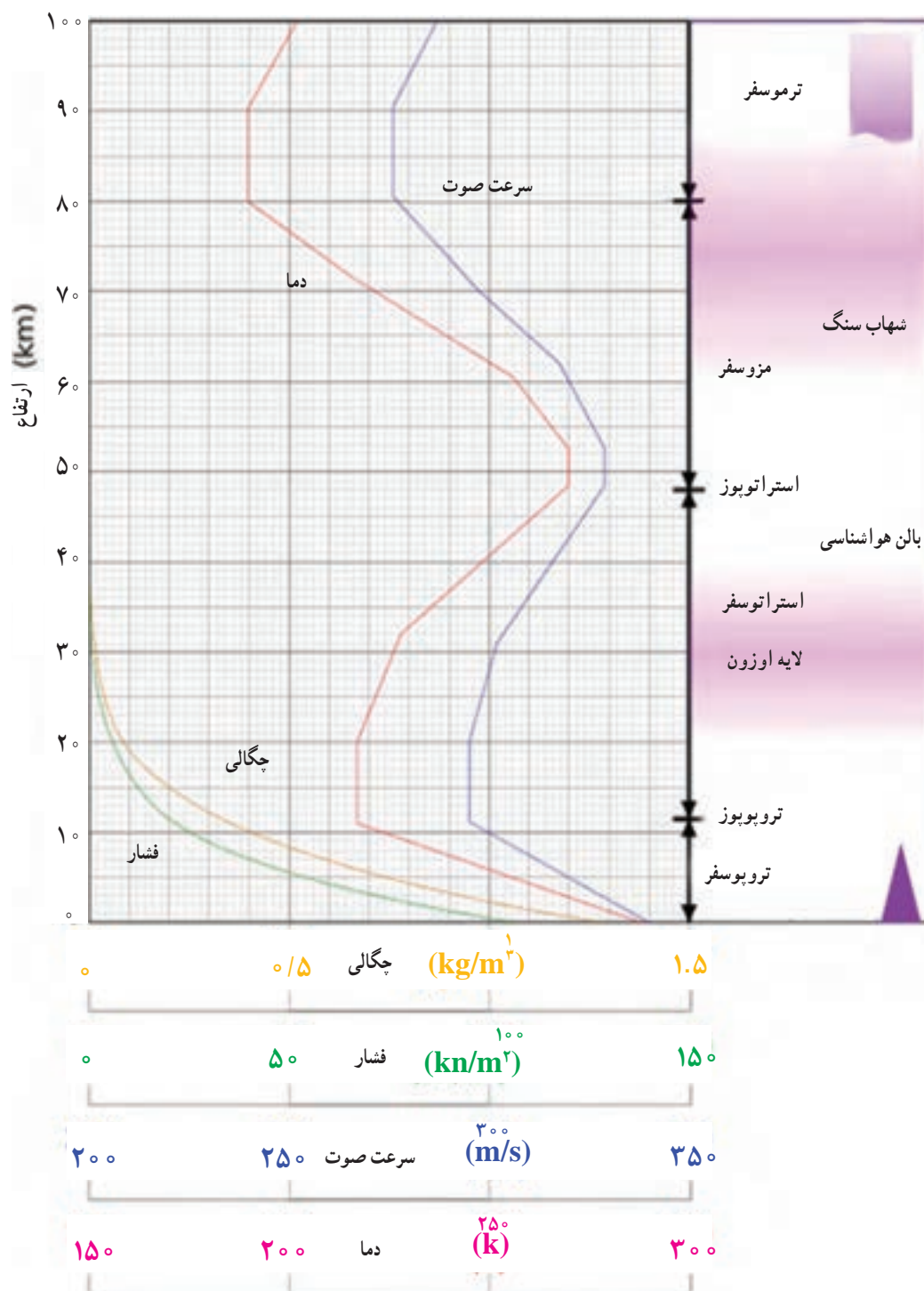
شکل ۱



شکل ۲

هواکره ممکن است از ۱/۵ تا ۵ درصد حجمی دارای بخار آب باشد اما به طور طبیعی مقدار این گاز بین ۱ تا ۳ درصد متغیر می باشد. چگالی هواکره به شدت با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. بیش از ۹۹٪ از جرم کل هواکره در حدود ۳ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد. کل توده های جهانی هواکره حدود 5×10^{15} تن است که تقریباً یک میلیونیم از کل جرم زمین را تشکیل می دهد.

ویژگی های هواکره همچون زمان (فصل)، موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) و حتی فعالیت های خورشیدی با تغییر ارتفاع، بسیار متفاوت است. دما در هواکره ممکن است بسیار کم از -92°C تا بیش از 120°C متغیر باشد. افت فشار اتمسفری از ۱ اتمسفر در سطح دریا تا 3×10^{-7} atm تا ۱۰۰ کیلومتر بالاتر از سطح دریا تغییر می کند. به دلیل این تغییرات، شیمی اتمسفر تا حد زیادی به تغییر ارتفاع وابسته است. همگام با اختلاف دما، میانگین مسیر آزاد گونه ها در هواکره (فاصله متوسط طی شده قبل از برخورد با یکی دیگر از ذرات) با افزایش ارتفاع افزایش می یابد. ذره ای با میانگین مسیر آزاد 1×10^{-6} سانتی متر در سطح دریا، دارای میانگین مسیر آزاد بیش از 2×10^6 سانتی متر در ارتفاع 50° کیلومتری که فشار پایین تر است، می باشد.



شکل ۳



شکل ۴

نواحی اصلی هواکره

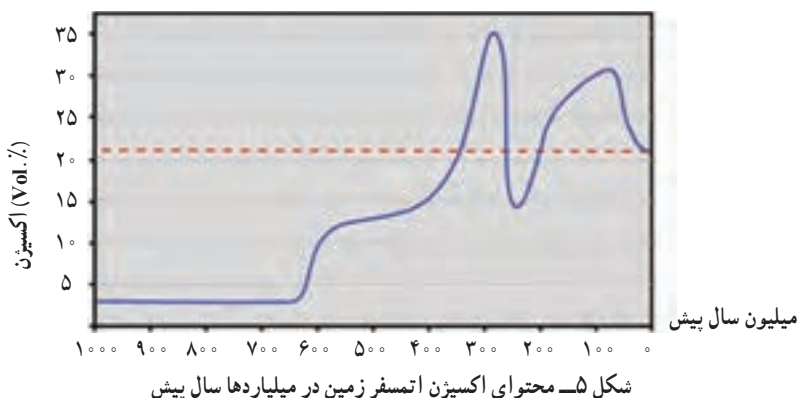
هواکره به طور گسترده به چهار منطقه همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است تقسیم می شود و تا ارتفاع ۵۰۰ km گسترش می یابد.

جدول ۱- مناطق عمده هواکره و ویژگی های آنها

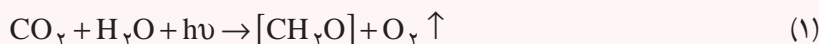
گونه های شیمیایی مهم	محدوده دما (°C)	گستره ارتفاع	ناحیه
N_2, O_2, CO_2, H_2O	۱۵ تا -۵۶	۰ - ۱۱	تروپوسفر
O_3	۵۶ تا -۲	۱۱ - ۵۰	استراتوسفر
O_2^+, NO^+	۲ تا -۹۲	۵۰ - ۸۵	مئوسفر
O_2^+, O^+, NO^+	۹۲ تا -۱۲۰۰	۸۵ - ۵۰۰	ترموسفر

تکامل هواکره

بسیاری از دانشمندان پذیرفته اند که وضعیت کنونی هواکره زمین کاملاً متفاوت از قبل بوده و تغییرات حاضر در اثر واکنش های شیمیایی و بیولوژیکی به وجود آمده است. حدود ۳/۵ میلیارد سال پیش، زمانی که اولین مولکول زندگی بدوی تشکیل شد، ترکیب شیمیایی هواکره، شامل متان، آمونیاک، بخار آب و هیدروژن بود.



به سبب بمباران شدید پرتوهای UV با انرژی بالا، رعد و برق و تابش‌های پرتوزا، تولید مولکول‌های نسبتاً پیچیده حتی اسیدهای آمینه و قندها در اثر واکنش‌های شیمیایی میسر گردید و در پی آن، مولکول‌های زندگی از ترکیب شیمیایی غنی در دریا تکامل یافتند. این اشکال حیات، انرژی خود را از فرایندهای شیمیایی و فتوشیمیایی جذب کردند و در نهایت توانایی تولید مواد آلی $[CH_4O]$ (واحد سازنده) توسط فتوسنتز را کسب کردند:



این تحولات عظیم بیوشیمیایی در نهایت منجر به تولید تقریباً تمام اکسیژن هواکره گردید. اکسیژنی که در ابتدا توسط فتوسنتز تولید شد احتمالاً برای اشکال زندگی ابتدایی کاملاً سمی بود. با این حال بخش عمده‌ای از این اکسیژن در واکنش با آهن (III) محلول در آب، Fe_2O_3 تولید کرد.



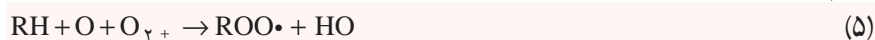
وجود آهن اکسید شاهد اصلی برای رهاسازی اکسیژن آزاد در هواکره اولیه می‌باشد. در این دوره زمانی، سیستم‌های آنزیمی توسعه یافتند به طوری که شرایط اکسایش مواد آلی موجودات در دریا توسط O_2 برای میکروارگانیسم‌ها فراهم گردید. به تدریج O_2 انباشته شده در هواکره به شکل‌گیری سپر اوزون در استراتوسفر کمک کرد. سپر اوزون در استراتوسفر در حفاظت از اشکال زندگی از اثرات مخرب پرتو فرابنفش پراانرژی نقش زیادی داشت در نتیجه زمین به یک محیط زیست مهمان نوازتری برای زندگی تبدیل شد و حرکت اشکال زندگی از دریا به زمین آغاز گردید.

یون‌ها و رادیکال‌ها در هواکره

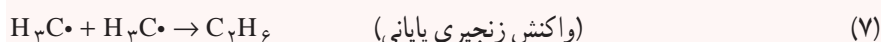
قسمت بالایی اتمسفر دارای مقدار قابل توجهی الکترون و یون‌های مثبت برای مثال، O_2^+ ، O^+ و NO^+ می‌باشد و اولین مسئول تولید یون در این منطقه، پرتو فرابنفش است. به دلیل شرایط رقیق، این یون‌ها ممکن

است برای مدت طولانی قبل از باز ترکیب با دیگر گونه‌ها و تشکیل ذرات خنثی در هواکره باقی بمانند. این یون‌ها در ارتفاع حدود ۵۰ کیلومتر و بالاتر دیده می‌شوند و از این رو این منطقه یونوسفر نامیده می‌شود. این پوشش یونی، امواج رادیویی خروجی را به سوی زمین منعکس کرده و انتقال‌های رادیویی را در مسافت‌های طولانی ممکن می‌سازد.

علاوه بر این یون‌ها، رادیکال‌های آزاد نیز به وسیله تابش الکترومغناطیس تولید می‌شوند. این ذرات، اتم یا گروهی از اتم‌ها با الکترون یا الکترون‌های جفت نشده هستند. در ارتفاعات بسیار بالا که هواکره بسیار رقیق است، نیم عمر رادیکال ممکن است چند دقیقه و یا حتی طولانی‌تر باشد.



(RH= هیدروکربن آلیفاتیک)



رادیکال‌های آزاد نقش مهمی در تشکیل مه دود فتوشیمیایی بازی می‌کنند. یک اتم یا رادیکال آزاد کاملاً ایزوله، کاملاً پایدار است. از این رو، رادیکال‌های آزاد و اتم تک از گازهای دو اتمی در شرایط فضای رقیق ارتفاعات بسیار بالا ماندگاری نشان می‌دهند زیرا می‌توانند قبل از برخورد با دیگر گونه‌های فعال، مسافت‌های طولانی را طی کنند. با این حال، گونه‌های برانگیخته الکترونیکی محدودیت دارند و به‌طور کلی زمان ماندگاری آنها بسیار کوتاه است زیرا ممکن است انرژی خود را از طریق تابش، از دست بدهند بدون آنکه با گونه‌های دیگر واکنش دهند.

واکنش‌های مربوط به هیدروکسیل و رادیکال هیدروپروکسیل :

در واکنش‌های شیمیایی اتمسفر با گونه‌های مختلفی از رادیکال‌ها مواجه می‌شویم. مهم‌ترین گونه رادیکالی در میان آنها رادیکال آزاد هیدروکسیل ($\cdot OH$) است که نقش کلیدی در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در هواکره ایفا می‌کند. این رادیکال در تروپوسفر به روش‌های گوناگون تشکیل می‌شود اما مهم‌ترین آن یک واکنش چهار مرحله‌ای است که شامل دو مرحله فتوشیمیایی است.



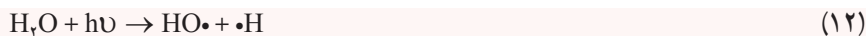
تشکیل O_3 طبق معادله (۹) در حضور یک جسم سوم M که اغلب گونه‌های N_2 و O_2 هستند، انجام می‌شود. اوزون تحت اثر نیروی تابشی، واکنش نورکافت (فوتولیز) زیر را در تروپوسفر انجام می‌دهد.



بخشی از اکسیژن برانگیخته (O^*) با مولکول‌های آب واکنش داده و به افزایش رادیکال‌های هیدروکسیل کمک می‌کند.



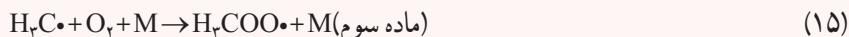
رادیکال‌های هیدروکسیل در جو نیز توسط فوتولیز آب تشکیل می‌شوند.



رادیکال هیدروکسیل از لایه تروپوسفر از طریق واکنش با کربن منوکسید حذف می‌شود.



رادیکال متیل بسیار فعال با O_2 واکنش می‌دهد و رادیکال متیل پروکسیل را تولید می‌کند.



رادیکال‌های هیدروژن تولید شده در واکنش‌های ۸ و ۹ با اکسیژن واکنش داده و رادیکال هیدروپروکسیل که ذره واسطی در اغلب واکنش‌های شیمیایی است تولید می‌کند.



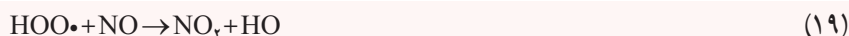
رادیکال هیدروپروکسیل می‌تواند واکنش‌های پایانی زنجیری را انجام دهد.



یا طبق واکنش‌های زیر رادیکال‌های هیدروکسیل را تولید نماید.

غلظت جهانی رادیکال هیدروکسیل به طور متوسط روزانه و فصلی از $10^5 \times 2$ تا $10^4 \times 1$

رادیکال در cm^3 در تروپوسفر تخمین زده شده است.



لایه‌های هواکره

هواکره از ۵ لایه به نام‌های تروپوسفر (Troposphere)، استراتوسفر (Stratosphere)، مزوسفر

(Mesosphere)، ترموسفر (Thermosphere) و اگزوسفر (Exosphere) تشکیل شده است.

تروپوسفر

پایین‌ترین لایه زمین از سطح دریا به ارتفاع 10° تا 16 کیلومتر تروپوسفر نام دارد. به طور میانگین دارای ضخامتی حدود 12 کیلومتر و در قطب‌ها و در مناطق استوایی به 16 تا 18 کیلومتر می‌رسد. از ویژگی عمده آن کاهش دما در جهت قائم حدود 6°C در هر 1000 متر است. به طور کلی مجموعه پدیده‌های اتمسفری که هوا نامیده می‌شود در این لایه قابل بررسی هستند. در تروپوسفر با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد زیرا هر چه از سطح زمین دورتر می‌شویم گرمای منعکس شده از زمین که از خورشید گرفته شده است کمتر هوا را گرم می‌کند، از طرفی با افزایش ارتفاع غلظت هوا کاهش یافته و قابلیت جذب مستقیم انرژی حرارتی خورشید به وسیله هوا کمتر می‌شود و دما کاهش می‌یابد.

با این حال، هوا با توجه به تغییر چگالی و دما در این منطقه، یکنواخت نیست. کاهش چگالی با افزایش ارتفاع رابطه‌نمایی دارد. مقدار بخار آب به دلیل تشکیل ابر، بارش و تبخیر از آب‌های زمینی متفاوت است.

لایه بسیار سرد در بالای تروپوسفر به عنوان تروپوپوز شناخته شده است. دمای پایین و در نتیجه تراکم آب به ذرات یخ، مانع از رسیدن آب به ارتفاعات و تجزیه نوری آن توسط پرتو فرابنفش پراثرژی می شود. در این منطقه ترکیب هوا کره یکنواختی کمتری در غیاب آلاینده ها دارد که عمدتاً به دلیل گردش ثابت توده های هوا در این منطقه است.

استراتوسفر

دومین لایه هوا کره، استراتوسفر (۵۰-۱۲ کیلومتر) نامیده می شود. افزایش تدریجی دما از ویژگی آن است، در استراتوسفر با افزایش ارتفاع، دما افزایش می یابد زیرا اوزون موجود در این لایه، پرتوهای فرابنفش نور خورشید را جذب می کند و ضمن تبدیل شدن به اکسیژن، پرتوهای فروسرخ تولید می کند که موجب گرم شدن این لایه می شود.

یکی دیگر از ویژگی های استراتوسفر میزان نسبتاً زیاد گاز اوزون (O_3) به ویژه در اطراف لایه استراتوپوز است که ضخامتی حدود ۱۶ تا ۳۰ کیلومتر دارد و لایه اوزون (Ozone Layer) نیز در این قسمت تشکیل می شود، دما در بعضی نواحی این لایه به $6^{\circ}C$ - می رسد. این لایه از نظر جلوگیری از اثرات مرگبار تابش های شدید فرابنفش به دلیل وجود اوزون موجود در آن بسیار مؤثر است. از طرف دیگر گاز اوزون (O_3) به همراه کربن دی اکسید (CO_2) اثر بسزایی در پراکندگی عمودی دما دارد.

مزوسفر

دارای ضخامتی حدود ۳۰ تا ۳۵ کیلومتر (۵۰ تا ۸۰ کیلومتر) است. در این لایه دما به سرعت کاهش می یابد به طوری که در ارتفاع ۸۰ کیلومتری میزان آن به حدود $9^{\circ}C$ - می رسد که سردترین مکان زمین است. این امر به دلیل عدم وجود گونه هایی به ویژه اوزون برای جذب تابش می باشد. در مزوسفر با افزایش ارتفاع، غلظت هوا کم و دما نیز کاهش می یابد زیرا در آن پدیده گرمایی انجام نمی شود. فشار هوا در مزوسفر بسیار پایین است و میزان آن از یک میلی بار در ارتفاع ۵۰ کیلومتری به ۱٪ در ۹۰ کیلومتری می رسد. گونه های شیمیایی اصلی در این منطقه O_2^+ و NO^+ هستند. این لایه زمین را از شهاب سنگ ها محافظت می کند.

ترموسفر

اصطلاح ترموسفر به سبب دمای بسیار زیاد ترمودینامیکی به این لایه داده شده است که این میزان ممکن است به $1227^{\circ}C$ برسد، در ترموسفر با افزایش ارتفاع به علت جذب پرتوهای فرابنفش با طول موج کوتاه، دما افزایش می یابد در ترموسفر (۸۰ کیلومتر به بالا) هوا بسیار نازک است. ترموسفر به معنی «کره حرارت» است. دما در این لایه به دلیل تابش پرتوهای فرابنفش که به گرما تبدیل شده است بسیار بالا است. دما اغلب به $2000^{\circ}C$ یا بیشتر نیز می رسد. جلوه سرخی شفق یکی از پدیده های ترموسفر پایینی است. قسمت پایینی ترموسفر به طور عمده ترکیبی از نیتروژن (N_2) و اکسیژن (O_2) به صورت مولکولی یا اتمی است در حالی که در کیلومترهای بالا مقدار اکسیژن (O_2) به نیتروژن (N_2) غلبه می کند. در این

منطقه گازهای اتمسفری، به ویژه اکسیژن و نیتریک اکسید، به اتم‌های سازنده تبدیل شده و با جذب تابش انرژی بسیار بالا با طول موجی کمتر از 200 nm دستخوش یونش می‌گردند دمای زیاد در این لایه به دلیل جذب تشعشع فرابنفش به وسیله اکسیژن اتمی است.

پرتوهای پراثری X و UV خورشید در ترموسفر جذب می‌شوند و دمای آن را تا صدها یا گاهی هزاران درجه بالا می‌برند. با این حال، هوا در این لایه آنقدر رقیق است که احساس سردی انجماد به ما دست می‌دهد. تغییرات در میزان انرژی که از خورشید می‌رسد تأثیر زیادی در بخش بالایی این لایه و دمای درون آن دارد. به همین دلیل، قسمت بالای ترموسفر می‌تواند بین 500 تا 1000 کیلومتر بالاتر از سطح زمین گسترش یابد. دما در ترموسفر بالایی از حدود 500 تا 2000°C یا بالاتر متغیر است. شفق قطبی، نورهای شمالی و جنوبی در ترموسفر رخ می‌دهند.

اگزوسفر

این حد بالایی از هواکره ما است که از بالای ترموسفر یعنی از 500 تا 10000 کیلومتری گسترش می‌یابد. ماهواره‌ها در این ناحیه قرار دارند. ناحیه‌ای که جاذبه زمین نیروی چندانی ندارد. در اینجا اتم‌های اکسیژن (O) و هلیوم (He) اتمسفر رقیقی را تشکیل می‌دهند. هلیوم (He) خنثی و اتم‌های هیدروژن (H) که دارای جرم اتمی پایینی هستند می‌توانند فرار کنند. اگزوسفر از زیر لایه دیگری به نام یونوسفر نیز تشکیل شده است.

یونوسفر

بخشی از اتمسفر زمین است که از حدود 60 کیلومتر به بالا، به سبب یونش ذرات، به صورت ناحیه تمرکز یون‌ها و الکترون‌های آزادی در می‌آید که این ذرات سبب بازتاب امواج رادیویی می‌شوند. از طرف دیگر فجرهای قطبی شمالی و جنوبی نیز به دلیل نفوذ ذرات یونیزه شده در درون اتمسفر از ارتفاع 30 تا 80 کیلومتری (به ویژه در مناطق حدود 20° تا 25° از قطب‌های مغناطیسی) مشاهده می‌شوند. این لایه فاقد گازهای سنگینی نظیر بخار آب (H_2O)، اکسیژن (O_2) و نیتروژن (N_2) در حالت مولکولی است.

مایع سازی هوا

هوای مایع، بسیار سرد، شفاف و به رنگ آبی روشن است و در دمای معمولی به سرعت به حالت گاز درمی آید؛ به همین جهت آن را در ظروف دوجداره مخصوص نگهداری می کنند.

هوای مایع، هوای معمول است که با متراکم کردن و خنک سازی در دمای بسیار پایین به مایع تبدیل شده است. در مقیاس تجاری، با عبور آن از روی کلسیم اکسید (آهک) کربن دی اکسید را حذف می کنند همچنین برای حذف آب اضافی، آن را بر سدیم هیدروکسید اثر می دهند. با فشرده سازی، تحت فشار ۲۰۰ اتمسفر و خنک سازی آن و عبور از درون لوله های غوطه ور در آب سرد و انبساط سریع، هوای گاز به مایع تبدیل می شود.

هوای مایع متشکل از ۷۸/۱٪ نیتروژن، ۲۱ درصد اکسیژن، ۰/۹ درصد آرگون و مقدار بسیار کمی از گازهای نجیب است که باید در یک ظرف خاص طراحی شده به نام فلاسک دیوار (Dewar flask) نگه داشته شود، چرا که در دماهای معمولی به سرعت گرما جذب کرده و به حالت گازی تبدیل می شود. فلاسک Dewar ظرفی با بطری عایق گرمایی است که از دو بطری تشکیل شده است و یکی در داخل دیگری قرار می گیرد، بین این دو بطری خلأ وجود دارد. خلأ مانع از انتقال گرما از یک فلاسک به طرف دیگر می شود. برای بهره وری بیشتر، این فلاسک ها از جنس نقره ساخته می شوند تا منعکس کننده گرما باشند.

هوای مایع به صورت تجاری برای انجماد مواد و به خصوص در تولید نیتروژن، اکسیژن، آرگون و دیگر گازهای بی اثر استفاده می شود. با افزایش دمای هوای مایع، نیتروژن در $-195/8^{\circ}\text{C}$ تبخیر و سپس آرگون در $-185/7^{\circ}\text{C}$ و در نهایت اکسیژن در -183°C بخار می شوند.

جدول ۲

اجزای هوای خشک		
	درصد حجمی	نقطه جوش ($^{\circ}\text{C}$)
N_2 نیتروژن	۷۸/۰۸	-۱۹۵/۸
O_2 اکسیژن	۲۰/۹۵	-۱۸۳/۸
Ar آرگون	۰/۹۳	-۱۸۵/۹
He هلیوم	۰/۰۰۵	-۲۶۸/۹
Ne نئون	۰/۰۰۱۸	-۲۴۶/۱
Kr کریپتون	۰/۰۰۰۱۱	-۱۵۳/۲
Xe زنون	۰/۰۰۰۰۰۹	-۱۰۸/۰

در جداسازی گازها از هوا سه مرحله کلیدی وجود دارد :

(آ) تمیز کردن هوا

(ب) مایع کردن هوا

(پ) تقطیر هوای مایع

حذف کردن ناخالصی از هوا

در یک روش، هوا از یک فیلتر عبور داده می‌شود تا گرد و غبار آن حذف گردد، سپس با افزایش فشار تا حدود ۶ اتمسفر و سرد کردن آن تا زیر دمای محیط، بخش عمده‌ای از بخار آب مایع شده و بقیه بخار آب و کربن دی‌اکسید با عبور هوا از یک غربال مولکولی ژئولیت، حذف می‌گردد. قبل از مایع شدن هوا، بخار آب و کربن دی‌اکسید حذف می‌شوند، زیرا با کاهش دما، این مواد جامد شده و لوله‌های دستگاه مایع‌سازی هوا را مسدود می‌کنند.

مایع‌سازی هوای خالص

فرایند آدیاباتیک یا بی‌دررو (Adiabatic Process): فرایندی است که طی آن گاز شرایط خود را بدون انتقال گرما به محیط یا جذب گرما از محیط تغییر می‌دهد. در یک تحول آدیاباتیک فشار، حجم و دمای گاز تغییر می‌کند و هیچ کدام ثابت نمی‌مانند. وقتی که گاز به صورت آدیاباتیک منبسط می‌شود، همچون سایر انبساط‌ها کار انجام می‌دهد؛ اما برای انجام این کار به انرژی نیاز دارد. در برخی فرایندها، گاز انرژی مورد نیاز خود برای انجام کار را از یک منبع بیرونی دریافت می‌کند. ولی در یک تحول آدیاباتیک نمی‌توان از یک منبع بیرونی گرما دریافت کرد، بنابراین انرژی لازم برای انجام کار، از ذرات سازنده گاز تأمین می‌شود. به همین دلیل در یک انبساط آدیاباتیک همواره دمای گاز کاهش خواهد یافت، زیرا مقداری از انرژی درونی گاز صرف انجام کار می‌شود.

در واقع، فرایند بی‌دررو فرایندی ترمودینامیکی است که در آن بین محیط و سامانه، گرمایی داد و ستد نمی‌شود ($Q=0$)

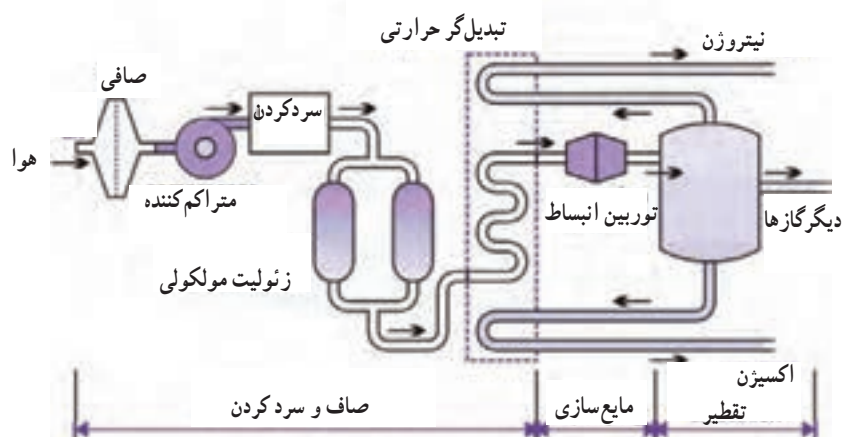
برای اینکه گرما بین سامانه و محیط مبادله نشود باید سیستم عایق‌بندی شده باشد

$$q+w=\Delta U \quad \Delta U=w, \quad Q=0$$

در فرایند بی‌دررو $q=0$ است. از این رو هنگام انبساط، دمای گاز کاهش و هنگام تراکم آن، دمای گاز افزایش می‌یابد. در فرایند انبساط $w<0$ پس $\Delta T<0$ یعنی دما کاهش می‌یابد و در فرایند تراکم $w>0$ پس دما افزایش می‌یابد. برای مثال هنگامی که چرخ دوچرخه با تلمبه، پر از باد می‌گردد، کار روی سامانه انجام می‌شود ($w>0$). فشار و برخورد ذرات افزایش یافته و دما افزایش می‌یابد. در مقابل، اگر گاز از فشار بالا به یک فشار پایین‌تر انبساط یابد، دمای گاز افت می‌کند.

تقطیر هوای مایع

هوای خشک و بدون CO_2 تا حدود 200 اتمسفر فشرده می‌شود، این فشردن باعث گرم شدن هوا می‌گردد، گرمای ایجاد شده را با عبور هوای فشرده از درون سردکننده، حذف می‌کنند. سپس، هوای فشرده به سرعت منبسط می‌گردد. انبساط سریع، باعث کاهش شدید دمای هوا شده و متراکم شدن آن را به دنبال دارد. سرانجام، این هوای فشرده تا حدود 100 کلوین سرد شده و سپس به سرعت منبسط می‌گردد تا دمای آن بیشتر کاهش یابد و مایع شود. اگر عمل انبساط، پیوسته تکرار و به طور مناسب کنترل شود، دمای هوای منبسط شده، به نقطه میعان می‌رسد. دمای هوای مایع اغلب کمتر از نقاط جوش نیتروژن ($-195/8^\circ C$)، اکسیژن ($-183^\circ C$) و آرگون ($-189^\circ C$) است (شکل ۶).



شکل ۶- تقطیر جزء به جزء هوای مایع

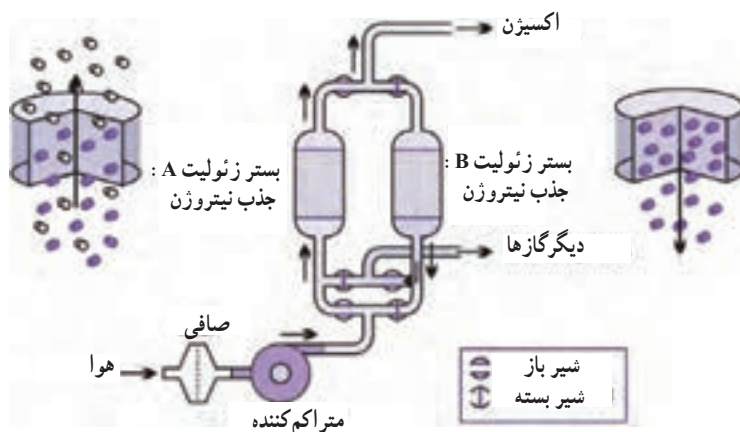
اجزای تشکیل دهنده هوای مایع توسط تقطیر جزء به جزء از هم جدا می‌شوند. در هر برش تقطیر، بخار نیتروژن (جزء با نقطه جوش پایین‌تر) غنی‌تر است، در حالی که مایع باقی‌مانده شامل اکسیژن بیشتری (جزء با نقطه جوش بالاتر) است. برای تولید اکسیژن خالص سیستم تقطیر از دو ستون تقطیر، یک ستون «بالا» و یک «پایین» بهره می‌گیرد. بخش نیتروژن اغلب از یک ستون اما گاهی نیز از دو ستون استفاده می‌کند. از آنجا که سایت جداسازی اجزای هوا در دمای پایین کار می‌کند، مواد سازنده دستگاه باید به دقت انتخاب شوند. برای این منظور اغلب از آلیاژهای آلومینیم و فولاد ضد زنگ استفاده می‌شود. این مواد در دماهای پایین شکننده نیستند. کارآمدی عایق دستگاه از جنبه‌های اقتصادی و امنیتی ضروری است، معمولاً از تکنیک‌های پشم شیشه و پوشش خلاء بهره می‌گیرند.

نیتروژن از بالای ستون به صورت یک گاز خارج می‌شود. نیتروژن از تقطیر هوای مایع در $195/8^{\circ}\text{C}$ به دست می‌آید. گاز به دست آمده توسط این فرایند در واقع ترکیبی از نیتروژن و حدود $1/25\%$ گازهای نجیب آرگون، نئون، کریپتون و زنون است. با توجه به سطح خلوص مورد نیاز کاربران نیتروژن ممکن است دوباره مایع و تقطیر شود. مقدار ناخالصی اکسیژنی در نیتروژن حاصل نباید بیش از 10 ppm باشد. ناخالصی‌های موجود در نیتروژن برای صنعت الکترونیک در حد قسمت در میلیارد اندازه‌گیری می‌شود. مایع حاوی اکسیژن و آرگون توسط تقطیر در ستون دوم بیشتر خالص می‌شود. با انجام تقطیر مجدد می‌توان آرگون را حذف کرده و اکسیژن با خلوص بالا، به دست آورد. برای جداسازی نیتروژن و اکسیژن روش‌های گوناگونی وجود دارد که در ادامه به برخی از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

تولید اکسیژن و نیتروژن با استفاده از جذب نوسان فشار (PSA)

گاهی برای برخی سایت‌های صنعتی، تولید یا ارائه اکسیژن و نیتروژن با خلوص 90% راحت‌تر قابل قبول است. فشار نوسان جذب می‌تواند تولید حدود 100 تن در روز را میسر سازد.

برای تولید اکسیژن، یک جریان هوای پاک از روی بستر آلومینا برای خشک شدن گاز، عبور داده می‌شود، سپس از یک بستر غربال مولکولی زئولیت می‌گذرد. نیتروژن به‌طور انتخابی حفظ (جذب) شده و یک جریان گازی غنی از اکسیژن خارج می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷

به جای استفاده از زئولیت در تولید اکسیژن، می‌توان از بستر غربال مولکولی کربن (CMS) برای تولید نیتروژن از هوا استفاده کرد. هوای تمیز، خشک و فشرده از روی یک بستر CMS معمولاً با فشار ۱۲-۷ اتمسفر منتقل می‌شود، اکسیژن در سطح CMS جذب و نیتروژن عبور کرده و ذخیره‌سازی می‌شود.

تولید اکسیژن توسط جذب نوسانی خلأ

اکسیژن را می‌توان در سایت توسط فرایندی که بسیار شبیه جذب نوسان فشار است نیز به دست آورد؛ تنها تفاوت آن است که مواد غربال با قرار دادن آن تحت خلأ تولید می‌شود. اگرچه این فرایند گران‌تر است، اما در اجرا کارآمدتر بوده و اکسیژن بیشتری از یک مقدار معین از هوا به دست می‌آید.

تولید نیتروژن با استفاده از غشا

اساس روش این است که گازهای متفاوت با سرعت‌های مختلف روی یک غشای نازک پلیمری پراکنده می‌شوند. انتشار اکسیژن و کربن دی‌اکسید سرعت بیشتری نسبت به نیتروژن و آرگون دارد و این اجازه را می‌دهد تا گاز باقی‌مانده از نیتروژن و آرگون غنی‌تر باشد. در این فرایند، غلظت نیتروژن نهایی به بیش از ۹۵٪ می‌رسد.

پلیمر مورد استفاده در غشا اغلب از جنس پلی (متیل پنتن) می‌باشد. هوا در فشارهای بین ۷ تا ۱۲ اتمسفر و دمای ۲۹۰ تا ۳۱۰ کلوین، از روی غشا عبور می‌کند. گازهای غیرقابل نیاز به درون غشا نفوذ می‌کنند و به فضای بیرون رانده می‌شوند.

تولید گازهای نجیب

آرگون در طول تولید برودتی نیتروژن و اکسیژن با استفاده از یک ستون تقطیر مجزا در کنار ستون دوم مورد استفاده برای خالص‌سازی اکسیژن به دست می‌آید.

خوراک این مرحله از فرایند تقطیر، معمولاً مخلوطی از ۸۹٪ اکسیژن، ۱۱٪ آرگون و مقدار جزئی نیتروژن است که برای به دست آوردن آرگون با خلوص حدود ۹۸٪ که به آرگون صنعتی معروف است دوباره تقطیر می‌شود. چنانچه به آرگون با درجه خلوص بسیار بالا (۹۹/۹۹۹٪) نیاز باشد، آرگون خالص

مایع، آرگون صنعتی در سائیتی جداگانه، تصفیه و پردازش می‌گردد. این سایت، اکسیژن باقی‌مانده را با مخلوط کردن جریان گاز با هیدروژن و عبور مخلوط از روی یک کاتالیزگر حذف می‌کند. در واقع اکسیژن با هیدروژن ترکیب و آب تشکیل شده با عبور از غربال مولکولی حذف خواهد شد. نیتروژن باقی‌مانده نیز با تقطیر مجدد در دماهای پایین حذف می‌شود.

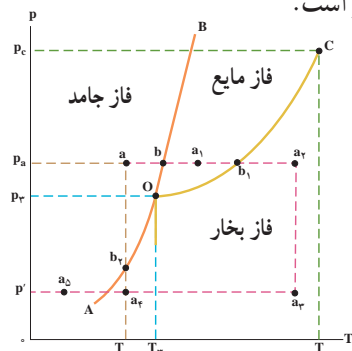
نئون، دیگر گاز نجیب سبک‌تر نیز از هوا به‌دست می‌آید. نقطه جوش آن (246°C) آن قدر کم است که طی مایع‌سازی، متراکم و مایع نمی‌شود؛ بنابراین نئون غلیظ شده پس از مایع شدن هوا، به حالت گاز باقی می‌ماند. نئون در دمای مورد استفاده در کارخانه‌های جداسازی اجزای هوا، همراه با هلیوم خارج شده و تا دمای نیتروژن مایع سرد می‌گردد. سپس هلیوم را با استفاده از جذب بر روی زغال فعال حذف می‌کنند. هلیوم عمدتاً از گاز طبیعی به‌دست می‌آید. گاز طبیعی تا 40° اتمسفر فشرده شده و مواد تغلیظ شده حذف می‌شوند. هیدروژن سولفید با شستشو توسط ۲-آمینو اتانول، و همانند فرایند استخراج گوگرد، بخار آب نیز با عبور گاز از روی آلومینا حذف می‌شود. گاز حاصل توسط یک فرایند خنک‌کننده سه‌مرحله‌ای خالص‌سازی می‌شود، هلیوم در هر مرحله خالص‌تر شده و به مرحله بعدی خنک‌سازی منتقل می‌گردد. هلیوم خروجی دارای خلوص ۹۹/۹۵٪ و ۹۹/۹۹٪ می‌باشد.

کریپتون و زنون (نقطه جوش به ترتیب 120°K و 165°K) در اکسیژن مایع تجمع می‌یابند و با تقطیر مجدد به‌دست می‌آیند. همچنین در شرایط مناسب، برشی حاوی حدود 60% گازهای نجیب، 30% اکسیژن و 10% نیتروژن را می‌توان از هوای مایع به‌دست آورد. اکسیژن با عبور مخلوط از روی مس گرم حذف می‌شود. اکسیژن با مس داغ واکنش داده و مس (II) اکسید تولید می‌کند. گاز باقی‌مانده، مخلوطی از گازهای نجیب و نیتروژن است. این مخلوط، گاز مورد استفاده برای پر کردن لامپ‌های رشته‌ای است.

برای حذف نیتروژن، مخلوط را از روی منیزیم داغ عبور می‌دهند که این فلز با نیتروژن ترکیب شده و منیزیم نترید (Mg_3N_2) تولید می‌کند. گاز باقی‌مانده ترکیبی از آرگون، نئون، کریپتون و زنون است. از آنجا که این عناصر شیمیایی بسیار واکنش‌ناپذیر هستند، با استفاده از واکنش‌های شیمیایی نمی‌توان آنها را جداسازی کرد. این گازها را با جذب مخلوط مایع بر روی زغال فعال در دمای بسیار پایین جدا می‌کنند. با گرم کردن آرام زغال فعال شده، هر گاز به‌صورت جداگانه در یک دمای خاص جذب می‌شود. هنگامی که دما به 8°C می‌رسد، گاز آرگون تقریباً خالص به‌دست می‌آید. با افزایش دما، کریپتون تقریباً خالص و پس از آن زنون، جدا می‌شود.

نمودار فاز

در این نمودار، در دماهای پایین و فشارهای بالا، فاز جامد پایدارتر است؛ در حالی که در دماهای بالا و فشارهای پایین، فاز گاز پایدارتر است.



نمودار ۱- الگوی نمودار فاز برای بیشتر مواد خالص

در این نمودار سه خط، فازهای گوناگون ماده خالص را از یکدیگر جدا می‌کند. هریک از این خط‌ها را، مرز فاز می‌نامند. OA، OB و OC به ترتیب مرز فازهای جامد-گاز، جامد-مایع و مایع-گاز^۱ را نشان می‌دهند. بررسی چنین نمودارهای فازی، نکته‌های آموزشی مفیدی دربردارد. برخی از این نکته‌ها بر پایه نمودار ۱، در زیر آمده است.

۱ هر نقطه روی نمودار، پایدارترین فاز ماده خالص در آن دما و فشار است. در نمودار ۱، نقطه‌های a_1 و a_2 به ترتیب فازهای جامد، مایع و گاز را در آن دما و فشار نشان می‌دهند که پایدارترین فاز در آن دما و فشار هستند.

۲ با افزایش دما در فشار ثابت (مانند p_a)، فاز جامد (a) نخست پس از ذوب به فاز مایع (a_1) تبدیل می‌شود و با افزایش دما در همین فشار به فاز گاز (a_2) تبدیل می‌شود؛ در حالی که در دمای ثابت (مانند T_a) با کاهش فشار، فاز جامد (a) به فاز گاز (a_2) تصعید (فرازش) می‌گردد.

۳ هر نقطه روی مرز فاز، تعادل میان دو فاز را در آن دما و فشار نشان می‌دهد. برای نمونه، b نقطه ذوب است که تعادل میان فازهای جامد و مایع در آن دما و فشار را نشان می‌دهد. اگر $p_a = 1 \text{ atm}$ باشد، به آن نقطه ذوب نرمال می‌گویند. در نقطه ذوب هر ماده خالص (α)، تعادل $\alpha(s) \rightleftharpoons \alpha(l)$ برقرار است؛ به همین دلیل $\Delta G_{\text{ذوب}} = 0$ است. بنابراین:

$$\Delta G_{\text{ذوب}} = G_{\text{مایع}} - G_{\text{جامد}} = 0 \rightarrow G_{\text{جامد}} = G_{\text{مایع}}$$

رابطه بالا نشان می‌دهد که در نقطه ذوب هر ماده خالص، انرژی آزاد گیبس (و انرژی گیبس مولی معروف به پتانسیل شیمیایی) در دو فاز جامد و مایع برابر می‌شود.

نقطه b_1 ، نقطه جوش است که تعادل میان فازهای مایع و بخار در آن دما و فشار را نشان می‌دهد. اگر $p_a = 1 \text{ atm}$ باشد، به آن نقطه جوش نرمال می‌گویند. در نقطه جوش هر ماده خالص (α)، تعادل $\alpha(l) \rightleftharpoons \alpha(g)$ برقرار بوده؛ به همین دلیل $\Delta G_{\text{تبخیر}} = 0$ است،

۱- برای هر مایع خالص در ظرف سر بسته، فشار بخار در حالت تعادل با مایع، فشار بخار نامیده می‌شود. به همین دلیل مرز فاز مایع-بخار در نمودار فاز، روند تغییر فشار بخار با دما را نیز نشان می‌دهد.

بنابراین :

$$\Delta G = G_{\text{مایع}} - G_{\text{گاز}} = 0 \rightarrow G_{\text{گاز}} = G_{\text{مایع}}$$

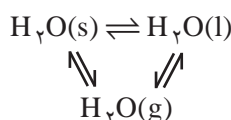
رابطه بالا نشان می‌دهد که در نقطه جوش هر ماده خالص، انرژی آزاد گیبس (و انرژی گیبس مولی معروف به پتانسیل شیمیایی) در دو فاز مایع و گاز برابر است. در نقطه b_p ، تعادل میان فازهای جامد و گاز برقرار است که نشان دهنده فرایند فرازش است.

۴ برای هر نقطه روی مرز فاز $\Delta G = 0$ و در نتیجه $\Delta H = T\Delta S$ است. به همین دلیل در فشار ثابت،

دمای تبدیل فاز $T = \frac{\Delta H}{\Delta S}$ خواهد بود. برای نمونه اگر دمای ذوب نرمال آب خالص برابر با 273K و تغییر آنتالپی ذوب آن برابر با $6.01 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$ باشد :

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T} = \frac{6.01}{273} \cong 22 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

۵ نقطه O ، نقطه سه گانه نام دارد و برخوردگاه سه مرز فاز با مختصات p_p و T_p است. در p_p و T_p سه حالت جامد، مایع و گاز هر ماده خالص در تعادل بوده و برای هر ماده خالص منحصر به فرد است. برای نمونه نقطه سه گانه برای آب خالص در مختصات 0.01°C و $6 \times 10^{-3} \text{ atm}$ بوده و هیچ دما و فشار دیگری به جز آن نمی‌توان یافت که در آن سه فاز یخ، آب و بخار در تعادل باشند.



ویژگی بارز آب خالص در نقطه سه گانه

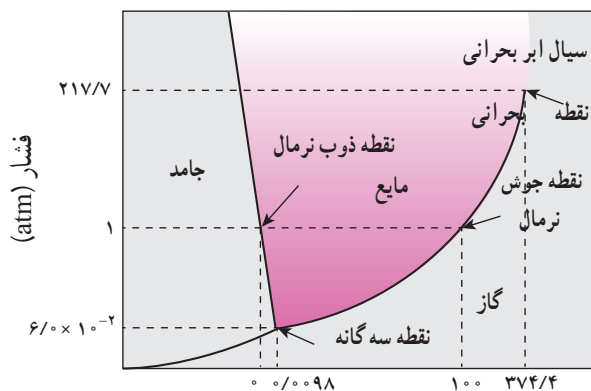
۶ اگر در فشار ثابت و بیشتر از p_p (مانند p_a)، دمای ماده خالص (از a تا b) افزایش یابد، نخست ذوب سپس تبخیر (از b تا a) رخ می‌دهد. در این شرایط $\Delta H_{\text{تبخیر}} = \Delta H_{\text{ذوب}} + \Delta H_{\text{تصعید}}$ خواهد بود. درحالی که اگر در فشار ثابت و کمتر از p_p (مانند p') دمای ماده خالص افزایش یابد (از a تا a')، تبدیل مستقیم جامد به گاز (فرازش) رخ می‌دهد.

۷ نقطه C ، نقطه بحرانی نام دارد. اگر مایع خالصی در ظرف سربسته و محکمی گرم شود، جوشیدن رخ نمی‌دهد؛ بلکه با افزایش دما، فشار بخار بیشتر شده، به گونه‌ای که پیوسته چگالی بخار افزایش و چگالی مایع کاهش می‌یابد تا اینکه مرز میان دو فاز ناپدید می‌شود. دمایی که در آن چنین پدیده‌ای رخ می‌دهد، دمای بحرانی (T_c) و فشار بخار آن، فشار بحرانی (p_c) نام دارد. در T_c و بالاتر از آن، فاز همگنی به نام سیال ابر بحرانی همه طرف را پر می‌کند. این ویژگی نشان می‌دهد که هیچ ماده خالصی در بالاتر از T_c خود، نمی‌تواند به حالت مایع باشد. به همین دلیل دمای بحرانی را دمایی می‌دانند که در آن یا بالاتر از آن، هرچه گاز فشرده شود، مایع نخواهد شد.

۸ نگاهی ژرف‌تر نشان می‌دهد که برای رسم نمودار فاز یک ماده خالص دست کم به پنج داده تجربی (پنج نقطه) نیاز است. این پنج داده تجربی همان نقطه جوش نرمال، نقطه ذوب نرمال، نقطه بحرانی، نقطه سه گانه و نقطه‌ای که فشار بخار جامد را در دماهای پایین نشان می‌دهد (مانند A)، می‌باشند. به همین دلیل گفته می‌شود : «هر نمودار فاز از داده‌های تجربی رسم می‌شود؛ سپس در بررسی‌های نظری به کار می‌رود».

۹ یکی از نکته‌های جالب در نمودار فاز هر ماده خالص، شیب مرزهای فاز است. شیب مرز فاز، $\frac{\Delta p}{\Delta T}$ است که هم‌ارز با $\frac{\Delta S}{\Delta V}$ می‌باشد. برای نمونه شیب مرز فاز جامد – مایع تندتر از مرزهای دیگر است؛ زیرا: $\left(\frac{\Delta p}{\Delta T}\right)_{\text{ذوب}} = \left(\frac{\Delta S}{\Delta V}\right)_{\text{ذوب}}$

براساس این رابطه $\Delta V_{\text{ذوب}}$ ، در برابر $\Delta V_{\text{تبخیر}}$ و $\Delta V_{\text{تصعید}}$ ناچیز است. با اینکه $\Delta S_{\text{ذوب}} < \Delta S_{\text{تبخیر}}$ است؛ اما به دلیل اینکه $\Delta V_{\text{تصعید}}$ و $\Delta V_{\text{تبخیر}}$ و $\Delta V_{\text{ذوب}}$ می‌باشد، شیب مرز فاز جامد – مایع تندتر است. ۱۰ تأثیر برخی ویژگی‌های غیرعادی آب مانند تغییر حجم آن هنگام ذوب را می‌توان در نمودار فاز آن (نمودار ۲) جست‌وجو کرد. تفاوت آشکار در نمودار فاز آب با بیشتر نمودار فاز دیگر مواد خالص، مرزهای فازهای جامد – مایع بوده که شیب منفی دارد؛ زیرا برای آب در فرایند ذوب، $\Delta S > 0$ بوده اما $\Delta V < 0$ است. از این‌رو شیب مرز فاز جامد – مایع، $\frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{\Delta S}{\Delta V} < 0$ خواهد بود.



نمودار ۲- فاز آب خالص

نیتروژن

نیتروژن مایع بی‌اثر، بی‌رنگ، بی‌بو، بی‌مزه، غیرسمی، غیرخورنده، اشتعال‌ناپذیر و بسیار سرد است. نیتروژن بخش عمده‌ای از هواکره (۷۸/۱٪ حجمی، ۷۵/۵ درصد وزنی) را تشکیل می‌دهد. نیتروژن بی‌اثر است و موجب گسترش احتراق نمی‌شود؛ با این حال، باعث ادامه حیات هم نمی‌شود. نیتروژن مولکولی قوی‌ترین پیوند سه‌گانه طبیعی ممکن با توجه به پنج الکترون در لایه بیرونی اتم خود ایجاد می‌کند. این پیوند سه‌گانه قوی، همراه با الکترونگاتیوی بالای آن (۴/۳ در مقیاس پائولینگ)، واکنش‌ناپذیری آن را توضیح می‌دهد.

نیتروژن بی‌اثر است به جز زمانی که تا دمای بسیار بالا گرم شود، که در این حالت با برخی فلزهای فعال مانند لیتیم و منیزیم، به شکل نیتريد ترکیب می‌شود. این گاز همچنین برای تشکیل اکسیدهای نیتروژن ترکیب شده و هنگامی که با هیدروژن در حضور کاتالیزگر واکنش می‌دهد آمونیاک تولید می‌کند. در دمای زیر نقطه جوش نیتروژن $195/79^\circ \text{C} - (77 \text{ K})$ ، این گاز به نیتروژن مایع متراکم می‌شود.

نیتروژن جامد در نقطه ذوب، $21^{\circ}\text{C} - (63\text{ K})$ به یک جامد کرکی شبیه برف تبدیل می شود.

جدول ۳- خواص فیزیکی و شیمیایی نیتروژن مایع

فرمول مولکولی	N_2
جرم مولکولی	۲۸/۰۱
نقطه ذوب	$-32^{\circ}\text{F} (-19^{\circ}\text{C})$
نقطه انجماد	$-346^{\circ}\text{F} (-21^{\circ}\text{C})$
دمای بحرانی	$-232^{\circ}\text{F} (-146^{\circ}\text{C})$
فشار بحرانی	۴۹۲/۳ psia (۳۳/۵ atm)
چگالی، مایع	$50/47\text{ lb/scf} (808/5\text{ Kg/m}^3)$
چگالی، گاز	$0/0725\text{ lb/scf} (1/16\text{ Kg/m}^3)$
حجم ویژه	$13/8^{\circ}\text{ scf/lb} (0/861\text{ m}^3/\text{kg})$

اثرات بهداشتی

نیتروژن به دلیل بی بو، بی رنگ، بی مزه و غیرمحرک بودن، خواص هشدار دهنده ندارد و حواس انسان نمی تواند وجود نیتروژن را تشخیص دهد. اگرچه نیتروژن غیر سمی و بی اثر است، اما می تواند همانند یک گاز اختناق آور عمل کند. استنشاق نیتروژن در مقادیر بیش از حد می تواند باعث سرگیجه، تهوع، استفراغ، از دست دادن هوشیاری و مرگ شود. مرگ ممکن است از خطا در قضاوت، گیجی یا از دست دادن هوشیاری باشد که مانع از نجات شخصی می شود.

کاربرد گاز نیتروژن

(آ) تایر خودرو

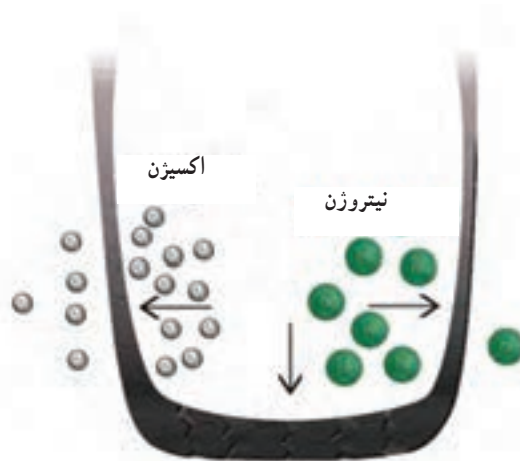
تنظیم باد لاستیک خودرو یکی از عوامل مهم در نگهداری خودرو است. میزان فشار باد درون تایر خودرو تأثیر مستقیم روی مصرف سوخت، نرمی حرکت خودرو، ترمزگیری مطمئن تر، فرمان پذیری بهتر و کنش بالاتر خودرو دارد. هوای معمولی، ترکیبی از یک درصد بخار آب و دیگر گازها مانند اوزون و آرگون، ۲۱ درصد اکسیژن که فراریت آن سه تا چهار برابر سریع تر از نیتروژن است و ۷۸ درصد نیز نیتروژن است که بزرگ ترین مولکول هوای خشک بوده و غیرقابل اشتعال است. استفاده از گاز نیتروژن، موجب حذف بخار آب و اکسیژن از داخل تایر می شود.

در ابتدا از گاز نیتروژن در تایر هواپیماها و ماشین های سنگین نظامی و بعدها در اتومبیل های مسابقه ای استفاده می شد. امروزه این گاز در خودروهای سواری و سنگین به ویژه اتوبوس های برون شهری نیز مورد استفاده قرار می گیرد. برخی مزایای استفاده از نیتروژن به جای هوای فشرده باد لاستیک،

عبارت‌اند از :

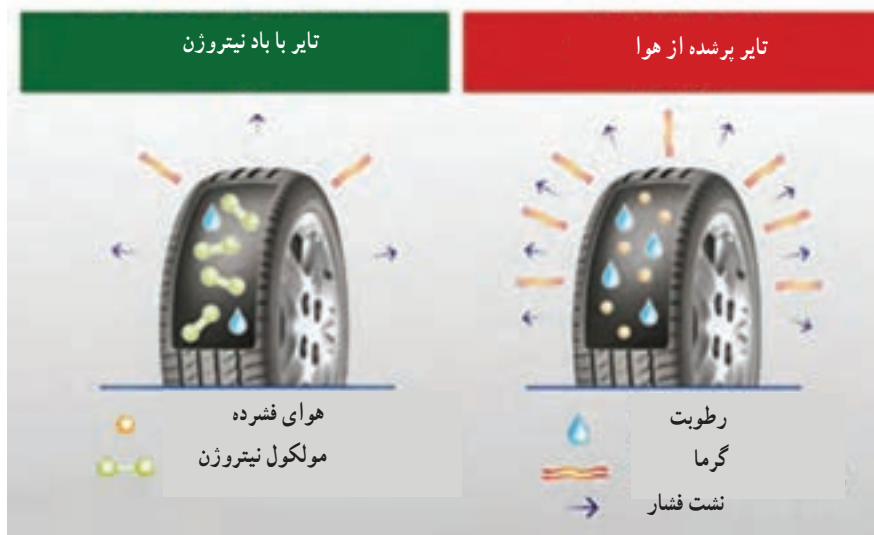
- کاهش دمای در حال حرکت تایر
- بهبود کیفیت رانندگی
- افزایش عمر تایر
- ایجاد فشار ثابت‌تر در تایر برای مدت طولانی‌تر
- کاهش میزان افت فشار
- عدم واکنش با تایر و لبه مواد فلزی

آستر تایر و تیوپ‌ها تا حدی متخلخل هستند و هوا در نهایت از روزنه‌ها عبور می‌کند. از این رو نیاز است به‌طور منظم فشار تایر چک شود. نیتروژن، با توجه به ساختار شیمیایی آن، کندتر از هوای فشرده نشت می‌کند. بنابراین افت فشار آهسته‌تر است.



شکل ۸

حضور اکسیژن و رطوبت در داخل تایر می‌تواند باعث اکسایش (زنگ زدن) اجزای فلزی شود. طوقه لاستیک‌ها از سیم‌های فولادی تشکیل شده و جنس رینگ‌ها از فولاد و یا آلومینیم است. رطوبت و اکسیژنی که در تایر وجود دارد منجر به وقوع واکنش شیمیایی با این فلزها می‌شود که خوردگی رینگ و لاستیک‌ها و به دنبال آن کاهش عمر تایر را به همراه دارد. اما در تایرهایی که با گاز نیتروژن پر شده‌اند، گاز واکنش‌پذیر اکسیژن و رطوبت حذف شده است در نتیجه رینگ و لاستیک از خوردگی محفوظ می‌ماند. با این حال، ممکن است حتی با خارج کردن باد تایر، مقداری رطوبت و هوا در تایر وجود داشته باشد.



شکل ۹

همچنین نیتروژن دارای معایبی است که عبارت‌اند از :

■ هزینه

■ نگه‌داری

■ دسترسی

از دست دادن هوا می‌تواند از طریق پوشش داخلی تایر، سوپاپ، سوراخ‌ها و یا از بین رفتن درزگیری بین تایر و لبه چرخ رخ دهد. گاز نیتروژن که برای لاستیک استفاده می‌شود دارای ۹۵ – ۹۳ درصد نیتروژن است. نشت نیتروژن خالص آهسته‌تر است. مولکول‌های نیتروژن نسبت به مولکول‌های اکسیژن بزرگ‌ترند. حاصل این ویژگی، خروج کمتر آنها از تایر است. تحقیقات نشان می‌دهد که پنج درصد هوای درون هر تایر در هر ماه به فضای بیرون منتقل می‌شود و از آنجایی که خطر فرار مولکول‌های بزرگ‌تر کمتر است، بنابراین کاهش فشار گاز نیتروژن در تایر کمتر بوده و نرخ افت فشار کندتر می‌شود. نرخ نشت فشار نیتروژن از تایر ۱۰ برابر کمتر از هوای فشرده است بنابراین هر بار که لاستیک را با گاز نیتروژن پر می‌کنید فشار آن را دوباره پس از ۳-۴ ماه و یا حتی بیشتر می‌توانید بررسی کنید.

نیتروژن از هوا سبک‌تر است بنابراین پرش در سرعت‌های بالا تا حد زیادی کاهش می‌یابد و یک سواری نرم و راحت حس می‌شود. میزان انعطاف‌پذیری تایرها که در تماس مستقیم با سطح جاده هستند موجب راحتی سرنشینان خودرو می‌شود و استفاده از گاز نیتروژن در تایر خودرو، لاستیک‌ها را نرم‌تر می‌کند، این نرمی در تایر موجب نرم‌تر شدن لاستیک و عدم کوبش زیادتر از معمول کمک‌فرها می‌شود. این انعطاف‌پذیری در فنرها توسط تایی که از گاز نیتروژن پر شده باشد دیده می‌شود، از سوی دیگر ترمزگیری خودروها با این تایرها تا ۳۰ درصد افزایش یافته که رانندگی ایمن‌تری را به همراه دارد. با توجه به اینکه نیروی کشش خودرو از طریق چرخ است و وزن چرخ‌ها تأثیر مستقیم روی میزان کشش و سرعت خودرو دارد استفاده از نیتروژن، وزن چرخ‌های خودرو را کمتر می‌کند.

یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از نیتروژن در تایلر خودرو به جای هوای معمولی کاهش دمای باد تایلر است، درواقع گاز نیتروژن با دریافت گرمایی برابر با هوای معمولی افزایش حجم کمتری پیدا می‌کند و منبسط می‌شود. حضور رطوبت در هر شکل باعث تغییرات شدید در فشار با نوسانات شدید دما می‌گردد.

ظرفیت گرمایی ویژه	1040 J/kg.K
-------------------	-----------------------

ب) بسته‌بندی مواد غذایی

اغلب تولیدکنندگان، به جای اکسیژن از گاز نیتروژن در بسته‌بندی استفاده می‌کنند. حضور اکسیژن معرف رطوبت است که می‌تواند کیفیت مواد غذایی را کاهش دهد. استفاده از نیتروژن برای تخلیه اکسیژن موجود در بسته‌بندی مواد غذایی، به‌طور گسترده در تمام صنایع غذایی استفاده می‌شود. استفاده از نیتروژن در بسته‌بندی مواد غذایی یک فضای تحت فشار ایجاد می‌کند که با این کار اطمینان حاصل می‌شود که غذاهای ظریف‌تر مانند چیپس، خرد نخواهد شد.



شکل ۱۰

پ) نگهداری نمونه‌های بیولوژیکی و درمان

نیتروژن مایع بسیار سرد است و می‌تواند برای حفظ و حمل و نقل نمونه‌های بیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد در واقع نیتروژن به عنوان یک سرمازا در کاربردهای پزشکی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۱

همچنین از نیتروژن مایع برای درمان بیماری‌های پوستی موضعی (سرمادرمانی موضعی) استفاده می‌شود. معمولی‌ترین درمان‌ها با سرمادرمانی در استفاده از نیتروژن مایع برای بیماری‌های پوستی متداول خارجی مانند حذف زگیل و خال می‌باشد، همچنین می‌توان بیماری‌های جدی‌تر خارجی مانند کراتوز خورشیدی و سرطان پوست کوچک را با این روش درمان کرد.



شکل ۱۲

ت) صنعت

آهن، فولاد و قطعات الکترونیکی که به اکسیژن یا رطوبت حساس هستند در فضای بی‌اثر نیتروژن تولید می‌شوند.

ن) مراقبت‌های بهداشتی برای کمک تنفسی

در بیمارانی که دارای نارسایی تنفسی مانند بیماری انسدادی مزمن ریه (COPD، Chronic Obstructive Pulmonary Disease) هستند گاز نیتروژن مورد نیاز است. این افراد به دلیل کاهش در ظرفیت ریه نمی‌توانند اکسیژن کافی را از هوای تنفسی دریافت کنند بنابراین تحت درمان با اکسیژن قرار می‌گیرند. در این شرایط از مخلوط گاز اکسیژن و نیتروژن استفاده می‌شود. اکسیژن کاملاً خالص، برای تنفس مسمی است. بنابراین اکسیژن با نیتروژن در یک نسبت خاص مخلوط و با لوله به‌طور مستقیم به بینی وارد می‌شود. در هوای تنفسی ما غلظت نیتروژن ۷۸٪ است در حالی که اکسیژن ۲۱٪ است. پس به کارگیری این گاز در درمان ایمن است؛ اما تنها تفاوت آن با هوا در غلظت بالاتر اکسیژن است.

ج) کروماتوگرافی گازی

در کروماتوگرافی به عنوان گاز حامل و یا گاز فاز متحرک استفاده می‌شود. این کاربرد به دلیل خواصی مانند واکنش‌ناپذیری و قیمت ارزان‌تر نسبت به سایر گازهای مورد استفاده در کروماتوگرافی گازی می‌باشد.

چ) خشک کردن حلال اضافی

این امر به ویژه در تحقیقات علمی انجام می‌شود. هنگامی که یک ماده در یک حلال آلی شکسته می‌شود، پس از فرایند، حلال اضافی با عبور جریانی از گاز نیتروژن خالص حذف می‌گردد. با گرم کردن و تبخیر نیز می‌توان حلال اضافی را حذف کرد اما اگر ماده و یا نمونه به دما حساس باشند و یا به دلیل گرما آسیب ببینند، ماده را باید با روش غیر حرارتی خشک کرد. از این رو با عبور نیتروژن، حلال آلی به تدریج حمل و حذف می‌شود.

آرگون

آرگون از واژه یونانی به معنی تنبل گرفته شده است. هنری کاوندیش در سال ۱۷۸۵ تصور می‌کرد که آرگون در هوا وجود دارد؛ اما در سال ۱۸۹۴، «لرد ریلی» و «ویلیام رامسی» این حقیقت را کشف کردند. انحلال‌پذیری آرگون ۲/۵ مرتبه بیشتر از نیتروژن در آب است و تقریباً قابلیت حل شدن آن مشابه گاز اکسیژن است. این عنصر شیمیایی در هر دو حالت گاز و مایع خود، بی‌اثر است. در هر دمایی، بی‌رنگ و بی‌بو، غیرآتش‌گیر و غیرسمی است. آرگون در شرایط معمول، واکنش شیمیایی انجام نمی‌دهد و هیچ ترکیب شیمیایی پایدار تأیید شده‌ای در دمای اتاق، تشکیل نمی‌دهد.

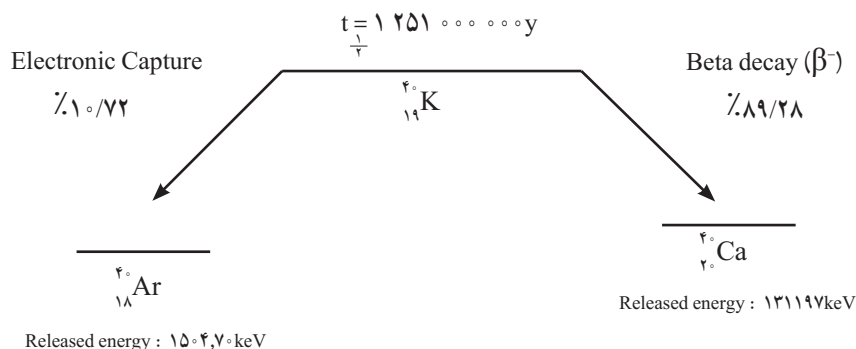
عدد اتمی : ۱۸
جرم اتمی : ۳۹/۹۴۸
هدایت گرمایی : ۴۷/۸۷٪ کمتر از هوا

چگالی: ۳۸/۰۱٪ چگال تر از هوا

پوند بر فوت مکعب: $[(0/1111 - 0/0805) / 0/0805]$

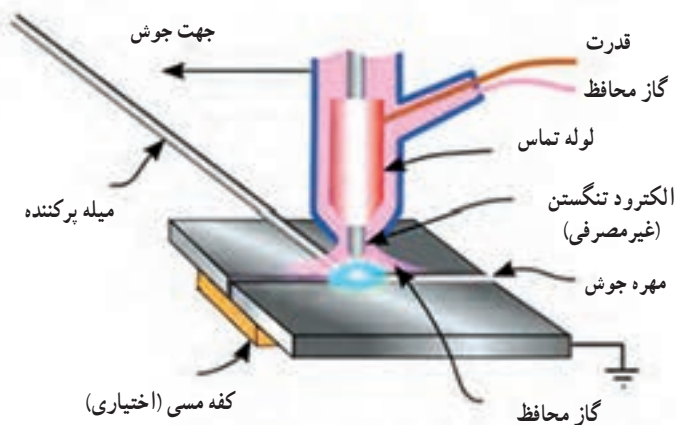
گرانروی: ۲۲/۱۶٪ گرانروی بیشتر از هوا

آرگون ۹۳٪ از هواکره زمین را تشکیل داده و سومین گاز فراوان در اتمسفر است. مقدار آن از زمان تشکیل زمین به تدریج افزایش یافته زیرا ایزوتوپ پرتوزای پتاسیم ^{40}K که دارای نیم عمر ۱۲/۷ میلیارد سال بوده به هنگام واپاشی به آرگون ^{40}Ar تبدیل می شود. آرگون در مقیاس تجاری با تقطیر هوای مایع به دست می آید.



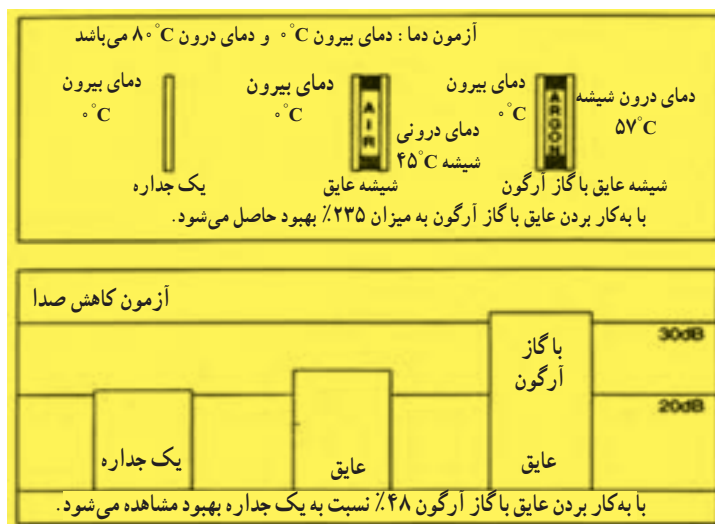
کاربردهای گاز آرگون

۱ گاز آرگون معمولاً به عنوان یک گاز بی اثر در جوش کاری تنگستن (TIG) استفاده می شود. این گاز بی اثر، الکترودها و جوش را از اکسایش محافظت می کند زیرا اکسیژن را از سطح فلز دور کرده و مانع ترکیب اکسیژن با فلز می شود به عبارت دیگر گاز آرگون اکسایش در محل جوش را متوقف می کند. این فرایند، جوش تمیزتری را ممکن می سازد.



شکل ۱۳ - جوشکاری در حضور آرگون

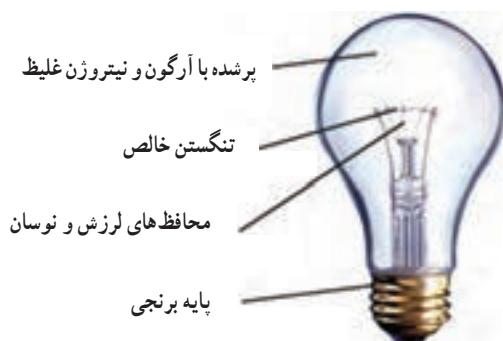
۲ برای پرکردن فضای شیشه‌های دوجداره از آرگون استفاده می‌شود زیرا گاز آرگون، رسانای گرمایی ضعیف‌تری از هوا است. مولکول‌های آرگون از هوا درشت‌تر و سنگین‌تر هستند. در واقع گاز آرگون ۵/۵ بار از هوا چگال‌تر است بنابراین حرکت‌های دایمی ذرات آن از سرعت حرکت مولکول‌های هوا کمتر است و زمان بیشتری طول می‌کشد تا گرما یا سرما را بین دو جداره شیشه منتقل کند. در واقع انرژی کمتری برای سرد یا گرم کردن خانه مصرف می‌شود. همچنین انتقال صدا در دوطرف جداره با وجود گاز آرگون کاهش می‌یابد.



شکل ۱۴

۳ لاستیک اتومبیل‌های لوکس می‌تواند با آرگون پر شود تا برای محافظت از لاستیک و کاهش سروصدای جاده مورد استفاده قرار گیرد، زیرا سر و صدای تیر در سرعت‌های بالا کمتر است.

۴ از آرگون اغلب زمانی که به یک جو بی‌اثر مورد نیاز است استفاده می‌شود. به همین دلیل برای تولید تیتانیم و سایر عناصر واکنش‌پذیر استفاده می‌شود. همچنین در لامپ‌های رشته‌ای برای توقف خوردگی رشته‌ها توسط اکسیژن به کار می‌رود.



شکل ۱۵

۵ آرگون در لامپ های فلورسنت و لامپ های کم مصرف کاربرد دارد. اغلب لامپ های کم مصرف دارای گاز آرگون و جیوه هستند. هنگام روشن شدن لامپ، یک تخلیه الکتریکی از میان گاز عبور می کند و نور UV تولید می گردد. پوشش سطح داخلی لامپ توسط نور مادون قرمز فعال شده و می درخشد.



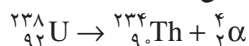
شکل ۱۶

هلیوم

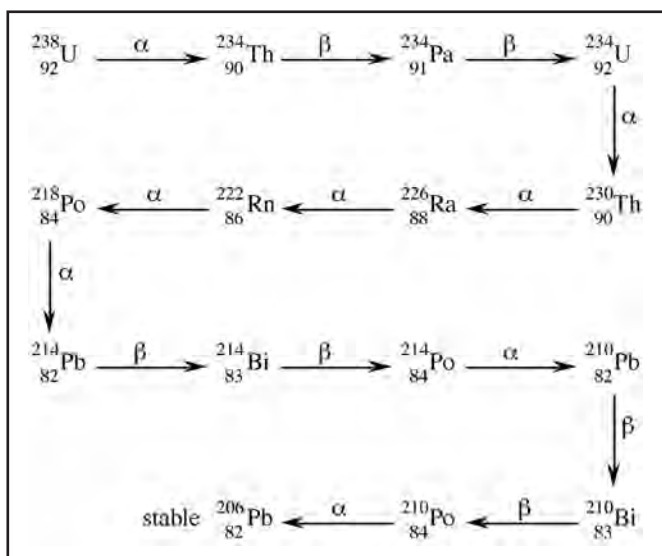
هلیوم عنصری گازی است که در سال ۱۸۶۸ توسط ادوارد فرانکلند (Edward Frankland) شیمی دان انگلیسی کشف گردید.

خواص فیزیکی هلیوم

بی بو، بی رنگ، تک اتمی که تحت ولتاژ بالا رنگ روشن دارد و از گروه گازهای نجیب است. هلیوم بعد از هیدروژن، دومین عنصر فراوان در جهان هستی است. در حال حاضر این عنصر در تمام ستاره ها وجود دارد و همچنان از فروپاشی ذرات آلفای عناصر پرتوزا در زمین، در حال تشکیل است. مقداری از هلیوم تشکیل شده وارد هوا کره می شود، که شامل حدود ۵ قسمت در میلیون حجمی است. این تعادل پویا است زیرا هلیوم به دلیل چگالی کم به طور مستمر به فضای بیرونی فرار می کند.



بیشتر هلیوم تشکیل شده در کره زمین، نتیجه فروپاشی پرتوزایی است. هلیوم در مقادیر زیاد در سنگ معدن اورانیم و توریم، یافت می شود. این عناصر، ذرات آلفا (هسته هلیوم He^{2+})، نشر کرده که این ذرات بلافاصله با الکترون ترکیب شده و خیلی زود توسط سنگ ها متوقف می شوند. در این روش حدود ۳۰۰۰ تن هلیوم در سال در سرتاسر سنگ کره تولید می شود.



این روند فروپاشی اورانیم فوق‌العاده آهسته است. به مدت زمان لازم که یک مقدار معین از اورانیم به نصف کاهش یابد، به اصطلاح نیم عمر گفته می‌شود که قابل مقایسه با سن زمین است. در واقع به این معنی است که هلیم به‌طور مداوم از زمان تشکیل زمین در حال تولید است. خوشبختانه در شرایط مناسب، مقداری از این گاز در زیر زمین به دام می‌افتد و می‌تواند برای استفاده ما برداشت شود.

غلظت هلیم در پوسته زمین، ۸ قسمت در میلیارد و در آب دریا، تنها ۴ قسمت در تریلیون است. همچنین مقادیر کم آن در چشمه‌های معدنی و گازهای آتشفشانی وجود دارد. چون هلیم در زیر سطح زمین در شرایطی مشابه به دام افتادن گاز طبیعی به تله می‌افتد، بزرگ‌ترین غلظت طبیعی هلیم در سیاره زمین در گاز طبیعی وجود دارد که بیشتر هلیم تجاری از آن استخراج می‌شود. غلظت هلیم در یک میدان گازی کوچک می‌تواند در گستره‌ای از چند ppm تا بیش از ۷٪ متفاوت باشد.

در هواکره زمین، غلظت هلیم تنها ۵/۲ قسمت در میلیون حجمی است. غلظت کم و نسبتاً ثابت به دلیل تولید مستمر هلیم جدید و خروج بیشتر هلیم هواکره به فضا از طریق انجام فرایندهای مختلف می‌باشد. هلیم و سایر گازهای سبک‌تر، فراوان‌ترین عناصر تشکیل دهنده در هتروسفر زمین، بخشی از لایه‌های بالایی هواکره می‌باشند. بنابراین استخراج هلیم از هوا غیراقتصادی است.

هلیم دارای خصوصیات عجیبی است. تنها عنصری است که در درجه حرارت پایین متبلور نمی‌شود. هلیم مایع دارای فشار صفر مطلق است اما وقتی فشار بالا می‌رود به آسانی متبلور می‌شود. گرمای ویژه هلیم گازی به صورت غیرعادی بالا است. چگالی هلیم گازی در دمای نقطه جوش عادی بالاست. به دلیل کامل بودن لایه ظرفیت، این عنصر میلی به ترکیب شدن با عناصر دیگر ندارد.

هلیم پایین‌ترین نقطه ذوب در عناصر را داشته و به دلیل نزدیک بودن نقطه ذوب آن به صفر مطلق کاربرد زیادی در تحقیقات سرمایشی دارد. همچنین هلیم عنصری کلیدی در مطالعه فوق‌رساناها می‌باشد. هلیم به مقدار کمی در خاک وجود دارد. استخراج آن از هوای مایع اقتصادی و معمول نیست. روش ارزان‌تر و آسان‌تر، جداسازی از گازهای طبیعی است.

ایزوتوپ‌های پایدار هلیوم

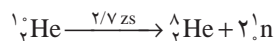
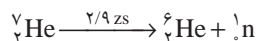
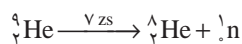
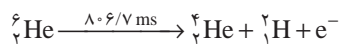
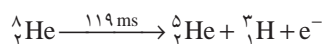
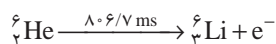
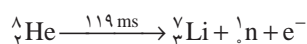
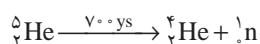
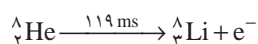
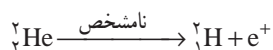
ایزوتوپ‌های هلیوم به صورت جامد ناپایدارند و این ایزوتوپ‌ها می‌توانند با اعمال فشار ۳۰ درصدی تغییر کنند و به حالت پایدار درآیند.

جدول ۴- جرم و درصد فراوانی طبیعی ایزوتوپ‌های He

جرم ظاهری	جرم دقیق	فراوانی طبیعی %
${}^3\text{He}$	۳/۰۱۶۰۲۹۳۱	۰/۰۰۰۱۳۷
${}^4\text{He}$	۴/۰۰۲۶۰۳۲۴	۹۹/۹۹۹۸۶۳

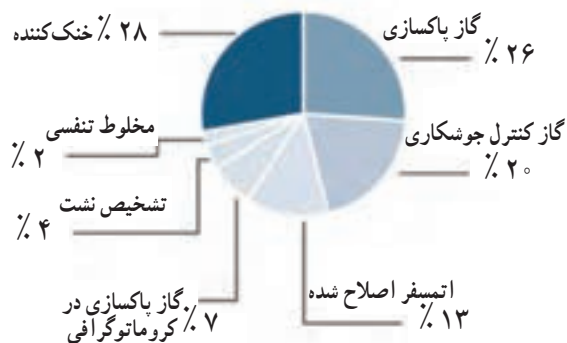
هلیوم دارای دو ایزوتوپ اما تقریباً به طور کامل شامل $\text{He}-4$ است، در واقع هلیوم طبیعی تنها حاوی بیش از ۰/۰۰۰۱ درصد از $\text{He}-3$ است. هزاران لیتر از هلیوم-۳ هر ساله در برنامه‌های کاربردی پرودتی استفاده می‌شود و همچنین به عنوان یک شمارنده نوترون در برنامه هسته‌ای کاربرد دارد. هلیوم-۳ در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی نیز به کار می‌رود. ایزوتوپ‌های ناپایدار هلیوم در جدول زیر ارائه شده است. تعداد ۹ ایزوتوپ از هلیوم با تعداد نوترون متفاوت پایدار و ناپایدار وجود دارد.

${}^1\text{He}$	${}^2\text{He}$	${}^3\text{He}$	${}^4\text{He}$	${}^5\text{He}$	${}^6\text{He}$	${}^7\text{He}$	${}^8\text{He}$	${}^9\text{He}$	${}^{10}\text{He}$
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	--------------------



کاربرد :

هلیوم به طور گسترده در بسیاری از صنایع با توجه به خواص منحصر به فرد این گاز نجیب استفاده می‌شود. جدول زیر زمینه‌های کاربرد اصلی هلیوم را نشان می‌دهد.



خنک سازی (سرمازایی)

هلیوم به عنوان یک محیط خنک کننده برای برخورد دهنده بزرگ هادرون (LHC)، طیف سنجی و آهنرباهای ابررسانا در اسکنر MRI و طیف سنج NMR، دستگاه ابررسانا کوانتومی تداخ (SQUID)، طیف سنجی رزونانس اسپین الکترون (ESR)، سنسورهای ابررسانا و اسپکترومتر جرمی استفاده می شود. میدان مغناطیس این ابررساناها انرژی گرمایی زیادی تولید می کند و به دلیل پایین بودن نقطه جوش هلیوم، از این گاز برای خنک نگه داشتن این دستگاه ها استفاده می شود. همچنین برای خنک نگه داشتن ابزارهای ماهواره ای و سرد کردن اکسیژن مایع و هیدروژن در حامل آپولو استفاده می شود.

$$5193 = (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}) \text{ ظرفیت گرمایی ویژه}$$

هلیوم، مواد ابررسانای دما پایین و آهنرباهای ابررسانای دما پایین را تا دمای نزدیک به صفر مطلق سرد می کند به طوری که مقاومت الکتریکی ابررساناها به طور ناگهانی به صفر افت می کند. ابررساناها در مقاومت الکتریکی بسیار پایین، می توانند میدان مغناطیسی بسیار قوی تری ایجاد کنند. میدان مغناطیسی بسیار قوی در تجهیزات MRI در بیمارستان ها می تواند جزئیات بیشتری در تصویر اسکن رادیولوژی فراهم سازد. از آنجا که هلیوم دارای پایین ترین نقطه ذوب و جوش در میان عناصر است به عنوان مایع فوق خنک کننده استفاده می شود. هلیوم در فشار اتمسفر و $4^{\circ}K$ جامد نمی شود و از نظر شیمیایی بی اثر است. به علاوه هلیوم زیر ۲/۲ کلوین ابرسیال است. هلیوم به عنوان مایع فوق خنک کننده در برنامه های کاربردی بروندی اگر به دمای زیر ۱۷ کلوین نیاز باشد، قابل استفاده است.



شکل ۱۷

چگالی

از آنجا که چگالی هلیوم کم است اغلب برای پر کردن بالن‌های تزئینی، بالن هواشناسی و کشتی‌های هوایی استفاده می‌شود. این گاز از هیدروژن سنگین‌تر و به مراتب ایمن‌تر است چون آتش نمی‌گیرد.

$$\text{چگالی در STP} = 0.1786 \text{ g/L}$$



شکل ۱۸

واکنش‌ناپذیری (جوش‌کاری)

به دلیل واکنش‌ناپذیری زیاد، از هلیوم برای ایجاد یک محیط محافظ بی‌اثر برای ساخت فیبر نوری و نیمه هادی‌ها و برای جوش‌کاری قوس الکتریکی استفاده می‌شود.

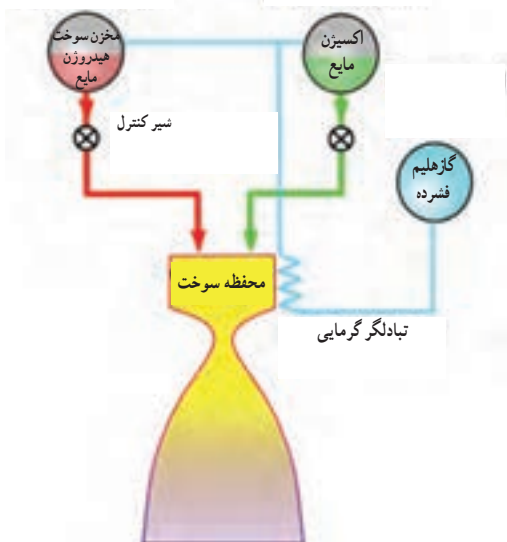


شکل ۱۹

هلیوم به‌عنوان یک گاز محافظ در جوش قوس الکتریکی و جوش‌کاری قوسی پلاسما به دلیل بالاترین پتانسیل یونش‌اتم آن به کار می‌رود. جو محافظ هلیوم در اطراف محل جوش‌کاری مانع اکسید شدن فلز در حالت مذاب می‌شود. پتانسیل یونش بالای هلیوم، شرایط جوش‌کاری قوسی پلاسمای فلزات خوش‌رنگی مانند تیتانیم، زیرکونیم، منیزیم و آلومینیم، آلیاژهای مورد استفاده

در ساخت و ساز، کشتی سازی و هوا فضا را فراهم می سازد. به عنوان گاز محافظ، هلیم را می توان با آرگون یا هیدروژن جایگزین کرد، با این حال برای جوش کاری قوسی پلاسمای مواد خاصی مانند تیتانیم این گازها را نمی توان جایگزین هلیم کرد، چرا که هلیم تنها گاز با فعالیت های حرارتی خیلی بالا است که فضایی ایمن و بی خطر فراهم می سازد.

عملیات فضای داخلی

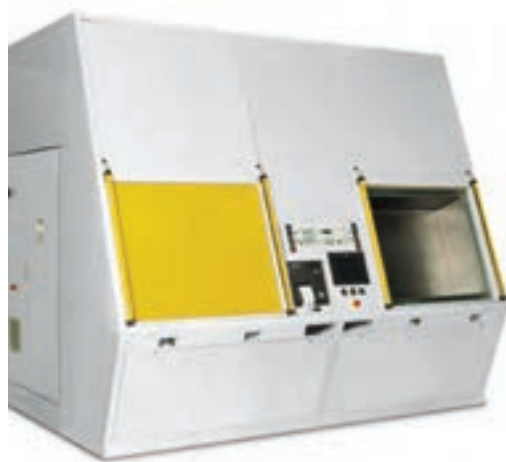


شکل ۲۰

در عملیات پاک سازی فشار هیدروژن مایع از هلیم استفاده می شود، چون هلیم تنها گاز با نقطه جوش پایین تر از هیدروژن است و بی اثر است. از نیتروژن به عنوان گاز پاک سازی برای سیستم هیدروژن مایع استفاده نمی شود، چرا که در این شرایط نیتروژن جامد می شود. هلیم به عنوان گاز پاک سازی در صنعت هوا - فضا در آژانس های فضایی مانند ناسا استفاده می شود. برای مثال، در راکت دلتا IV از هلیم برای حفظ فشار در مخازن سوخت اکسیژن مایع استفاده می شد. با سوختن اکسیژن مایع به عنوان سوخت موشک، هلیم به مخازن سوخت تزریق می شود تا مخزن متلاشی نشود، هلیم به عنوان گاز پاک سازی را می توان با نیتروژن به جز در سیستم های هیدروژن مایع جایگزین کرد.

تشخیص نشت

هلیم برای تشخیص نشت استفاده می شود، چون هلیم دارای کوچک ترین اندازه مولکولی و یک مولکول تک اتمی است. بنابراین به راحتی از درون کوچک ترین نشت ها عبور می کند. برای تشخیص نشت، یک شیء با هلیم پر می شود و در صورت

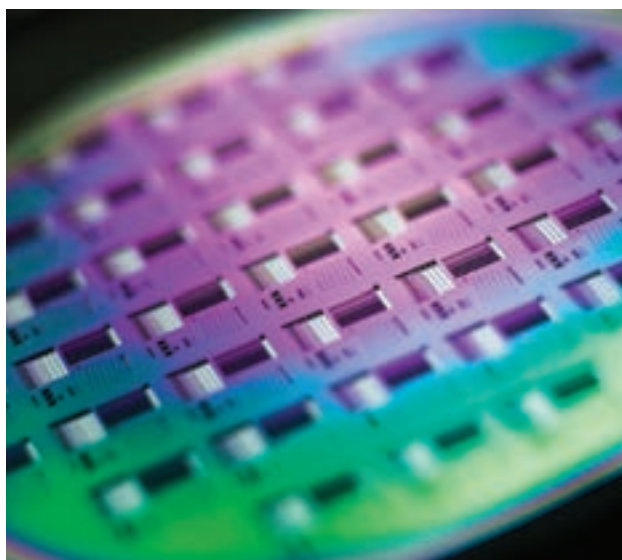


شکل ۲۱

وجود نشت یک طیف سنج جرمی محل نشت هلیم را شناسایی خواهد کرد. هلیم برای تشخیص نشت در راکت، مخازن سوخت، تبادل های گرما، خطوط گاز، دستگاه های الکترونیکی مختلف، لوله های تلویزیون و دیگر قطعات

تولیدی و سیستم‌های تهویه مطبوع خودرو به کار می‌رود. هلیم برای تعیین نشت اولین بار در پروژه منتهن برای یافتن نشت در کارخانه غنی‌سازی اورانیم استفاده شد. هلیم برای تعیین نشت، را می‌توان با هیدروژن یا نیتروژن و یا مخلوطی از هیدروژن و نیتروژن جایگزین کرد. به دلیل سرعت انتشار زیاد برای باد کردن کیسه هوای خودرو پس از ضربه کاربرد دارد.

کروماتوگرافی گازی



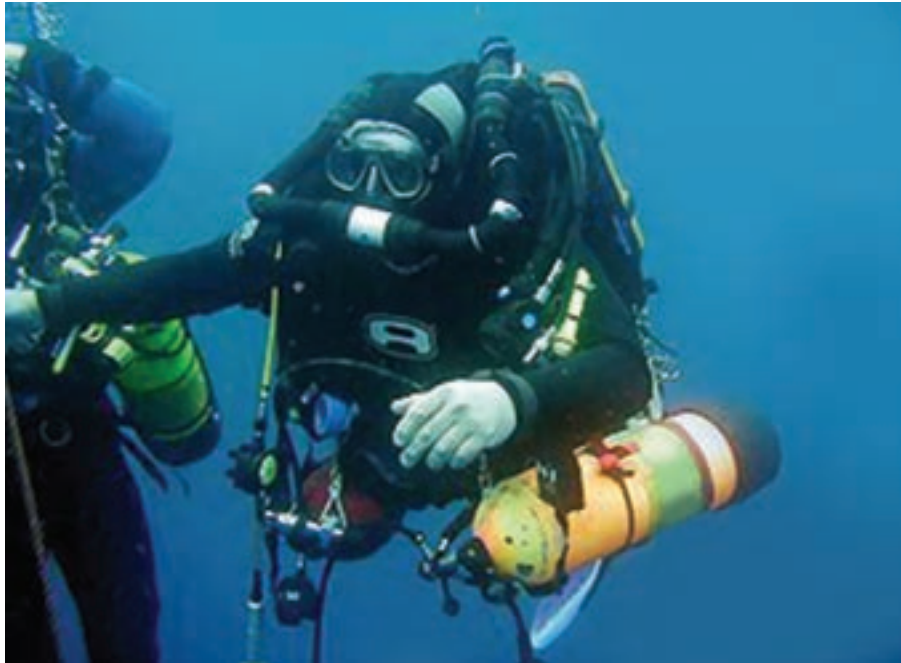
شکل ۲۲

هلیم به عنوان گاز حامل و گاز پاک‌سازی در کروماتوگرافی گاز به کار می‌رود، زیرا هلیم از لحاظ شیمیایی بی‌اثر است و خلوص بالایی دارد. کروماتوگرافی یک اصطلاح جمعی مورد استفاده برای تکنیک آزمایشگاهی است که به وسیله آن مخلوط‌ها جداسازی می‌شوند. کروماتوگراف‌ها به‌طور گسترده‌ای برای تجزیه و تحلیل کمی و کیفی در فرایندها و آزمایشگاه استفاده می‌شوند. به عنوان حامل، گاز هلیم را می‌توان با هیدروژن یا نیتروژن جایگزین کرد.

کیسول تنفسی

مخلوطی از ۸۰ درصد هلیم و ۲۰ درصد اکسیژن است که به عنوان یک فضای مصنوعی برای غواصان در اعماق دریا و کار در شرایط فشار زیاد استفاده می‌شود. هلیم به عنوان گاز غواصی در اعماق آب زیر ۳۰ متر با توجه به حلالیت بسیار کم آن در آب و خون کاربرد دارد. خطرناک‌ترین گاز موجود در هوای فشرده‌ای که غواص تنفس می‌کند، نیتروژن است. غلظت زیاد نیتروژن حل شده در خون ممکن است سبب تخدیر نیتروژنی شود. در این شرایط، غواص احساس شادی می‌کند، جهت‌یابی خود را از دست می‌دهد و ممکن است دچار ترس و اضطراب بی‌مورد شود. وقتی غواص بالا می‌آید، فشار کاهش می‌یابد و نیتروژن از محلول خارج می‌شود. اگر غواص با سرعت زیاد به سطح آب بیاید، نیتروژن حل شده فرصت کافی برای رسیدن به شش‌ها و خارج شدن پیدا نمی‌کند، بلکه در رگ‌های خونی و نسوج عصبی بدن، حباب نیتروژن تشکیل می‌شود. این حباب‌ها ممکن است موجب فلج، تشنج و خمیدگی شوند. این ناراحتی را از این رو خمیدگی نامیده‌اند که حباب‌های گاز نیتروژن اغلب در خمیدگی‌های رگ‌های

خونی مثلاً در مفاصل جمع می‌شوند. فشاری که در این مواضع ایجاد می‌شود، بسیار دردناک است و مانع می‌شوند که غواص مفاصل خود را باز کند. غواصی که خیلی سریع بالا آمده باشد را در اتاقی کم فشار قرار می‌دهند و فشار را با سرعت، تا فشاری که غواص در آن کار می‌کرده است، بالا می‌برند و سپس به تدریج تا فشار معمولی کاهش می‌دهند.



شکل ۲۳

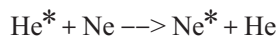
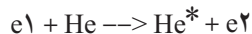
استفاده از هلیوم علاوه بر رقیق کردن اکسیژن که سبب تسهیل و آسان شدن تنفس می‌شود، سبب سبک شدن کپسول‌ها شده و غواص را در حمل کپسول و بالا آمدن یاری می‌کند. زیرا چگالی هلیوم بسیار اندک می‌باشد. چگالی بسیار پایین هلیوم سبب می‌شود که غواصان در کپسول‌های خود عمدتاً از آن استفاده کنند تا به راحتی سبک شده، بر روی آب بیایند اما اینکه غواص‌ها به هنگام استفاده از هلیوم در داخل محفظه احساس سرما می‌کنند، به این دلیل است که هلیوم دارای پایین‌ترین نقطه ذوب و جوش در میان عناصر است که این خصوصیت، مایع هلیوم را به خنک کننده‌ای ایده‌آل برای مقاصدی که دمای بسیار پایین نیاز دارند تبدیل می‌کند. همچنین ظرفیت گرمایی ویژه گاز هلیوم بسیار زیاد است و برای افزایش دما، نیاز به گرفتن گرمای زیادی از اطراف دارد. به همین دلیل به راحتی گرما را از محیط اطراف جذب کرده و سبب ایجاد سرما می‌شود.

ولی هلیوم مضراتی مخصوص به خود دارد. یکی از این مضرات تغییر صدای غواص است که موجب ایجاد اختلال در برقراری ارتباطات صوتی در فعالیت‌های غواصی عمق زیاد می‌گردد. در چنین شرایطی صوت غواص زیر و نازک می‌شود. همچنین هلیوم به لحاظ قابلیت بالای هدایت و انتقال گرما، باعث از دست دادن سریع دمای بدن غواص می‌شود.

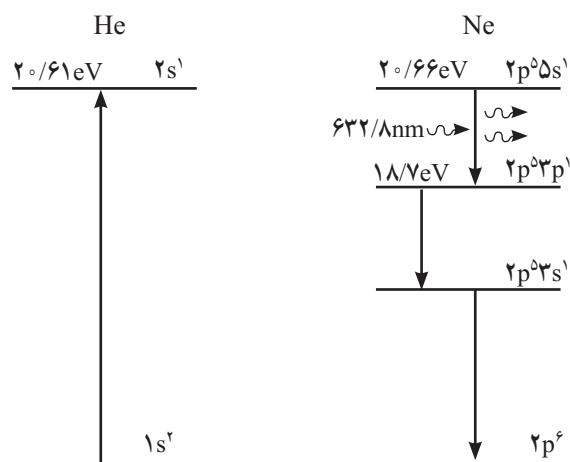
لیزر

حروف واژه لیزر (LASER) به ترتیب حرف اول کلمه‌های Light (نور) Amplification (تقویت) Stimulated (القایی)، Emission (گسیل) (Radiation تابش) به معنی تقویت نور توسط گسیل القایی تابش می‌باشد. هلیوم در لیزرهای گازی مانند لیزر هلیوم، نئون و لیزر CO_۲ و لیزر بخار – فلز مانند هلیوم – کادمیم استفاده می‌شود. لیزرهای مختلف با گاز هلیوم برای برنامه‌های کاربردی مختلف مانند تحقیقات علمی، تداخل، طیف‌سنجی، اسکن بارکد، هم‌ترازی، عمل جراحی لیزر چشم، چاپ و حروف‌چینی برنامه‌های کاربردی، جوش و برش استفاده می‌شوند.

هلیوم در لیزر برای تحریک استفاده می‌شود. تحریک مستقیم اتم‌های Ne به این ترازها بسیار مشکل و ناکارآمد است و لذا از یک روش کمکی باید استفاده نمود. خوشبختانه ترازهای هلیوم ۱s^۲ و ۳s^۲ کاملاً نزدیک به ترازهای ۲S و ۳S نئون هستند و به علاوه به آسانی در تخلیه الکتریکی دمش می‌شوند. وقتی اتم‌های هلیوم برانگیخته شده به اتم‌های نئون در حالت پایه برخورد می‌کنند، ممکن است انرژی خود را به آنها بدهند و آنها را به تراز برانگیخته مورد نظر Ne بفرستند. ترازهای هلیوم و نئون دقیقاً بر روی هم منطبق نیستند، ولی اختلاف آنها کم است و این اختلاف با انرژی‌های جنبشی اتم‌ها هنگام تبادل انرژی تقریباً جبران می‌شود. فرایند تحریک اتم‌های نئون را می‌توان با معادلات زیر نشان داد :



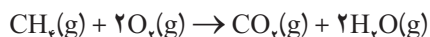
که e⁻ و e^۲ انرژی‌های الکترون قبل و بعد از برخورد می‌باشد. و علامت ستاره نشان از تحریک اتم و حضور در حالت برانگیخته دارد.



لیزرهای گاز هلیوم – نئون برای اسکن بارکد در خروجی سوپر مارکت‌ها استفاده می‌شود علاوه بر این هلیوم به عنوان گاز در لامپ‌ها استفاده می‌شود. هلیوم نوری از سفید تا رنگ نارنجی ساطع می‌کند. هنرمندان از لامپ گاز هلیوم برای روشنایی فضاهای ویژه استفاده می‌کنند.

گاز کربن مونوکسید

شرایط تجربی مانند دما، فشار و مقادیر نسبی واکنش دهنده‌های مختلف موجود، اغلب عوامل کلیدی در تعیین فراورده‌های یک واکنش شیمیایی هستند. تحت مجموعه‌ای از شرایط تجربی، دو واکنش دهنده ممکن است یک مجموعه خاصی از فراورده‌ها و در شرایط تجربی متفاوت همان دو واکنش دهنده ممکن است مجموعه‌ای دیگری از مواد را تولید کنند. چنین موردی در واکنش گاز متان با گاز اکسیژن هوا روی می‌دهد. هنگامی که گاز متان در مقدار اضافی اکسیژن می‌سوزد، کربن دی‌اکسید و آب تولید می‌کند، به این واکنش سوختن کامل می‌گویند.

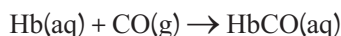


حال اگر همان واکنش دهنده با اکسیژن کمتر بسوزد فراورده‌ها گاز کربن مونوکسید و آب خواهد بود، این واکنش سوختن ناقص نام دارد.

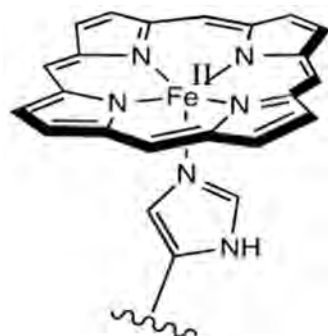


تفاوت بین دو واکنش در نسبت ترکیب مولی دو واکنش دهنده است یعنی ۱ به ۲ (دو برابر مول اکسیژن) در حالت اول و ۲ به ۳ (۱/۵ برابر مول اکسیژن) در مورد دوم می‌باشد. گاز متان، واکنش دهنده هر دو واکنش است و در حال حاضر بخش عمده‌ای از گاز طبیعی مورد استفاده در گرمایش خانه در طول فصل زمستان را تشکیل می‌دهد. وسایل گازسوز به طریقی طراحی شده‌اند که واکنش اول بیشتر در آنها روی داده و در عمل و در همان زمان، انجام واکنش دوم به حداقل رسانده شود. بنابراین با عملکرد صحیح دستگاه، فراورده‌های سوختن، عمدتاً CO_2 و H_2O (با مقدار کمی CO) خواهد بود که تمام این گازها از طریق یک سیستم تخلیه خارجی، خانه را ترک می‌کنند. با این حال اگر مشعل گاز تنظیم نباشد (نسبت نامناسب اکسیژن/سوخت) یا سیستم خروجی گاز مسدود شود، سطح CO خانه می‌تواند به سطحی برسد که برای انسان سمی باشد.

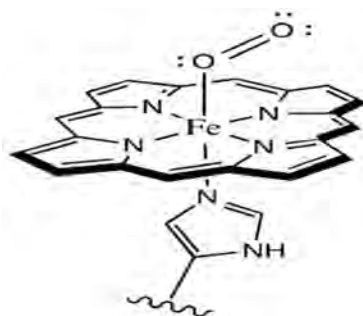
درون بدن انسان، CO تنفسی با هموگلوبین (Hb) موجود در سلول‌های قرمز خون واکنش می‌دهد و به شکل کربوکسی هموگلوبین (COHb) در می‌آید. تشکیل COHb توانایی هموگلوبین برای انتقال اکسیژن از ریه‌ها به بافت‌های بدن را کاهش می‌دهد.



این هموگلوبین از چهار گروه «هم» که با یک اتم آهن پیوند (لیگاند) داده‌اند، تشکیل شده است. در ششمین موقعیت، آهن با اکسیژن پیوند می‌دهد.

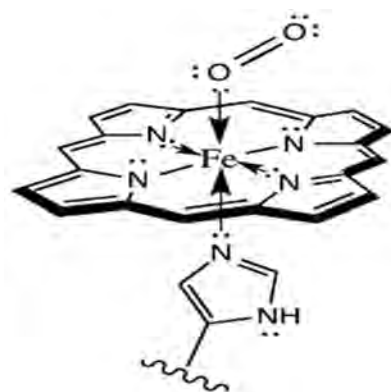


رایج‌ترین مولکول حامل اکسیژن در مهره‌دارانی مانند ما، هموگلوبین است. هموگلوبین دارای یک آهن (II) پنج کوئوردینه در مرکز هم یا لیگاند پورفیرین می‌باشد. در تصویر، تنها ساختار پیچیده کوئوردیناسیون نشان داده شده است و پروتئین اطراف آن دیده نمی‌شود. همچنین، گروه‌های دیگر متصل به پورفیرین (حلقه حاوی نیتروژن) وجود دارند اما از نمایش آن برای سادگی خودداری شده است.



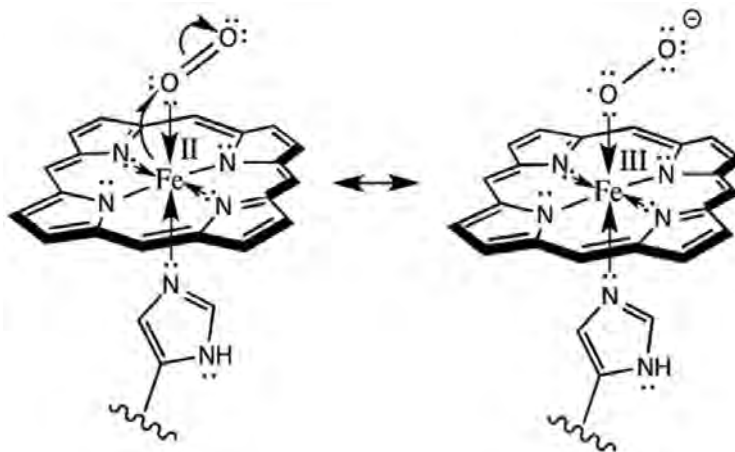
اکسیژن با آهن هم پیوند داده و تشکیل یک کمپلکس آهن هشت وجهی می‌کند. این ماده اکسی هموگلوبین نامیده می‌شود؛ این مولکول بدون اکسیژن deoxyhemoglobin نام دارد. اتصال اکسیژن، شکل هم را تغییر می‌دهد. در این حال از یک هرم مربع‌القاعده به یک هشت وجهی تبدیل می‌شود.

اگر اتم دهنده خنثی باشد، پیوند آن با فلز به وسیله یک فلش کوتاه، مستقیماً از اهدا کننده جفت الکترون به فلز و در صورتی که پیوند بین لیگاند آنیونی و فلز باشد با خطوط کوتاه معمولی نشان داده می‌شود. اتم آهن به صورت آهن (II) وجود دارد که با دو دهنده نیتروژن آنیونی از حلقه هم پیوند دارد.

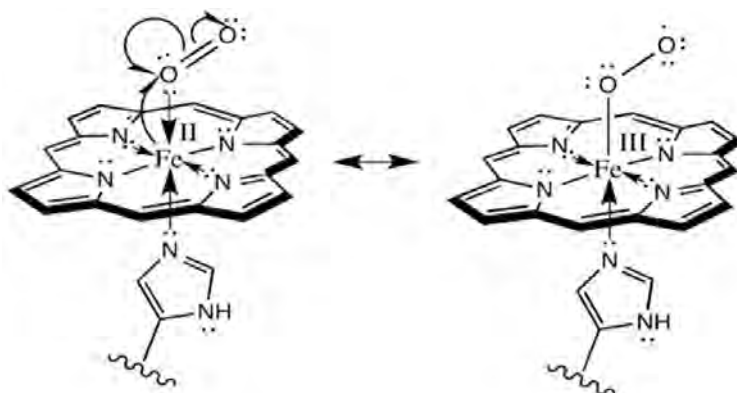


عملکرد هموگلوبین در انتقال اکسیژن به بافت، فوق‌العاده است به این معنا که نه تنها آهن آن می‌تواند تحت شرایط مناسب با اکسیژن پیوندی محکم دهد بلکه می‌تواند اکسیژن را در بافت آزاد کند. زمانی که اکسیژن با یک فلز مانند آهن پیوند می‌دهد، زاویه Fe-O-O تشکیل شده حدود ۱۲۰ درجه است. چنین کمپلکسی دارای شکل هندسی خمیده است.

یک رویداد مهم‌تر در اتصال اکسیژن وجود دارد. شواهد نشان می‌دهد که اکسی هموگلوبین در واقع به جای آهن (II) گونه آهن (III) دارد. آهن توسط پیوند اکسیژن اکسید می‌شود. یکی از روش‌های نمایش اکسایش آهن (کاهش اکسیژن) در زیر نشان داده شده است :



یا می‌توان آن را به صورت زیر نشان داد :



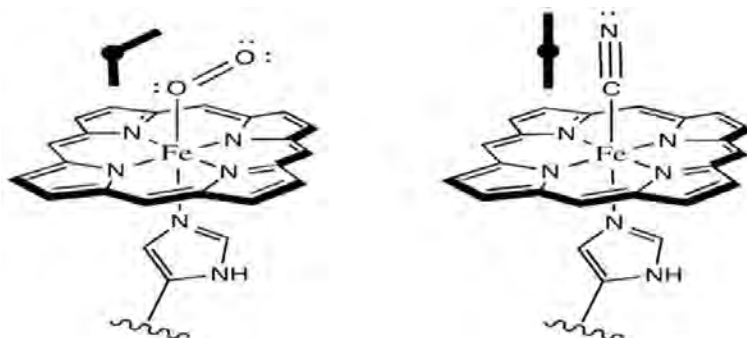
به یاد داشته باشید، در ساختار سمت راست، اکسیژن متصل به آهن یک دهنده آنیونی در نظر گرفته شده است و با پیوند خط ساده نشان داده شده است.

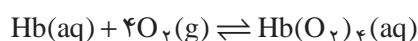
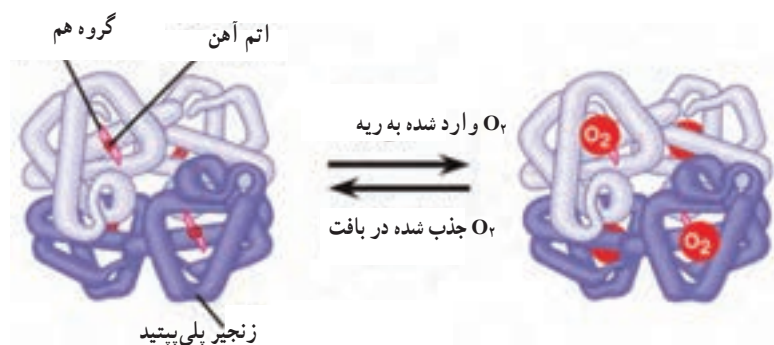
آنچه شگفت‌انگیز است آن است که هموگلوبین یک کمپلکس اکسیژن تشکیل نمی‌دهد بلکه به شکل یک کمپلکس با یون سوپراکسید، O_2^- خود ساخته وجود دارد، هنگام تحویل به سلول، سوپراکسید الکترون را به آهن باز می‌گرداند و تبدیل به یک مولکول اکسیژن معمولی می‌شود.

نتایج محاسبات مکانیک کوانتومی، نشان می‌دهد که پیوند Fe-CO در واقع دارای مقدار متوسطی از آزادی عمل است. این نتایج نشان می‌دهد که در همین شرایط نیز می‌تواند پیوندهای بسیار قوی تشکیل دهد. بنابراین مسمومیت با کربن مونوکسید یک بیماری جدی و بالقوه کشنده است.

پیوند گاز کربن مونوکسید (CO) با آهن، ۱۲ بار قوی‌تر از پیوند اکسیژن با آهن است. در صورتی که CO با آهن هموگلوبین پیوند دهد، دیگر از آن جدا نمی‌شود و این گلوبول قرمز از رده خارج می‌شود. در صورتی که غلظت گاز CO در محیط بالا باشد تعداد زیادی از این گلوبول‌ها از رده خارج می‌شوند و اکسیژن‌رسانی به مغز و قلب کاهش می‌یابد و فرد احساس خستگی کرده و در نهایت به خواب رفته و می‌میرد.

با این حال، کمپلکس حاصل از اتصال CO به یک فلز، خطی است. در یک کمپلکس CO نمی‌تواند خطی قرار بگیرد، زیرا کمپلکس ناپایدار می‌شود.





عامل مهم در رابطه با تأثیر این ماده بر بدن انسان مقدار COHb موجود در خون است. درصد بالاتر COHb موجود، اثر جدی‌تری دارد. این اثر در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۵- تأثیر سلامتی سطح COHb خون

اثر مشاهده شده	سطح COHb خون
هیچ اثری مشاهده نمی‌شود	کمتر از ۱٪
کمی اثر بر روی رفتار مشاهده می‌شود	۱٪ تا ۲٪
تأثیر بر سیستم عصبی مرکزی. اختلال در تشخیص موقعیت هوشیاری بصری، تشخیص روشنایی و دیگر عملکردهای روانی خاص	۲٪ تا ۵٪
تغییرات عملکردی و قلبی	بیشتر از ۵٪
سردرد، خستگی، خواب‌آلودگی، کما، اختلال تنفسی، مرگ	۱۰٪ تا ۸۰٪

جدول ۶- اثرات غلظت CO موجود در هوا که بر سلامتی

غلظت CO در هوا (ppm)	نشانه‌های بیماری	زمان لازم برای مرگ
۵۰	حداکثر زمان مجاز برای حضور در این هوا برابر ۸ ساعت است.	—
۲۰۰	سردرد خفیف، خستگی، سرگیجه، حالت تهوع بعد از ۲ تا ۳ ساعت در معرض گاز CO بودن	—
۴۰۰	سردرد شدید بعد از ۱ تا ۲ ساعت در معرض گاز CO بودن	بیشتر از ۳ ساعت
۸۰۰	سرگیجه، حالت تهوع، تشنج بعد از ۴۵ دقیقه در معرض گاز CO بودن	۲-۳ ساعت
۱۶۰۰	همه علائم بالا بعد از ۲۰ دقیقه در معرض گاز CO بودن	۱ ساعت
۳۲۰۰	همه علائم بالا بعد از ۵ تا ۱۰ دقیقه در معرض گاز CO بودن	۲۵ تا ۳۰ دقیقه
۶۴۰۰	همه علائم بالا بعد از ۱ تا ۲ دقیقه در معرض گاز CO بودن	۱۰ تا ۱۵ دقیقه
۱۲۸۰۰	همه علائم بالا	۱ تا ۳ دقیقه

غلظت CO هوای تنفسی، سطح COHb در خون را تعیین می‌کند. سطح طبیعی یا زمینه COHb خون حدود ۰/۵٪ است. این امر تا حدی نتیجه تولید این گاز در طول متابولیسم هم در بدن می‌باشد. مابقی CO که مقدار کمی است از هوای محیط می‌آید. جدول زیر ارتباط بین غلظت CO محیط و سطح کربوکسی هموگلوبین خون را نشان می‌دهد.

جدول ۷- غلظت COHb خون و غلظت CO هوای محیط

غلظت CO هوای محیط	غلظت COHb خون
۱۰	۲/۱
۲۰	۳/۷
۳۰	۵/۳
۵۰	۸/۵
۷۰	۱۱/۷

سطح کربن مونوکسید در هوای بسته که از منابع طبیعی و انسانی و آلودگی هوا تولید می‌شود، به ندرت خطرناک است و از ۱/۰ قسمت در میلیون (ppm) در محیط‌های روستایی به ۳ تا ۴ قسمت در میلیون در مناطق شهری با تعداد زیاد اتومبیل و مجتمع‌های صنعتی زغال سوز متفاوت است. سیگار کشیدن شکلی از آلودگی فردی CO است. دود سیگار حاوی غلظتی بیش از ۲۰۰۰۰ ppm است، که نتیجه کمبود اکسیژن می‌باشد. در هنگام دم، این غلظت بالای کربن مونوکسید به سطحی رقیق و حدود ۵۰۰ - ۴۰۰ ppm می‌رسد. این غلظت «رقیق» CO همچنان برای تولید مقدار زیادی COHb در خون افراد سیگاری به اندازه کافی بالا است.

جدول ۸- سطح COHb خون فرد سیگاری

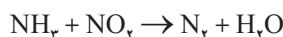
گروه سیگاری	سطح COHb خون (%)
سیگاری نیست	۱/۳
قبلاً سیگاری بوده	۱/۴
استفاده از پپ یا سیگار تنها	۱/۷
فرومی‌برند (کمتر از نیم پاکت در روز) سیگاری سبک	۲/۳
فرومی‌برند (کمتر از نیم پاکت در روز) سیگاری سبک	۳/۸
فرومی‌برند (نیم تا دو پاکت در روز) سیگاری متوسط	۵/۹
فرومی‌برند (۲ پاکت یا بیشتر در روز) سیگاری شدید	۶/۹

آلودگی CO ناشی از مصرف سیگار در فضای بسته آن قدر زیاد است که بسیاری از کشورها کشیدن سیگار در اماکن عمومی اعم از فرودگاه تا رستوران را ممنوع کرده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد که افراد غیرسیگاری که برای یک زمان طولانی در مناطقی که سیگار کشیدن رخ می‌دهد حضور دارند، دارای سطح بالای COHb هستند.

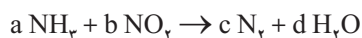
موازنه معادله‌های شیمیایی (Balancing of Chemical Equations)

هر واکنش شیمیایی به خودی خود موازنه شده است؛ زیرا طبق قانون پایستگی جرم، تعداد کل اتم‌های موجود در واکنش دهنده با تعداد کل اتم‌های موجود در فراورده برابر است؛ اما از آنجا که هر واکنش را با یک معادله نمادی نشان می‌دهند، ممکن است در معادله نمادی نوشته شده، قانون پایستگی جرم رعایت نشده باشد؛ اما در معادله نمادی موازنه شده (معادله واکنش شیمیایی)، تعداد کل اتم‌های هر عنصر در سمت چپ معادله با تعداد کل آنها در سمت راست معادله برابر خواهد بود.

برای موازنه یک معادله شیمیایی، می‌توان به هر یک از مواد یک ضریب مجهول به صورت a, b, c و ... نسبت داده، سپس با استفاده از قانون پایستگی جرم، معادله‌هایی بر حسب a, b, c و ... نوشت. حل دستگاهی از این معادله‌ها، مقادیر a, b, c و ... را مشخص خواهد کرد. برای مثال، برای موازنه معادله شیمیایی



می‌توان نوشت :



$$a + b = 2c \rightarrow \text{برای برابر شدن تعداد اتم‌های N در دو طرف معادله}$$

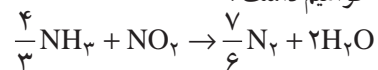
$$3a = 2d \rightarrow \text{برای برابر شدن تعداد اتم‌های H در دو طرف معادله}$$

$$2b = d \rightarrow \text{برای برابر شدن تعداد اتم‌های O در دو طرف معادله}$$

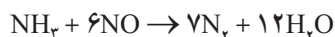
حال با حل دستگاه سه معادله با سه مجهول می‌توان مقدار هر یک از ضریب‌های a, b, c و ... را به دست آورد.

$$\left. \begin{array}{l} a + b = 2c \\ 3a = 2d \\ 2b = d \end{array} \right\} \text{ اگر } b = 1, d = 2, a = \frac{4}{3}, c = \frac{7}{6}$$

با قرار دادن هر یک از این اعداد در معادله مورد نظر، خواهیم داشت :



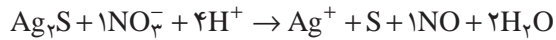
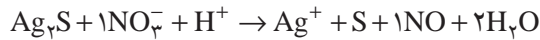
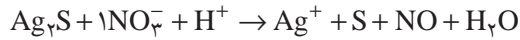
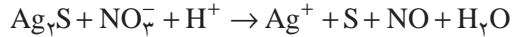
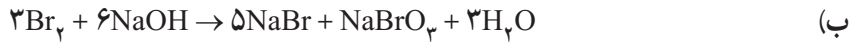
حال برای تبدیل ضرایب به کوچک‌ترین عددهای صحیح ممکن، همه آنها را در عدد ۶ ضرب می‌کنیم.



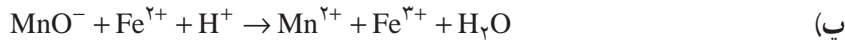
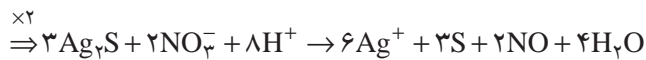
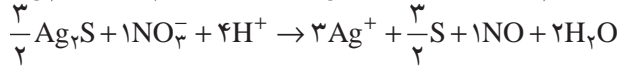
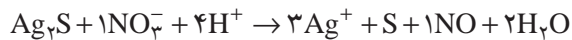
برای مثال، واکنش‌های زیر را با روش وارسی موازنه کنید.



همه ضرایب را در عدد ۳ ضرب می‌کنیم.



حال با توجه به اینکه جمع کل بارها در سمت چپ برابر با ۳+ است، پس بایستی به Ag^+ در سمت راست ضریب ۳ داد.

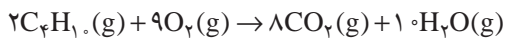
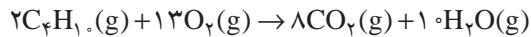


پاسخ: ضرایب در معادله موازنه شده به ترتیب از چپ به راست برابر خواهد بود با:

۱، ۵، ۸ ۱، ۵، ۴

سوختن ناقص هیدروکربن‌ها

هرگاه در سوختن گاز، نفت و چوب در بخاری و شومینه اکسیژن کافی موجود نباشد، سوختن این مواد به طور کامل انجام نمی‌شود و به همراه کربن دی‌اکسید، کربن مونوکسید نیز تولید می‌شود. (شکل ۳-آ و ۳-ب، انجام هم‌زمان این دو واکنش سوختن ناقص گاز بوتان را نشان می‌دهند و میزان پیشرفت هر یک به مقدار اکسیژن موجود در محیط بستگی دارد).



ضریب تبدیل (Conversion Factor) و مفهوم آن

برای هر تساوی یا رابطه هم‌ارزی، می‌توان دو ضریب تبدیل نوشت؛ به طوری که هر یک از این ضریب‌های تبدیل یکی از طرفین تساوی یا رابطه هم‌ارزی را به دیگری تبدیل می‌کند. به مثال‌های زیر توجه کنید.

(آ) یک کتابخانه چوبی ۴ قفسه دارد. در این حالت می‌توان نوشت :

$$\begin{array}{rcl} \frac{۱ \text{ کتابخانه}}{۴ \text{ قفسه}} & \frac{۴ \text{ قفسه}}{۱ \text{ کتابخانه}} & \text{بنابراین :} \\ \text{(ضرب تبدیل تعداد قفسه به کتابخانه)} & \text{(ضرب تبدیل تعداد کتابخانه به قفسه)} & \end{array}$$

(ب) یک متر سیم تلفن ۱۰۰ تومان است. در نتیجه داریم :
۱۰۰ تومان \equiv ۱ متر سیم تلفن

$$\begin{array}{rcl} \frac{۱ \text{ متر سیم تلفن}}{۱۰۰ \text{ تومان}} & \frac{۱۰۰ \text{ تومان}}{۱ \text{ متر سیم تلفن}} & \text{(ضرب تبدیل تومان به سیم تلفن)} \\ \text{(ضرب تبدیل سیم تلفن به تومان)} & & \end{array}$$

(پ) $۱ \text{ mL Hg} = ۱۳/۶ \text{ gHg}$ (چگالی جیوه برابر $۱۳/۶ \text{ g} \cdot \text{mL}^{-۱}$ است)

$$\begin{array}{rcl} \frac{۱ \text{ mLHg}}{۱۳/۶ \text{ gHg}} & \frac{۱۳/۶ \text{ gHg}}{۱ \text{ mLHg}} & \text{(ضرب تبدیل g جیوه به mL جیوه)} \\ \text{(ضرب تبدیل mL جیوه به g جیوه)} & & \end{array}$$

(ت) ذره $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ \equiv ۱ مول ذره

$$\begin{array}{rcl} \frac{۱ \text{ mol}}{۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}} & \frac{۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}}{۱ \text{ mol}} & \text{(ضرب تبدیل مول ذره به تعداد ذره)} \\ \text{(ضرب تبدیل تعداد ذره به مول ذره)} & & \end{array}$$

برای هر رابطه هم‌ارزی می‌توان دو کسر نوشت. هر یک از این کسرها به لحاظ مفهومی (نه عددی و مقداری) هم‌ارز با یک هستند. برای نمونه :

$$\begin{array}{rcl} ۱ \text{ m} = ۱۰۰ \text{ cm} & \frac{۱۰۰ \text{ cm}}{۱ \text{ m}} = ۱ & \frac{۱ \text{ m}}{۱۰۰ \text{ cm}} = ۱ \end{array}$$



مس (II)

ترکیبات مس (II) با ارزش تجاری شامل مس (II) اکسید، مس (II) کلرید (CuCl_2) و مس (II) سولفات (CuSO_4) می‌باشند.
— مس (II) اکسید پودر سیاه رنگ است.



— مس (II) کلرید پودر زرد مایل به قهوه‌ای است که به آسانی رطوبت را از هوا جذب کرده و به آبی مایل به سبز $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ تبدیل می‌شود.



— مس (II) سولفات نمک تشکیل شده توسط واکنش مس (II) اکسید با سولفوریک اسید است. شکل کریستال آبی روشن حاوی پنج مولکول آب ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) است و در تجارت به عنوان جوهر گوگرد آبی شناخته شده است. نمک بی‌آب با حرارت دادن هیدرات تا 150°C درجه سلسیوس به دست می‌آید.



مس (I)

ترکیبات مس (I) تمامی دیامغناطیس و به جز چند مورد استثنا، بی‌رنگ می‌باشند. در میان ترکیبات مهم صنعتی می‌توان به مس (I) اکسید (Cu_2O)، مس (I) کلرید (Cu_2Cl_2) و مس (I) سولفید (Cu_2S) اشاره کرد.
— مس (I) اکسید یک کریستال قرمز یا پودر قرمز مایل به قهوه‌ای است که در طبیعت به عنوان کوپریت معدنی دیده می‌شود.

— مس (I) کلرید جامد سفید مایل به خاکستری است و معمولاً با واکنش مس (II) کلرید با مس فلزی تهیه می‌شود.



ترکیب خالص در هوای خشک پایدار است؛ هوای مرطوب آن را به یک ترکیب اکسیددار مایل به سبز تبدیل می‌کند و پس از قرار گرفتن در معرض نور به مس (II) کلرید تبدیل می‌شود.

محلول آبی مس (I) کلرید در غلظت بالای یون کلرید به رنگ سبز و در غلظت پایین این یون به رنگ آبی دیده می‌شود.

– مس (I) سولفید در شکل پودر سیاه و کلوخه‌ای یافت می‌شود. مقادیر زیادی از این ترکیب با گرم کردن مس (I) سولفید در جریانی از گاز هیدروژن به دست می‌آید.



بر دانش خود بیفزایید

آرایش الکترون — نقطه‌ای (آرایش لوویس)

آرایش لوویس مولکول و یون‌هایی که از قاعده اکتت تبعیت می‌کنند.

برای به‌دست آوردن آرایش لوویس این دسته از مواد علاوه بر روش کتاب می‌توان به صورت زیر عمل کرد :

۱ تعداد کل الکترون‌های لایه ظرفیت را حساب کنید.

تعداد کل الکترون‌های لایه ظرفیت = تعداد بار مثبت - تعداد بار منفی + (تعداد هر اتم \times تعداد الکترون لایه ظرفیت آن اتم) Σ

۲ تعداد کل الکترون‌های لازم برای اکتت شدن را به‌دست آورید :

تعداد کل الکترون‌های لازم برای اکتت شدن = (تعداد سایر اتم‌ها $\times 8$) + (تعداد اتم‌های $H \times 2$)

۳ تعداد پیوندها را طبق رابطه زیر تعیین کنید :

تعداد کل الکترون‌های لایه ظرفیت - تعداد کل الکترون‌های لازم برای اکتت شدن = $\frac{\text{تعداد پیوندها}}{2}$

۴ اتم مرکزی را بنویسید و اتم‌های کناری را با این تعداد پیوند به آن متصل کنید. سپس تمام اتم‌ها را اکتت کنید.

توجه : در رسم آرایش لوویس به قواعد زیر دقت کنید.

۱ اتم‌های هیدروژن و فلوئور همواره اتم کناری هستند.

۲ اگر اتم‌های هالوژن‌ها، اتم کناری باشند، یک پیوند می‌دهند.

۳ اتم اکسیژن می‌تواند یک یا دو پیوند بدهد (اکسیژن فقط در H_2O ، CO و NO^+ سه پیوند می‌دهد).

۴ اتم کربن همواره چهار پیوند می‌دهد (به جز CO).

۵ اتم نیتروژن هیچ‌گاه پنج پیوند نمی‌دهد.

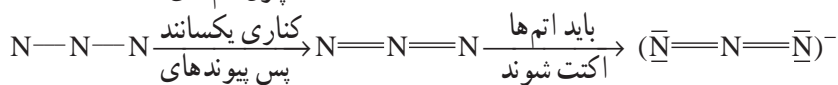
برای نمونه؛ برای رسم کردن آرایش لوویس یون آزید داریم :

$$1) \text{ تعداد کل } e \text{ های ظرفیت} = 1 + (3 \times 5) = 16$$

$$2) \text{ تعداد کل } e \text{ های لازم برای اکتت شدن} = 3 \times 8 = 24$$

$$3) \text{ تعداد پیوند} = \frac{24 - 16}{2} = 4$$

چون اتم‌های



باقیمانده به‌طور

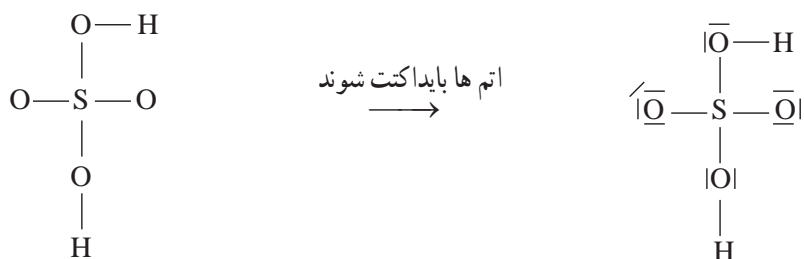
یکسان تقسیم می‌شود

$$H_2SO_4 \quad 1) \text{ تعداد کل } e \text{ های ظرفیت} = (2 \times 1) + (6 \times 1) + (4 \times 6) = 32$$

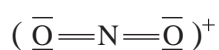
$$2) \text{ تعداد کل } e \text{ های لازم برای اکتت شدن} = (2 \times 2) + (5 \times 8) = 44$$

$$3) \text{ تعداد پیوند} = \frac{44 - 32}{2} = 6$$

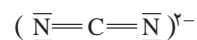
اتم عنصرهای تناوب سوم به‌دلیل برانگیخته شدن نسبت به اتم عنصرهای هم‌گروه خود در تناوب دوم می‌تواند ظرفیت بیشتری برای تشکیل پیوند کووالانسی داشته باشند.



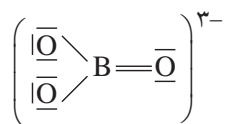
در شکل زیر آرایش لوویس تعدادی از ترکیب های شیمیایی ارائه شده است.



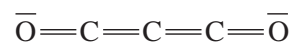
(ب) NO (یون نیترونیوم)



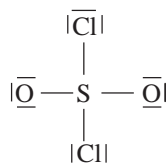
(آ) CN_2^{2-} (یون سیانامید)



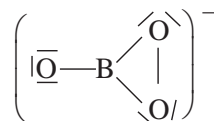
(ت) BO_3^{3-} (یون بورات)



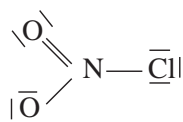
(پ) C_4O_4 (سوباواکسید)



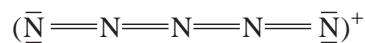
(ج) SO_2Cl_2 (سولفوریل کلرید)



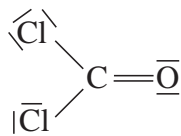
(ث) BO_3^- (یون پرورات)



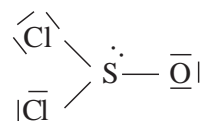
(ج) NO_2Cl (نیتریل کلرید)



(چ) N_5^+ (یون ۵)



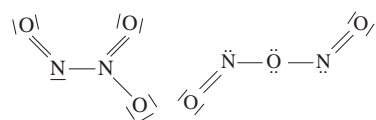
(د) COCl_2 (فسژن)



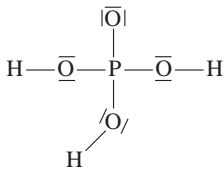
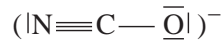
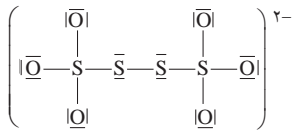
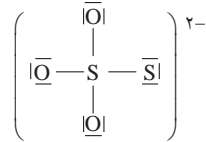
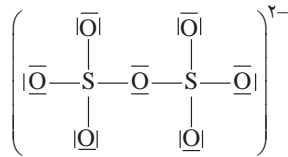
(خ) SOCl_2 (تیونیل کلرید)



(ر) CNO^- (یون فولمینات)



(ذ) N_4O_4 (دی نیتروژن تری اکسید)

(ژ) H_3PO_4 (فسفریک اسید)(ز) NCO^{-} (یون ایزوسیانات)(ش) $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ (تتراتیونات)(س) $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ (تیوسولفات)(ص) $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ (پیروسولفات)

بویه

بویه‌های گوی‌های شناوری هستند که در مجاور سواحل جهت صحیح دریانوردی را به دریانوردان نشان می‌دهند. بویه با زنجیر به کف دریا مهار می‌گردد. بدنه بویه‌ها از جنس فلز یا پلاستیک است. اشکال بویه فلزی، هزینه بالای نگهداری آن است زیرا بدنه فلز در اثر تماس مکرر با آب به مرور زمان زنگ زده و پوسیده می‌شود و رنگ روی آن می‌ریزد ضمن اینکه احتمال غرق شدن آن پس از پارگی گوی به علت تصادم شناور با آن وجود دارد. بویه هواشناسی دستگاهی است که برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف اقیانوس‌شناسی و هواشناسی استفاده می‌شود. بویه‌ها در انواع مختلف شناور در آب و ساکن وجود دارند که در بعضی از آنها صرفاً پارامترهای اقیانوس‌شناسی و در انواع دیگر همراه پارامترهای اقیانوس‌شناسی پارامترهای هواشناسی نیز اندازه‌گیری می‌شود. امروزه ۶۰۰۰ بویه در اقیانوس‌های جهان وجود دارد. این بویه‌ها به‌طور روزانه (مرتب) اطلاعات را همراه با موقعیت مکانی خود ارسال می‌کنند. بویه‌ها نقش‌ها و کارکردهای بسیاری دارند برای مثال یک سیستم هشداردهنده سونامی بویه‌های اقیانوس آرام به‌وسیله NOAA می‌تواند یک مدلی از سیستم در آینده باشد تا دیگران از آن استفاده کنند. ۶ اقیانوس عمیق از گزارشات هشدار سونامی می‌توانند سود ببرند. همچنین بویه‌ها برای پیش‌بینی آب و هوا، پیش‌بینی‌های دریایی، کمک به ماهی‌گیران، ایمنی دریا و پیش‌بینی اقلیمی هواشناسی و اقیانوس‌شناسی استفاده می‌شوند حتی در مکان‌هایی که خالی از سکنه است بویه‌ها به‌صورت خودکار و مرتب اطلاعات اندازه‌گیری شده را لحظه به لحظه به ماهواره ارسال می‌کنند. چنین اندازه‌گیری‌هایی شامل سمت و سرعت باد، دمای هوا، رطوبت هوا، فشار جو و دمای سطح دریا و همچنین دمای آب در اعماق مختلف ۵۰۰ متری می‌باشد.

۱ پارامترهای هواشناسی :

■ سرعت باد

■ دمای هوا

■ فشار هوا

■ دید افقی

۲ پارامترهای اقیانوس شناسی :

■ سرعت جریان سطحی

■ جهت جریان سطحی

■ هدایت الکتریکی آب

■ دمای سطح آب

■ ارتفاع موج

■ پیود موج

■ شوری آب

در حالت کلی بویه‌ها به دو دسته سطحی و زیر سطحی تقسیم می‌شوند. معمولاً بویه‌های سطحی علاوه بر اندازه‌گیری امواج، برخی پارامترهای اقیانوس شناسی و هواشناسی مانند شوری آب، درجه حرارت آب، سرعت و جهت وزش باد و ... را می‌سنجند.

منبع نور بویه‌ها

منبع نور بویه‌ها، گاز، باتری یا صفحه خورشیدی است. شعاع نور بویه‌ها بین ۱۴ تا ۲۲ مایل است و هرکدام دارای یک دوره چشمک با فواصل زمانی مشخص است. منبع نورانی بویه‌ها طوری تنظیم شده است که در روز خاموش و در شب فعال می‌گردد. رنگ چراغ بویه سبز، قرمز، سفید و زرد می‌باشد که برحسب کارکرد هر بویه تعریف می‌شود. بویه‌های پلاستیکی نسبت به بویه‌های فلزی دارای امتیازات ذیل است :

■ درون گوی شناور چوب پنبه قرار دارد، بنابراین پس از سوراخ شدن بدنه غرق نمی‌شود.

■ بویه‌های پلاستیکی سبک بوده و جابه‌جایی آن آسان‌تر است.

■ ساخت و نصب آن هزینه کمتری می‌برد.

■ رنگ آن ثابت بوده و نیازی به رنگ آمیزی ندارد.

■ زنگ نمی‌زند و پوسیده نمی‌شود.

موارد استفاده بویه‌ها

کاربردهای بی‌شماری برای اطلاعات گردآوری شده‌ای که مکمل داده‌های جمع‌آوری شده از طریق وسایلی نظیر ماهواره‌ها می‌باشد وجود دارد.

■ پیش‌بینی آب و هوا

مدل‌های هواشناسی اطلاعات دیده‌بانی مورد استفاده را از منابع مختلف ماهواره‌ها، بالون‌های جوی، ایستگاه‌های زمینی و اطلاعات بویه‌ها می‌گیرد. بیشتر این مدل‌ها جهانی هستند و اطلاعات را از منابع دیده‌بانی یکسانی که در اطراف کره زمین مستقر هستند می‌گیرند و جهت پیش‌بینی جهانی مورد استفاده قرار می‌دهند.

■ پیش‌بینی دریایی

■ همکاری با ماهیگیران

دمای سطح دریا یکی از ابزارهای مهم برای پیدا کردن گونه‌های مختلف ماهی است. بویه اطلاعات روزانه آب و هوا را تهیه و به مراکز ارسال می‌کنند. این مراکز به طور منظم جداول دمای سطح دریا را به ماهیگیران ارائه می‌دهند. اطلاعات بویه‌ها در این زمینه باعث بهینه‌سازی و صرفه‌جویی سوخت و زمان جهت پیدا کردن محل زندگی ماهی‌ها می‌شود. همچنین در بیشتر مدل‌های پیشرفته اقیانوس‌شناسی از اطلاعات بویه‌ها و دیگر وسایل از قبیل شناورهای زیردریایی جهت پیش‌بینی‌های پدیده ال‌نینو و دیگر بلایای اقیانوسی استفاده می‌شود. چنین اطلاعاتی می‌تواند به پیشرفت بهره‌برداری در صنعت ماهیگیری و صیادی کمک کند.

■ ایمنی دریا

تعدادی از کشورها از داده‌های باد سطحی و جریان‌های دریایی دریافتی از بویه‌ها به نحو مطلوب در بسیاری از کاربردها از جمله کشف قایق‌های کوچک گم شده استفاده می‌کنند.

■ پیش‌بینی اقلیمی هواشناسی و تحقیقات اقیانوسی

برای مثال از اطلاعات بویه‌های واقع در اقیانوس آرام استوایی (TAO) جهت تحقیقات و چگونگی تغییر پیش‌بینی‌های آینده اقلیم جهانی استفاده می‌شود. اولین بویه‌ها برای پیش‌بینی نوسانات پدیده ال‌نینو جنوبی توسعه یافته بودند. پدیده مخرب ال‌نینو باد سطحی اقیانوس و الگوهای دمای سطح بالای اقیانوس را دربرمی‌گیرد. این تخریب ناپایداری اقلیم فصول را رهبری می‌کند و تغییرات در الگوی مهاجرت ماهیان در بیشتر نواحی اقیانوس جهان و نواحی حاره را دربرمی‌گیرد.

تجهیزات و حسگرهای بویه

■ حسگرها و تجهیزات الکترونیک

■ حسگرهای آب و هوا

■ حسگرهای زیر آب

■ الکترونیک

الکترونیک شامل آنتن، چراغ گردان، پنل خورشیدی و جعبه تقسیم الکترونیک می‌باشد. آنتن: این دستگاه گیرنده و فرستنده مجموعه اطلاعاتی است که از بویه‌ها می‌گیرد. این اطلاعات جمع‌آوری شده از نوک برج‌های بویه را به آزمایشگاه‌های حفظ محیط زیست (طبیعت) می‌فرستد. اطلاعات ارسالی توسط آنتن در کامپیوتر آزمایشگاه ذخیره شده (ضبط شده) و می‌توان در مدت ۱۵ دقیقه روی شبکه به آن دسترسی پیدا کرد.

چراغ گردان: به کشتی‌ها و ... هشدار می‌دهد تا به بویه برخورد نکنند. معمولاً این چراغ در خلیج به رنگ‌های قرمز و سبز طراحی شده‌اند.

پنل‌های خورشیدی: باتری‌های بویه طوری طراحی شده‌اند که می‌توانند به وسیله پنل‌های خورشیدی شارژ شوند، بنابراین بویه‌ها خودکفا ساخته می‌شوند. بویه‌ها باید بتوانند در تمام فصول کار کنند و احتیاج

به نظارت و چک کردن ۲۴ ماهه نداشته باشد. فقط یک بار در ماه در اواسط پاییز، تابستان و بهار چک شوند.

جعبه تقسیم الکترونیکی: جایی که تمام کابل‌های الکترونیکی جمع شده بویه در یک جا جمع آوری شده است.

حسگرهای آب و هوا

حسگرهای آب و هوا شامل حسگر دمای هوا و حسگر رطوبت نسبی می‌باشد. حسگر دمای هوا: دمای هوا را اندازه‌گیری می‌کند. حسگر می‌تواند دمای هوا را به فارنهایت و سلسیوس محاسبه کند. حسگر دمای بین 4° تا 60° درجه سلسیوس یا 40° تا 140° درجه فارنهایت را اندازه‌گیری می‌کند.

حسگر رطوبت نسبی: رطوبت را به وسیله مقدار بخار آب محاسبه می‌کند. میزان بخار آب که می‌تواند در هوا باقی بماند را اندازه می‌گیرد. این حسگر از 10° درصد را محاسبه می‌کند. حسگرهای زیر آب: حسگرهای زیر آب شامل محاسبه کننده سمت و سرعت جریان آب، محاسبه کننده دمای آب و فرستنده می‌باشد.

محاسبه کننده سمت و جریان آب: این دستگاه با حرکت، سمت و سرعت جریان آب را اندازه‌گیری می‌کند. این وسیله مثل پنکه است هرچه این پنکه بیشتر حرکت کند برق بیشتری تولید می‌کند و این گونه سرعت جریان آب را اندازه می‌گیرد. این دستگاه می‌تواند تا سرعت 1° نات یا $11/5$ مایل در ساعت را اندازه‌گیری کند. این محاسبه کننده همچنین سمت جریان آب را محاسبه می‌نماید.

محاسبه کننده دمای آب: این محاسبه کننده دما، دمای آب را اندازه می‌گیرد و به وسیله سیم‌های سیاهی که به آن متصل می‌باشد به بویه ارسال می‌کند.

فرستنده: این دستگاه با صوت کار می‌کند یعنی اینکه با صدا با بویه ارتباط برقرار می‌کند. مثل خط تلفن که در واقع همان ارتباط تلفنی می‌باشد. وقتی هوا طوفانی (سرعت باد زیاد) است، اطلاعات را در خود نگه داشته و بعداً می‌فرستد.

اثر گلخانه‌ای

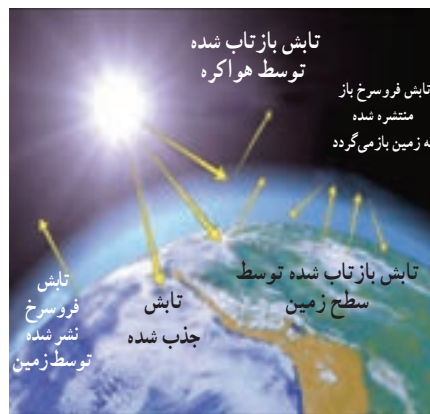
کره زمین تاکنون بارها و بارها گرم و سرد شدن را تجربه کرده است. نزدیک‌ترین این تغییرات 80° هزار سال پیش بود که زمین هشت دوره یخبندان را تجربه کرد. پدید آمدن سریع گازهای گلخانه‌ای در اوایل دوران ژوراسیک هم سبب شد میانگین دمای کره زمین بین ۵ تا ۹ درجه سلسیوس افزایش یابد. تداوم گرمایش جهانی اثرات ناخوشایند فراوانی بر زندگی انسان‌ها و جانوران می‌گذارد.

با گرم شدن زمین، یخ‌های قطبی آب می‌شوند، سطح آب دریاها بالا می‌آید و فصل‌ها شدت بیشتری می‌گیرند، یعنی زمستان‌ها سردتر از همیشه خواهد بود و تابستان گرم و خشک‌تری خواهیم داشت. در طول این سال‌ها دمای هوای سطح آب و سطح خشکی افزایش یافته است، اما افزایش دما بر سطح خشکی به مراتب بیش از سطح آب بوده است. از سال ۱۹۷۹ میلادی تاکنون میانگین دمای هوای سطح خشکی دو برابر دمای هوای سطح آب‌ها افزایش یافته است. سطح خشکی‌ها در هر دهه 25° درجه

سانتی گراد گرم تر شده در حالی که این رقم برای سطح آب $1/3^{\circ}$ درجه است. هیئت بین‌المللی تغییرات آب و هوایی (IPCC) که مرجعی معتبر در زمینه تغییرات آب و هوایی و تأثیرات گرمایش جهانی است، در گزارشی اعلام کرد بیشتر افزایش دمایی که از اواسط قرن بیستم در کره زمین مشاهده شده، مربوط به گازهای گلخانه‌ای است که انسان‌ها تولید کرده‌اند. مدل‌های تغییرات آب و هوایی که IPCC طراحی کرده است، نشان می‌دهد در فاصله سال‌های 1990 تا 2100 میلادی میانگین دمای هوای سطح زمین بین $1/1$ تا $6/4$ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. اثر گلخانه‌ای یکی از چالش‌های جهانی است که با افزایش میانگین دمای کره زمین موجب حوادث محیطی ناگواری می‌گردد. اثر گلخانه‌ای یک مکانیسم ضروری برای حفظ دمای زمین در سطح قابل زندگی است. اگرچه به نظر می‌رسد فعالیت‌های انسانی تعادل طبیعی در هواکره را به هم ریخته و باعث گردیده این سیاره گرم گردد. دمای میانگین تروپوسفر در سطح دریا $15-14^{\circ}\text{C}$ می‌باشد که بسته به موقعیت، متفاوت و با فاصله از قطب‌ها و در نواحی گرمسیری بیشتر است. این دمای میانگین توسط انرژی رسیده به زمین از خورشید با انرژی ترک شده از زمین در فرار به فضا در تعادل است.



شکل ۲۵



شکل ۲۴

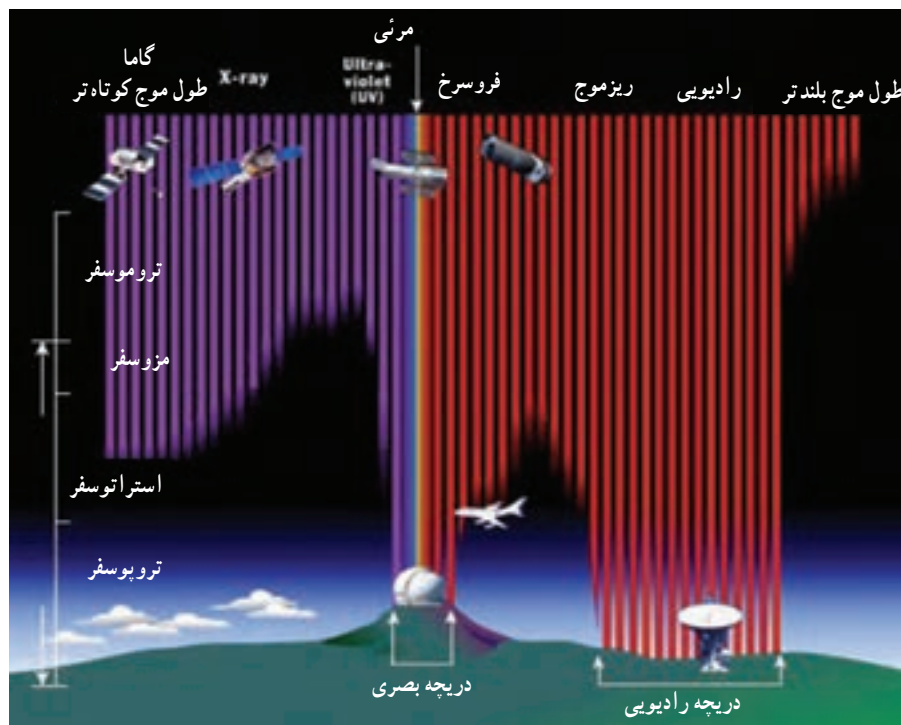
این دو تصویر، ورود نور آفتاب به هواکره زمین (چپ) و مکانیسم اصلی اثر گلخانه‌ای (سمت راست) را نشان می‌دهد. بخشی از نور خورشید ورودی که توسط زمین جذب می‌شود دوباره به صورت اشعه فروسرخ ساطع می‌گردد. برخی از انرژی IR به طور مستقیم به فضا فرار می‌کند، اما بسیاری از آن توسط گازهای گلخانه‌ای در هواکره جذب و سبب گرم شدن آن می‌شود. اگر هواکره هیچ گاز گلخانه‌ای نمی‌داشت هوا حدود 3°C سردتر می‌بود!

از کل نور ورودی خورشید از تمام طول موج‌ها حدود 50% به سطح زمین می‌رسد، 20% به وسیله گازها، پرتو UV توسط گاز اوزون و پرتوهای IR به وسیله CO_2 و قطره‌های آب در هوا جذب می‌شوند و 30% دیگر توسط برف، یخ و آب بدون آنکه جذب شود، بازتاب شده و به فضا بر می‌گردد.

اغلب تابش‌های خورشیدی در ناحیه مرئی قرار دارند. برخی تابش‌های نامرئی با طول موج بلندتر که به ناحیه مرئی نزدیک هستند (فروسرخ نزدیک) و تعداد کمی تابش با طول موج کوتاه‌تر یعنی فرابنفش نزدیک نیز در میان آنها وجود دارند. اگر تمام این تابش‌ها به سطح زمین برسند میانگین دما به طور تحمل‌ناپذیری

افزایش می‌یابد. در واقع تنها در حدود ۴۷٪ از انرژی به سطح زمین می‌رسد و مابقی آن توسط هواکره و ابرها بازتاب یا جذب و نگه داشته می‌شود.

پیک تابش‌های ورودی t دارای طول موجی در حدود 500 نانومتر و در ناحیه مرئی است. این طول موج، تقریباً توسط گازهای هواکره همچون نیتروژن، اکسیژن، آرگون و حتی گازهایی با فراوانی کمتر همچون کربن‌دی‌اکسید و بخار آب جذب می‌گردد. از سوی دیگر جذب این تابش‌ها توسط سطح زمین موجب افزایش دمای آن می‌شود. بنابراین جریان انرژی از جسم گرم‌تر به جسم سردتر، انرژی از زمین گرم شده به هواکره منتقل شده و آن را گرم می‌کند. پس اتمسفر اساساً از قسمت پایین گرم می‌شود.



شکل ۲۶

طول موج‌های مختلف تابش الکترومغناطیس خورشیدی به اعماق مختلف جو زمین نفوذ می‌کنند. خوشبختانه همه پرتوهای پراثری X و پرتو فرا بنفش قبل از رسیدن به زمین فیلتر می‌شوند. بسیاری از پرتوهای فروسرخ نیز توسط هواکره بسیار بالاتر از سرما جذب می‌شوند. اغلب امواج رادیویی، به همراه گستره باریکی از UV، IR و فرکانس نور مرئی به زمین می‌رسند.

زمین مانند هر جسم گرم دیگر، انرژی منتشر می‌کند، انرژی منتشر شده از زمین، نور فروسرخ است که در گستره 4 تا $50 \mu\text{m}$ قرار دارد. این ناحیه، فروسرخ گرمایی نام دارد. بعضی از گازها در هوا می‌توانند فروسرخ گرمایی با طول موج‌های خاصی را جذب کنند. بنابراین تمام فروسرخ منتشر شده از سطح و جو زمین مستقیماً به فضا باز نمی‌گردد و در فاصله کوتاهی پس از جذب آن توسط مولکول‌های هوا مانند CO_2 به صورت کاتوره‌ای منتشر و مجدداً به سطح زمین هدایت و دوباره جذب شده و باعث گرم شدن بیشتر سطح زمین و هوا می‌شود.

انرژی بازتابیده شده از سطح زمین، در محدوده مرئی قرار ندارد. این تابش در ناحیه فروسرخ که دارای طول موج بلندتری است با ماکزیمم شدت در حدود 10000 نانومتر قرار می‌گیرد. تغییر در طول موج به این دلیل است که، تابش زمین در دمایی بسیار پایین‌تر از خورشید انجام می‌شود. اگر تمام این انرژی به فضای بیرون از هواکره فرار کند، زمین تا دمایی حدود 2°C - درجه سرد خواهد شد. هر چند این طول موج‌ها توسط نیتروژن و اکسیژن جذب نمی‌شوند اما به شدت توسط بخار آب و کربن دی‌اکسید قابل جذب هستند.

مولکول‌های بخار آب و کربن دی‌اکسید هر دو قادرند پرتوهای فروسرخ را جذب و بازتاب کنند. در واقع این مولکول‌ها انرژی جذب کرده از زمین را نشر و بازتاب می‌کنند. مقداری از این انرژی در جهت فضا و مابقی به طرف سطح زمین بازتابیده می‌شود. این امر سبب می‌شود دمای سطح زمین در تعادلی میان تابش‌های پایینی خورشیدی و تابش پایینی فروسرخ از هواکره و تابش بالایی فروسرخ از سطح زمین قرار گیرد.



افزایش غلظت گازهای جاذب فروسرخ یعنی کربن دی‌اکسید و بخار آب مقدار انرژی فراری از زمین را کاهش و مقدار انرژی حرکتی به سمت سطح زمین را (با بازتابش این فروسرخ) افزایش می‌دهد. در این شرایط تعادل میان بالاها و پایین‌ها به هم ریخته و دمای سطح زمین تا زمانی بالا می‌رود که جریان انرژی بالایی‌ها دوباره با جریان انرژی پایینی‌ها برابر شود.

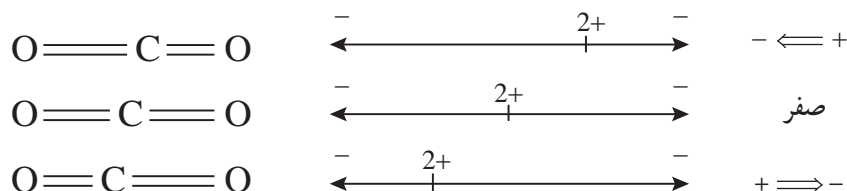


جذب و نشر در ناحیه فروسرخ هنگامی رخ می دهد که مولکول ها چرخش و ارتعاش داشته باشند. به بیان دیگر جذب و نشر تابش فروسرخ زمانی که الکترون ها بین دو سطح انرژی معین به سمت بالا و پایین حرکت می کنند، صورت می پذیرد. انرژی های چرخشی و ارتعاشی مولکول ها کوانتیده است و هر مولکول می تواند یک فوتون جذب کرده و به سطح انرژی ارتعاشی بالاتر برود. اگر این مولکول به سطح انرژی پایین تر بازگردد یک فوتون نشر خواهد کرد. این فوتون ها طول موج هایی در ناحیه فروسرخ دارند. جذب و نشر تابش فروسرخ توسط مولکول ها تنها زمانی رخ می دهد که مولکول دو قطبی باشد. نیتروژن و اکسیژن مولکول های دو اتمی هستند اما گشتاور دو قطبی آنها صفر است و به هنگام ارتعاش، هیچ نوع دو قطبی حتی موقت تشکیل نمی دهند. به بیان دیگر مولکول ها به طور مداوم در حرکت و جنبش و ارتعاش هستند. یک نیتروژن دو اتمی (N_2) و مولکول اکسیژن (O_2) را در نظر بگیرید. یک جفت توپ متصل شده توسط فنر مدل خوبی از یک مولکول است. توپ ها را از هم جدا و رها کنید. آنها به تناوب به هم نزدیک و از هم دور می شوند. این حالت نوسانی بسیار متقارن است، با این حال؛ مرکز جرم سیستم همیشه در یک نقطه بین دو توپ (اتم) باقی می ماند. امواج الکترومغناطیسی تمایلی به برهم کشش و یا انتقال انرژی به چنین مولکول های دو اتمی را ندارند.

آب جاذب شدیدی این پرتوها است زیرا یک مولکول نامتقارن است و پیوندهای $O-H$ به دلیل اختلاف الکترونگاتیوی میان هیدروژن و اکسیژن دارای دو قطبی پایدار هستند.

شکل مولکول کربن دی اکسید نشان می دهد که هیچ دو قطبی دائمی در این مولکول به دلیل یکسان و متقابل بودن بردارهای دو قطبی و همچنین خطی بودن این مولکول به وجود نمی آید. اما یکی از حالت های ارتعاشی در مولکول کربن دی اکسید که کششی نامتقارن نامیده می شود، باعث از بین رفتن تقارن مولکول شده و یک دو قطبی موقت شکل می گیرد و انتقال های ارتعاشی کربن دی اکسید می تواند صورت پذیرد که نتیجه آن نشر و جذب طول موج های فروسرخ در ناحیه 2360 cm^{-1} می گردد.

کربن دی اکسید دارای یک حالت ارتعاشی دیگر متناسب با ارتعاش پیوند نیز هست. این شکل ارتعاشی اغلب تابش های ضعیف تر از طول موج 670 cm^{-1} را جذب می کند.



حالت های ارتعاشی کربن دی اکسید حالت a متقارن است و در نتیجه هیچ جابه جایی خالص مرکز بار در مولکول دیده نمی شود و بنابراین پرتو فروسرخ را جذب نمی کند. حالت b و c با جابه جایی «مرکز بار» و ایجاد یک «گشتاور دو قطبی» همراه بوده و بنابراین می تواند پرتوهای الکترومغناطیس را جذب کند در نتیجه CO_2 یک گاز گلخانه ای است.

هم نشر و جذب فروسرخ در فرایند گلخانه‌ای کربن دی اکسید و بخار آب مهم هستند. برخورد میان مولکول‌ها می‌تواند آنها را به سطح انرژی بالاتر برانگیخته کند. هنگام بازگشت مولکول‌ها به سطح انرژی پایین‌تر، تابش فروسرخ نشر می‌گردد. این تابش ممکن است به سمت بالا و به طرف فضای بیرونی یا به سمت پایین و سطح زمین حرکت کند. مولکول‌ها می‌توانند این تابش را جذب کنند. برخورد میان مولکول‌ها باعث انتقال این انرژی اضافه به گازهای محیط شده و آنها را گرم می‌کند.

گازهای گلخانه‌ای اصلی و سهم آنها در گرمایش جهانی

گرچه هواکره ۹۰٪ نسبت به موج بلند پرتو فروسرخ غیرشفاف است، اما اغلب گازهای هواکره مانند نیتروژن مولکولی (N_2) و اکسیژن (O_2) که تقریباً ۹۸٪ از هواکره ما را تشکیل می‌دهند، گاز گلخانه‌ای نیستند. بنابراین، اگرچه اثر گازهای گلخانه‌ای بسیار قدرتمند است، بخش بسیار کوچکی از گازهای هواکره زمین این اثر را تولید می‌کنند. گازهای گلخانه‌ای مختلف، طول موج‌های متفاوتی از فروسرخ را جذب می‌کنند. در واقع، معمولاً مولکول‌ها بیش از یک حالت نوسانی دارند که اجازه می‌دهد تا آنها طول موج‌های متفاوتی از IR را جذب کنند. در فرایند جذب، فرکانس‌هایی از تابش فروسرخ که با فرکانس‌های ارتعاشی طبیعی مولکول مورد نظر تطبیق می‌کند جذب خواهند شد و انرژی جذب شده برای افزایش دامنه حرکت ارتعاشی اتصال موجود در مولکول به کار گرفته می‌شود به همین دلیل میزان هر یک از گازها در ایجاد اثر گلخانه‌ای متفاوت و تعیین دقیق آن ممکن نیست.

سهم یک گاز در گرم کردن هواکره به سه عامل بستگی دارد:

۱ فراوانی گازها در هواکره

۲ توانایی گاز در جذب تابش فروسرخ

۳ ماندگاری (عمر) مولکول‌های گاز قبل از حذف توسط فرایندهای شیمیایی

ترکیبی از دومین و سومین عامل، مشکلی به نام پتانسیل گرمایشی جهانی (GWP) را ایجاد می‌کند. برخی گازها تأثیر به‌سزایی در جذب تابش دارند اما در هواکره برای زمان کوتاهی حضور دارند این امر سهم آنها را کاهش می‌دهد. گازهای دیگر، اثر کمتری دارند اما برای سال‌ها در هواکره باقی می‌مانند بنابراین سهم آنها در گرمایش جهانی بسیار مهم است. مقدار GWP برای کربن دی اکسید، عدد یک در نظر گرفته می‌شود.

بخار آب

بخار آب مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای است. گاهی مقدار GWP برای آب را ۱/۸ گزارش می‌دهند اما اغلب محاسبه نمی‌شود زیرا بخار آب به طور مستمر در چرخه‌ای به هواکره وارد می‌شود و غلظت آن براساس دما و موقعیت منطقه متغیر است. درصد بخار آب در هواکره در محدوده‌ای از ۱ تا ۴٪ که خیلی بیشتر از هر گاز گلخانه‌ای دیگر است، تغییر می‌کند. افزون بر این، گستره فرکانسی پرتوهای فروسرخ جذب شده توسط مولکول‌های آب بزرگ‌تر است. آب، در حالت مایع در شکل قطرات کوچک در ابرها، بین ۶۶٪ تا ۸۵٪ اثر گلخانه‌ای را به همراه دارد. بخار آب بیشترین گاز گلخانه‌ای در جو زمین است و علت پدید آمدن

حدود دو سوم این اثر می باشد و معمولاً IR گرمایی در گستره طول موج $5/5-7/5 \mu m$ را جذب می کند. ارتعاش های دیگری در آب وجود دارد که نور زیر قرمز با طول $12 \mu m$ را جذب می کند.

جدول ۹- درصد اثر گلخانه ای گازهای گلخانه ای اصلی

درصد اثر گلخانه ای	گازهای گلخانه ای اصلی
۳۶-۶۶	بخار آب
۶۶-۸۵	بخار آب و قطره آب در ابرها
۹-۲۶	کربن دی اکسید
۴-۹	متان
۳-۷	اوزون

افزایش دمای هواکره موجب افزایش تبخیر سریع اقیانوس ها و ظرفیت بالای هوا برای حمل بخار آب می شود. این امر موجب افزایش غلظت بخار آب در هواکره شده و گرمایش مضاعفی را به همراه دارد. برآوردها سهم بخار آب را در گرمایش جهانی در محدوده ای از ۳۶٪ تا ۷۵٪ گزارش می دهند.

کربن دی اکسید

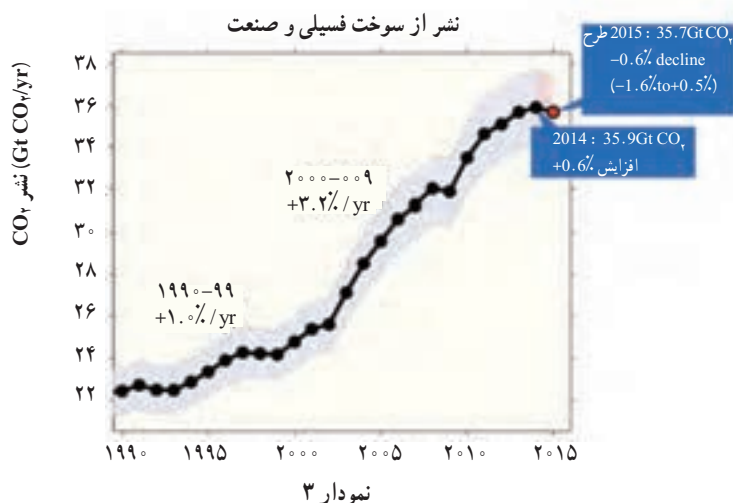
آنچه که باعث می شود CO_2 یک گاز گلخانه ای باشد، توانایی این گاز در جذب و باز نشر انرژی فروسرخ است. درصد کربن دی اکسید در هواکره تنها ۰/۳۵٪ یا $\frac{1}{3}$ درصد بخار آب است. اما تأثیر آن در جذب تابش فروسرخ بیشتر از آب می باشد ($GWP=1$).

مولکول های کربن دی اکسید قادرند گستره ای از پرتوهای فروسرخ را جذب کنند که توسط مولکول های آب جذب نمی شوند در نتیجه افزایش غلظت این گاز، تعادل جذب و انتقال را در میان هواکره دگرگون می سازد. حدود یک چهارم اثر گلخانه ای ناشی از جذب نیمی از IR گرمایی بازتاب شده در گستره طول موج ۱۴ تا ۱۶ میکرومتر توسط مولکول های کربن دی اکسید می باشد. افزایش غلظت CO_2 در هواکره، از خارج شدن مقدار بیشتر IR باقی مانده جلوگیری کرده و باعث گرم شدن بیشتر هوا می شود.

غلظت اتمسفری کربن دی اکسید به دلیل فعالیت های انسانی زیر است :

- ۱ انجام تجزیه گرمایی کلسیم کربنات به کلسیم اکسید در کارخانه های سیمان و بتون
- ۲ قطع درختان در نواحی گرمسیری، موجب کاهش سرعت فتوسنتز شده و سرعت ورود کربن دی اکسید به هواکره از سرعت حذف آن بیشتر می شود.

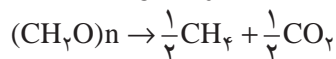
برآورد می شود سهم کربن دی اکسید در گرمایش جهانی در گستره ای از ۹٪ تا ۲۶٪ قرار گیرد. توانایی اقیانوس های گرم شده در جذب (انحلال) کربن دی اکسید تولید شده، کمتر است.



متان

متان از نظر اهمیت، در میان گازهای گلخانه‌ای پس از کربن دی اکسید و آب قرار دارد. در مقایسه با CO_۲ به ازای هر مولکول اثر گرم شدن کره زمین با افزایش متان ۲۳ برابر بیشتر از اثر مربوط به CO_۲ است. اما امروزه افزایش مقدار مولکول‌های CO_۲، ۸۰ تا ۹۰ برابر افزایش مولکول‌های متان می‌باشد. بنابراین اهمیت متان در گرم شدن کره زمین کمتر است.

غلظت متان در هواکره در حدود $10^{-4} \times 1/7$ است. به هر حال GWP این گاز (۱۰۰ سال) ۲۵ است. به این معنا است که جذب پرتوهای فروسرخ این گاز بسیار اثربخش‌تر از کربن دی اکسید است. در واقع GWP متان (۲۰ سال) ۷۲ است یعنی متان گاز گلخانه‌ای بسیار قدرتمند در کوتاه مدت است اما سرعت حذف آن از هواکره به نسبت بیشتر است. متان از تجزیه سلولز گیاهان توسط باکتری‌ها تولید می‌شود. سلولز یک کربوهیدرات با زنجیر طویل است که از واحدهای گلوکز تشکیل شده است.



این واکنش می‌تواند در مقیاس بزرگ در نتیجه فعالیت‌های انسانی در شرایط زیر روی دهد:

۱ کشت برنج

۲ تخمیر علوفه در معده نشخوارکنندگان (گاو) و متان تولید شده از فاسد شدن کودهای کشاورزی. در اتحادیه اروپا در حدود ۱۰ میلیون تن سالانه به این روش متان تولید می‌شود که بزرگ‌ترین منبع تولید متان است.

۳ لوله‌های انتقال گاز

۴ تخمیر مواد آلی در مکان‌های سر بسته (WASTE CIPS)

برآورد می‌شود سهم گاز متان در گرمایش جهانی ۴٪ تا ۹٪ باشد.

اکسید نیتروژن (N_2O)

GWP این گاز (۱۰۰ سال) ۲۹۶ است. تأثیر آن در جذب پرتوهای فروسرخ کمتر از کربن دی اکسید است. مقدار GWP زیاد این گاز ناشی از مقاومت زمانی زیاد آن در هواکره است. غلظت آن در هواکره ۰/۰۳۱٪ است اما این رقم افزایش می‌یابد. برخلاف غلظت کم آن با توجه به GWP بالای آن حدس زده می‌شود که ۵٪ از گرمایش جهانی را به خود اختصاص دهد.

گاز N_2O به طور طبیعی توسط باکتری‌ها در خاک و اقیانوس‌ها تولید می‌شود و فعالیت‌های انسانی تنها ۱۲-۱۰ درصد از گاز تولید شده در هر سال را تشکیل می‌دهند. به هر حال تولید انسانی N_2O به دلایل زیر در حال افزایش است.

۱ کشاورزی صنعتی. استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژن دار، فعالیت باکتری‌های خاک را برای تولید N_2O افزایش می‌دهند.

۲ دامداری صنعتی و گسترش ضعیف فاضلاب‌های حیوانی

۳ صنایع شیمیایی به ویژه تولید نیتریک اسید و نایلون

CFCها کلروفلوئوروکربن‌ها

CFCها گازهای گلخانه‌ای مهمی هستند. این مواد به طور گسترده در یخچال‌ها توسط هیدروکلروفلوئوروکربن‌ها و هیدروفلوئوروکربن‌ها جایگزین شده‌اند. این گازها آسیب کمتری به لایه اوزون می‌زنند، اما مقدار GWP آنها از کربن دی اکسید بیشتر است و سهم مهمی در گرمایش جهانی دارند.

اوزون

تولید اوزون در سطح زمین از زمان انقلاب صنعتی به طور نگران کننده‌ای افزایش یافته است. این اوزون در اثر نور خورشید بر هیدروکربن‌ها و نیتروژن اکسید حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی به وجود می‌آید. این اوزون راهش را به سوی تروپوسفر پیدا کرده و به افزایش اثر گلخانه‌ای کمک می‌کند.

گوگرد هگزا فلئورید (SF_6)

گوگرد هگزا فلئورید قوی‌ترین گاز گلخانه‌ای با پتانسیل گرمایش جهانی ۲۲۰۰۰ بار بزرگ‌تر از کربن دی اکسید است. این گاز در صنایع الکتریکی، دور قطع کننده مدارها تولید می‌شود. توانایی این گاز برای جذب شدید پرتو فروسرخ نتیجه تعداد زیاد حالت‌های ارتعاشی در دسترس برای مولکول به دلیل ساختار قفسه مانندی است که اتم‌های گوگرد در آن معلق شده‌اند.

وضعیت گرمایش جهانی در آینده

این درست است که رویداد قابل توجهی در سال ۲۰۱۵ رخ داده است. از لحاظ تاریخی، انتشار گاز CO_2 در سراسر جهان در هر سال به جز هنگام بروز یک بحران بزرگ بالا رفته است. برای مثال انتشار این گاز به طور موقت در اوایل ۱۹۹۰ پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی کاهش یافت و در سال ۲۰۰۸ نیز با بحران مالی، سقوط کرد اما رشد آن، معمولاً صعودی بوده است.

در سال ۲۰۱۵ به نظر می‌رسد اولین بار در این قرن است که اتفاقی رخ نداده است. اقتصاد جهانی در حد سالم ۳/۱ درصد رشد کرده، اما انتشار گاز نیز کاهش یافته است. اگر کشور به کشور بررسی کنیم، می‌توانیم با وضوح بیشتری آنچه که رخ می‌دهد را ببینیم:



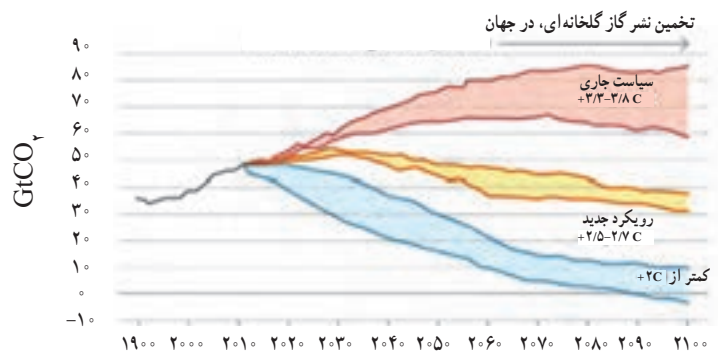
شکل ۲۷

تصویر بالا نشان می‌دهد که رشد تولید گازهای گلخانه‌ای در کشورهای در حال توسعه فقیرتر بیشتر از کاهش تولید این گازها توسط ایالات متحده، اروپا و دیگر کشورهای ثروتمند برای دهه یا دو دهه آینده خواهد بود. برای دستیابی به اوج CO_2 جهانی، یا کشورهای ثروتمند باید روند کاهش گازها را شدیدتر کنند و یا کشورهای فقیرتر از انرژی پاک بیشتر و سریع‌تر از آنچه در حال حاضر انجام می‌شود بهره‌گیرند.



نمودار ۴

و البته، اگر ما می‌خواهیم گرمایش جهانی را متوقف کنیم، باید کاهش شدید انتشار گازها را آغاز و در نهایت تمام راه را تا رسیدن به صفر طی کنیم.



خبر خوب این است که شدت کربن دی اکسید جهانی در طول زمان در حدود ۱/۳ درصد در هر سال از سال ۲۰۰۰، رو به کاهش گذاشته است. در این دوران به کارآمدی بیشتر انرژی و انرژی های پاک توجه بیشتری شده است. امروزه تولید فعالیت های اقتصادی بیشتر اما با سوخت های فسیلی کمتر امکان پذیر شده است.

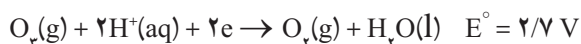
خبر بد این است که برای رسیدن انتشار تا اوج خود در سال ۲۰۳۰ و حفظ گرمایش جهانی در حدود ۳ °C سقوط شدت کربن، به اندازه کافی سریع نیست پس شدت کربن باید به ۳ درصد در سال کاهش یابد.

اوزون

اوزون یکی از آلوتروپ اکسیژن و گازی آبی رنگ با بوی تند و ناپایدار و با فرمول مولکولی (O_۳) است. این گاز در حالت مایع به رنگ آبی تیره و به شکل جامد، بنفش – سیاه است. رنگ به این واقعیت بازمی گردد که این ماده دیگر طول موج های نور را به جز منطقه آبی رنگ جذب می کند. با تغییر فاز، مولکول ها به هم نزدیک تر و منطقه جذب تغییر کرده و رنگ نیز تغییر می کند.

این ترکیب یک اکسنده قوی است. نقش اوزون در تصفیه آب و پساب به عنوان یک عامل اکسنده و یک ترکیب میکروب کش حائز اهمیت است اوزون دارای دو خاصیت بسیار مهم در ارتباط با محیط اطراف خود می باشد.

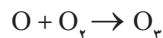
خصوصیات میکروب کشی اوزون بیانگر پتانسیل بالای اکسایش آن می باشد. تحقیقات نشان می دهد که گندزدایی توسط اوزون، حاصل اثر مستقیم آن بر باکتری ها و تجزیه دیواره سلولی باکتری ها می باشد که از این نظر با مکانیسم عمل کلر در فرایند گندزدایی متفاوت است. با توجه به قدرت بالای گندزدایی اوزون در مقایسه با کلر (۲۵ برابر) و سایر گندزداها، زمان کمتری جهت تکمیل فرایند گندزدایی نیاز می باشد. بررسی ها همچنین بیانگر توانایی بیشتر اوزون در از بین بردن ویروس ها در مقایسه با کلر است. اوزون مصارف زیادی در تصفیه آب آشامیدنی از قبیل کنترل طعم و بو، کنترل رنگ و حذف آهن و منگنز دارد. قدرت این اکسیدکننده در شفاف سازی منابع آب با کیفیت پایین مانند آب های بازیافتی قابل توجه می باشد. اوزون مواد معدنی زائد را به طور کامل اکسید نموده و موجب ته نشینی و حذف آنها می گردد.



اوزون تروپوسفری

حضور اوزون در لایه پایین هواکره نامطلوب در نظر گرفته می شود، زیرا تولید آن به آلودگی هوا کمک می کند این گاز یکی از فعال ترین مواد در مه دود است. در برخی روزهای خشک و آفتابی که مقدار اکسیدهای نیتروژن خروجی از اگزوز خودروها زیاد است، هوای شهر به رنگ قهوه ای روشن دیده می شود. در این هنگام بر اثر تابش نور خورشید بر اکسیدهای نیتروژن نوعی آلودگی ایجاد می شود که مه دود فوتوشیمیایی گفته می شود.

اوزون تروپوسفری بر اثر تابش پرتوهای خورشیدی بر مولکول‌های NO_x به وجود می‌آید:

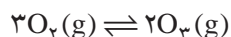


در این فرایند مولکول‌های سودمند اکسیژن (O_2) به مولکول‌های زیان‌آور اوزون (O_3) تبدیل می‌شوند.

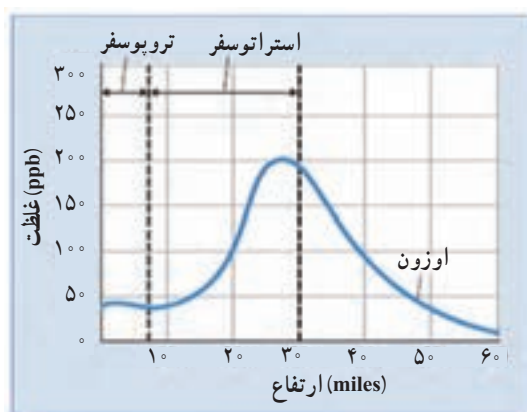


شکل ۲۸

اما از طرف دیگر، حضور اوزون در استراتوسفر نه تنها نامطلوب نیست، بلکه به طور قطع برای رفاه انسان و موجودات بر روی زمین ضروری است. لایه اوزون استراتوسفری از ۹۵٪ تا ۹۹٪ پرتوهای فرابنفش خورشیدی را جذب می‌کند. این پرتو باعث آفتاب سوختگی شده و می‌تواند یک عامل در بروز بعضی از انواع سرطان پوست باشد. ناحیه بالایی استراتوسفر، که در آن غلظت اوزون بیشترین است، اغلب به نام لایه اوزون نامیده می‌شود. این حداکثر اوزون در ارتفاع ۲۵ تا ۳۰ مایلی قرار دارد (نمودار) در لایه اوزون، اوزون به طور مداوم در حال مصرف و تشکیل از طریق فرایند زیر می‌باشد.



ماده اولیه تولید اوزون، اکسیژن است. تخمین زده شده است که در هر روز حدود ۳۰۰ میلیون تن اوزون استراتوسفری تشکیل و به همان مقدار نیز طی این واکنش، تخریب می‌شود. جهت فلش نشان می‌دهد که در این واکنش نه تنها اکسیژن به اوزون تبدیل می‌شود بلکه اوزون نیز می‌تواند به اکسیژن تبدیل گردد. به چنین واکنش‌هایی برگشت پذیر گفته می‌شود. این واکنش‌ها در شرایط مناسب در هر دو جهت رفت و برگشت پیش می‌روند.



نمودار ۵ — غلظت اوزون اتمسفری بر حسب ارتفاع

اثر اوزون بر محیط زیست

کارایی اقتصادی تولید محصولات کشاورزی به روش‌های گوناگون مورد تهدید قرار می‌گیرد. تهدید مزمن شامل کاهش قدرت محصول است که ناشی از رقابت علف‌های هرزی است که کنترل برخی از آنها دشوارتر شده و آسیب‌های ناشی از تغییر آب و هوای جهانی، از جمله افزایش اوزون تروپوسفری سطح زمین می‌باشد. اوزون بسته به مکان حضور آن در هواکره می‌تواند «خوب» یا «بد» باشد. اوزون در جو بالایی بین ۱۰ تا ۳۰ مایل (۱۵ تا ۵۰ کیلومتر؛ استراتوسفر) که به طور طبیعی وجود دارد «خوب» است زیرا نور فرابنفش را جذب کرده و در برابر آفتاب سوختگی، سرطان پوست و صدمه به پوشش گیاهی و گونه‌های حساس آبزیان محافظت می‌کند. در مقابل، اوزون تولید شده در سطح زمین و مخلوط در هوا، تا حدود ۶ تا ۱۲ مایل (۱۰ تا ۲۰ کیلومتر؛ تروپوسفر) که بیشتر به فعالیت‌های انسانی نسبت داده می‌شود اوزون تروپوسفری است. این گاز یک اکسیدکننده قوی در محیط زیست است، به ریه انسان‌ها، محصولات و گیاهان بومی و موادی مانند سنگ، رنگ و پلاستیک آسیب می‌رساند. این اوزون و یا مه دود، باعث جلوگیری از رشد ریه در کودکان شده، حملات آسم را تشدید کرده و با افزایش پذیرش بیمارستانی و مرگ و میر مرتبط است.

اوزون تروپوسفری از انتشار اکسیدهای نیتروژن (از احتراق در دمای بالا از جمله خودرو، نیروگاه‌ها و دیگ‌های بخار کارخانه‌ها) و تولید گازهای گلخانه‌ای از ترکیبات آلی فرار (تبخیر بنزین، رنگ و حلال‌ها، آفت کش‌ها و محصولات گیاهی از جمله ترکیبات معطر) مشتق شده است. غلظت زمینه طبیعی اوزون تروپوسفری حدود ۲۰ تا ۲۵ قسمت در میلیارد حجمی (ppb) است. با افزایش غلظت از این سطح، به طور فزاینده به سلامت انسان آسیب می‌رساند محصولات زراعی در غلظت بالای ۴۰ تا ۶۰ ppb آسیب می‌بینند.

جدول ۱۰- برآورد خسارت در سطح ایالت (%) در کالیفرنیا ناشی از اوزون تروپوسفری، ۱۹۹۳

درصد هدر رفتن محصولات کشاورزی در کالیفرنیا در اثر اوزون تروپوسفری	
محصول	درصد محصول هدر رفته
سالانه	
کاهو	۵/۰٪
گوچه‌فرنگی تازه در بازار	۶/۰٪
مزرعه ذرت	۱/۲
برنج	۳/۹
گندم	۶/۷
گوچه‌فرنگی فراوری شده	۶/۸
پیاز	۱۰/۶
لوبیا (خشک)	۱۷/۵
پنبه الیاف بلند	۲۳/۳
طالبی	۳۲/۸
چندساله	
لیمو	۸/۴
یونجه	۹/۵
پرتقال	۱۴/۰
انگور برای آبمیوه	۲۲/۸
انگور کشمش	۲۶/۲
انگور به عنوان میوه	۲۹/۹
داده‌ها برای پنبه الیاف بلند، داده‌ها برای پنبه پیم (الیاف محکم و نرم) در دسترس نیست.	
با توجه به در معرض قرار گرفتن محصولات در برابر ۷ ساعت (۲۷/۴ ppb) و ۱۴ ساعت (۲۵ ppb) اوزون در مقایسه با هوای پاک نتایج به‌دست آمده است.	

علف‌های هرز در رقابت با محصول

علف‌کش‌ها در بسیاری از مزارع گوجه فرنگی و پنبه به منظور جلوگیری از کاهش قابل توجه محصول استفاده می‌شود. در همان زمان، اوزون ممکن است تأثیر عمیقی همچون، تغییر در رشد و تناسب اندام هر دو گونه علف هرز و محصول و همچنین تعاملات رقابتی این جوامع گیاهی بگذارد. در حالی که اثرات اوزون در بسیاری از گونه‌های مهم زراعی شناخته شده است، گزارش‌هایی در مورد تأثیر اوزون بر رشد و باروری علف‌های هرز نیز وجود دارد. چرخه زندگی کوتاه و تولید مثل پرکار می‌تواند سازگاری علف هرز به اوزون را سرعت ببخشد و افزایش مزیت رقابتی علف‌های هرز نسبت به گونه‌های زراعی می‌تواند موجب افزایش استفاده از علف کش شود.



آ



ب



پ

شکل ۲۹

با تولید اوزون از منابع آلودگی، این گاز در نزدیکی سطح زمین تجمع می‌یابد. اوزون تروپوسفری می‌تواند بسیار مخرب برای بافت‌های حساس هم در گیاهان و هم در حیوانات باشد. برگ بعضی از گیاهان زیستی شناساگر زنده بسیار خاصی برای میزان آسیب اوزون هستند زیرا کلروفیل آنها به اوزون بسیار حساس است. ارغوانی شدن یا ایجاد لکه بر روی برگ، یکی از اولین نشانه‌های رایج است، سپس گیاهان زردشده و در نهایت نشانه‌هایی از مرگ بروز می‌کند.

نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که ۳۰ گونه گیاهی به عنوان گیاهان بسیار حساس طبقه‌بندی شدند و ۶۰ گونه دیگر برخی علائم نامطلوب را هنگامی که در معرض سطح بالایی از اوزون قرار گرفتند، بروز دادند.

گازها

گاز حالتی از ماده است که در آن انرژی وابسته به نیروهای جاذبه میان مولکول‌ها به مراتب ضعیف‌تر از انرژی جنبشی آنها است؛ بنابراین مولکول‌های گاز پخش شده و تمام فضای ظرف را پر می‌کنند، درواقع شکل و حجم این مواد بستگی به ظرفی دارد که در آن جای دارند. درحالت گاز، ذره‌های سازنده آزادانه‌تر از حالت مایع و جامد حرکت می‌کنند. در این حالت از ماده میانگین فاصله مولکول‌ها از یکدیگر بسیار زیاد بوده و به همین دلیل برهم کنش مولکولی در آن بسیار اندک است. میانگین فاصله مولکول‌ها در حالت گازی بسیار بیشتر از فاصله آنها در حالت مایع و جامد است.



شکل ۳۰

برخی خواص مشترک گازها عبارت‌اند از :

- گازها قابل فشرده شدن هستند و با افزایش فشار می‌توان حجم آنها را کاهش داد.
 - گازها بر دیواره ظرف خود فشار وارد می‌کنند.
 - گازها وارد هر فضایی که شوند آن را پر می‌کنند.
 - گازها به هر نسبتی با هم مخلوط می‌شوند.
- ویژگی‌های یک گاز با فشار، دما، حجم و تعداد مولکول‌های آن توصیف می‌شود.

فشار گاز

فشار، نیرویی است که بر واحد سطح وارد می شود واحد آن در SI پاسکال (Pa) و هم‌ارز با یک نیوتون بر متر مربع است. فشار گازها اغلب بر اساس فشار جو اندازه‌گیری می‌شود.

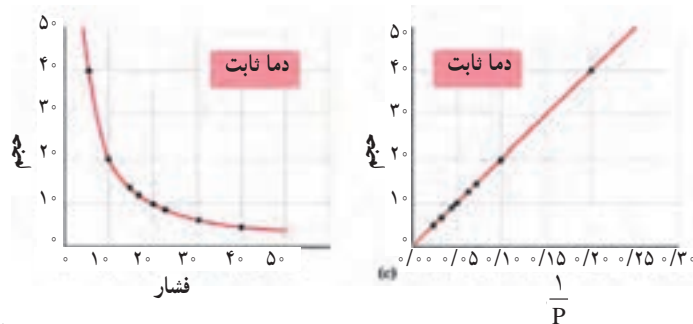
$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

یک اتمسفر، فشار جو در کنار دریای آزاد و دمای صفر درجه سلسیوس تعریف می‌شود که برابر با ۷۶۰ میلی‌متر جیوه است (هر میلی‌متر جیوه یک تور نامیده می‌شود).

قوانین گازها

قانون بویل: هرگاه در یک گاز ایده‌آل، دما (T) و تعداد مول‌های سازنده گاز (n) ثابت باشد، حاصل ضرب فشار در حجم مقدار ثابتی است. به عبارت دیگر در دمای ثابت، حجم مقدار معینی از گاز رابطه وارونه با فشار آن دارد.

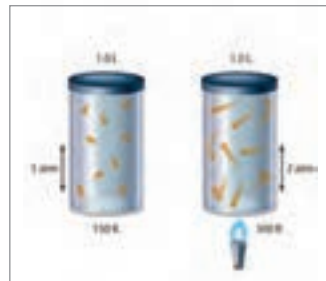
$$(pV)_{n,T} = \text{const} \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow V \propto \frac{1}{p}, P \propto \frac{1}{V}$$



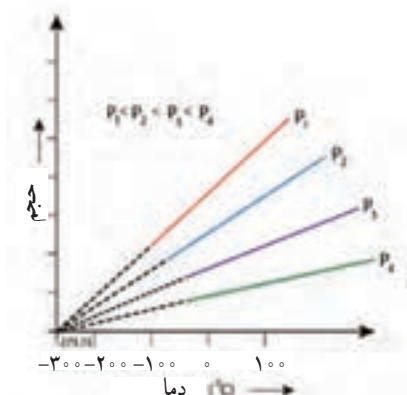
برای توصیف قانون بویل می‌توان تعدادی مولکول گاز را تصور کرد که مستقل از یکدیگر حرکت می‌کنند. فشار اعمال شده به وسیله گاز، به علت برخورد مولکول‌ها با دیواره است. کاهش حجم موجب می‌شود که تعداد برخورد مولکول‌ها به دیواره و در نتیجه تعداد ضربه‌ها بیشتر شده و فشار افزایش یابد.

قانون شارل: هرگاه در یک گاز ایده‌آل، فشار (P) و مقدار گاز (n) ثابت باشد، نسبت حجم به دما مقدار ثابتی است. به عبارتی در فشار ثابت، حجم مقدار معینی از گاز با دمای گاز رابطه مستقیم دارد:

$$\left(\frac{V}{T}\right)_{p,n} = \text{const} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V \propto T$$

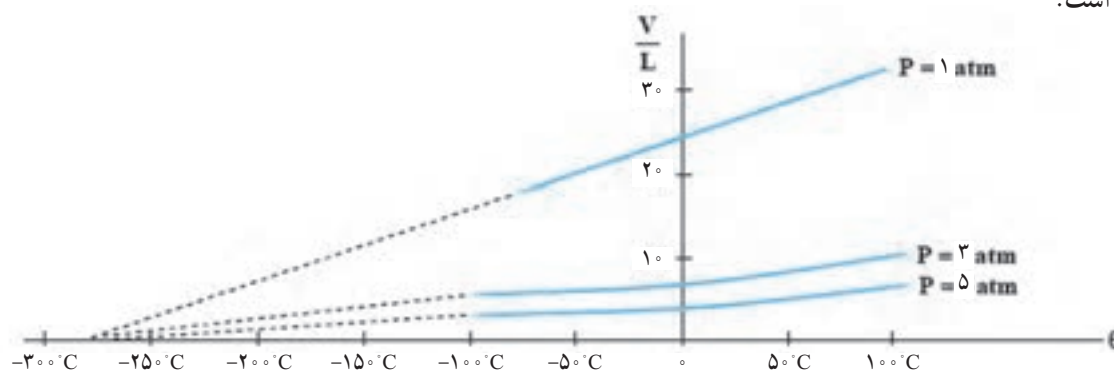


توجه کنید تغییر حجم با مقیاس سلسیوس متناسب نیست (جدول) بلکه با دمای مطلق نسبت مستقیم دارد.



نمودار ۶ — فشار در برابر دما

نمودار حجم بر حسب دمای سلسیوس برای یک مول گاز N_2 در فشارهای مختلف در شکل زیر آمده است.



در تفسیر مولکولی قانون شارل — گیلوساک می توان گفت که افزایش دما سرعت حرکت مولکول ها را بیشتر می کنند و سخت تر و بیشتر به دیواره ها ضربه می زنند. بنابراین برای ثابت ماندن فشار، حجم گاز باید افزایش یابد. با توجه به این قانون، می توان تغییر فشار نسبت به دما در حجم ثابت را به دست آورد.

$$pV = nRT \Rightarrow p \propto T \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

قانون آمونتون : فشار گاز محبوس در یک ظرف (حجم ثابت) با دمای مطلق آن رابطه مستقیم دارد.

$$P \propto T \text{ or } P = k \cdot T \rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

مقدار k به مقدار گاز و حجم آن بستگی دارد.

قانون ترکیب حجمی گیلوساک

در دما و فشار معین، گازها به نسبت‌های حجمی معین که برابر با عددی طبیعی کوچکی است با یکدیگر واکنش می‌دهند. این قانون بیان می‌کند حجم گاز به کار رفته یا تولید شده در واکنش‌های شیمیایی در دما و فشار ثابت را می‌توان به صورت نسبت‌های عددی ساده بیان کرد. مثلاً یک حجم هیدروژن با یک حجم کلر واکنش می‌دهد و دو حجم هیدروژن کلرید تولید می‌کند که این اعداد بیان شده توسط گیلوساک همان ضرایب گازها در معادله واکنش شیمیایی موازنه شده می‌باشد.

و برای تشکیل آب می‌توان گفت:



شکل ۳۱

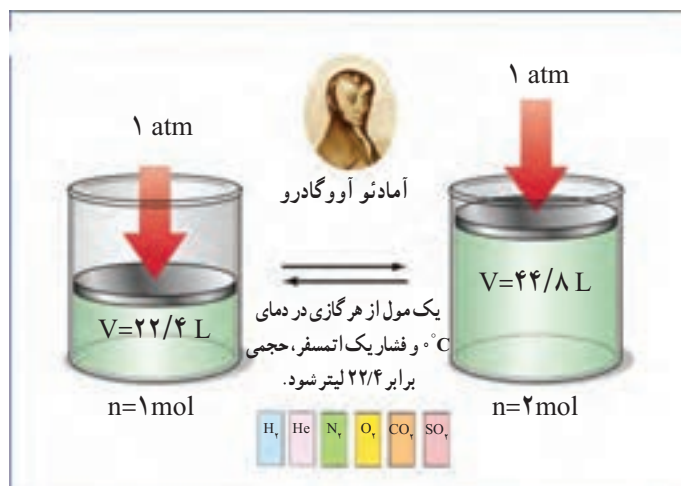
قانون (اصل) آووگادرو

اصل آووگادرو قانون نسبت‌های حجمی گیلوساک را این‌گونه توضیح می‌دهد که در حجم برابر از تمام گازها در دما و فشار یکسان، تعداد مولکول‌ها و در نتیجه تعداد مول‌های یکسانی وجود دارد.

$$V \propto n \quad \text{or} \quad V = kn \quad \text{یا} \quad \frac{V}{n} = k \quad (p, T \text{ ثابت}) \quad \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

پس حجم یک مول از گازهای مختلف در دما و فشار یکسان باید برابر باشد که این حجم، حجم مولی گاز نامیده می‌شود و در STP برابر ۲۲/۴۱۴ لیتر بر مول است.

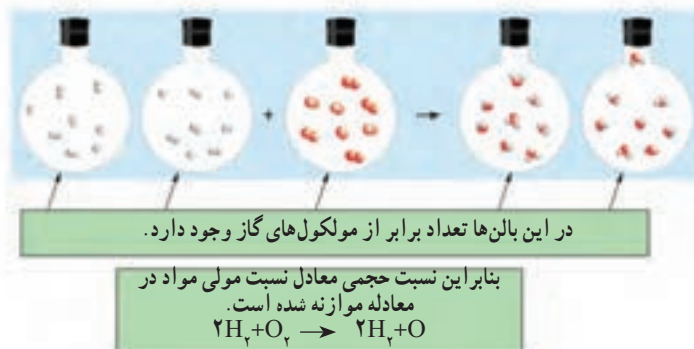
He	N _۲	CH _۴
حجم ۲۲/۴L	۲۲/۴L	۲۲/۴L
فشار ۱ atm	۱ atm	۱ atm
دما °C	°C	°C
جرم گاز ۴/۰۰g	۲۸۰۰۰g	۱۶/۰g
تعداد مولکول‌های گاز ۶/۰۲ × ۱۰ ^{۲۳}	۶/۰۲ × ۱۰ ^{۲۳}	۶/۰۲ × ۱۰ ^{۲۳}



با استفاده از این اطلاعات می توان در واکنش ها محاسبات استوکیومتری انجام داد.

توصیف آووگادرو از قانون حجم های ترکیبی گی لوساک

در دما و فشار ثابت



قانون فشارهای جزئی دالتون

فشار مخلوطی از گازهای ایده آل با مجموع فشارهای جزئی گازها برابر است. به عبارت دیگر فشار ناشی از مخلوط گازهای ایده آل، مجموع فشارهایی است که هر یک از گازها هنگامی که به تنهایی در آن حجم قرار بگیرند، از خود نشان می دهند.

$$p_{\text{total}} = p_A + p_B + p_C + \dots \quad (V, T \text{ ثابت})$$

$$X_A = \frac{\text{mol A}}{\text{mol A} + \text{mol B} + \dots}$$

$$X_B = \frac{\text{mol B}}{\text{mol A} + \text{mol B} + \dots}, \quad p_A = X_A \times p_{\text{total}}; \quad p_B = X_B \times p_{\text{total}}$$

هر جزء و کل مخلوط، مطابق قانون دالتون رفتار ایده‌آل دارند. پس این قانون برای مخلوط گازهای حقیقی چندان دقیق نیست.

مطابق قانون دالتون، درصد حجمی هر جزء در مخلوط گازی هم‌ارز با کسر مولی آن است. در واقع اکسیژن که ۲۱ درصد حجم هوا را تشکیل می‌دهد، کسر مولی آن ۰/۲۱ است. با این توصیف فشار گاز اکسیژن در سطح زمین برابر است با:

$$p_{O_2} = X_{O_2} \cdot p_{\text{هوا}} = 0/21 \times 1 \text{ atm} = 0/21 \text{ atm}$$

هنگامی که از سطح زمین به لایه‌های بالاتر هوا کره برویم، کسر مولی اکسیژن در هوا ۰/۲۱ است. این در حالی است که با کاهش فشار هوا، فشار جزئی گاز اکسیژن نیز کم می‌شود. برای نمونه در ارتفاع ۸ کیلومتری از سطح زمین، فشار گاز اکسیژن حدود ۰/۰۷۶ اتمسفر است.

با این توصیف، فشار هوا در این ارتفاع برابر است با:

$$p_{O_2} = X_{O_2} \cdot p_{\text{هوا}} \quad 0/076 \text{ atm} = 0/21 \times P_{\text{هوا}} \quad p_{\text{هوا}} = 0/362 \text{ atm}$$

جدول ۱۱— رابطه بین ارتفاع از سطح زمین با فشار هوا، غلظت اکسیژن و کسر مولی اکسیژن

ارتفاع از سطح زمین km	۰	۰/۳	۰/۶	۱/۸	۲/۴	۳/۰	۳/۶	۴/۲	۴/۸	۶	۶/۷	۷/۳	۷/۹
فشار هوا atm	۱	۰/۹۶۲	۰/۹۲۸	۰/۷۹۴	۰/۷۳۷	۰/۶۸۴	۰/۶۳۲	۰/۵۸۹	۰/۵۴۶	۰/۴۶۴	۰/۴۳۱	۰/۴۰۲	۰/۳۶۴
$p_{O_2} \times 10^{-2}$ atm	۲۰/۹	۲۰/۱	۱۹/۴	۱۶/۶	۱۵/۴	۱۴/۳	۱۳/۲	۱۲/۳	۱۱/۴	۹/۷	۹	۸/۴	۷/۶
کسر مولی اکسیژن	۰/۲۱	۰/۲۰/۸۹۴	۰/۲۰/۹۰۵	۰/۲۰/۹۰۷	۰/۲۰/۸۹۶	۰/۲۰/۹۰۶	۰/۲۰/۸۸۶	۰/۲۰/۸۸۳	۰/۲۰/۸۷۹	۰/۲۰/۹۰۵	۰/۲۰/۸۸۲	۰/۲۰/۸۹۶	۰/۲۰/۸۷۹

قانون گاز ایده‌آل

حالت هر گاز خالص، توسط حجم گاز (V)، دما (T)، فشار (p) و تعداد مول (n) تعیین می‌شود. رابطه‌ای که این کمیت‌ها را به هم مرتبط می‌سازد، معادله حالت گویند. از ترکیب قوانین ذکر شده برای گازها در یک معادله کلی، معادله حالتی به دست می‌آید که به قانون گاز ایده‌آل معروف است.

$$V \propto \frac{1}{P} \quad (T \text{ و } n \text{ ثابت})$$

$$V \propto T \quad (P \text{ و } n \text{ ثابت})$$

$$V \propto n \quad (T \text{ و } P \text{ ثابت})$$

$$V \propto \frac{nT}{P} \quad (\text{متناسب است})$$

$$V = R \left(\frac{nT}{P} \right),$$

$$PV = nRT$$

که در آن R ضریبی ثابت به نام ثابت گازهای ایده‌آل است. مقدار عددی R بر حسب یکاهای مختلف،

به صورت زیر است :

جدول ۱۲- یکاهای مختلف ثابت عمومی گازها

R	۰/۰۸۲۰۵	۸/۳۱۴	۰/۰۸۳۱۴	۸/۳۱۴	۶۲/۳۶۴	۱/۹۸۷۲
واحد	LatmK ⁻¹ mol ⁻¹	JK ⁻¹ mol ⁻¹	L barK ⁻¹ mol ⁻¹	Pa m ³ K ⁻¹ mol ⁻¹	LTorrK ⁻¹ mol ⁻¹	cal K ⁻¹ mol ⁻¹

گاز ایده آل گازی است که در آن از نیروهای جاذبه و دافعه بین مولکول‌ها صرف نظر شده و حجم مولکول‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. به عبارتی هر گازی که از معادله حالت $PV = nRT$ پیروی می‌کند، گاز ایده آل است.

در گاز ایده آل فرض بر آن است که نیروهای بین مولکولی وجود ندارد. اگر در دمای ثابت حجم یک گاز ایده آل را تغییر دهیم، فاصله متوسط بین مولکول‌ها تغییر می‌کند اما چون نیروهای بین مولکولی صفر هستند این تغییر فاصله، اثری بر انرژی درونی گاز ندارد. به عبارت دیگر میانگین انرژی جنبشی انتقالی مولکول‌های گاز فقط تابع دما است و با حجم تغییر نخواهد کرد.

گازهای حقیقی

گاز حقیقی گازی است که در آن نیروهای بین مولکولی (برهم کنش‌های جاذبه و دافعه) در نظر گرفته می‌شود و حجم مولکول‌ها هم منظور می‌شود. گازهای حقیقی از قانون گازهای ایده آل تبعیت نمی‌کنند و انحراف از حالت ایده آل در فشارهای بالا و دماهای پایین مشهودتر است. اما یک گاز حقیقی در فشار بسیار پایین و دمای بسیار بالا، ممکن است مانند گاز ایده آل رفتار کند. چون در فشار بسیار پایین و دمای بسیار بالا، فاصله بین مولکول‌های گاز در مقایسه با قطر مولکول‌ها بسیار زیاد است و مولکول‌های گاز تأثیری بر یکدیگر ندارند (جز در هنگام برخورد با یکدیگر) و نیز می‌توان از حجم مولکول‌ها در برابر ظرف گاز صرف نظر کرد، بنابراین در شرایط فشار پایین و دمای بالا، هر گاز حقیقی مانند گاز ایده آل عمل می‌کند. در دمای بالا، جنبش مولکول‌ها به اندازه‌ای زیاد است که فرصت برهم کنش میان آنها به وجود نمی‌آید.

پاسخ پرسش‌های فصل دوم

«با هم بیندیشیم» صفحه ۴۷

۱ آ) بله، با افزایش ارتفاع از سطح زمین، دما در هر گستره معینی، چشم‌گیر اما نامنظم تغییر می‌کند، این ویژگی نشان‌دهنده لایه‌ای بودن هواکره است.

ب) بله، یون‌ها (تک‌اتمی و چنداتمی)، زیرا هر چه از سطح زمین دور شویم امکان برخورد پرتوهای کیهانی با اتم‌ها و مولکول‌های موجود در لایه‌های بالایی هواکره بیشتر شده و این فرایند باعث جدا شدن الکترون از آنها و تشکیل یون‌های مثبت می‌شود.

۲ فشار کاهش می‌یابد، زیرا مطابق شکل با افزایش ارتفاع از سطح زمین، شمار مولکول‌های سازنده هواکره در واحد حجم، در نتیجه (شمار برخورد آنها به دیواره، بدنه اشیا و ...) فشار هوا کاهش می‌یابد.

«بیوند ریاضی» صفحه ۴۸

آ)

$$۱۱^{\circ}\text{C} - (-۵۵^{\circ}\text{C}) = ۶۶^{\circ}\text{C}$$

$$؟\text{ km} = ۶۶^{\circ}\text{C} \times \frac{۱\text{ km}}{۶^{\circ}\text{C}} = ۱۱\text{ km}$$

ب) چون عدد دما بر حسب کلون بزرگ‌تر از دما بر حسب سلسیوس است پس :

مقدار ثابت + دما بر حسب سلسیوس = دما بر حسب کلون

$$۲۱۸ = -۵۵ + k \rightarrow k = ۲۷۳$$

این محاسبه نشان می‌دهد که اگر به دما بر حسب سلسیوس مقدار ثابت ۲۷۳ را بیفزاییم دما بر حسب کلون (K) به دست می‌آید.

«توجه کنید»

نماد درجه کلون، K و نماد درجه سلسیوس $^{\circ}\text{C}$ است. در متون علمی رابطه میان دما بر حسب کلون (T) با دما بر حسب سلسیوس (θ) به صورت زیر نوشته می‌شود :

$$\frac{T}{۱\text{ K}} = \frac{\theta}{۱^{\circ}\text{C}} + ۲۷۳/۱۵$$

در واقع نوشتن رابطه $T = \theta + ۲۷۳/۱۵$ نادرست است زیرا کمیت‌ها هنگامی جمع جبری می‌شوند که «هم‌یکا» یا «بدون یکا» باشند.

برای نمونه دمای بدن بر حسب کلون براساس :

$$T = \theta + ۲۷۳/۱۵ \rightarrow T = ۳۷^{\circ}\text{C} + ۲۷۳/۱۵$$

نادرست است، زیرا نمی‌توان 37°C را با یک عدد ثابت جمع کرد و در پایان کمیتی با یکای کلوین (K) به دست آورد، اما براساس محاسبه زیر دمای بدن $310/15\text{K}$ خواهد شد.

$$\frac{T}{1\text{K}} = \frac{\theta}{1^{\circ}\text{C}} + 273/15 \rightarrow \frac{T}{1\text{K}} = \frac{37^{\circ}\text{C}}{1^{\circ}\text{C}} + 273/15 = 37 + 273/15$$

$$\frac{T}{1\text{K}} = 310/15\text{K} \rightarrow T = 310/15\text{K}$$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۵۰

توصیه می‌شود در پرسش‌ها و متونی که دانش‌آموزان با دمای سلسیوس به ویژه دماهای منفی سر و کار دارند بهتر است نخست آن را به کلوین تبدیل نمایند، زیرا درک و استفاده از آن آسان‌تر است (دمای جوش N_2 ، Ar و O_2 به ترتیب 77K ، 87K و 90K است).

(آ) در 200°C یا 73K در هوای مایع گاز هلیوم وجود ندارد، زیرا هلیوم در دمای 269°C یا 4K مایع می‌شود. این هوای مایع تنها محتوی نیتروژن، اکسیژن و آرگون است.

اگر این نمونه را تقطیر کنیم براساس دمای جوش آنها نخست نیتروژن (77K)، دمای جوش کمتر، سپس آرگون (با دمای 87K) و در پایان اکسیژن (با دمای جوش 90K) از مخلوط جدا می‌شود.

(ب) در 195°C یا 78K نخست نیتروژن جدا می‌شود (گویی‌های آبی‌رنگ، نیتروژن را نشان می‌دهند) سپس در 185°C یا 88K آرگون جدا خواهد شد (گویی‌های سفیدرنگ، آرگون را نشان می‌دهند) با این توصیف گویی‌های قرمز رنگ، نشان‌دهنده اکسیژن هستند.

(پ) در دمای 80°C یا 193K که از دمای جوش همه اجزای سازنده هوا کره بالاتر است، همه سازنده‌ها به حالت گاز هستند از این رو حالت (۱) درست است.

(ت) با توجه به اینکه تفاوت دمای جوش اجزای سازنده هوا کره کم است (دمای جوش آنها به یکدیگر نزدیک است) جداسازی هر جزء مانند اکسیژن به صورت صد در صد خالص ممکن نیست و هم‌زمان با آن، اندکی از دیگر اجزا نیز جدا می‌شود.

«خود را بیازمایید» صفحه ۵۲

(آ) با دقت نمودار رسم شود.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۵	۱۰	۱۵	۲۰	10^{-2}	فشار $\text{O}_2 \times (\text{atm})$	ارتفاع (km)	

(ب) از آنجا که نمودار نزولی است پس با افزایش ارتفاع از سطح زمین، فشار هوا و در نتیجه فشار گاز اکسیژن کاهش می‌یابد.

(پ) با نقطه‌یابی از روی نمودار، فشار گاز اکسیژن در ارتفاع $2/5\text{ km}$ در حدود $10^{-2} \times 15/2\text{ atm}$ خواهد بود.

(ت) از آنجا که فعالیت‌های بیولوژیکی بدن انسان متناسب و سازگار با اکسیژن با فشار

کاهش می‌یابد. کیسول‌های اکسیژن این کاهش فشار را جبران می‌کند تا فعالیت‌های بیولوژیکی منظم انجام شوند.

توجه: با افزایش ارتفاع از سطح زمین، فشار هوا و در پی آن فشار یک اجزای سازنده مانند اکسیژن کاهش می‌یابد. اما در هر ارتفاعی حدود ۲۱٪ حجم هوا را اکسیژن تشکیل می‌دهد به دیگر سخن از هر ۱۰۰ مول (یا مولکول) هوا، ۲۱ مول (یا مولکول) O_2 است. اگر فشار هوا ۱ atm باشد، فشار O_2 حدود ۲۱ atm٪ است و اگر فشار هوا p باشد، فشار O_2 برابر با $21p$ ٪ است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۵۶

از فصل ۱ به یاد دارید که آرگون، گاز نجیب دوره سوم بوده که هر سه لایه الکترونی اتم آن به‌طور کامل از الکترون پر شده است، از این رو تمایلی به شرکت در واکنش‌های شیمیایی ندارد، با این توصیف یک محیط بی‌اثر برای جوشکاری ایجاد می‌کند و مانع می‌شود که در آن دمای بالا، فلز با گازهای موجود در هوا به ویژه O_2 ترکیب شود. این روش طول عمر فلز جوشکاری‌شده را افزایش می‌دهد.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۵۷

۱ در این دو دست‌سازه، تعداد قطعه‌های پلاستیکی هم‌شکل، هم‌اندازه و هم‌رنگ برابر است و تنها شیوه اتصال آنها با یکدیگر تفاوت دارد، از این رو جرم دو دست‌سازه یکسان می‌باشد.

۲ مطابق قانون پایستگی جرم در واکنش‌های شیمیایی:

جرم مواد پس از واکنش = جرم مواد پیش از واکنش

جرم نقره سولفید = جرم گوگرد + جرم نقره

$$32 \text{ g} = \text{جرم گوگرد} \Rightarrow 247/8 \text{ g} = \text{جرم گوگرد} + 215/8 \text{ g}$$

۳ اشیای آهنی مانند میخ در هوای مرطوب زنگ می‌زنند. زنگار تولیدشده به دلیل واکنش آهن با گاز اکسیژن و رطوبت موجود در هوا است. در واقع جرم میخ زنگ‌زده برابر با مجموع جرم میخ آهنی با جرم اکسیژن و رطوبت جذب‌شده برای تشکیل زنگ آهن می‌باشد.

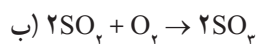
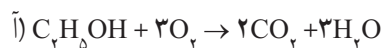
یعنی: جرم میخ زنگ‌زده = جرم اکسیژن و رطوبت + جرم میخ

$$6\% = \text{جرم اکسیژن و رطوبت} \rightarrow 2/27 \text{ g} = \text{جرم اکسیژن و رطوبت} + 2/21 \text{ g}$$

۴ مخلوط واکنش در آغاز تنها شامل مواد واکنش‌دهنده بوده اما پس از انجام واکنش، شامل مواد فراورده (و گاهی مقدار باقی‌مانده از واکنش‌دهنده‌ای که در واکنش شرکت نکرده) است. به همین دلیل بهتر است قانون پایستگی جرم در واکنش به‌صورت زیر نوشته شود.

جرم مواد پس از واکنش = جرم مواد پیش از واکنش

توجه: برای نمونه اگر در تمرین شماره ۲ به جای ۳۲g گوگرد، ۴۰g گوگرد وارد واکنش شود تنها ۳۲g آن با نقره ترکیب می‌شود و ۸g اضافی آن همراه با ۲۴۷/۸g نقره سولفید در ظرف باقی می‌ماند.



«خود را بیازمایید» صفحه ۶۱

۱ آ) آلومینیوم، زیرا در شرایط یکسان میزان تولید حباب‌های گاز در ظرف محتوی محلول اسید با آن بیشتر است.

ب) با توجه به اینکه واکنش پذیری آلومینیم از آهن بیشتر است، انتظار می‌رود در شرایط یکسان زودتر اکسایش یابد.

۲ با اینکه آلومینیم در شرایط یکسان زودتر از آهن اکسایش می‌یابد و لایه اکسید تشکیل می‌دهد اما به دلیل ساختار محکم، پایدار و چسبنده لایه اکسید، این لایه همانند محافظی برای فلز Al عمل می‌کند و مانع از اکسایش نقاط درونی فلز می‌شود. بنابراین آلومینیم به دلیل تشکیل لایه اکسید محافظ در برابر خوردگی مقاوم خواهد بود، این در حالی است که زنگار آهن ترد و شکننده بوده و خوردگی به نقاط درونی نیز سرایت می‌کند.

۳ آ) آلومینیم به آسانی اکسید می‌شود و با تشکیل لایه اکسید، از خوردگی محافظت می‌شود، از سوی دیگر آلومینیم نقش مفید و مؤثری در رسانایی و انتقال برق فشار قوی دارد.

ب) از آنجا که چگالی فولاد حدود سه برابر آلومینیم است، اگر همه سیم‌ها از فولاد ساخته شود به دلیل چگالی بالا، دکل‌ها باید محکم‌تر بنا شده و به تعداد بیشتری در فواصل نزدیک‌تر به یکدیگر نصب شوند.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۶۳

۱ آ) آهن و مس

ب)

فرمول شیمیایی + اکسید	FeO	Fe ₂ O ₃	CuO	Cu ₂ O
نماد کاتیون	Fe ^{۲+}	Fe ^{۳+}	Cu ^{۲+}	Cu ⁺

پ) بار الکتریکی کاتیون با نماد رومی در نامگذاری پس از نام فلز آمده است.

ت) در ترکیب‌های یونی که فلز می‌تواند دو یا چند کاتیون با بارهای الکتریکی متفاوت داشته باشد (عنصرهای دسته d)، نخست نام فلز، سپس بار الکتریکی کاتیون آن با نماد رومی (I، II، III، IV و ...) و در پایان نام آنیون آورده می‌شود.

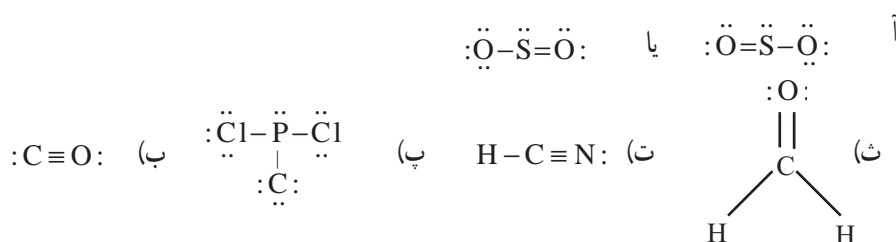
۲

نام ترکیب	آلومینیم فلوراید	کلسیم اکسید	پتاسیم سولفید	منیزیم برید	آهن (III) یدید	مس (I) سولفید
فرمول شیمیایی	AlF_3	CaO	K_2S	MgBr_2	FeI_3	Cu_2S

۳

نام ترکیب	کروم (II) اکسید	کروم (III) اکسید	کروم (II) کلرید	کروم (III) کلرید
فرمول شیمیایی	CrO	Cr_2O_3	CrCl_2	CrCl_3

«با هم بیندیشیم» صفحه ۶۴



«با هم بیندیشیم» صفحه ۶۹

آ) نمودار (۱) افزایش میزان تولید CO_2 را از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ میلادی نشان می‌دهد، بر این اساس مطابق نمودار (۲)، میانگین جهانی دمای زمین و میانگین جهانی سطح آب‌های آزاد افزایش یافته این در حالی است که مساحت برف در نیمکره شمالی کاهش یافته است، به دیگر سخن با افزایش تولید CO_2 ، میانگین دمای جهانی بیشتر شده که باعث ذوب برف‌ها در نیمکره شمالی می‌شود و این پدیده، افزایش سطح آب‌های آزاد را به دنبال دارد.

ب) افزایش نسبی دمای زمین باعث شده برف‌ها زودتر ذوب شوند، در واقع شرایط برای زودتر بیدار شدن گیاهان از خواب زمستانی فراهم شده است. از این رو جوانه زدن و رویدن گیاهان زودتر آغاز می‌گردد.

ستون ۱	ستون ۲	ستون ۳	ستون ۴	ستون ۵	ستون ۶
برق مصرفی در یک ماه (کیلووات ساعت)	منبع تولید برق	مقدار کربن دی اکسید تولید شده در یک ماه (kg)	مقدار کربن دی اکسید تولید شده در یک سال (kg)	مقدار کربن دی اکسید مصرفی یک درخت تنومند با میانگین قطر ۲۹ تا ۳۴ سانتی متر	تعداد درخت های لازم برای پاکسازی هوا کره
$y = 200$	زغال سنگ	$0.9 \times y = 180$	$12 \times 180 = 2160$	۵۵/۳	≈ 39
	نفت خام	$0.7 \times y = 140$	$12 \times 140 = 1680$	۵۵/۳	≈ 30
	گاز طبیعی	$0.3 \times y = 60$	$12 \times 60 = 720$	۵۵/۳	≈ 13
	باد	$0.1 \times y = 20$	$12 \times 20 = 240$	۵۵/۳	≈ 0.43
	گرمای زمین	$0.3 \times y = 60$	$12 \times 60 = 720$	۵۵/۳	$\approx 3/1$
	انرژی خورشید	$0.5 \times y = 100$	$12 \times 100 = 1200$	۵۵/۳	$\approx 2/17$

(ب) زغال سنگ
برای نمونه بخش عمده زغال سنگ را کربن تشکیل می دهد که هنگام سوختن به طور عمده CO_2 تولید می کند در حالی که نفت خام و گاز طبیعی به طور عمده از هیدروکربن ها تشکیل شده اند که هنگام سوختن کامل افزون بر CO_2 ، بخار آب نیز تولید می کنند.

(ت) با در نظر گرفتن برق مصرفی خانه به طور میانگین ۲۰۰ کیلووات،

(جدول کامل شده است شاید ما هم جزء مشترکین پر مصرف هستیم! توجه کنیم!)

«با هم بیندیشیم» صفحه ۷۶

(آ) هیدروژن (ب) تولید آن صرفه اقتصادی ندارد زیرا سوخت گرانی است (اما تولید و مصرف و ... چگونه؟)

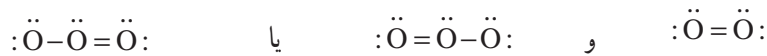
(پ) ● اگر همه هزینه های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن را در نظر بگیریم، سوختی به صرفه است، به همین دلیل برخی کشورها برای تولید گاز هیدروژن سرمایه گذاری می کنند.

● تولید پلاستیک زیست تخریب پذیر هزینه بالاتری دارد، اما با در نظر گرفتن هزینه های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، مقرون به صرفه تر از پلاستیک ها با پایه نفتی است، در واقع پلاستیک ها با پایه نفتی ارزان تر تولید می شوند اما هزینه های اجتماعی به ویژه زیست محیطی بالایی دارند که گاه جبران ناپذیر است.

● هر چه تولید و انتشار CO_2 کاهش یابد، باعث کند شدن افزایش میانگین دمای زمین خواهد شد، در نتیجه ذوب برف ها در نیمکره شمالی و افزایش سطح آب های آزاد، کندتر پیش می رود.

«خود را بیازمایید» صفحه ۷۸

(آ)



(ب) اکسیژن و اوزون هر دو در شرایط عادی گازهای بی‌رنگ هستند. اما اکسیژن در حالت مایع، آبی‌رنگ و اوزون مایع، لاجوردی است. از سوی دیگر جرم مولی اوزون ۱/۵ برابر اکسیژن و دمای جوش در حدود 61°C بالاتر از اکسیژن است.

(پ) گاز اکسیژن در آب به میزان کم اما مناسبی حل می‌شود که برای زندگی آبزیان بسیار ضروری و حیاتی است، اما این اکسیژن محلول در آب خاصیت گندزدایی ندارد. در حالی که اوزون با ورود به آب باعث از بین رفتن بسیاری از میکروب‌ها می‌شود، این ویژگی واکنش‌پذیری بیشتر اوزون به اکسیژن را نشان می‌دهد.

(ت) تفاوت در ساختار لوویس اوزون و اکسیژن که باعث ایجاد تفاوت‌های چشم‌گیر در خواص آنها شده است، در واقع با اینکه اوزون و اکسیژن از اتم‌های یکسان تشکیل شده‌اند، اما تفاوت ساختاری باعث تفاوت در خواص شده است. از این رو برای درک خواص و رفتار مواد باید نخست ساختار آنها را بررسی نمود.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۷۹

(آ) اگر واکنش تنها در جهت (۱) پیش برود، همه اوزون به اکسیژن تبدیل می‌شود و لایه محافظی در برابر تابش فرابنفش خورشید وجود نخواهد داشت، این در حالی است که اگر واکنش تنها در جهت (۲) پیش برود، همه اکسیژن به اوزون تبدیل و چرخه مختل می‌شود.

(ب) واکنش‌هایی که تنها در یک جهت معین (جهت رفت یا جهت (۱)) پیش می‌روند واکنش‌های برگشت‌ناپذیر نام دارند مانند سوختن مواد سوختی، محاله شدن پلاستیک‌ها در برابر گرما، سخت شدن سیمان در اثر جذب رطوبت و ...

اما واکنش‌هایی که امکان انجام آنها در هر دو جهت (۱) و (۲)، جهت رفت و برگشت وجود دارند، برگشت‌پذیر نامیده می‌شوند مانند تبخیر و میعان، پر و خالی شدن باتری‌های قابل شارژ، تبدیل اوزون به اکسیژن و ...

(پ) براساس معادله واکنش نوشته‌شده با پیشرفت واکنش در جهت (۱)، اوزون مصرف می‌شود در حالی که با پیشرفت واکنش در جهت (۲)، اوزون تولید می‌شود، حال اگر میزان مصرف اوزون با میزان تولید آن همخوانی داشته و برابری کند، مقدار اوزون موجود در لایه استراتوسفر ثابت می‌ماند و نقش محافظتی خود را به خوبی ایفا می‌کند.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۸۲

۱ (آ) شکل نشان می‌دهد که گاز درون سیلندر در فشار ثابت (وارد از هوا و پیستون به آن) است. اگر در فشار ثابت، دمای یک نمونه گاز افزایش یابد، جنبش مولکول‌ها تشدید شده و میانگین فاصله میان آنها و در پی آن، حجم افزایش می‌یابد.

(ب) با این توصیف حجم یک نمونه گاز در فشار ثابت با دمای آن رابطه مستقیم دارد.

۲ شکل نشان می‌دهد در دما و فشار ثابت، با افزایش شمار مولکول‌ها (مول‌ها)ی گاز، حجم افزایش

می یابد به دیگر سخن در دما و فشار ثابت، حجم گاز با شمار مول های آن رابطه مستقیم دارد.

«خود را بیازمایید» صفحه ۸۴

۱ جاهای خالی از بالا به پایین به ترتیب :

$$۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳} \text{ و } ۲۲/۴, ۱۰ \times ۰/۱ = ۱$$

۲ آ)

$$?L (\text{هوا}) = ۲۴ \text{ h} \times \frac{۶۰ \text{ min}}{۱ \text{ h}} \times \frac{۱۲ (\text{تنفس})}{۱ \text{ min}} \times \frac{۰/۵ (\text{هوا})}{۱ (\text{تنفس})} = ۸۶۴ \text{ L هوا}$$

h : ساعت
min : دقیقه

$$?LO_2 = ۸۶۴ \text{ L (هوا)} \times \frac{۰/۲۱ LO_2}{۱ L (\text{هوا})} \approx ۱۸۱۴/۴ LO_2$$

ب)

$$? \text{ mol } O_2 = ۱۸۱۴/۴ LO_2 \times \frac{۱ \text{ mol } O_2}{۲۲/۴ LO_2} = ۸۱ \text{ mol } O_2$$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۸۳
آ)

$$? \text{ mol } O_2 = ۲/۵ \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{۶ \text{ mol } O_2}{۱ \text{ mol } C_6H_{12}O_6} = ۱۵ \text{ mol } O_2$$

ب)

$$?LO_2 = ۱۵ \text{ mol } O_2 \times \frac{۲۲/۴ LO_2}{۱ \text{ mol } O_2} = ۳۳۶ LO_2$$

پ)

$$?g O_2 = ۱۵ \text{ mol } O_2 \times \frac{۳۲ g O_2}{۱ \text{ mol } O_2} = ۴۸۰ g O_2$$

ت)

$$?g H_2O = ۲/۵ \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{۶ \text{ mol } H_2O}{۱ \text{ mol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{۱۸ g H_2O}{۱ \text{ mol } H_2O} = ۲۷۰ g H_2O$$

ث)

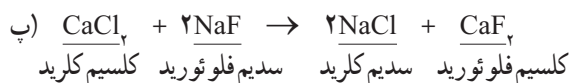
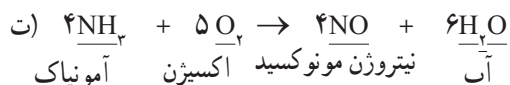
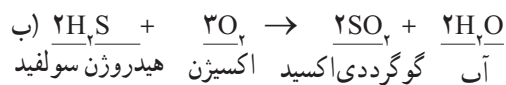
$$?L CO_2 = ۲/۵ \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{۶ \text{ mol } CO_2}{۱ \text{ mol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{۲۲/۴ L CO_2}{۱ \text{ mol } CO_2} = ۳۳۶ L CO_2$$

«تمرین های دوره ای» صفحه ۸۹

۱



سیلیسیم تتراکلرید کلر سیلیسیم



۲ $? \text{mol } H_2 = 42 / 5 \times 10^3 \text{ g } \cancel{NH_3} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{NH_3}}{17 \text{ g } \cancel{NH_3}} \times \frac{3 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol } \cancel{NH_3}} = 63750 \text{ mol } H_2$ (آ)

ب) $? \text{g } H_2 = 3360 \text{ L } NH_3 \times \frac{1 \text{ mol } NH_3}{22.4 \text{ L } NH_3} \times \frac{3 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol } NH_3} \times \frac{2 \text{ g } H_2}{1 \text{ mol } H_2} = 45 \text{ g } H_2$

$? \text{g } N_2 = 3360 \text{ L } NH_3 \times \frac{1 \text{ mol } NH_3}{22.4 \text{ L } NH_3} \times \frac{1 \text{ mol } N_2}{2 \text{ mol } NH_3} \times \frac{28 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2} = 210 \text{ g } N_2$

۳ $? \text{g } H_2O = 1000 \text{ g } C_{57}H_{110}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_{57}H_{110}O_6}{890 \text{ g } C_{57}H_{110}O_6} \times \frac{11 \text{ mol } H_2O}{2 \text{ mol } C_{57}H_{110}O_6} \times \frac{18 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O}$
 $= 1112/36 \text{ g } H_2O$

از اکسایش ۱ kg چربی، ۱/۱۱۲ kg آب تولید می شود.

۴ (آ)

نام گاز	نماد یا فرمول شیمیایی	آرایش الکترون نقطه ای	قیمت هر لیتر (ریال)	آلاینده یا غیر آلاینده
آرگون	Ar	: \ddot{Ar} :	۱۹۲	غیر آلاینده
اکسیژن	O _۲	: $\ddot{O} = \ddot{O}$:	۳۵	غیر آلاینده
متان	CH _۴	$\begin{array}{c} H \\ \\ H - C - H \\ \\ H \end{array}$	۳	آلاینده

نام گاز	نماد یا فرمول شیمیایی	آرایش الکترون نقطه‌ای	قیمت هر لیتر (ریال)	آلاینده یا غیر آلاینده
کربن دی‌اکسید	CO _۲	:Ö=C=Ö:	۱۳	غیر آلاینده
نیتروژن	N _۲	:N≡N:	۷۱	غیر آلاینده

ب) گاز نیتروژن، زیرا فراوان‌ترین و در دسترس‌ترین گاز بوده و واکنش‌پذیری بسیار کمی در شرایط عادی دارد.

۵ جای خالی سمت راست بالا ← هیدروژن

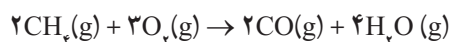
جای خالی سمت چپ بالا ← نیتروژن

جای خالی سمت راست پایین ← آمونیاک

مستطیل پایین ۶ مولکول NH_۳

مستطیل سمت چپ باقی‌مانده N_۲ و H_۲

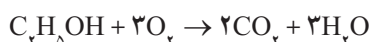
۶ آ)



ب)

$$? \text{LCO} = ۴۸ \text{ g CH}_۴ \times \frac{۱ \text{ mol CH}_۴}{۱۶ \text{ g CH}_۴} \times \frac{۲ \text{ mol CO}}{۲ \text{ mol CH}_۴} \times \frac{۲۲ / ۴ \text{ LCO}}{۱ \text{ mol CO}} = ۶۷ / ۲ \text{ LCO}$$

۷ آ)



ب) اتانول یک ترکیب آلی اکسیژن‌دار است، که شمار اتم‌های کربن موجود در هر مولکول آن به مراتب کمتر از هیدروکربن‌های سازنده گازوییل و بنزین است. از سوی دیگر به دلیل وجود اکسیژن در ساختار آن، O_۲ کمتری برای سوختن کامل مصرف می‌کند.

۸ آ) بر حسب A

ب)

$$? \text{ g CO}_۲ = ۱۸۰۰۰ \text{ km} \times \frac{۱۲۰ \text{ g CO}_۲}{۱ \text{ km}} = ۲ / ۱۶ \times ۱۰^۶ \text{ g CO}_۲ = ۲ / ۱۶ \times ۱۰^۳ \text{ kg CO}_۲$$

خودرو (A)

$$\text{میانگین خودرو B} = \frac{۱۲۰ + ۱۴۰}{۲} = ۱۳۰ \text{ g CO}_۲$$

$$? \text{ g CO}_۲ = ۱۸۰۰۰ \text{ km} \times \frac{۱۳۰ \text{ g CO}_۲}{۱ \text{ km}} = ۲ / ۳۴ \times ۱۰^۶ \text{ g CO}_۲ = ۲ / ۳۴ \times ۱۰^۳ \text{ kg CO}_۲$$

خودرو (B)

میانگین

$$? \text{ g CO}_2 = 18000 \text{ km} \times \frac{147/5 \text{ g CO}_2}{1 \text{ km}} = 2/655 \times 10^6 \text{ g CO}_2 = 2/655 \times 10^3 \text{ km CO}_2$$

خودرو (C)

بر اساس چنین محاسبه‌ای میزان تولید CO_2 سالانه از خودروها با برچسب D، E، F و G به ترتیب ۲۹۲۵، ۳۲۴۰، ۳۷۳۵ و ۴۰۵۰ کیلوگرم خواهد شد.

پ) توضیح نشان می‌دهد که مبنای محاسبه خودرو با برچسب A است. خودرو با برچسب E به‌طور میانگین به ازای هر کیلومتر، 60 g CO_2 بیشتری تولید می‌کند، بنابراین:

$$? \text{ €} = 18000 \text{ km} \times \frac{60 \text{ g CO}_2}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ kg CO}_2}{1000 \text{ g CO}_2} \times \frac{2 \text{ €}}{100 \text{ kg CO}_2} = 21/6 \text{ €}$$

خودرو E باید $121/6 \text{ €} + 100$ مالیات پردازد.

فصل ۳

آب، آهنگ زندگی



هدف‌های آموزشی فصل ۳

مقدمه

- ۱ با آب کره به عنوان یک مخلوط همگن از نمک‌های گوناگون آشنا شود.
- ۲ معنای «پویایی شیمیایی» کره زمین را درک کند.
- ۳ بداند چرخه مواد موجب پویایی شیمیایی در کره زمین می‌شود.
- ۴ با برخی یون‌های تشکیل دهنده آب دریا و منشأ ورود آنها به آب‌های سطحی آشنا شود.
- ۵ درصد بسیار کم آب شیرین طبیعی از منابع آب‌های کره زمین را درک کرده و میان مصرف بهینه و کمبود آب شیرین در جهان احساس مسئولیت کند.

همراهان ناپیدای آب

- ۱ مهارت شناسایی برخی یون‌های موجود در محلول‌های آبی و آب آشامیدنی را کسب کند.
- ۲ با برخی یون‌های چند اتمی و تک اتمی موجود در آب آشامیدنی و شیرین آشنا شود.
- ۳ مفهوم یون چند اتمی را درک کند.
- ۴ مهارت نوشتن فرمول و نام شیمیایی ترکیب‌های یونی دارای یون‌های چند اتمی را کسب و در خود تقویت کند.

محلول و مقدار حل شونده‌ها

قسمت در میلیون

- ۱ با کاربرد برخی محلول‌های آبی در زندگی آشنا شود.
- ۲ مفهوم غلظت و ارتباط آن با مقدار حل شونده در محلول را درک کند.
- ۳ بتواند مثال‌هایی از محلول رقیق و غلیظ در محیط زندگی بیان کند.
- ۴ مفهوم بیان غلظت برحسب قسمت در میلیون و غلظت درصد را درک کند.
- ۵ مهارت محاسبه غلظت یک محلول به روش قسمت در میلیون و غلظت درصد را کسب و در خود تقویت کند.
- ۶ با برخی کاربردهای غلظت برحسب قسمت در میلیون در زندگی آشنا شود.

پیوند با صنعت

غلظت مولی

- ۱ با اهمیت و کاربرد برخی از عناصر استخراج شده از آب دریاچه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها آشنا شود.
- ۲ مفهوم غلظت مولی را به عنوان روشی برای بیان غلظت محلول درک کند.
- ۳ مهارت محاسبه غلظت مولی محلول را کسب و در خود تقویت کند.

- ۴ با دو روش تغییر غلظت مولی یک محلول آشنا شود.
- ۵ اهمیت محاسبه غلظت در نمونه‌های طبیعی را درک کند.

آیا نمک‌ها به یک نسبت در آب حل می‌شوند؟

- ۱ مفهوم انحلال پذیری را درک کند.
- ۲ مهارت دسته‌بندی مواد برحسب انحلال پذیری را کسب کند.
- ۳ با عوامل مؤثر بر انحلال پذیری مواد جامد آشنا شود.
- ۴ بتواند اثر دما بر انحلال پذیری مواد جامد گوناگون را با توجه به نمودار انحلال پذیری توضیح دهد.
- ۵ با مفهوم محلول سیرشده، سیرنشده و فرا سیرشده آشنا شود.
- ۶ مهارت محاسبه انحلال پذیری یک ماده با توجه به نمودار یا داده‌های عددی را کسب و در خود تقویت کند.
- ۷ مهارت استخراج داده‌ها همچون تفاوت در شیب خط، عرض از مبدأ و تفاوت در اثر دما را از نمودار انحلال پذیری چند ماده کسب و در خود تقویت کند.
- ۸ مهارت یافتن رابطه ریاضی بین انحلال پذیری ماده با دما را کسب و در خود تقویت کند.
- ۹ رابطه علوم مختلف برای توصیف یک پدیده علمی یا رخداد در زندگی را درک کند.
- ۱۰ به رابطه انحلال پذیری مواد در بروز برخی بیماری‌ها پی‌ببرد.

رفتار آب و دیگر مولکول‌ها در میدان الکتریکی

- ۱ ارتباط میان رفتار مولکول قطبی در میدان الکتریکی و ساختار آن را درک کند.
- ۲ با مفهوم مولکول قطبی و ناقطبی آشنا شود.
- ۳ بتواند مولکول‌ها را با توجه به رفتار آنها در میدان الکتریکی به دو دسته قطبی و ناقطبی دسته‌بندی کند.
- ۴ اثر ساختار ماده بر رفتارهایی چون دمای جوش و جهت‌گیری در میدان الکتریکی را درک کند.
- ۵ دمای جوش ترکیب‌های مولکولی مختلف را با توجه به ویژگی‌های ماده چون جهت‌گیری در میدان، جرم مولی و ساختار آنها مقایسه کند.
- ۶ ارتباط میزان جاذبه بین ذره‌ای و نقطه جوش یا حالت فیزیکی ماده را درک کند.

نیروی بین مولکولی آب فراتر از انتظار

پیوند هیدروژنی در حالت‌های فیزیک گوناگون

- ۱ با گشتاور دو قطبی الکتریکی به عنوان معیاری برای تعیین میزان قطبی بودن مولکول آشنا شود.
- ۲ قوی‌تر بودن نیروی بین مولکولی در آب را با توجه به ساختار وجود پیوند کوالانسی O-H در آن توضیح دهد.
- ۳ با شرایط تشکیل پیوند هیدروژنی میان مولکول‌ها آشنا شود.
- ۴ مهارت مقایسه دمای جوش ترکیب‌های مولکولی مختلف را با توجه به نوع نیروهای بین مولکولی، کسب کند.
- ۵ با تأثیر تشکیل پیوند هیدروژنی بر چگالی آب به حالت جامد آشنا شود.

■ آب و دیگر حلال‌ها

■ کدام مواد با یکدیگر محلول می‌سازند

- ۱ با برخی حلال‌های آلی، کاربرد و ویژگی‌های آنها آشنا شود.
 - ۲ مفهوم محلول غیریونی را درک کند.
 - ۳ مهارت انتخاب حلال مناسب برای حل شونده‌ها را براساس گشتاور دو قطبی آنها به دست آورد.
 - ۴ مهارت توصیف مخلوط همگن و ناهمگن را بر مبنای حالت فیزیکی و ترکیب شیمیایی آنها کسب کند.
 - ۵ تحلیل جمله «شبيه، شبيهه را حل می‌کند» را بنویسد.
 - ۶ تشکیل یک محلول را براساس قدرت جاذبه میان ذره‌های حلال و حل شونده توضیح دهد.
 - ۷ با مفهوم انحلال مولکولی آشنا شود.
 - ۸ به اهمیت محلول‌های آب در سلامت و ادامه زندگی انسان پی ببرد.
- ### ■ تفکیک یونی در فرایند انحلال
- ۱ با مفهوم انحلال یونی آشنا شود.
 - ۲ انحلال یک ترکیب یونی را با توجه به جاذبه میان یون‌های مولکول‌های آب توضیح دهد.
 - ۳ مهارت نوشتن معادله تفکیک ترکیب‌های یونی در آب را کسب کند.

■ آیا گازها هم در آب حل می‌شوند؟

- ۱ به اهمیت انحلال گازها در ادامه زندگی موجودات زنده پی ببرد.
- ۲ با عوامل مؤثر بر انحلال پذیری گازها در آب آشنا شود.
- ۳ بتواند اثر دما، فشار و نوع گاز در انحلال پذیری را توضیح دهد.
- ۴ مهارت استخراج داده‌ها از نمودار، جدول و تحلیل آنها را در خود تقویت کند.
- ۵ با قانون هنری آشنا شود.

■ رسانایی الکتریکی محلول‌ها

- ۱ با مفهوم رسانایی الکتریکی دو محلول آشنا شود.
- ۲ با مفاهیم الکترولیت قوی، الکترولیت ضعیف و غیر الکترولیت آشنا شود.
- ۳ بفهمد که اختلاف در رسانایی الکتریکی محلول آبی مربوط به وجود یون‌ها و مقدار یون‌ها در آن است.
- ۴ با برخی کاربرد الکترولیت‌ها در زندگی و بدن آشنا شود.
- ۵ مهارت تعیین الکترولیت قوی، ضعیف و غیر الکترولیت را براساس شواهد تجربی (شدت روشنایی) در خود تقویت کند.

■ ردپای آب در زندگی

- ۱ ■ با مفهوم ردپای آب آشنا شود.
- ۲ ■ به نقش خود در ایجاد ردپای آب پی برده و در جهت کاهش مصرف آن تلاش کند.
- ۳ ■ با مفهوم اسمز و اسمز معکوس و تفاوت میان این دو آشنا شود.
- ۴ ■ با برخی روش‌های ساده برای جداسازی ناخالصی چون ذره‌های جامد، برخی یون‌ها و ... از آب آشنا شود.
- ۵ ■ با فرایند اسمز معکوس به عنوان یکی از روش‌های تهیه آب شیرین آشنا شود.

زمین سامانه‌ای پویا و تکامل‌یافته است. از عوامل پویا بودن زمین وجود چرخه‌های گوناگون است که به چرخه‌های زیست زمین شیمیایی (Biogeo chemical) معروف هستند. این چرخه‌ها نقش بسزایی در جابه‌جایی یا ذخیره مواد و عناصر در چهار بخش هواکره، آب‌کره، سنگ‌کره و زیست‌کره و برهم‌کنش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناسی دارند. به دیگر سخن چرخه‌ها، جابه‌جایی عناصر موجود در طبیعت کره زمین را به عهده دارند. بسیاری از این عناصر برای حیات ضروری و مهم هستند و برخی دیگر که از اهمیت کمتری برخوردارند، سمی و مضرند. باید دانست که به تعداد عناصر شیمیایی چرخه‌های زیست زمین شیمیایی وجود دارد. این عناصر را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد. دسته نخست عناصر اصلی یا کلان که سنگ بنای اصلی ترکیب‌های آلی را به‌وجود می‌آورند که شامل، کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، فسفر و گوگرد هستند. دسته دوم عناصر کلانی که اغلب موجودات زنده به مقدار زیاد به آنها نیازمندند، که شامل، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن است. دسته سوم عناصر غذایی خرد که به مقدار بسیار کم، حداقل برای برخی از انواع حیات ضروری است. مثل بور که در اغلب گیاهان سبز وجود دارد، مس که در برخی آنزیم‌ها به کار رفته و مولیبدن که مورد مصرف باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هستند.

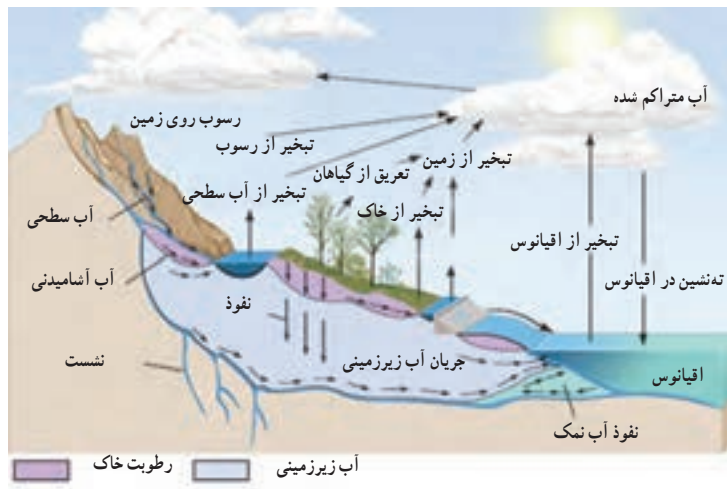
اصول کلی درباره همه چرخه‌ها

چرخه برخی از عنصرهای شیمیایی چون نیتروژن و اکسیژن سریع هستند به این معنی که در مدت کوتاه، برای فعالیت‌های زیستی آماده می‌شوند.

برخی چرخه‌ها مانند فسفر در فرایندهای کند زمین‌شناختی جابه‌جا می‌شود و این عنصرها مورد استفاده زیگان (جانداران، گیاهان که بومی یک منطقه هستند) قرار می‌گیرند. چرخه‌های زیست زمین شیمیایی که در مسیر خود مرحله گازی داشته باشند و زمان ایستایی ویژه در هواکره دارند، معمولاً با سرعت بیشتری جابه‌جا می‌شوند.

در اینجا چند چرخه زیست زمین شیمیایی مانند، چرخه آب، چرخه کربن، چرخه نیتروژن و فسفر توضیح داده می‌شود.

چرخه آب: این چرخه که از خورشید انرژی می‌گیرد همه حرکت‌های آب از اقیانوس به هواکره (فرایند تبخیر) و از آنجا به اقیانوس به شکل روان‌آب و جریان‌های زیرزمینی را در بر می‌گیرد. شکل ۱ چرخه آب را نشان می‌دهد.

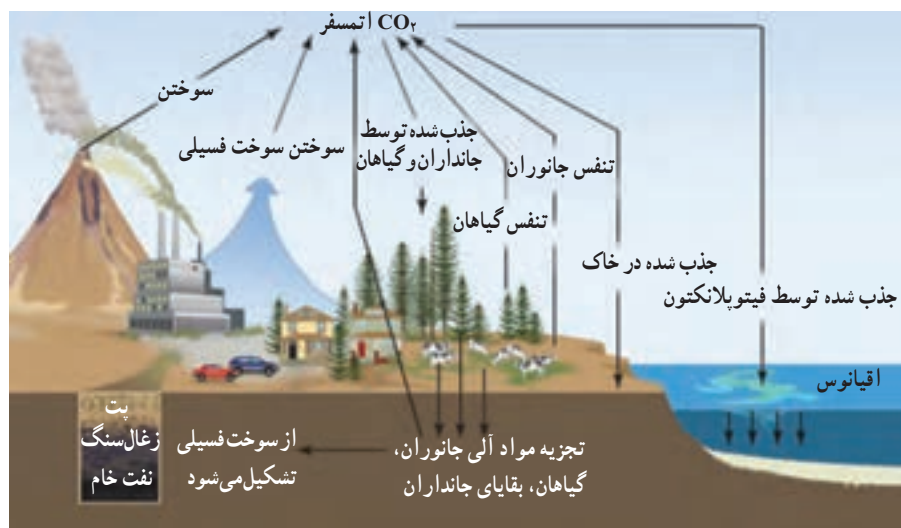


شکل ۱

چرخه کربن: کربن ماده‌ای اساسی در ساختمان جهان آلی است. این عنصر در همه انواع مواد آلی از زغال سنگ، نفت تا DNA و فرایندهای ژنی حضور دارد.

در ساخت ترکیب‌های زنده، کربن با هیدروژن و اکسیژن ترکیب می‌شود و به لحاظ شیمیایی و زیست‌شناسی با چرخه این دو عنصر پیوند دارد. چرخه‌های ترکیب‌های بیوشیمیایی کربن، اکسیژن و هیدروژن (مانند چرخه فتوسنتز) را چرخه کربن می‌گویند.

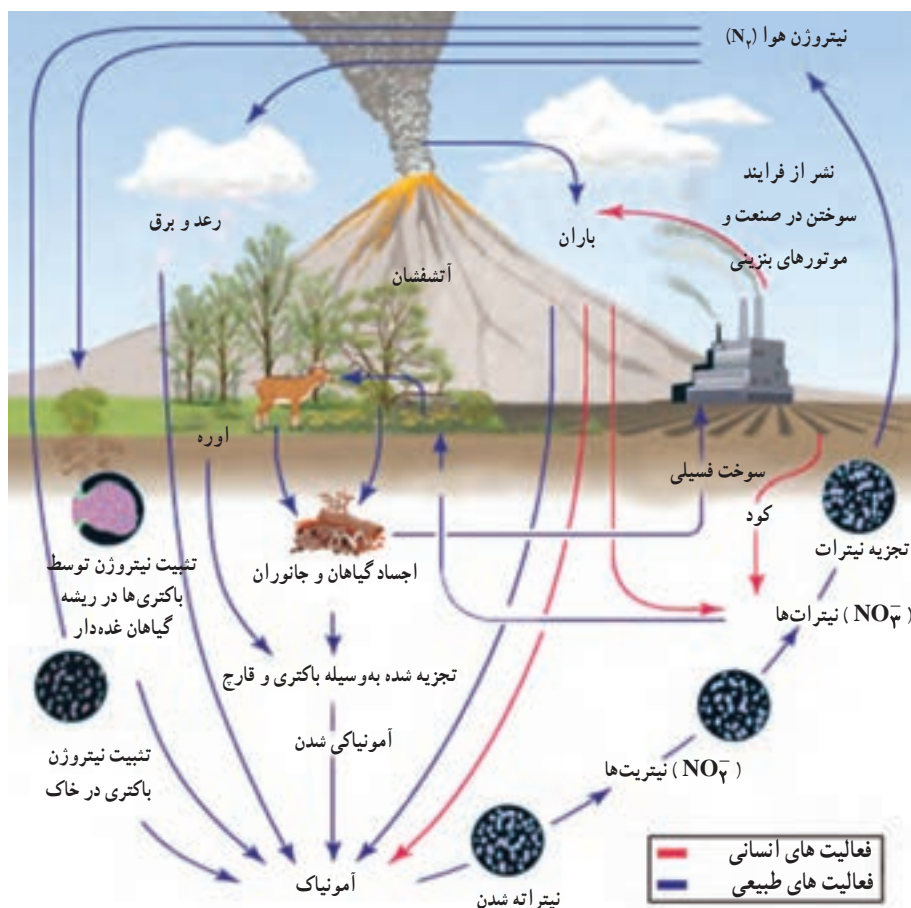
کربن به صورت چندین ترکیب گوناگون در هواکره موجود است که عمده آن گاز کربن‌دی‌اکسید (CO_2) است. گاز کربن‌دی‌اکسید در آب حل می‌شود و از این طریق بین هواکره و اقیانوس مبادله می‌شود که البته فتوسنتز دروازه گاز CO_2 به چرخه زیست‌شناسی است. مقدار کربن محلول در کف اقیانوس‌ها ۵۵٪ مقدار آن در هواکره است و مقدار کربن در خاک دو برابر مقدار هواکره و موجودی ذخیره‌شده این عنصر در هواکره و گیاهان با هم برابر است. زمان توقف کربن در خاک حدود ۲۵ تا ۳۰ سال و در هواکره حدود سه سال و در اقیانوس ۱۵۰۰ سال است. شکل ۲ چرخه کربن را نشان می‌دهد.



شکل ۲

چرخه نیتروژن: یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین چرخه‌های زیست زمین شیمیایی چرخه نیتروژن است. نیتروژن با اهمیت‌ترین عنصرها در زنجیره غذایی است که در ساختار آمینواسیدها و پروتئین‌ها وجود دارد. نیتروژن در هواکره به شکل‌های N_2O_x و ترکیب‌های نیتروژن‌دار چون HNO_3 ، HNO_2 و NH_3 وجود دارد. مهم‌ترین منبع تأمین نیتروژن برای گیاهان، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هستند که هم در خاک و هم در ریشه گیاهان وجود دارند. روی ریشه گیاهان تیره بقولات باکتری‌هایی از جنس ریزوبیوم (*Rhizobium*)، نیتروژن را مستقیماً از هوا جذب می‌کنند و غده‌هایی روی ریشه و همچنین در خاک باکتری‌هایی از نوع آزوتوباکتر و کلاستریدیم (*Clostridium*, *Azotobacter*) نیتروژن را جمع‌آوری می‌کنند.

افزون بر باکتری‌ها در اکوسیستم‌های آبی برخی جلبک‌های سبز و آبی به‌ویژه گونه‌هایی از جنس آنابه‌نا (Ana bena) و نوستوک (Nostok) نیتروژن هوا را جذب می‌کنند. باید دانست که باکتری‌ها تنها نقش جاذب نیتروژن را ندارند بلکه وظیفه دیگر که همان نیتروژن‌زدایی است را نیز بر عهده دارند. همین عمل باعث می‌شود که نیتروژن به هوا کره بازگردد و میزان آن ثابت بماند (شکل ۳).

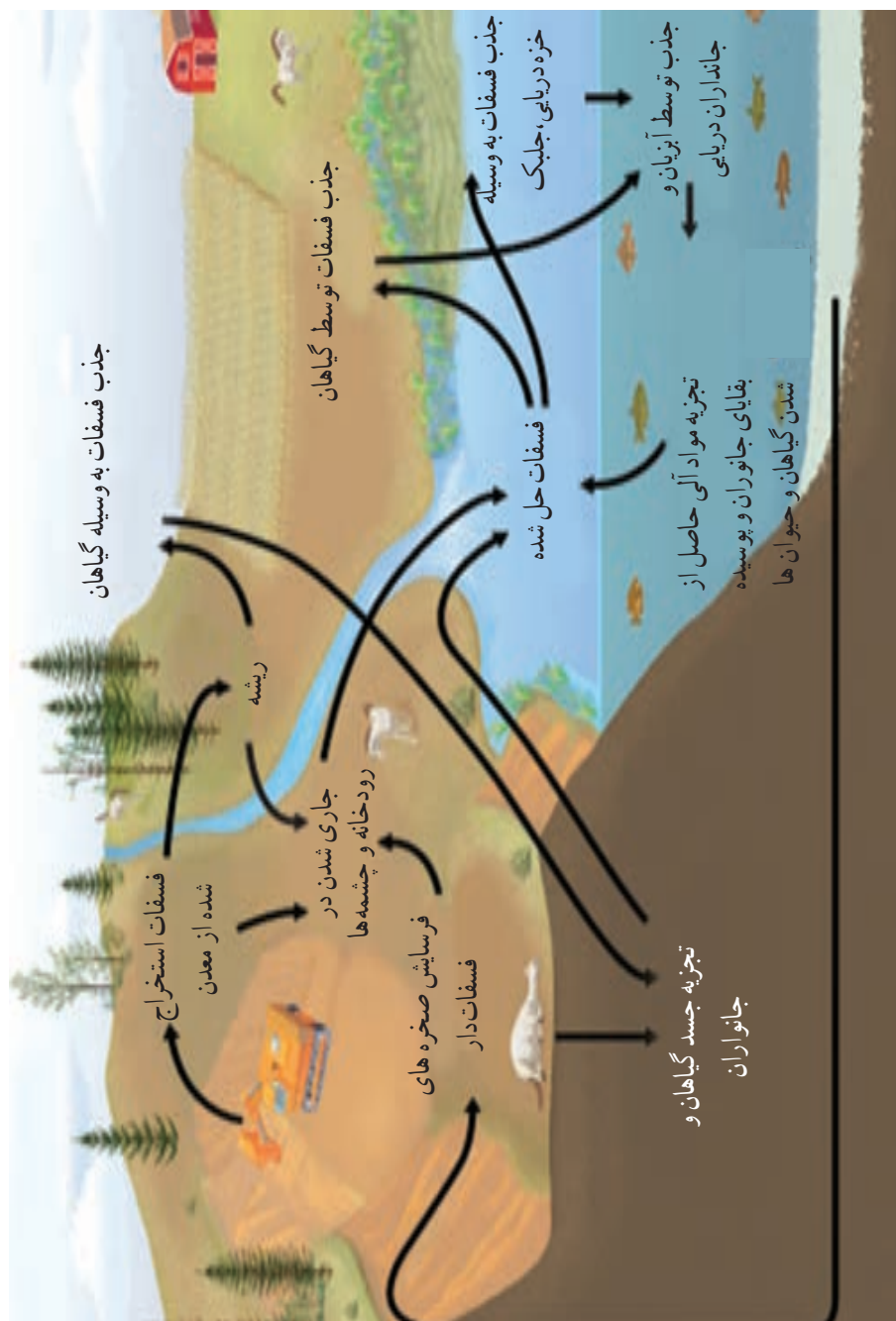


شکل ۳

چرخه فسفر: فسفر نیز نقش اساسی در زندگی دارد. کمبود آن، رشد گیاهان به‌ویژه گیاهانی که در آب‌های کم‌عمق وجود دارد را محدود می‌کند و در صورتی که مقدار این عنصر زیاد شود باعث مشکلات زیست‌محیطی از جمله رشد بی‌رویه گیاهان دریایی و به دنبال آن مصرف بیش از حد اکسیژن محلول در آب و در نتیجه تغییر جمعیت جانداران در محیط‌های آبی می‌شود.

همان‌طور که در پیش بیان شد چرخه فسفر مرحله گازی عمده‌ای ندارد و ممکن است تنها به صورت غبار در هوا کره حضور داشته باشد. چرخه این عنصر برخلاف چرخه کربن حرکت آرامی دارد و به‌طور عمده حرکت یک‌جانبه از خشکی به اقیانوس را شامل می‌شود. بازگشت فسفر به خشکی که در چرخه سنگ صورت می‌گیرد در مقیاس زمانی صدهزار تا صد میلیون سال است.

فسفر اغلب به صورت ترکیب با کلسیم، پتاسیم، منیزیم و آهن در طبیعت یافت می شود چون این گونه ترکیب ها به نسبت در آب نامحلول اند بنابراین ذخیره شدن در خاک بسیار کند است. به طور خلاصه چرخه فسفر عبارت از خروج و جریان آهسته آن از خشکی و ته نشین شدن آن در اقیانوس است. (شکل ۴)



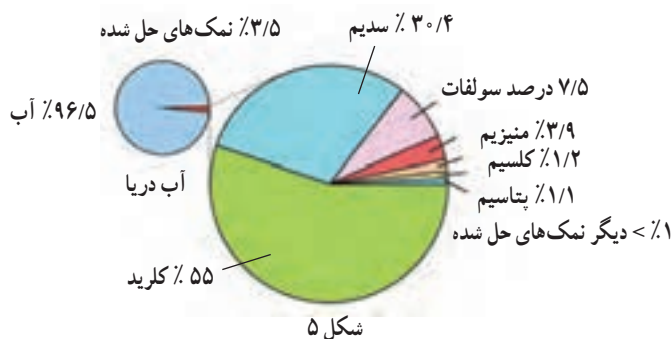
شکل ۴- چرخه فسفر (آ حضور یون فسفات ب) رشد فراوان جلبک ها ب) مصرف اکسیژن محلول ها توسط جلبک ها ت) مردن ماهی در اثر کمبود اکسیژن محلول ها توسط جلبک ها

در آب دریاها و اقیانوس‌ها چه موادی یافت می‌شود.

آب دریا، محلولی از نمک‌هایی است که مقدار آنها تقریباً ثابت است. در آب دریا بیش از ۷۰ نوع عنصر وجود دارد. جالب است بدانید ۹۹٪ آب دریا را ۶ عنصر تشکیل می‌دهند که همگی آنها به صورت نمک‌های محلول هستند. اقیانوس‌شناس‌ها از واژه شوری (Salinity) استفاده می‌کنند. میزان کل نمک محلول بر حسب گرم در یک کیلوگرم آب دریا گزارش می‌شود. آب دریاها شوری بین ۳۲ تا ۳۷ گرم در کیلوگرم آب دارد. شوری آب دریا در ناحیه ورملی (Wormly) در جنوب انگلستان به عنوان استاندارد بین‌المللی برای ترکیب آب دریا انتخاب شده است. مقدار استاندارد شوری آب دریا ۳۵ گرم در یک کیلوگرم آب دریا است. بر این اساس جدول ۱ درصد جرمی یون‌ها در ۳۵ گرم نمک در یک کیلوگرم آب دریا را نشان می‌دهد.

جدول ۱- درصد جرمی یون‌های موجود در ۳۵ گرم نمک در یک کیلوگرم آب دریا			
یون	درصد جرمی در نمک آب دریا	یون	درصد جرمی در نمک آب دریا
Cl^-	۵۵/۰۴	Mg^{2+}	۳/۶۹
Na^+	۳۰/۶۱	Ca^{2+}	۱/۱۶
SO_4^{2-}	۷/۶۸	K^+	۱/۱۰

افزون بر عناصری که در آب دریاها وجود دارد مقادیر جزئی از عنصرهای دیگر چون برم، منگنز، سرب، آهن، طلا و ید نیز وجود دارد (شکل ۵).



گازهای محلول در آب دریا

آب دریا حاوی گازهای محلول در مقادیر بسیار کم نیز می‌باشد. گازهایی از قبیل (نیتروژن، اکسیژن، کربن دی‌اکسید، هیدروژن) در آب دریا در دمای معین که مقدار شوری کم دارد، محلول سیرشده‌ای از این گازها را تشکیل می‌دهد. به‌طوری‌که مقدار گاز محلول در آب با گازهایی که در آب حل شده‌اند در تعادل است. برای مثال

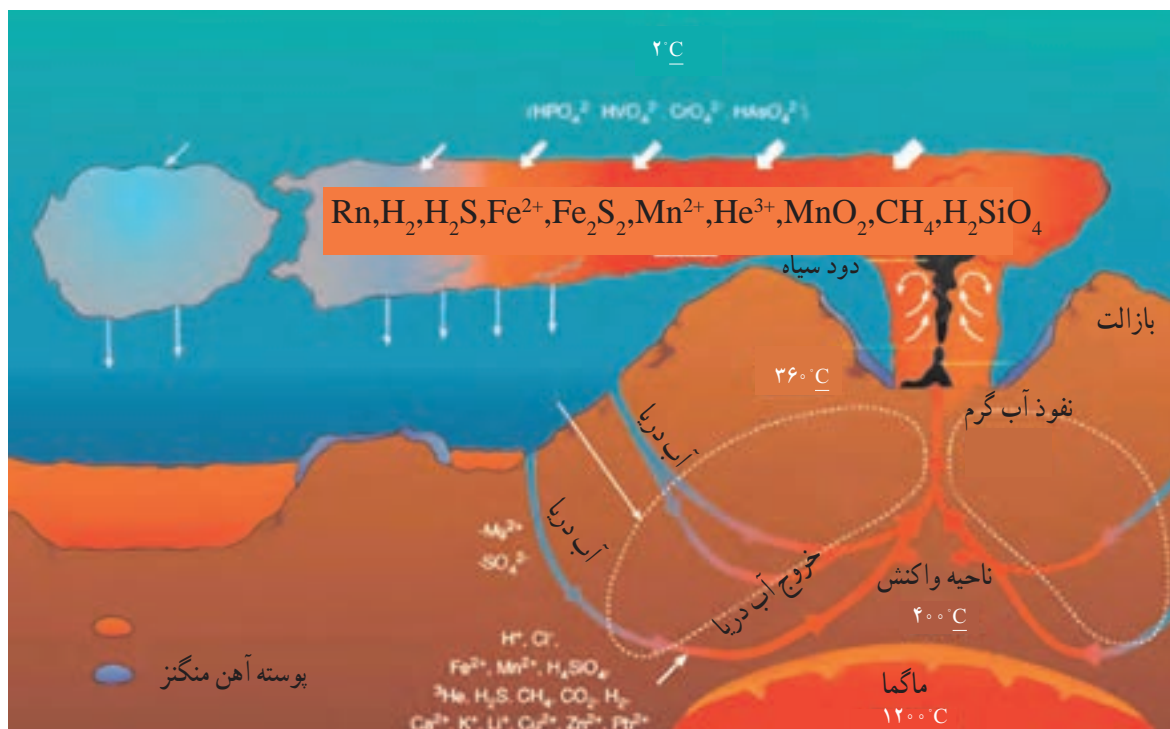
$O_2(g) \rightleftharpoons O_2(aq)$. هرچه میزان شوری و دمای آب دریا افزایش یابد مقدار انحلال پذیری گازها در آب دریا کم می شود. در بخش های عمیق اقیانوس به علت آنکه آب اقیانوس در تماس با هوا کره نیست مقدار گازی که در یک حجم معین از آب وجود دارد ثابت باقی می ماند. تنها حرکت جنبشی مولکول های گازها در آب وجود دارد، البته فرایند آهسته و کند نفوذ و مخلوط شدن جریان های آب ها در اقیانوس ها باعث تغییر در میزان عناصر و گازهای محلول در آب اقیانوس می شود.

البته این حالت کلی تنها برای گازهایی چون نیتروژن و گازهای نجیب آرگون، هلیم و... صادق است درحالی که غلظت گازهایی چون اکسیژن و کربن دی اکسید که در فرایندهای شیمیایی و زیستی توسط جانداران و گیاهان دریایی شرکت می کنند بر اساس فرایندهای بیان شده متفاوت خواهد بود.

فرایندهای کنترل کننده ترکیب شیمیایی دریا

فرایندهایی که ترکیب شیمیایی آب دریا را کنترل می کنند از سه منبع عمده زیر منشأ می گیرد :
 (آ) فوران های آتشفشانی : واکنش های شیمیایی بین آب دریا و صخره های آتشفشانی داغ که در اثر فعالیت های آتشفشان های کف اقیانوس ها یا در کنار اقیانوس ها تشکیل می شوند.

آب و هوای حاوی مواد شیمیایی که مجاور اقیانوس ها و دریاها هستند، فوران آتشفشانی باعث تولید مقادیر زیادی گاز شده که در نهایت به اقیانوس ها سرازیر می شود. بخش عمده این گازها را سولفات ها و کلریدها تشکیل می دهند. آتشفشان های کف اقیانوس ها مستقیم این مواد را به آب اقیانوس ها تزریق می کنند و گازهای خارج شده از آتشفشان ها اغلب از طریق حل شدن آب باران وارد اقیانوس می شوند (شکل ۶).



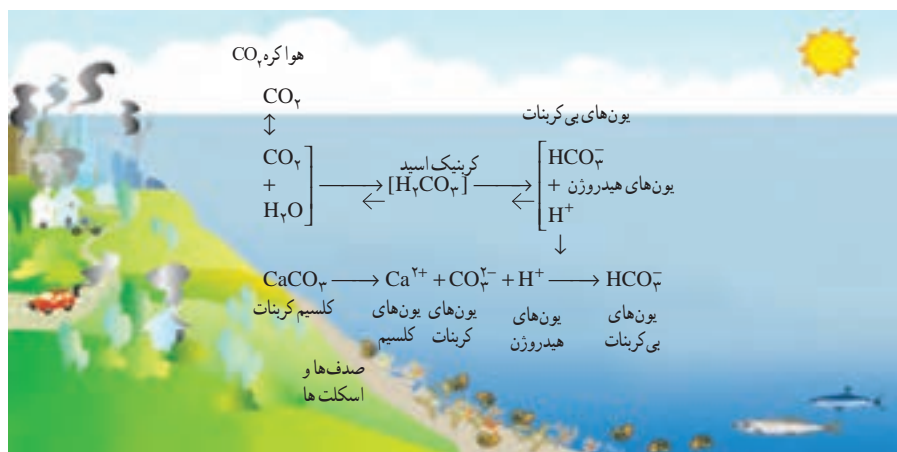
شکل ۶

ب) واکنش‌های شیمیایی: واکنش‌های شیمیایی بین پوسته‌های بازالتی باعث حذف منیزیم و مقداری سولفات از آب دریا می‌شود و از طرفی عنصرهایی چون هلیوم و روییدیم به آب دریا افزوده می‌شوند، و این مکانیسم باعث چرخش آب اقیانوس در پوسته آن می‌شود. به این ترتیب آب اقیانوس هر ۵ تا ۱۰ میلیون سال جابه‌جا می‌شود. شاید دلیل ثابت ماندن ترکیب شیمیایی آب دریا در طی میلیاردها سال به خاطر همین چرخش مواد است. بخش زیادی از نمک موجود در دریا از آب و هوای صخره‌ها و سرزمین‌های اطراف آن تأثیر می‌پذیرد. به این طریق که صخره‌ها ضمن فرسایش به خاک تبدیل شده و محتویات محلول آنها مانند سیلیکات‌ها، سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم در آب رودخانه رها می‌شوند. آب رودخانه‌ها نیز (HCO_3^-) را که محصول فرعی فرسایش صخره‌های سیلیکاتی یا آهکی محلول است با خود حمل می‌کند و وارد آب دریا می‌کند.

نمونه‌ای از فرسایش خاک، فرسایش فلدسپات یا نمک سدیم آلومینیم سیلیکات است.



همچنین ترکیبات کلسیم نیترات، کلسیم کربنات و سیلیکات موجود در صدف و استخوان‌های جانداران دریازی پس از تجزیه، باعث ثابت ماندن شوری آب اقیانوس‌ها می‌شود. نمونه‌ای از تبدیل کلسیم کربنات موجود در استخوان‌های جانداران و تبدیل آن در شکل ۷ نشان داده شده است.

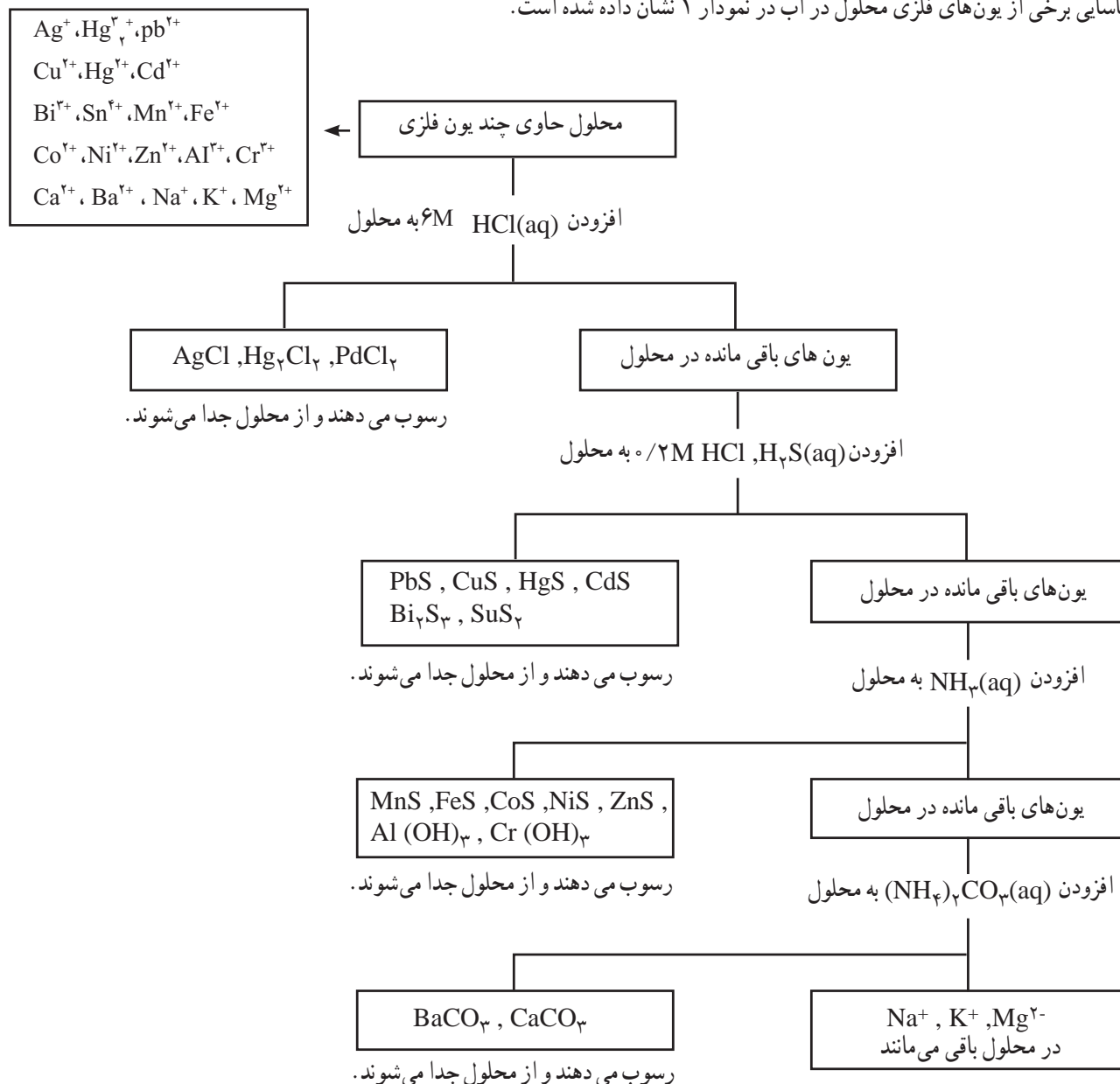


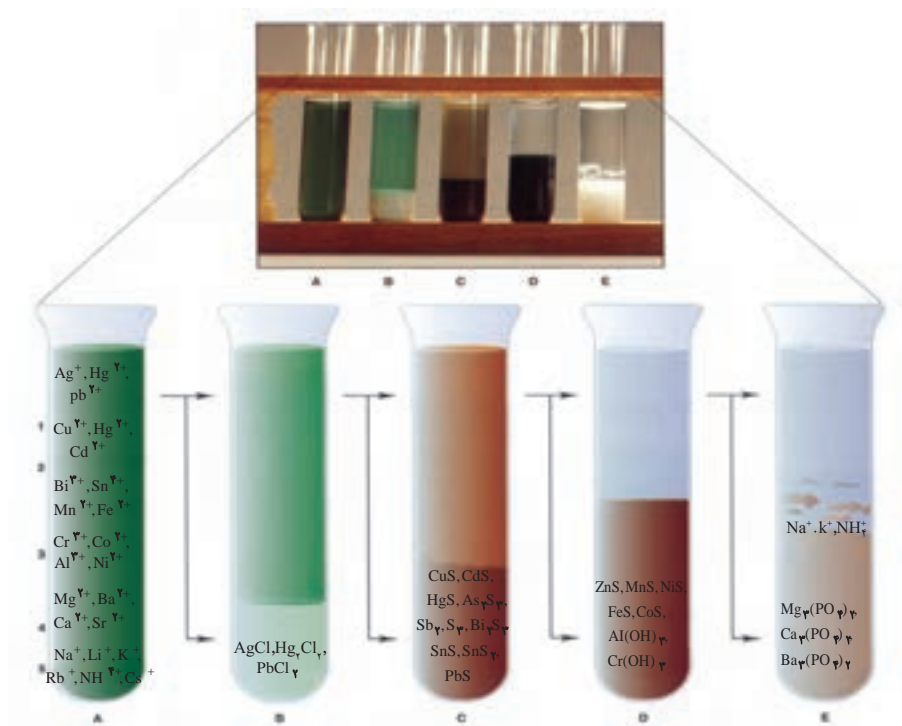
شکل ۷

ب) آب و هوا و برهم‌کنش بین آنها: تبخیر سطحی آب اقیانوس‌ها و تبدیل بخار آب به باران و حل شدن گازهای موجود در هوا و بازگشت آن به سطح دریاها نیز بخشی از فرایندهایی است که ترکیب شیمیایی آب دریا را کنترل می‌کند. در شکل ۷ برهم‌کنش گاز CO_2 موجود در هوا و ترکیبات معدنی در بستر اقیانوس نشان داده شده است.

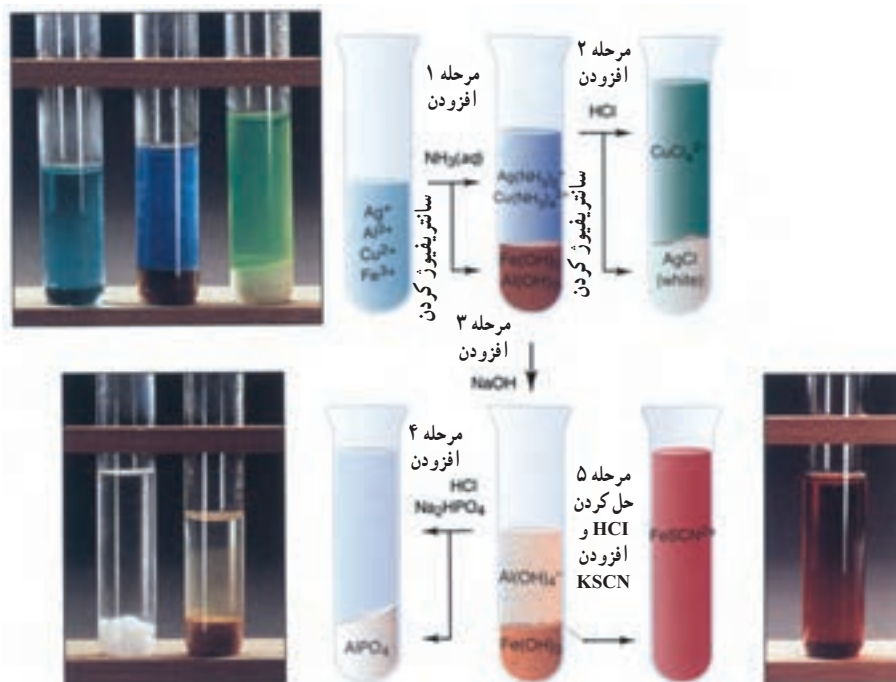
همراهان ناپیدای آب

همان طور که می دانید آب هایی که در طبیعت وجود دارند حتی آب های شیرین که قابل نوشیدن هستند، افزون بر میکروارگانیزم ها مقداری یون دارند. برای شناسایی یون ها از روش های گوناگون استفاده می شود. روش های دستگاهی (طیف سنجی) یا به کمک واکنش های رسوبی در این روش که به کمک واکنش دهنده های رسوبی انجام می شود، می توان برخی از کاتیون های فلزی را شناسایی کرد. مراحل شناسایی برخی از یون های فلزی محلول در آب در نمودار ۱ نشان داده شده است.





شکل ۸- آ - نمایش مراحل جداسازی کاتیون ها به پنج گروه یونی (تجزیه کیفی)



شکل ۸- ب - نمایش مراحل جداسازی کیفی یون های $\text{Ag}^+, \text{Al}^+, \text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$

کاربردهای سدیم کلرید

سدیم کلرید ترکیب یونی مهم و معروفی است که همه روزه با آن سروکار داریم. یکی از بزرگ‌ترین منابع این ترکیب یونی، صحرای بزرگی از نمک به نام «Salar de Uyuni» واقع در جنوب غربی بولیوی است. تخمین زده می‌شود در این صحرا به مقدار $10/000/000/000$ تن سدیم کلرید وجود دارد؛ به طوری که سالانه $25/000$ تن نمک از این صحرا جمع‌آوری و فروخته می‌شود. این صحرا در دامنه کوه‌های «Andes» واقع شده که از تبخیر آب دریاچه «Minchin» به جای مانده است (شکل ۹). این صحرا 12000 فوت از سطح دریا بالاتر است و 4000 مایل مربع مساحت دارد. روستاییان و کشاورزان بومی با استفاده از بیل و کلنگ، نمک‌های دریاچه را به صورت هرم‌های سفیدرنگ جمع می‌کنند و می‌فروشند. سدیم کلرید کاربردهای فراوانی در صنایع گوناگون دارد (نمودار ۲). مصرف سالانه NaCl در جهان حدود 150 میلیون تن است. سدیم کلرید را می‌توان از منابع‌های زیر تهیه کرد.



شکل ۹

جمع‌آوری سدیم کلرید از دریاچه مین

چین

(آ) آب دریا

(ب) معادن نمک

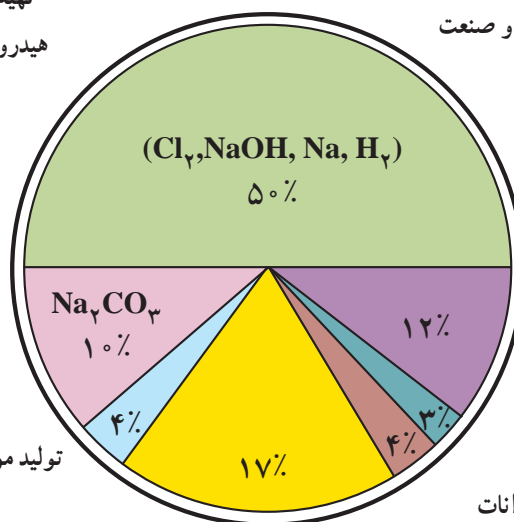
فراوری گوشت، تهیه کنسرو تن،
نرم کردن آب، تهیه خمیر کاغذ،
پارچه، رنگ، پلاستیک و صنعت
نفت

تهیه گاز کلر، سدیم، سود سوزآور و
هیدروژن از برق‌کافت محلول آب نمک غلیظ

تولید سدیم کربنات

تولید مواد شیمیایی دیگر

ذوب کردن یخ در جاده‌ها



نمودار ۲

کاوش کنید

هدف از کاوش کنید صفحه ۹۶ کتاب درسی، آشکار ساختن املاح یا یون‌های موجود در نمونه‌های طبیعی آب است. این کاوش کنید طی چهار آزمایش به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا با روش‌های شناسایی برخی از یون‌ها مانند کلرید (Cl^-)، یون کلسیم (Ca^{2+}) و یون باریم (Ba^{2+}) آشنا شوند سپس با بررسی یک نمونه آب طبیعی وجود این یون‌ها را در نمونه آب طبیعی مشخص کنند. در اینجا به دانش‌آموزان آگاهی دهید که چون نمونه آب طبیعی حاوی یون‌های دیگری چون آهن، منیزیم، برمید و... وجود دارد، ممکن است با افزودن شناساگرهای نقره، فسفات یا سولفات برخی دیگر از یون‌ها نیز رسوب کنند که شناسایی آنها جزء اهداف آموزشی دوره دوم متوسطه نیست. جدول ۲ انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های یونی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های یونی متداول

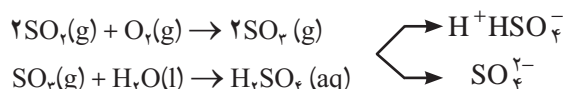
فلز گروه یک					فلز گروه دوم				فلزهای واسطه				
	NH _۴ ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ^{۲+}	Ca ^{۲+}	Ba ^{۲+}	Al ^{۳+}	Fe ^{۳+}	Cu ^{۲+}	Ag ⁺	Zn ^{۲+}	Pb ^{۲+}
F ⁻	م	م	م	م	م.ن	م.ن	م.ک	م	م.ک	م	م	م	م.ن
Cl ⁻	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م.ن	م	م
Br ⁻	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م.ن	م	م.ک
I ⁻	م	م	م	م	م	م	م	م			م.ن	م	م.ن
OH ⁻	م	م	م	م	م.ن	م.ک	م	م.ن	م.ن	م.ن		م.ن	م.ن
S ^{۲-}	م	م	م	م					م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن
SO _۴ ^{۲-}	م	م	م	م	م	م.ک	م.ن	م	م	م	م.ک	م	م.ن
CO _۳ ^{۲-}	م	م	م	م	م.ن	م.ن	م.ن				م.ن	م.ن	م.ن
NO _۳ ⁻	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م
PO _۴ ^{۳-}	م	م.ن	م	م	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن
CrO _۴ ^{۲-}	م	م	م	م	م	م	م.ن		م.ن	م.ن	م.ن	م.ن	م.ن
CH _۳ CO _۲ ⁻	م	م	م	م	م	م	م		م	م	م	م	م

* مکان‌های خالی جدول ترکیب‌هایی هستند که در طبیعت وجود ندارند.

نامحلول = ن.م کم محلول = ک.م محلول = م

یون‌های موجود در آب دریا از کجا می‌آیند؟

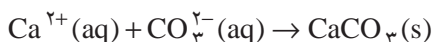
کاتیون‌های موجود در آب دریا همگی یون‌های فلزی هستند که به دلیل تغییر آب و هوا و فرسایش مواد معدنی در پوسته زمین وارد آب دریا می‌شوند. اغلب یون‌ها به جز سیلیکات از مواد ساده منشأ می‌گیرند که از تأثیر هواکره بر آب کره به وجود می‌آیند، مانند گوگرد دی‌اکسید که بر اثر اکسایش و تبدیل شدن به SO_2 و انحلال این ماده در آب یون‌های سولفات و هیدروژن سولفات را تشکیل می‌دهند.



هر ساله حدود $10^{12} \times 2/5$ تن مواد معدنی از طریق رودخانه وارد آب دریاها می‌شود. اما اگر بخواهد غلظت نمک‌ها در آب دریا ثابت بماند باید همین مقدار نمک از آب دریاها خارج شود. راه‌های خروج نمک‌ها از آب دریا شامل تبخیر، رسوب‌گذاری و فرایند زیست‌شیمیایی است.

۱ تبخیر: در روزهای بسیار گرم و خشک در نواحی کم‌عمق دریا و ساحل دریاها با تشکیل صخره‌های نمکی در اثر تبخیر آب (سدیم کلرید) و ژپسی (کلسیم سولفات) از غلظت نمک‌های محلول در دریا کاسته می‌شود.

۲ رسوب‌گذاری: اگر غلظت یون‌های تشکیل‌دهنده آب دریا افزایش یابد، برخی از ترکیبات یونی به صورت رسوب از آب دریا خارج می‌شوند نمونه‌ای از این رسوب‌گذاری مانند تشکیل کلسیم کربنات است.



۳ فرایند زیست‌شیمیایی: آبریان یون‌های موجود در دریا را به منظورهای گوناگون مانند ساخت صدف و لاک خود جذب می‌کنند برای مثال مرجان‌های دریایی از کلسیم کربنات ساخته شده‌اند بنابراین مقدار زیادی از یون دریا توسط این جانداران دریایی حذف و تثبیت می‌شوند. در این میان برخی از جانداران یون ویژه‌ای را از آب دریا حذف می‌کنند. برای مثال کوزه‌داران دریایی (Squirts) یون وانادیم، نیام‌داران مانند لاله دریایی یون نیوبیم، صدف‌ها یون روی، خرچنگ‌های دریایی یون مس و حلزون‌های صدف‌دار یون جیوه را از آب دریا حذف می‌کنند.

در این رابطه فاجعه یاماتای ژاپن فراموش‌نشده‌ای است در این حادثه که در اثر بی‌احتیاطی و بی‌توجهی انسان به وجود آمد. وارد کردن پساب‌های صنعتی که حاوی مقادیر زیادی جیوه بود، باعث شد این جیوه وارد چرخه غذایی جانداران دریا و در نهایت وارد بدن انسان شود و در نهایت باعث فوت انسان‌ها و همچنین نقص عضو بسیاری از نوزادان در هنگام تولد آنها شود.

انسان → ماهی → حلزون → جلبک → جیوه

نقش سدیم کلرید در بدن

سدیم کلرید تنها یک طعم دهنده غذا محسوب نمی‌شود. این ماده نقش حیاتی در بدن موجودات زنده دارد که کمبود یا زیادی آن باعث بروز اختلالاتی در بدن آنها می‌شود.

یون سدیم موجود در نمک در مایعات بیرون سلول به نگهداری و حفظ تعادل طبیعی آب کمک می‌کند که اثر آن همانند اثر پتاسیم در درون سلول‌ها است. این یون نقش اساسی در انتقال پیام‌های عصبی و انقباضات ماهیچه‌ها دارد. حدود ۵۰ درصد کل سدیم بدن در مایعات وجود دارد و حدود ۱۰ درصد درون سلول‌های بدن و ۴۰ درصد باقی‌مانده در استخوان‌های بدن یافت می‌شود. سطح طبیعی سدیم در خون انسان حدود ۱۳۵-۱۴۵ میلی‌مول در لیتر است.

نیاز روزانه بدن انسان به سدیم حدود ۲۰۰ میلی‌گرم برای یک فرد بالغ است و انجمن قلب آمریکا توصیه می‌کند بیش از ۲۳۰۰ میلی‌گرم سدیم کلرید در روز مصرف نشود. این مقدار، معادل یک قاشق چایخوری است. سدیم کلرید از طریق خوردن بسیاری از مواد غذایی و سبزی‌ها و میوه‌ها جذب بدن می‌شود. در این حالت ما بیش از نیاز روزانه از این ماده مصرف می‌کنیم هرچند که مقدار اضافی آن به شیوه‌های گوناگون از بدن دفع می‌شود. اما باید بدانیم مصرف بیش از حد یا عدم مصرف کافی آن موجب اختلال‌هایی در بدن و بروز بیماری‌های جدی می‌شود.

اگر میزان سدیم خون کمتر از نیاز بدن باشد فرد دچار عارضه‌ای به نام هیپوناترمی (Hyponatremia) می‌شود. این عارضه هنگامی رخ می‌دهد که فرد در اثر اسهال و استفراغ و شدت تعریق در هوای گرم یا نارسایی غده فوق کلیه مقدار زیادی سدیم از بدن دفع می‌کند. در صورت بروز این عارضه فرد دچار تغییرات ذهنی (عدم تمرکز)، سر درد، تهوع، استفراغ، خستگی، اسپاسم عضلانی و تشنج می‌شود. در صورت عدم کنترل آن باعث می‌شود بیمار به اغما رفته و در نهایت منجر به مرگ وی می‌شود.

در مقابل افزایش بیش از ۱۴۵ میلی‌مول در لیتر از سدیم، باعث بروز عارضه هیپرناترمی (Hypernatremia) می‌شود. با افزایش سطح سدیم سرم طبیعی خون علائمی چون احساس تشنگی شدید، ضعف، تهوع، از دست دادن اشتها، کشش عضلات، خونریزی داخل یا اطراف مغز بروز می‌کند. و افزایش این یون در بدن در مدت طولانی باعث افزایش فشار خون می‌شود.

جامدهای یونی

بسیاری از مواد معدنی و برخی از مواد آلی، ضمن سرد شدن در حالت مذاب یا بر اثر تبلور در محلول‌های سیر شده، به صورت جامدهای یونی متبلور می‌شوند. یعنی ذره‌های تشکیل دهنده بلور آنها از نوع یون‌های ناهمنام می‌باشد.

عامل‌هایی که موجب انسجام و پایداری ذره‌ها در یک آرایش سه‌بعدی در این جامدها می‌شوند عبارت‌اند از :

■ انرژی جاذبه الکتریکی یون‌های ناهمنام

■ انرژی وان‌دروالسی مربوط به هسته هر یون بر الکترون‌های ظرفیت یون‌های مجاور

این دو عامل پایدارکننده سامانه با چهار عامل زیر تضعیف یا تعدیل می‌شوند

■ انرژی دافعه الکتریکی بین یون‌های همنام در شبکه بلور

۲ انرژی دافعه بین الکترون‌های لایه ظرفیت یون‌های مجاور

۳ انرژی دافعه بین هسته‌های یون‌های مجاور

۴ انرژی نوسانی یون‌ها در بلور

مجموع این انرژی‌ها که علامت منفی دارند به نام انرژی شبکه بلور، انسجام ذره‌ها و پایداری بلور یونی را تأمین می‌کند.

عواملی که ساختار بلور یونی را تعیین می‌کند.

۱ بلور از نظر بار الکتریکی باید خنثی باشد.

۲ آنیون‌ها و کاتیون‌ها تا حد امکان باید در بلور به یکدیگر نزدیک باشند تا نیروهای جاذبه و پایداری

شبکه بلور به بالاترین مقدار ممکن خود برسد.

۳ هر یون تا حد امکان باید با بیشترین تعداد ممکن از یون‌های غیرهمنام احاطه شود تا نیروی جاذبه

الکتریکی سامانه به بالاترین مقدار خود برسد.

۴ یون‌های همنام باید به‌طور نسبی دور از یکدیگر قرار گیرند.

بررسی خواص ویژه جامدهای یونی

■ در شرایط معمولی همگی جامدند.

■ در حالت جامد رسانای جریان برق نیستند ولی در حالت مذاب یا به‌صورت محلول، رسانایی

الکتریکی دارند. در محلول هرچه یون‌ها کوچک‌تر و بار آنها بیشتر باشد، به علت شدت اثر حلال‌پوشی (آب‌پوشی) قابلیت تحرک و رسانایی آنها به‌صورت محلول کاهش می‌یابد.

■ دارای نقطه ذوب و جوش نسبتاً بالایی‌اند، زیرا نیروی جاذبه الکتریکی بسیار قوی بین ذره‌های

تشکیل‌دهنده بلور آنها وجود دارد. همچنین در شبکه بلور هر یون به‌وسیله چندین یون ناهمنام از نزدیک و تعداد بیشتری از یون‌های ناهمنام در فاصله نسبتاً دورتر احاطه می‌شوند نیروی جاذبه الکتریکی بین یون‌های ناهمنام در تمام جهت‌ها اعمال و از این‌رو جاذبه بین یون‌ها قوی است. برای مقایسه نقطه ذوب و جوش جامدهای یونی باید نوع شبکه بلور آنها مشابه باشد.

■ جامدهای یونی جزو مواد بسیار سخت‌اند.

این سختی را می‌توان به قدرت پیوند یونی (جاذبه الکتریکی بین یون‌ها) و انرژی شبکه بلور آنها نسبت داد.

با توجه به اینکه نیروی جاذبه الکتریکی بین یون‌های ناهمنام مجاور، در راستای معینی اعمال می‌شود،

هر نوع فشار و نیروی خارجی که موقعیت

یون‌ها را در شبکه بلور دستخوش تغییر

کند، باعث کاهش یا از بین رفتن نیروهای

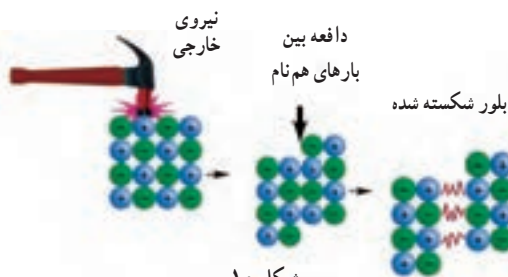
جاذبه در شبکه بلور می‌شود. از این‌رو،

جامدهای یونی با وجود سختی قابل توجه،

برخلاف جامدهای فلزی و کووالانسی ترد

و شکننده‌اند و بر اثر فشار یا ضربه یون‌ها

در بلور جابه‌جا می‌شوند. (شکل ۱۰)



شکل ۱۰

(۴) ثابت دی‌الکتریک یا گذردهی در

خلأ یک خاصیت فیزیکی است که

مقدار توانایی یک ماده برای ذخیره

انرژی الکتریکی در میدان الکتریکی

است؛ هرچقدر ثابت دی‌الکتریکی

ماده‌ای بزرگ‌تر باشد، جاذبه یون‌های

مثبت و منفی تشکیل‌دهنده ترکیب یونی

در آن ماده کمتر است. بنابراین آب با

داشتن ثابت دی‌الکتریک $80/1$ در

دمای 25°C در مقایسه با هگزان با ثابت

دی‌الکتریک $1/9$ حلال مناسب‌تری

برای حل کردن ترکیب‌های یونی است.

یک حلال هرچقدر ممان دوقطبی

بیشتری داشته باشد ثابت دی‌الکتریک

بزرگ‌تری نیز دارد.

جدول ۳

ترکیب	ثابت دی‌الکتریک	ممان دو قطبی (D)
آب	$80/1$	$1/85$
متانول	$33/0$	$1/70$
اتانول	$24/3$	$1/69$
استون	$20/7$	$2/88$
آمونیاک	~ 25	$1/4$
دی‌اتیل اتر	$4/34$	$1/15$
هگزان	$2/02$	—

■ جامدهای یونی، در حلال‌های قطبی (به‌ویژه آب) بهتر حل می‌شوند تا در حلال‌های ناقطبی، برای تأثیر ماهیت حلال در انحلال جامدهای یونی، دو عامل زیر نقش اساسی دارد.

۱ ثابت دی‌الکتریک حلال (ϵ) که بر طبق رابطه $E = \frac{qq'}{\epsilon r}$ در ضعیف کردن نیروی جاذبه بین یون‌ها (E) در شبکه بلور جامدهای یونی اثر می‌گذارد.

در این رابطه r فاصله بین هسته دو یون ناهمنام مجاور q' و q بار الکتریکی یون‌ها هستند. بر اساس این رابطه هرچه ثابت دی‌الکتریک حلال بیشتر باشد، جامدهای یونی را بهتر در خود حل می‌کند برای مثال جامدهای یونی در آب ($\epsilon=82$) بهتر حل می‌شوند تا در آمونیاک مایع با ($\epsilon=25$).

۲ تأثیر متقابل یون - دوقطبی که بر طبق رابطه $E = \frac{q\mu}{r^2}$ در برقراری پیوند (جاذبه) بین حلال و یون‌ها و جدا کردن آنها از شبکه بلور مؤثر است.

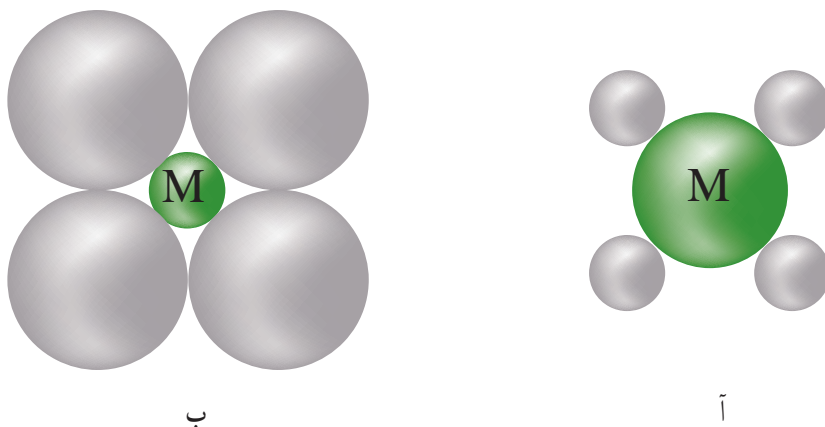
در این رابطه q قدر مطلق بار یون، μ ممان دوقطبی الکتریکی حلال و r فاصله بین مراکز یون و مولکول دوقطبی حلال و E انرژی جاذبه بین یون و مولکول دوقطبی است.

از این رو، هرچه قطبیت حلال بیشتر باشد، جامد یونی بهتر در آن حل می‌شود. بر همین اساس آب با $\mu=1/85D$ بهتر از آمونیاک مایع $\mu=1/47D$ جامد یونی را در خود حل می‌کند.

اندازه یون‌های در شبکه و توضیح برخی خواص مشاهده از ترکیب‌های یونی

اگر در یک شبکه یونی نسبت شعاع کاتیون به شعاع آنیون از حد معینی ($0/225$) کوچک‌تر باشد، ترکیب یونی حاصل ناپایدار خواهد بود. زیرا در این حالت تماس یون‌های ناهمنام با یکدیگر در شبکه بلور و تماس یون‌های همنام موجب افزایش نیروهای دافعه و ناپایدار شدن ترکیب یونی می‌شود.

ترکیب‌های ناپایدار کاتیون‌های کوچک مانند Li^+ ، Mg^{2+} ، Al^{3+} با آنیون‌های حجیم مانند Br^- ، I^- ، NO_3^- ، CO_3^{2-} ، ClO_4^- نمونه‌ای از نمک‌های ناپایدارند (شکل ۱۱).



وضعیت نسبی یون‌ها در ارتباط با نسبت شعاع یون‌ها
(آ) مناسب‌ترین وضعیت (ب) نامناسب‌ترین وضعیت

برخی شواهد تجربی برای ترکیب‌های یونی پایدار و ناپایدار

۱ تمایل تشکیل بلورهای آب‌دار (پایداری نمک‌های هیدراته)

بلور $Mg(ClO_4)_4$ برخلاف $Ca(ClO_4)_4$ تمایل به جذب زیاد آب دارد و نمک $LiClO_4$ بدون آب ناپایدار است، درحالی‌که $KClO_4$ بدون آب پایدار است. لیتیم پرکلرات آب پوشیده $LiClO_4 \cdot 3H_2O$ به‌علت آبیوشی و تشکیل کاتیون هیدراته حجم کاتیون افزایش یافته و نسبت یون‌های مثبت و منفی در شبکه بلور مناسب و پایدار می‌شود.

۲ حلالیت نمک در آب

حلالیت لیتیم پرکلرات حدود 10° برابر حلالیت سدیم پرکلرات است و این نمک 10^2 برابر حلالیت بیشتری از پتاسیم پرکلرات دارد.

جذب آب و انحلال لیتیم پرکلرات و تشکیل کاتیون هیدراته باعث می‌شود پایداری افزایش یابد یا بهتر است گفته شود افزایش حلالیت لیتیم پرکلرات به علت پایداری محلول آن نسبت به نمک جامد است. یکی از عوامل مؤثر بر حلالیت یک نمک، قطبش‌پذیری یا خصلت کووالانسی پیوند یونی است. به‌طور کلی، هرچه کاتیون کوچک‌تر و بار آن بیشتر باشد یا به عبارتی پتانسیل یونی آن یعنی نسبت بار به شعاع بیشتر باشد، ابر الکترونی آنیون بهتر به سمت کاتیون کشیده می‌شود و آنیون و کاتیون شکل کروی و وضعیت مماس بودن را از دست می‌دهند، به‌ویژه آنیون کم یا بیش تغییر شکل پیدا می‌کند و مقداری از ابر الکترونی آن بین دو هسته قرار می‌گیرد، در نتیجه افزون بر نیروی جاذبه الکتریکی بین یون‌های مخالف، پیوند یونی بین آنیون و کاتیون در شبکه بلور تا حدودی خصلت کووالانسی پیدا می‌کند. در مورد میزان این تأثیر، فاجانس (Fajans) قواعدی را شرح می‌دهد.

قاعده ۱— هرچه پتانسیل یونی کاتیون بزرگ‌تر باشد (نسبت بار یون به شعاع آن) قدرت قطبی‌کنندگی آن بیشتر خواهد بود بنابراین به خوبی می‌توان دریافت که خصلت یونی ترکیب‌های پتاسیم از ترکیب‌های لیتیم بیشتر است یا چرا ترکیب‌های دوتایی یونی از بور شناخته نشده است و یا ترکیب‌ها دوتایی آلومینیم به‌جز آلومینیم فلورید و اکسید عمدتاً خصلت کووالانسی دارند.

به این نکته باید توجه شود هرچند که قطبش‌پذیری آنیون‌ها توسط کاتیون‌هایی با پتانسیل بالا انجام می‌شود ولی می‌توان قطبش‌پذیری کاتیون بزرگ به‌وسیله برخی آنیون‌های کوچک را در نظر گرفت (شکل ۱۲).



نمایش وضعیت نسبی یون‌ها در یک پیوند یونی خالص (آ) قطبش آنیون به وسیله کاتیون (ب) و قطبش دوتایی آنیون — کاتیون (پ)

قاعده دوم — هرچه نرمی آنیون بیشتر باشد (یعنی بار آن بیشتر و شعاع آن بزرگ تر باشد) قطبش پذیری آن بیشتر خواهد بود (شکل ۱۲).

برای مثال قطبش پذیری S^{2-} از O^{2-} یا O^{2-} از F^{-} بیشتر است.

بر همین اساس سدیم سولفید نسبت به سدیم اکسید خصلت کووالانسی بیشتری دارد. یا آلومینیم فلوئورید تقریباً یون خالص است در حالی که آلومینیم کلرید یا برمید عمدتاً خصلت کووالانسی دارند. به طوری که آلومینیم کلرید در حالت مذاب خصلت کووالانسی خود را حفظ کرده و رسانایی جریان الکتریکی ندارد.

قاعده سوم — نقش آرایش الکترونی در قطبش پذیری.

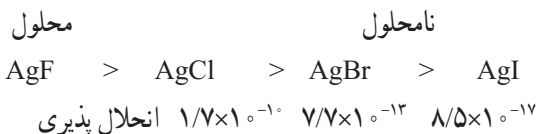
هرچه بار مؤثر هسته کاتیون بیشتر باشد اثر قطبی کنندگی آن بیشتر خواهد بود زیرا جاذبه هسته بر لایه ظرفیت کاتیون و در نتیجه بر الکترون های لایه بیرونی آنیون های مجاور افزایش می یابد.

بر همین اساس کاتیون فلزهای اصلی نسبت به کاتیون های فلزهای واسطه ای که پتانسیل یونی برابر یا نزدیک به هم دارند، قدرت قطبی کنندگی بیشتری از خود نشان می دهند. و این به علت اثر پوشاندگی کم لایه ها در فلزهای واسطه است که باعث می شود بار مؤثر هسته آنها افزایش یابد.

بنابراین نمک های کلسیم نسبت به جیوه (II) خصلت کووالانسی بیشتری دارد.

با توجه به تأثیر قطبش پذیری آنیون می توان کاهش میزان حلالیت ترکیب های یونی در حلال های قطبی را شرح داد.

بر اساس قاعده دوم فاجانس به روشنی آشکار می شود که چرا انحلال پذیری نمک های نقره هالید با افزایش شعاع آنیون کاهش می یابد زیرا خصلت کووالانسی پیوند بین یون ها در شبکه بلور



افزایش می یابد و میزان حلالیت ترکیب یونی در حلال های قطبی نظیر آب کم تر می شود. همچنین به این نکته باید توجه کرد که یکی از عوامل اصلی مؤثر در حلالیت ترکیب های یونی در آب ΔG_{hyd}^0 (انرژی آزاد گیبس هیدراته شدن استاندارد) کاتیون است که بر اساس پژوهش های لاتیمر (Latimer) و همکارانش

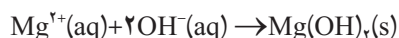
بر طبق رابطه $\Delta G_{hyd}^0 = -166 \frac{Z^2 e}{r_{مؤثر}}$ انرژی آزاد هیدراته شدن وابسته به بار کاتیون (Z_c) و شعاع مؤثر r کاتیون بر حسب Å است.

آب دریا منبع غنی از عناصر

همان طور که می دانید دریا منبع سرشار از مواد شیمیایی است. یکی از موادی که از آب دریا استخراج می شود منیزیم است. این عنصر در صنایع گوناگون چون داروسازی، ساختمانی (برای تهیه سیمان سبک)، کشاورزی (تهیه کود شیمیایی)، صنایع غذایی (روغن و قند) و صنعت معدن به عنوان ماده چسبنده به گرد و غبار در معدن و راه سازی کاربرد وسیعی دارد. همچنین این عنصر یکی از مواد معدنی مورد نیاز بدن انسان است. برای استخراج منیزیم از آب دریا ابتدا منیزیم را به صورت منیزیم هیدروکسید رسوب می دهند، این

۱— شعاع مؤثر: شانون (Shanno) و پریویت (Previt)، فاصله بین یونی را در تعداد زیادی از اکسیدها، فلوئوریدهای فلزی اندازه گرفته و آنها را مبنای تجربی اندازه گیری شعاع یونی قرار دادند. آنها با فرض اینکه شعاع یون F^{-} 133 Å و شعاع یون O^{2-} برابر 140 Å است و با در نظر گرفتن عواملی چون حالت های کم اسپین و پراسپین کاتیون و تغییرات اعداد کوئوردیناسیون کاتیون و آنیون، شعاع تعداد زیادی از یون ها را با دقت زیادی به دست آوردند که به شعاع یونی مؤثر موسوم شده است. هرچه عدد کوئوردیناسیون کاتیون افزایش یابد طول شعاع مؤثر آن نیز افزایش یابد.

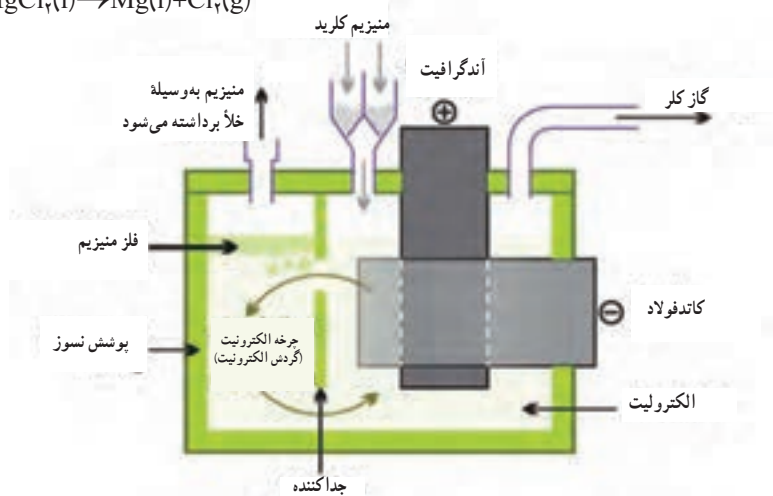
کار با افزودن کلسیم اکسید (آهک) انجام می‌شود.



پس از آن رسوب را صاف کرده و با شست‌وشو مقدار یون کلرید را از رسوب جدا می‌کنند. سپس ماده جامد را در یک کوره با حرارت بالا گرما می‌دهند تا موادی که پایداری گرمایی ندارند حذف شوند این عمل را تکلیس (کلسینه کردن) می‌نامند که روش متداول برای حذف مواد جامد ناپایدار از ترکیب‌های معدنی است.

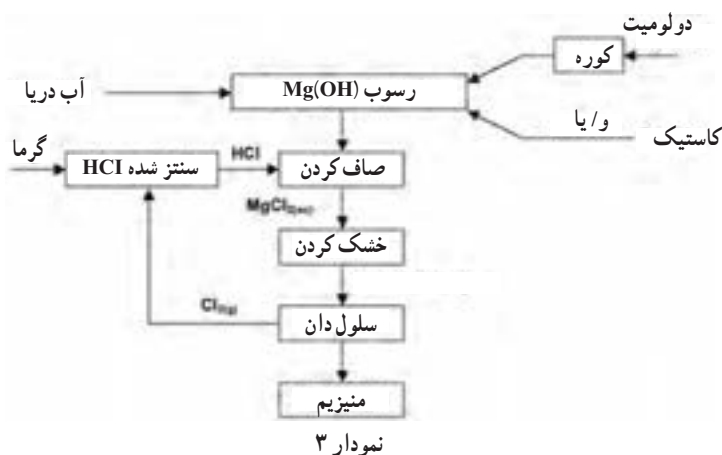
براساس فرآورده‌های مورد نیاز از منیزیم، منیزیم هیدروکسید را با مواد دیگری چون سولفوریک اسید واکنش می‌دهند.

همچنین منیزیم هیدروکسید را پس از گرما دادن و مخلوط کردن با گاز کلر به منیزیم کلرید مذاب تبدیل می‌کنند و پس از برق کافت در سلول «دان» این ماده، منیزیم خالص بر سطح مواد برق کافت شناور می‌شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳

نمودار ۳ مراحل استخراج منیزیم از آب دریا را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

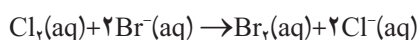


استخراج برم

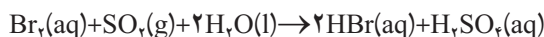
یکی از موادی که از آب دریا استخراج می‌شود، برم است برای این منظور ابتدا برمید را به برم، اکسید می‌کنند این عمل با وارد کردن گاز کلر به محلول آب دریا انجام می‌شود. البته برای آنکه گاز کلر و برم با آب وارد واکنش نشوند pH آب دریا را در محدوده (۳/۵ – ۸) تنظیم می‌کنند، برای آنکه آب دریا در محیط اسیدی بماند از محلول سولفوریک اسید استفاده می‌شود. در pH بالاتر ۸ کلر و برم مطابق واکنش زیر با آب واکنش می‌دهد.



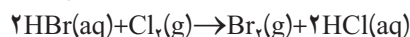
سپس با وارد کردن مقداری گاز کلر، برمید را به برم اکسید می‌کنند.



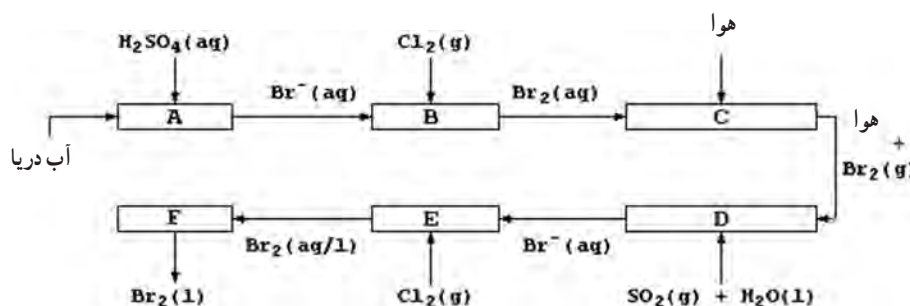
سپس آب حاوی برم محلول به درون برجی دمیده می‌شود و با دمیدن هوا به درون برج، برم فرار تبخیر می‌شود. در این حالت غلظت برم بسیار کم است و نمی‌توان آن را به برم مایع تبدیل کرد. در مرحله بعدی برم را با افزودن گاز SO_2 به هیدروبرمیک اسید تبدیل می‌کنند.



با این عمل درصد برم در مخلوط افزایش می‌یابد و جرم آن به حدود ۱۳ درصد می‌رسد. بار دیگر برمید را به برم، اکسید می‌کنند این عمل با افزودن گاز کلر به محلول هیدروبرمیک اسید انجام می‌شود.

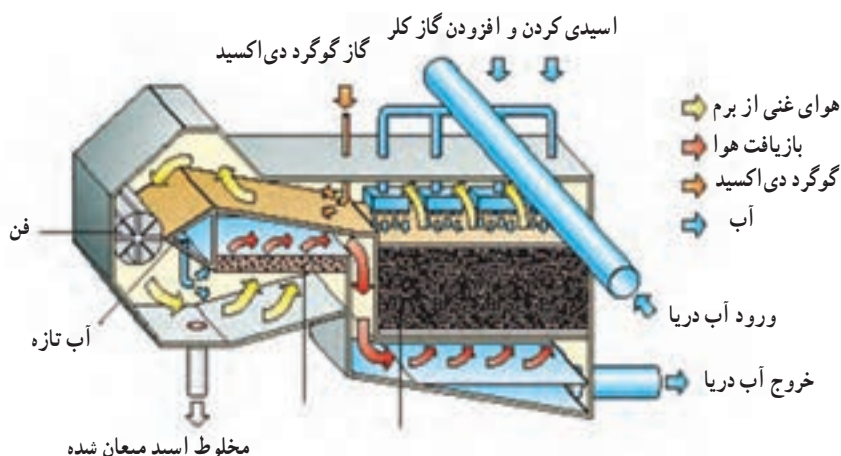


گاز برم داغ که در این واکنش تشکیل می‌شود با سرد کردن به برم مایع تبدیل می‌شود.



شکل ۱۴- چگونگی تبدیل برمید به برم را نشان می‌دهد.

برم به عنوان یک عنصر نافلز به عنوان یک ماده گندزدا مانع از رشد جلبک برای آب آشامیدنی و آب استخرها به کار می‌رود. همچنین از ترکیب‌های این ماده در تهیه مواد آلی سنگ‌بری، به عنوان حلال در مایع آتش خاموش‌کن، کندکننده آتش در ساخت پلاستیک‌ها، رنگ‌ها، مواد دارویی و صنایع فیلم و عکاسی استفاده می‌شود.



شکل ۱۵- مراحل تبدیل برمید موجود در آب دریا به برم مایع را نشان می‌دهد.

انحلال پذیری (Solubility)

انحلال پذیری مواد (حل شونده Solute) در آب یا هر حلال به نوع ماده حل شونده، ساختار آن، برهم کنش بین حلال و حل شونده و دما وابسته است. البته اگر ماده حل شونده گاز باشد افزون بر ساختار ماده، فشار گاز نیز در انحلال پذیری آن مؤثر خواهد بود. جدول ۴ انحلال پذیری برخی از مواد را نشان می‌دهد.

جدول ۴- انحلال پذیری برخی موارد در دمای 25°C و فشار ۱atm

نام و فرمول شیمیایی ماده	مقدار حل شونده (g) در 100 g آب
ساکاروز ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)	۱۷۹/۲
آمونیم نترات (NH_4NO_3)	۱۱۸/۳
سدیم یدید (NaI)	۱۱۴/۶
پتاسیم کربنات (K_2CO_3)	۱۰۱
آمونیم سولفات ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	۷۰/۶
کلسیم کلرید (CaCl_2)	۵۳/۳
سدیم کلرید (NaCl)	۳۵/۷
ویتامین ث ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}_5$)	۳۳
جوش شیرین (NaHCO_3)	۶/۹
گاز اکسیژن (O_2)	۰/۰۰۶۹
گاز نیتروژن (N_2)	۰/۰۰۲۹
کلسیم کربنات (CaCO_3)	۰/۰۰۱۲

آنچه که ما در انحلال پذیری مواد در تجربه مشاهده می کنیم مربوط به ساختار آنها است و البته این ساختار باعث بروز رفتار انحلال پذیری یا انحلال ناپذیر بودن یک ماده در یک حلال چون آب می شود. مطابق جدول ۴ مشاهده می شود برخی مواد مانند گازهای نافقطبی اکسیژن و نیتروژن و برخی نمک ها مانند کلسیم کربنات در آب به مقدار ناچیزی حل می شوند اما برخی مواد دیگر مانند شکر به مقدار زیاد در آب حل می شود. برخی دیگر چون اتانول و متانول به هر نسبت در آب حل می شوند. در حقیقت مایع های امتزاج پذیرند (Miscible) بنابراین شیمی دان ها براساس یک قاعده کلی و معین مواد را براساس انحلال پذیری در آب (در دمای فشار اتاق) به سه دسته نامحلول (Insoluble)، کم محلول (Slightly Soluble) و محلول (Soluble) دسته بندی می کنند.

عبارت های امتزاج پذیر (Miscible) و امتزاج ناپذیر (Immiscible) به طور سنتی برای مخلوط دو یا چند مایع تعریف می شود. مطابق این تعریف اگر دو یا چند مایع به هر نسبتی در یکدیگر حل شوند، می گویند امتزاج پذیرند شکل ۱۶ آ و ۱۶ ب برای نمونه، آب و اتانول امتزاج پذیرند و آب و روغن امتزاج ناپذیرند.

محلول سیر شده و فراسیر شده

در شاخه ای از علم شیمی که آن را شیمی فیزیک می نامند، محلول سیر شده، محلولی است که نمی تواند مقدار بیشتری از یک حل شونده را در دما و فشار ثابت در خود حل کند و مقدار اضافی آن را به صورت یک فاز جدا (مانند رسوب، هنگامی که ماده حل شونده جامد باشد) یا به صورت گاز (هنگامی که ماده حل شونده گاز باشد) رها می کند. ویژگی محلول سیر شده یک حل شونده، بستگی به دما، فشار، ماهیت ماده حل شونده و حلال دارد. یکی از کاربردهای محلول سیر شده، خالص سازی یک ماده با استفاده از روش تبلور دوباره حل شونده است. در این روش ابتدا در دمای بالاتر، یک محلول سیر شده تهیه می شود؛ سپس با کاهش تدریجی و آهسته دمای سامانه، محلول را به صورت فراسیر شده در می آورند. در این حالت با یک محلول ناپایدار روبه رو خواهیم بود که با تغییر عاملی مانند دما، فشار، افزودن یک بلور کوچک از حل شونده (اگر ماده حل شونده جامد باشد) و ایجاد یک صوت با فرکانس بالا در محلول، ناپایداری این محلول افزایش می یابد و سبب رسوب دادن ماده اضافی از حل شونده در محلول می شود (شکل ۱۷). بنابراین ناخالصی ها در محلول باقی خواهد ماند؛ زیرا محلول نسبت به آنها فراسیر شده نیست.



۱۶- آ



۱۶- ب

شکل ۱۶



(پ) (ب) (آ)

شکل ۱۷- تبلور دوباره در یک محلول فراسیر شده از سدیم استات

تصویر (آ) شروع تبلور دوباره با افزودن یک بلور ریز از سدیم استات را نشان می دهد.

(ب) و (پ) لحظه های پس از شروع تبلور دوباره را نشان می دهند که بلور در حال رشد در سرتاسر محلول است.

انحلال پذیری و پدیده‌های اطراف ما

بیشتر اوقات مشاهده کردیم وقتی شرایط آب و هوایی در یک منطقه تغییر می‌کند، احتمال رسوب گذاری و تغییر انحلال پذیری مواد در نمونه‌های آب نیز تغییر می‌کند یکی از نمونه‌های بارز آن دریاچه ارومیه است که به علت تغییر شرایط آب و هوایی باعث شده غلظت نمک در دریاچه افزایش یابد و همچنین افزایش رسوبات در اطراف این دریاچه مشاهده می‌شود. افزایش میزان برخی نمک‌ها در بدن انسان نیز باعث بیماری‌هایی چون سنگ کلیه و نقرس می‌شود که در ادامه به طور خلاصه به چگونگی تشکیل سنگ کلیه پرداخته می‌شود. همچنین خواهید دید که شرایط انحلال پذیری اوریک اسید و نمک آن موجب بیماری نقرس در بدن انسان می‌شود.

سنگ کلیه

سنگ کلیه زمانی تشکیل می‌شود که اجزای ادرار (مایع ادراری، نمک‌ها و اسیدهای گوناگون) از حالت تعادل خارج شده باشند در این حالت غلظت نمک‌ها از حالت سیر شده بیشتر شده و بلورهای این نمک‌ها تشکیل شده و از تجمع آنها سنگ‌های کلیه تشکیل می‌شوند. سنگ‌های کلیه شامل:

۱ سنگ‌های کلسیم اگزالات و کلسیم منویدرات: $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ و $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_2$. حدود ۸۰٪ سنگ‌های کلیه از جنس کلسیم اگزالات هستند.

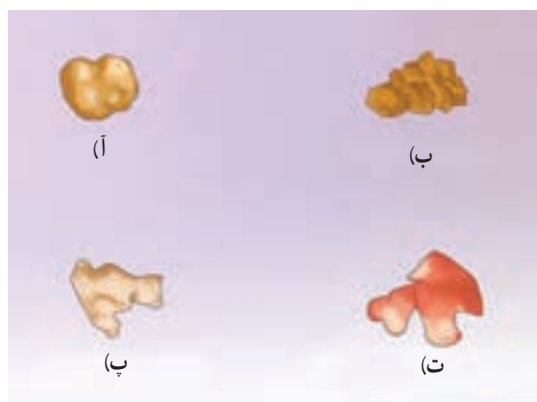
۲ سنگ‌های عفونی (Struvite): این سنگ‌ها حاوی آمونیوم، فسفات و منیزیم است. آنها حدود ۵-۱۵٪ مواد سنگ کلیه را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها با عفونت سیستم ادراری ارتباط دارند از این جهت به آنها سنگ‌های عفونی می‌گویند. عامل بیماری‌زایی که عفونت را ایجاد می‌کند Proteus mirabilis است، این باکتری حاوی آنزیم اوره‌آز است که اوره را به آمونیاک تبدیل می‌کند و pH ادرار را بازی می‌کند. در این محیط بازی Struviet رسوب می‌کند.

۳ سنگ‌های اوره‌ای: این سنگ‌ها حدود ۴٪ سنگ کلیه را تشکیل می‌دهند، افزایش دفع اوریک اسید در اثر اختلال در سوخت و ساز واسطه‌ای پورین‌ها رخ می‌دهد.

۴ سنگ‌های سیستئینی: این سنگ‌ها حدود ۱٪ موارد سنگ کلیه را تشکیل می‌دهند. این بیماری ژنتیکی نسبتاً نادر است و در اثر اختلال ژنتیکی در باز جذب کلیوی آمینو اسید سیستئین رخ می‌دهد که در اثر تجمع آن در ادرار این سنگ تشکیل می‌شود.

مراحل تشکیل سنگ کلیه به صورت زیر است:





شکل ۱۹- (آ) سنگ کلسیمی، (ب) سنگ اوره‌ای، (پ) سنگ عفونی، (ت) سنگ سیستینی

بیماری نقرس

نقرس، اختلالی از سوخت و ساز باز پورین است و علائم این بیماری زمانی بروز می‌کند که ماده حاصل از سوخت و سازهای باز پورین یعنی اوریک اسید در قالب نمک منوسدیم اورات به شکل کریستال‌های سوزنی در مفاصل، تاندون‌ها و بافت‌های اطراف آن رسوب می‌کند، این کریستال‌های سوزنی باعث تحریک سیستم ایمنی بدن و واکنش‌های التهابی در نواحی خاص می‌شود که عمده آن در نواحی انتهایی بدن مثل انگشتان پا یا دست، لایه گوش و ... می‌باشد (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- زخم ایجاد شده در اثر بیماری نقرس

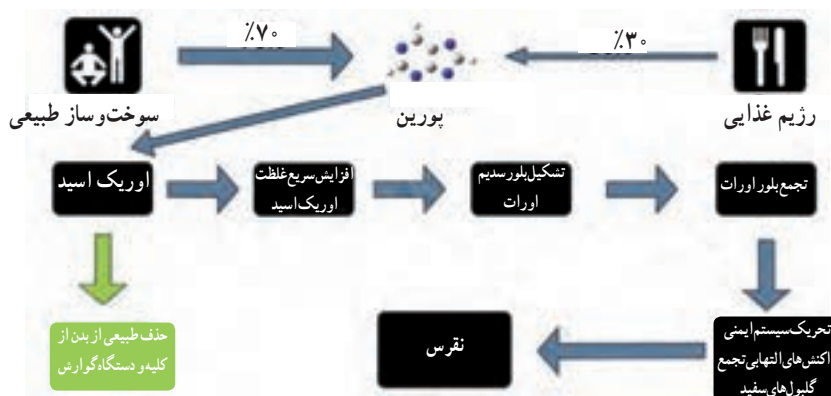
حداکثر مقدار مجاز اوریک اسید در مردان بالغ 7mg/dL و برای زنان 6mg/dL است و جالب است بدانید که انحلال‌پذیری این ماده در دمای 20°C برابر با 6mg/dL است.

هرگاه غلظت این ماده به علل گوناگون مانند عوامل ژنتیکی، تغییرات هورمونی، نارسایی عملکرد کلیه، چاقی در پلاسمای خون افزایش یابد پدیده هایپراوریسمی (Hyperaricemia) رخ می‌دهد و چون نقاط انتهایی بدن دمای پایین‌تری دارند این ماده و نمک آن در بافت به صورت نامحلول درآمده و رسوب می‌کند.

باز پورین به طور طبیعی ۷۰٪ از عمل سوخت و ساز بدن انسان و حدود ۳۰٪ از رژیم غذایی (غذاهایی مانند جگر، گوشت قرمز و...) تشکیل می‌شود. باز پورین پس از شکسته شدن به اوریک اسید تبدیل می‌شود که این ماده سمی از کلیه و همچنین توسط باکتری‌های معده از بدن دفع می‌شود. شکل ۲۱ طرح ساده‌ای است که نشان می‌دهد در صورت پدیده هایپراوریسمی (افزایش غلظت اوریک اسید در خون) چگونه فرد مبتلا به نقرس می‌شود.



شکل ۲۱- رسوب نمک‌های اوریک اسید در بخش‌های انتهایی بدن که دما کمتر است تشکیل می‌شود.



شکل ۲۲

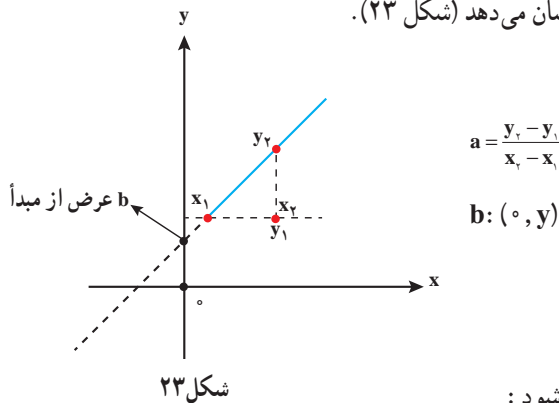
پیوند با ریاضی

هدف از پیوند با ریاضی به دست آوردن یک معادله برای انحلال پذیری نمک‌ها است که توانایی پیش‌بینی انحلال پذیری نمک را در دماهای گوناگون داشته باشد. برای راهنمایی دانش‌آموزان پیشنهاد می‌شود که ابتدا به دست آوردن معادله خط در ریاضی را به دانش‌آموزان خود آموزش دهید.

برای آنکه معادله خط را به دست آوریم به مختصات یک نقطه و شیب خط نیازمندیم. منظور از مختصات، زوج مرتب است که بیان‌کننده متغیر مستقل (x) و متغیر وابسته (y) می‌باشد. بنابراین در هر زوج، مختصات عدد نخست بیان‌کننده نقطه در خط افقی محور مختصات یا همان متغیر مستقل است و عدد بعدی بیان‌کننده نقطه در خط عمودی محور مختصات یا همان متغیر وابسته است. شیب خط توصیف تغییر متغیر وابسته به تغییر متغیر مستقل است یا توصیف یک نقطه روی خط است که تا چه مقدار بالا یا پایین، چپ یا راست نسبت به مرکز محور مختصات جابه‌جا می‌شود. برای محاسبه شیب یک خط کافی است مختصات دو نقطه را داشته باشیم. (x_1, y_1) و (x_2, y_2) بنابراین شیب خط به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{شیب خط}$$

مفهوم دیگری که دانش‌آموزان باید بدانند عرض از مبدأ بوده و آن نقطه‌ای روی محور y مختصات است که فاصله آن نقطه از مبدأ مختصات را نشان می‌دهد (شکل ۲۳).



بنابراین معادله خط به صورت زیر نوشته می‌شود:

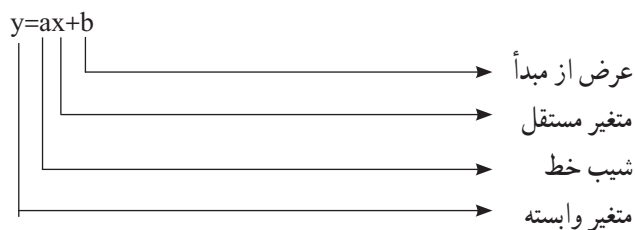
$$y = ax + b$$

در معادله انحلال پذیری دما (θ) متغیر مستقل یا (x) است و انحلال پذیری (S) متغیر وابسته y است.

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{18^\circ - 72}{10 - 0} = \frac{18}{10} = 1.8 \\ b &= 72 \end{aligned} \right\} y = 1.8\theta + 72$$

شیب خط تمرین به صورت زیر محاسبه می‌شود.

در روش دیگر برای تدریس این مبحث کافی است معادله خط را معرفی کنید.



$$s = a\theta + b$$

ابتدا با قرار دادن دمای صفر در معادله خط عرض از مبدأ را محاسبه کنید.

$$\theta = 0^\circ \text{C} \quad 72 = a \times 0 + b \rightarrow b = 72$$

سپس شیب خط را با قرار دادن θ و S در معادله خط

$$\theta = 1^\circ \text{C} \quad 80 = a \times 1 + 72 \rightarrow a = \frac{8}{1} = 8$$

$$S = 8^\circ$$

و معادله خط نوشته می شود

$$S_{\text{NaNO}_3} = 8\theta + 72$$

برای پاسخ دادن به پرسش ۲ نیز می توان از هر دو روش معادله خط را به دست آورد.

روش نخست با استفاده از مفهوم معادله خط :

$$\begin{aligned} \theta = 0^\circ, S = 27 & \quad b = (\theta = 0^\circ, 27) \\ \theta = 2^\circ, S = 33 & \quad a = \frac{33 - 27}{2 - 0} = 3, \quad b = 27 \end{aligned}$$

$$S_{\text{KCl}} = 3\theta + 27 \quad \text{معادله خط}$$

روش دوم عرض از مبدأ

$$S = a\theta + b$$

$$\theta = 0^\circ, S = 27 \quad 27 = a \times 0 + b \Rightarrow b = 27$$

$$\theta = 2^\circ, S = 33 \quad 33 = a \times 2 + 27 \Rightarrow a = 3 \quad \text{شیب خط}$$

$$S_{\text{KCl}} = 3\theta + 27 \quad \text{معادله خط}$$

پرسش ۳— (آ) تأثیرپذیری انحلال از دما براساس معادله ریاضی وابسته به شیب خط است. هرچقدر شیب خط بزرگ تر باشد دما بر انحلال پذیری تأثیر بیشتری دارد.

(ب) چرا در هر دما انحلال پذیری سدیم نترات بیشتر از پتاسیم کلرید است؟ چون عرض از مبدأ آن بیشتر است یا در حقیقت حداکثر مقدار حل شونده در دمای صفر درجه سلسیوس در سدیم نترات بیشتر از پتاسیم کلرید است.

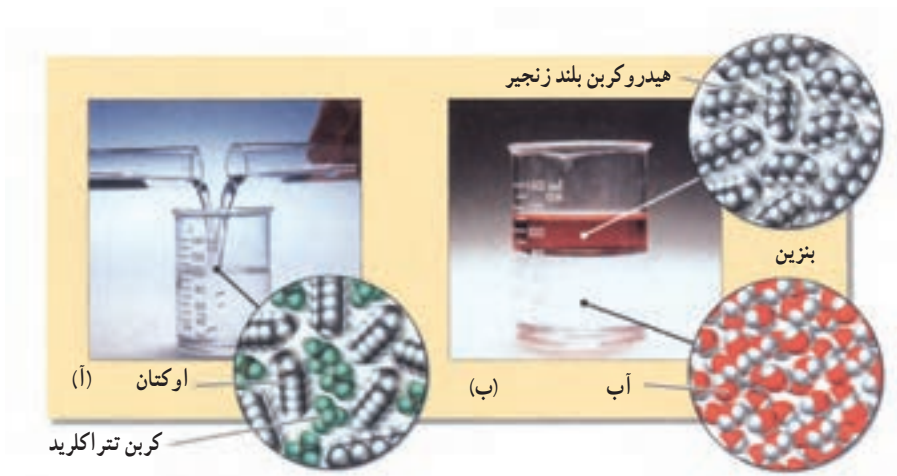
بررسی انحلال از دیدگاه مولکولی

برای بررسی انحلال یک حل‌شونده در یک حلال از دیدگاه مولکولی باید به نیروهای جاذبه بین مولکولی حل‌شونده خالص و حلال خالص توجه کرد. جدول ۵ به این بررسی پرداخته است.

جدول ۵- بررسی انحلال از دیدگاه مولکولی





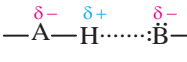




انرژی جاذبه‌های حلال - حلال و حل‌شونده - حل‌شونده $>$ جاذبه‌های حلال با حل‌شونده	انحلال پیش می‌رود و محلول تشکیل می‌شود.
انرژی جاذبه‌های حلال - حلال و حل‌شونده - حل‌شونده $=$ جاذبه‌های حلال با حل‌شونده	بسته به ΔS و دما انحلال ممکن است تا اندازه‌ای پیش برود.
جاذبه‌های حلال - حلال و حل‌شونده - حل‌شونده $<$ جاذبه‌های حلال با حل‌شونده	انحلال رخ نمی‌دهد و محلول تشکیل نمی‌شود.
جاذبه‌های حلال - حلال و حل‌شونده - حل‌شونده $<<$ جاذبه‌های حلال با حل‌شونده	

از این گفته‌ها نتیجه می‌گیریم که اگر نیروی بین مولکولی حل‌شونده و حلال از لحاظ نوع و میزان جاذبه، نزدیک به یکدیگر باشند، انتظار می‌رود که در یکدیگر حل شوند. از این رو می‌توان گفت شبیه، شبیه را در خود حل می‌کند (شکل ۲۴)



شکل ۲۴- (آ) کربن تتراکلرید (با جاذبه‌های بین مولکولی دو قطبی القایی) در اوکتان (با جاذبه‌های بین مولکولی دو قطبی القایی) حل می‌شود. (ب) بنزین (با جاذبه‌های بین مولکولی دو قطبی القایی) در آب (با جاذبه‌های بین مولکولی هیدروژنی) حل نمی‌شوند.

جدول ۶- مقایسه انرژی جاذبه میان ذره‌های سازنده مواد گوناگون با یکدیگر

نمونه	مدل	اساس جاذبه	انرژی (کیلوژول بر مول)	نیرو
NaCl		کاتیون با آنیون	۴۰۰-۴۰۰۰	پیوند یونی
H - H		هسته با الکترون‌های پیوندی	۱۵۰-۱۱۰۰	پیوند کووالانسی
Na ⁺		کاتیون با الکترون‌های آزاد	۷۵-۱۰۰۰	پیوند فلزی
Na ⁺ ...F-H		یون با مولکول قطبی	۴۰-۶۰۰	یون - دو قطبی
H-F...H-F		پیوند کووالانسی قطبی H با F و O ، N	۱۰-۴۰	پیوند هیدروژنی
I-Cl...I-Cl		بارهای دو قطبی	۵-۲۵	دو قطبی - دو قطبی
Na ⁺ ...F-F		یون با ابرهای الکترونیکی قطبش پذیر	۳-۱۵	یون - دو قطبی القایی
H-F...F-F		مولکول با ابرهای الکترونیکی قطبش پذیر	۲-۱۰	دو قطبی - دو قطبی القایی
F-F...F-F		ابرهای الکترونیکی قطبش پذیر	۰/۰۵-۴۰	نشری لوندون

با توجه به داده‌های جدول ۶ می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی :

- هیدروکربن‌ها در حلال‌های ناقطبی (مانند CCl₄ و ...) حل می‌شوند.
- گازهای ناقطبی مانند N₂ ، O₂ ، Cl₂ و ... در هیدروکربن‌ها و حلال‌های ناقطبی حل می‌شوند.
- اغلب نمک‌ها در حلال‌های بسیار قطبی مانند آب حل می‌شوند.
- برخی ترکیب‌های آلی اکسیژن‌دار (الکل‌ها، آلدئیدها، اترها، کتون‌ها، استرها) و ترکیب‌های نیتروژن‌دار (مانند آمین‌ها و آمیدها)، آمینو اسیدها و کربوهیدرات‌های ساده در آب حل می‌شوند.
- جدول ۶، انحلال‌پذیری چند ماده را در حلال‌های آب و هگزان نشان می‌دهد.

جدول ۷- انحلال پذیری چند ماده در آب و هگزان

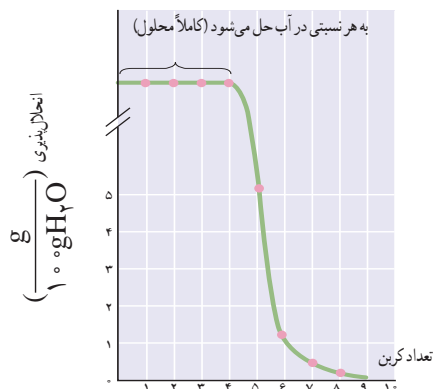
نام و فرمول شیمیایی	محلول در آب	محلول در هگزان
اوره، $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	+	-
دی‌اوکسان، $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	+	+
گلوکز، $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	+	-
نفتالن، C_{10}H_8	-	+
ویتامین ث، $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	+	-
گلیسرین، $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	+	-
جوش شیرین، NaHCO_3	+	-
کربن دی‌سولفید، CS_2	-	+
کامفور، $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	-	+

بررسی انحلال پذیری ترکیب‌های آلی اکسیژن‌دار در آب

هر ترکیب آلی اکسیژن‌دار یا نیتروژن‌دار، دارای یک بخش هیدروکربنی (ناقطبی) و یک بخش اکسیژن‌دار یا نیتروژن‌دار (قطبی) است. از دیدگاه مولکولی، هرگاه جاذبه بین مولکول‌های آب با مولکول‌های ترکیب اکسیژن‌دار از مجموع جاذبه بین مولکول‌های آب خالص و همچنین ترکیب اکسیژن‌دار خالص بیشتر باشد، انحلال بیش می‌رود و محلول تشکیل می‌شود. بنابراین هرچه تعداد اتم‌های اکسیژن در یک ترکیب آلی زیادتر باشد، انحلال پذیری آن در آب بیشتر است و همچنین ترکیب‌های آلی اکسیژن‌داری که تا پنج کربن دارند، به خوبی در آب حل می‌شوند.

جدول ۸- انحلال پذیری چند ترکیب آلی اکسیژن‌دار در آب

نام و فرمول شیمیایی ماده	انحلال پذیری (گرم حل‌شونده در ۱۰۰ g آب)
۲- پروپانول $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	به هر نسبتی حل می‌شود
۱- اوکتانول $(\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH})$	نامحلول
استون $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})$	به هر نسبتی حل می‌شود
۲- پنتانول $(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O})$	۵
۲- هپتانول $(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O})$	۰/۴
اتانال $(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})$	به هر نسبتی حل می‌شود
پنتانال $(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O})$	۴
هپتانال $(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O})$	۰/۱
دی‌اوکسان $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	به هر نسبتی حل می‌شود
دی‌اتیل اتر $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	۶/۹
اتیل استات $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	۸/۳



نمودار ۴- انحلال پذیری کربوکسیلیک اسیدهای راست زنجیر در آب

همان طور که مشاهده می کنید، با افزایش تعداد کربن های ترکیب آلی اکسیژن دار، انحلال پذیری آنها در آب کاهش می یابد. البته توجه کنید تغییر محل گروه هیدروکسیل (عامل الکلی) بر روی زنجیر کربنی نیز سبب تغییر انحلال پذیری می شود.

جدول ۹- انحلال پذیری و مساحت سطح مولکول برخی الکل ها

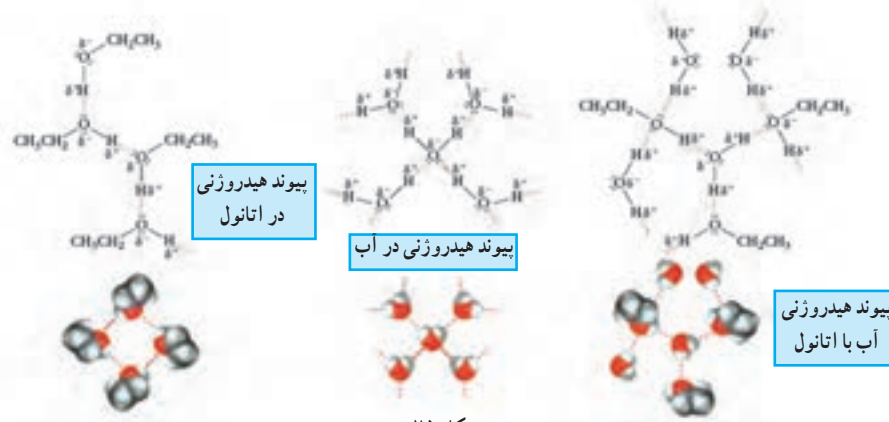
نام و فرمول شیمیایی الکل	انحلال پذیری (g/100g)	مساحت سطح مولکول (Å ²)
۱- بوتانول	۷/۴	۲۷۲/۱
۲- متیل ۱- پروپانول	۷/۶	۲۶۳/۸
۲- بوتانول	۷/۹	۲۶۴/۱
۲- پنتانول	۴/۷	۲۹۵/۹

اترها، ترکیب های آلی اند که در آنها اتم های اکسیژن بین اتم های کربن قرار دارند. هرگاه

در اترها، تعداد اتم های اکسیژن افزایش یابد، انحلال پذیری آنها نیز در آب افزایش می یابد؛ زیرا وقتی با آب مخلوط می شوند، می توانند از سمت اتم های اکسیژن با آب جاذبه های قوی دو قطبی - دو قطبی برقرار کنند. از سوی دیگر به دلیل داشتن تعداد اتم های کربن بیشتر در حلال های آلی مانند دی کلرومتان نیز حل می شوند. توجه کنید که جاذبه بین مولکول های اتر با یکدیگر از نوع جاذبه های دو قطبی - دو قطبی است.

تغییر محل گروه عاملی الکلی (هیدروکسیل) سبب تغییر شکل کلی مولکول می شود. در نتیجه، مساحت سطح مولکول ها تغییر می کند. با تغییر مساحت سطح مولکول ها، جاذبه بین مولکول های آب و الکل نیز تغییر می کند؛ به طوری که هرچه مساحت سطح مولکول بزرگ تر باشد، انحلال پذیری آن کمتر می شود (جدول ۹).

پرسش: انحلال پذیری اتانول در آب را از دیدگاه مولکولی بررسی کنید. جاذبه بین مولکول های آب و اتانول از نوع هیدروژنی است و چون جاذبه هیدروژنی برقرار شده بین مولکول های آب و اتانول قوی تر از جاذبه هیدروژنی بین مولکول های آب با یکدیگر و اتانول با یکدیگر است؛ از این رو انحلال به خوبی پیش می رود (شکل ۲۵).



شکل ۲۵

توجه کنید که گروه اتیل، دهنده الکترون از طریق القا است، در نتیجه بار جزئی منفی (δ^-) ایجاد شده روی اتم اکسیژن در اتانول بزرگ‌تر از بار جزئی منفی موجود روی اتم اکسیژن در آب است؛ بنابراین پیوند هیدروژنی میان اکسیژن از مولکول اتانول با هیدروژن از مولکول آب تشکیل شده و سبب انحلال می‌شود.

گشتاور دوقطبی الکتریکی

در فیزیک گشتاور دوقطبی الکتریکی مقیاسی برای جداسازی بار نقطه‌ای مثبت و منفی در یک سامانه باردار است. و به لحاظ معنای واژه، جدایش بارهای الکتریکی است در یک سامانه ساده با دو بار الکتریکی نقطه‌ای q^- و q^+ گشتاور دوقطبی برداری است که از حاصلضرب بار الکتریکی در فاصله بین دو ذره باردار به وجود می‌آید.

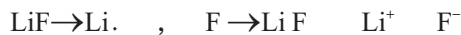
فاصله بین دو بار (m)

بار الکتریکی (کولن C)

$$\mu = q \times d \leftarrow \text{گشتاور دو قطبی (کولن.متر)}$$

که در این رابطه d بردار فاصله است که بار منفی و بار مثبت کشیده می‌شود. یکای گشتاور دوقطبی در سیستم SI (کولن متر) است و برحسب دبای (D) گزارش می‌شود. گشتاور دوقطبی را می‌توان برای هر عنصر یا ترکیب اندازه گرفت.

برای مثال: گشتاور دوقطبی LiF به صورت زیر محاسبه می‌شود.



$$d = 156/4 \text{ pm} \quad \Delta E = 3/\text{eV} \quad E_F = 4/\text{eV} \quad \text{الکترونگاتیوی لیتیم (} E_{\text{Li}} \text{)}$$

از آنجا که لیتیم و فلوئور به هنگام تشکیل پیوند یونی $\mu = q \times d \times \% \text{Ionic}^*$ کاملاً رفتار دو ذره باردار نقطه‌ای ندارند یا پیوند صد درصد یونی در واقعیت نداریم، لازم است درصد یونی پیوند آنها نیز محاسبه و در پارامترهای محاسبه گشتاور دوقطبی لحاظ شود.

$$\% \text{Ionic}_{\text{LiF}} = 1 - e^{-\frac{1}{2} \times \frac{1}{25} \times \frac{1}{3}} = 1 - e^{-\frac{1}{150}} = 0.66\%$$

$$\% \text{Ionic}_{\text{LiF}} = 89/5\%$$

بنابراین ممان دو قطبی محاسبه شده برای LiF به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\mu_{\text{LiF}} = q \times d \times \% \text{ionic}$$

$$\mu_{\text{LiF}} = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (156/4 \times 10^{-12} \text{ m}) \times 0.895$$

$$\mu = 2/24 \times 10^{-29} \text{ C.m}$$

$$1D = 3/34 \times 10^{-30} \text{ C.m} \quad \text{از آنجا که}$$

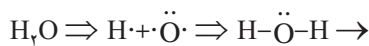
$$\mu = 2/24 \times 10^{-29} \text{ C.m} \times \frac{1D}{3/34 \times 10^{-30} \text{ C.m}} = 6/7D$$

که این عدد به خوبی نشان می‌دهد که یک ترکیب یونی گشتاور دو قطبی مولکول قطبی مانند

* درصد یا خصلت یونی پیوند را می‌توان $\% \text{Ionic} = 1 - e^{-\frac{1}{2} \times \frac{1}{25} \times \frac{1}{\Delta E}}$ حساب کرد. در این رابطه ΔE اختلاف الکترونگاتیوی بین دو ذره‌ای که با یکدیگر پیوند داده‌اند.

مولکول‌های HF یا H₂O دارد.

اگر ممان دو قطبی را برای مولکول غیر خطی آب به همین روش محاسبه کنیم



$$E_{\text{H}} = 2/2 \quad E_{\text{O}} = 3/5$$

$$\% \text{ionic}_{\text{O-H}} = 1 - e^{-\frac{1}{25}(\Delta E)^2} = 1 - e^{-\frac{1}{25}(1/5)^2} = 34/5\%$$

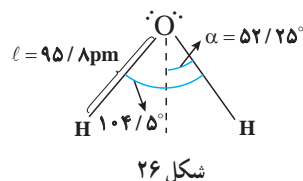
$$\mu = q \times d \times \% \text{ionic}_{\text{OH}}$$

چون در مولکول آب دو بار منفی و دو بار مثبت داریم پس خواهیم داشت:

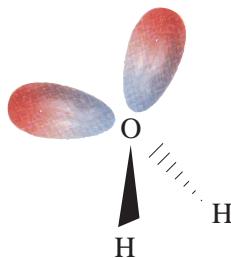
$$\mu = 2 \times (1/60 \times 10^{-19} \text{C}) \times (95/8 \times 10^{-12} \times \cos 52/25^\circ) \times 0/345$$

$$\mu = 6/49 \times 10^{-30} \text{C.m}$$

$$6/49 \times 10^{-30} \text{C.m} \times \frac{1\text{D}}{3/34 \times 10^{-30} \text{C.m}} = 1/94\text{D}$$



اختلاف گشتاور دو قطبی محاسبه شده با گشتاور دو قطبی اندازه‌گیری شده ۱/۸۵ D می‌تواند مربوط به جهت‌گیری جفت الکترون ناپیوندی در ساختار چهار وجهی مولکول آب باشد زیرا کشیدگی این جفت الکترون‌ها و تمرکز نداشتن، باعث می‌شود که ممان دو قطبی اندازه‌گیری شده نسبت به محاسبه شده کمی کمتر باشد.



شکل ۲۷—کشیدگی ابر الکترونی جفت الکترون‌های آزاد عدم تمرکز در راستای پیوند H-O علت کاهش گشتاور در دو قطبی مولکول آب است.

جدول ۱۰—برخی از گشتاورهای دو قطبی مولکول و ترکیب یونی

فرمول	CO	O _۲	PH _۳	H _۲ O(g)	HCl	KBr
گشتاور دو قطبی	۰/۱۱۲	۰/۵۳	۱/۱۷	۱/۸۵	۲/۹۸	۱۰/۴۱

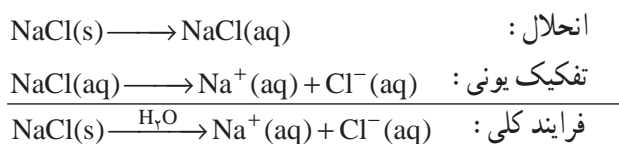
نظریه تفکیک یونی و الکترولیت‌ها

نخستین بار نظریه تفکیک یونی در سال ۱۸۸۳ توسط آرنیوس^۱ که درباره رسانایی الکتریکی محلول‌های آبی تحقیق می‌کرد، مطرح شد. او گفت:

۱ ترکیب‌هایی را الکترولیت می‌نامند که هنگام انحلال در آب (حلال مناسب دیگری) بتوانند به ذره‌هایی با بار الکتریکی مثبت و منفی تبدیل شوند.

۲ الکترولیت‌ها در محلول‌ها به‌طور کامل به یون تبدیل نمی‌شوند و کسری از مولکول‌های آن در محلول به شکل مولکولی باقی می‌مانند. در این حالت بین این مولکول‌ها و یون‌های موجود در محلول، نوعی تعادل ایجاد می‌شود.

۳ بین یون‌ها هیچ برهم‌کنشی وجود ندارد و محلول الکترولیت، ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود. آرنیوس معتقد بود الکترولیت قوی، ترکیبی است که هنگام انحلال در آب به‌طور کامل به یون‌های مجزا تبدیل شود. وی محلول NaCl در آب را به عنوان نمونه‌ای از الکترولیت قوی معرفی کرد. در این فرایند:

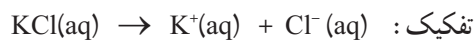


او برای مرزبندی بین الکترولیت قوی و ضعیف از مفهومی به نام درجه تفکیک (α) استفاده کرد.

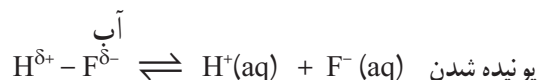
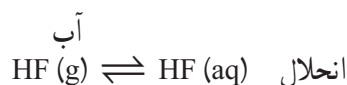
$$\text{درجه تفکیک } (\alpha) = \frac{\text{تعداد مولکول‌های تفکیک شده}}{\text{تعداد مولکول‌های الکترولیت حل شده}}$$

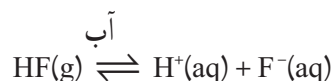
$$\alpha = \alpha \times 100 \quad (\text{درصد تفکیک})$$

او برای ترکیب یونی فقط فرایند تفکیک را در نظر می‌گرفت و ایجاد یک محلول الکترولیت را شامل انحلال ترکیب یونی؛ سپس تفکیک آن می‌دانست. برای محلول آبی الکترولیت قوی، α و $\alpha\%$ تقریباً به ترتیب برابر با ۱ و ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شد.



این درحالی است که وی الکترولیت حاصل از انحلال یک ترکیب مولکولی قطبی مانند HF در آب را شامل انحلال و یونیده شدن می‌دانست:





برای تعادل بالا می‌توان عبارت ثابت تعادل (K) را نوشت:

$$K = \frac{a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{F}^-}}{a_{\text{HF}}}$$

در اینجا a_{H^+} ، a_{F^-} و a_{HF} به ترتیب فعالیت یون H^+ ، F^- و HF است که در محلول‌های رقیق و بسیار رقیق الکترولیت می‌توان آنها را هم‌ارز با غلظت مولی دانست.

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$$

اینک می‌توان محاسبهٔ مربوط به این تعادل را براساس α نوشت:



$$M_0 - \alpha M_0 \quad \alpha M_0 \quad \alpha M_0$$

غلظت‌های تعادلی:

M_0 : غلظت مولی اولیهٔ HF محلول در آب

$$K = \frac{(\alpha M_0)(\alpha M_0)}{M_0 - \alpha M_0} = \frac{M_0 \alpha^2}{1 - \alpha}$$

برای الکترولیت‌های قوی، K بسیار بزرگ است که نشان می‌دهد که α به عدد یک یا به عبارت دیگر α به 100% نزدیک است در حالی که برای الکترولیت‌های ضعیف، α عدد کوچکی است و می‌توان از آن در برابر یک صرف‌نظر کرد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$K = M_0 \alpha^2$$

و در نتیجه α برابر خواهد بود با:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{M_0}}$$

به جای M_0 می‌توان هم‌ارز آن $\frac{1}{V_m} (V_m \text{ حجمی از محلول که محتوی یک مول حل‌شونده است})$ را جایگزین کرد؛ بنابراین خواهیم داشت:

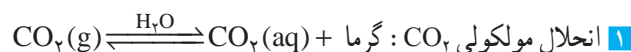
$$K = \frac{1}{V_m} \alpha^2 \Rightarrow \alpha = \sqrt{KV_m}$$

این معادله به خوبی اثر رقت در محلول را نشان می‌دهد در واقع با رقیق شدن محلول درجهٔ تفکیک افزایش می‌یابد؛ بنابراین محلول $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ و $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ از HF به ترتیب حجم مولی (V_m) برابر با 10 و 100 L.mol^{-1} دارند، از این‌رو، α برای محلول $10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ بزرگ‌تر از $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ است.

آیا محلول یک الکترولیت قوی همواره رسانای خوب جریان برق است؟ رسانایی الکتریکی در محلول به عهده یون‌ها است. هرچه تعداد یون‌های مجزا در آب بیشتر باشد، رسانایی الکتریکی محلول آبی بیشتر خواهد بود؛ بنابراین تنها با استفاده از α نمی‌توان درباره میزان رسانایی یک محلول قضاوت کرد. نمونه بارز این مسئله، AgCl است که دارای α بزرگی است (یعنی هر مقدار از آن که در آب حل می‌شود تقریباً به یون تفکیک می‌شود) ولی انحلال پذیری آن در آب کم است. بنابراین تعداد یون‌ها در محلول ناچیز و رسانایی الکتریکی بسیار کمی دارد. یک محلول رسانای خوب، محلولی است که حل‌شونده آن هم الکترولیت قوی باشد (α خوبی داشته باشد) و هم، حلالیت مناسبی در آب داشته باشد.

انحلال پذیری گازها در آب

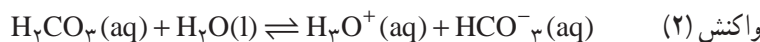
در انحلال گازها در آب عواملی مانند فشار، دما و نوع گاز مؤثر است. در اینجا انحلال پذیری گازهای CO_2 , CH_4 , H_2S , HCl و Cl_2 را در آب مقایسه و بررسی می‌کنیم. گاز کربن دی‌اکسید دارای مولکول‌های ناقطبی است و جاذبه بین مولکول‌های آب با آن از نوع دوقطبی – القایی است. این جاذبه بسیار ضعیف بوده و با افزایش دمای محلول، به سرعت مولکول‌های حل شده CO_2 که تعداد آنها نیز بسیار کم است، از آن خارج می‌شوند. در انحلال گاز CO_2 در آب، افزون بر انحلال مولکولی CO_2 در آب، با دو واکنش تعادلی (۱) و (۲) نیز روبه‌رو می‌شویم.



۲ واکنش بین مولکول‌های آب با مولکول‌های آب پوشی شده CO_2 که منجر به تولید H_2CO_3 می‌شود.



۳ یونیده شدن $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ در آب :



از جمع واکنش‌های بالا و واکنش زیر به دست می‌آید که در منابع معتبر به عنوان واکنش CO_2 با آب در نظر گرفته می‌شود.

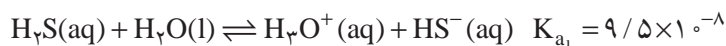
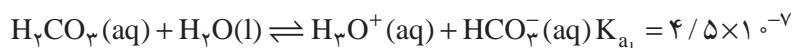


تفاوت انحلال $\text{CH}_4(\text{g})$ با مولکول‌هایی مانند $\text{CO}_2(\text{g})$ ، افزون بر تفاوت چشمگیر و مؤثر در قطبش پذیری CO_2 در مقایسه با CH_4 ، وجود واکنش‌های تعادلی (۱) و (۲) است. در تفاوت انحلال پذیری گازهای CO_2 و H_2S ، تأثیر دو عامل قطبیت مولکول و توانایی یونش در آب، به خوبی دیده می‌شود (جدول ۱۱).

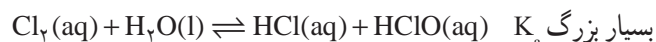
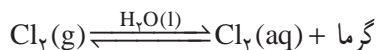
جدول ۱۱- مقایسه انحلال پذیری گاز CH_4 ، CO_2 و H_2S در دماهای مختلف در آب

دما (c)	انحلال پذیری (گرم در ۱۰۰ گرم آب)		
	CH_4	CO_2	H_2S
۳۵	۲۲	۴۸۰	۵۰۰
۳۰	۲۳	۵۴۰	۱۶۵۰
۲۵	۲۵	۶۱۰	۱۸۵۰
۲۰	۲۶	۷۰۰	۲۰۰۰
۱۵	۳۱	۸۲۰	۲۳۰۰
۱۰	۳۶	۱۰۰۰	۲۶۰۰

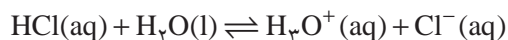
از آنجا که ممان دوقطبی H_2S بزرگ تر از CO_2 است، ($\mu_{\text{CO}_2} = 0.00 \text{ D}$ و $\mu_{\text{H}_2\text{S}} = 0.97 \text{ D}$)؛ میزان برهم کنش مولکول های H_2S و آب به مراتب بیشتر از CO_2 است. گفتنی است واکنش بین آب و کربن دی اکسید و همچنین یونش اسید حاصل در آب نیز می تواند بر میزان انحلال کربن دی اکسید در آب تأثیر گذار باشد. مقایسه ثابت های یونش اسیدی مرحله اول، $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ و $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ نشان می دهد که اهمیت این عامل در انحلال CO_2 در آب بیشتر از H_2S در آب است.



واکنش های جانبی در انحلال چنان اهمیت دارد که سبب می شود انحلال پذیری گاز Cl_2 در مقایسه با گازهای CO_2 و H_2S در دماهای یکسان بیشتر باشد؛ درحالی که ممان دوقطبی Cl_2 صفر است (ناقطبی است)؛ ولی به علت واکنش شیمیایی $\text{Cl}_2(\text{aq})$ با آب، میزان انحلال Cl_2 در آب افزایش می یابد.



در انحلال گاز HCl ، قطبیت بالای مولکول و واکنش جانبی یونش، که بعد از انحلال این گاز در آب صورت می پذیرد، تأثیر بسزایی در انحلال پذیری آن در آب دارد.



ثابت تعادل واکنش یونش (دوم) بسیار بزرگ است؛ به طوری که می توان این واکنش را یک طرفه در نظر گرفت. با مصرف $\text{HCl}(\text{aq})$ در این واکنش، تعادل به سمت راست جابه جا شده و این پدیده باعث انحلال بیشتر $\text{HCl}(\text{g})$ در آب می شود.

دو عامل فشار و دما، نقش بسیار مهمی در انحلال گازها در آب دارند. برای درک این عوامل به بررسی قانون راول و هنری می پردازیم.

قانون راول و هنری (Raoult's law و Henry's law)

فرض کنید می‌خواهیم محلولی از تولوئن و بنزن تهیه کنیم. تجربه ثابت کرده است که این مخلوط از قانون راول پیروی می‌کند؛ زیرا اجزای آن، یک محلول ایده‌آل را تشکیل داده‌اند. در قانون راول، فشار بخار هر جزء سازنده در محلول ایده‌آل به فشار بخار خالص آن جزء و کسر مولی آن در محلول وابسته است.

$$p_B = p_B^\circ x_B \quad p_A = p_A^\circ x_A$$

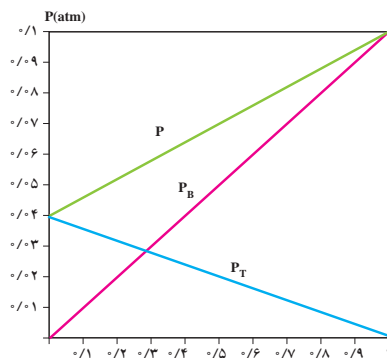
$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad \text{کسر مولی جزء A}$$

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad \text{کسر مولی جزء B}$$

x کسر مولی، P و P° به ترتیب فشار بخار آن جزء در حالت خالص و محلول است. اینک در نظر بگیرید n_1 مول از بنزن (B) و n_2 مول از تولوئن (T) در تشکیل محلول با دمای ثابت شرکت می‌کنند. پیش از مخلوط شدن، هریک از آنها در حالت خالص با بخار خود در تعادل اند. هنگامی که آنها را با هم مخلوط می‌کنیم، محلول شامل n_1 مول بنزن و n_2 مول از تولوئن با مخلوطی از بخارهای بنزن و تولوئن در حال تعادل خواهند بود. اگر فشار بخار تولوئن و بنزن در حالت خالص به ترتیب برابر با p_B° و p_T° و در حالت مخلوط (محلول) به ترتیب برابر با P_B و P_T باشند، در حالت محلول فشار کل برابر خواهد بود با:

$$p_K = p_T + p_B = p_T^\circ x_T + p_B^\circ x_B = (p_B^\circ - p_T^\circ) x_B + p_T^\circ$$

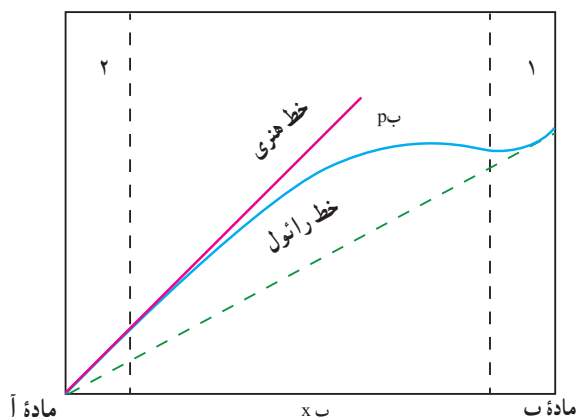
این رابطه نشان می‌دهد که در محلول ایده‌آل، فشار بخار کل بالای محلول به‌طور خطی با کسر مولی حل‌شونده تغییر می‌کند. نمودار ۵ به خوبی تغییر فشار بخار بنزن، فشار بخار تولوئن و فشار بخار کل در محلول بنزن و تولوئن را در دمای 20°C نشان می‌دهد.



نمودار ۵—نمایش تغییر فشار بخار مخلوط همگن محلول تولوئن و بنزن بر حسب کسر مولی بنزن (x_B)

اگر محلول ایده‌آل نباشد (محلول حقیقی)، دیگر فشار بخار کل از قانون راول پیروی نخواهد کرد. در این حالت محلول نسبت به قانون راول انحراف نشان می‌دهد. این انحراف می‌تواند مثبت یا منفی باشد. به عنوان نمونه در نمودار ۶ یک انحراف مثبت را نسبت به قانون راول مشاهده می‌کنید.

فشار $P(\text{atm})$



نمودار ۶- نمایش یک انحراف مثبت از قانون راول

همان گونه که مشاهده می کنید، از نمودار مشخص است که مخلوط حاصل از ماده های آ و ب یک محلول غیر ایده آل (حقیقی) را می سازد؛ ولی قسمت های قابل تأمل در این نمودار قسمت هایی اند که غلظت یکی از مواد (آ) یا (ب) نسبت به دیگری به یک مینیمم می رسد. همان طور که در نمودار ۶ مشخص شده، در دو ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب برای ماده (ب) و ماده (آ) یک مینیمم کسر مولی مشاهده می شود. در ناحیه ۱، ماده آ به عنوان حلال و ماده ب به عنوان حل شونده است و در ناحیه ۲، ماده ب نقش حلال را دارد؛ ولی ویژگی مشترک هر دو ناحیه آن است که با یک محلول رقیق روبه رو هستیم. این نمودار نشان می دهد که فشار بخار ماده ب در ناحیه ۱ بر خط راول منطبق است و از قانون راول پیروی می کند؛ زیرا در این حالت ماده ب حلال است و مقدار ماده آ در محلول ناچیز است. ولی فشار بخار ماده ب در ناحیه ۲ فاصله زیادی از قانون راول دارد؛ در حالی که فشار بخار ماده ب در ناحیه ۲ به وسیله خطی که بر منحنی در آن گستره مماس است، نشان داده می شود. در این حالت می توان نوشت:

$$p_{(b)} \propto x_{(b)} \quad \text{و یا}$$

$$p_{(b)} = k_{(b)} x_{(b)}$$

در اینجا، $k_{(b)}$ ثابت هنری برای سازنده ب است و به رابطه $p_{(b)} = k_{(b)} x_{(b)}$ «بیان قانون هنری» می گویند.

قانون هنری بیان می کند: در یک محلول رقیق، فشار بخار ماده حل شونده از روی شیب خط مماس رسم شده بر روی منحنی فشار بخار ماده حل شونده به دست می آید (ناحیه ۲). یکی از مثال های کاربردی که برای درک این مفهوم مفید است، انحلال گاز O_2 و N_2 در آب است. طبق قانون هنری:

$$p_{O_2} = k_{O_2} x_{O_2}$$

$$p_{N_2} = k_{N_2} x_{N_2}$$

مول

با استفاده از قانون هنری می توان انحلال پذیری گاز حل شونده در یک حلال را برحسب $\frac{\text{لیتر محلول}}{\text{مول}}$ محاسبه کرد. به عنوان نمونه اگر در دمای 25°C ، فشار بخار اکسیژن بالای آب 19°Torr و ثابت هنری

برای آن برابر با $3/30 \times 10^6 \text{ Torr}$ باشد :

$$p_{O_2} = k_{O_2} \cdot x_{O_2} = 190 \text{ Torr} = x_{O_2} \times 3/30 \times 10^6 \text{ Torr} = 5/75 \times 10^{-6}$$

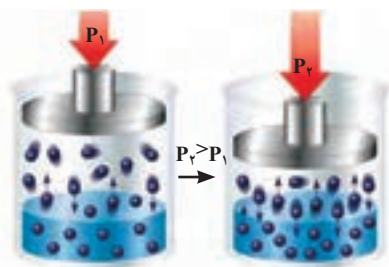
$$x_{O_2} = 5/75 \times 10^{-6} = \frac{n_{O_2}}{n_{H_2O} + n_{O_2}} \approx \frac{n_{O_2}}{n_{H_2O}} = \frac{n_{O_2}}{1000}$$

$$n_{O_2} = 5/75 \times 10^{-6} \times \frac{1000}{18} = 3/2 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

این مقدار مول در 1000 g یا یک لیتر آب حل شده است که همان غلظت مولال اکسیژن در آب است و با کمی خطا می‌توان آن را غلظت مولی اکسیژن حل شده در آب دانست.

به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی در یک محلول غیر ایده‌آل، حلال از قانون راول و جسم حل شونده از قانون هنری پیروی می‌کند.

$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg}$ تور هم
ارز با میلی‌متر جیوه است و به
افتخار توریچلی به عنوان یکای
اندازه‌گیری فشار انتخاب شده
است.



شکل ۲۸- اثر فشار بر میزان انحلال گاز در محلول

شکل ۲۸ به خوبی نشان می‌دهد که در تعادل، سرعت ورود مولکول‌های گاز به داخل محلول با سرعت خروج آنها یکسان است. اگر فشار گاز ناگهان افزایش یابد در این حالت تعداد مولکول‌های گاز در واحد حجم بالای محلول افزایش می‌یابد و در نتیجه تعداد مولکول‌های گازی که در واحد زمان وارد محلول می‌شوند از تعداد مولکول‌هایی که در واحد زمان از آن خارج می‌شوند، بیشتر خواهد شد. در این حالت همان‌طور که غلظت گاز حل شده در محلول افزایش می‌یابد، به تدریج سرعت خروج مولکول‌ها از محلول نیز افزایش می‌یابد تا دوباره سامانه به یک تعادل جدید برسد. در این تعادل جدید محلول شامل تعداد مولکول‌های گاز حل شده بیشتری نسبت به تعادل آغازی است.

رابطه بین فشار گاز و غلظت گاز حل شده در محلول نیز می‌تواند با استفاده از قانون هنری به صورت زیر بیان شود.

توجه داشته باشید که در این حالت با یک سامانه دو فازی جدید شامل گاز - مایع روبه‌رو هستیم. M غلظت گاز حل شده بر حسب $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ و p فشار جزئی گاز در بالای محلول است؛ بنابراین می‌توان در این حالت قانون هنری را بدین صورت تعریف کرد؛ مقدار گاز حل شده در یک محلول متناسب با فشار گاز بالای محلول است؛ در این حالت نیز قانون هنری برای محلول‌های بسیار رقیق کاربرد دارد، توجه کنید که نباید ماده حل شونده با حلال واکنش شیمیایی بدهد.

به عنوان نمونه کاربرد این قانون برای انحلال گاز اکسیژن در آب است؛ ولی نباید برای بررسی محلول هیدروژن کلرید در آب به کار رود؛ زیرا انحلال این ماده با واکنش یونش هیدروکلریک اسید همراه است. برای درک بهتر کاربرد قانون هنری به مثال زیر دقت کنید.

در نوشابه‌های معمولی در دمای 25°C ، فشار گاز کربن‌دی‌اکسید در بالای محلول 5 atm است.

اگر فرض کنیم فشار جزئی گاز کربن دی اکسید در اتمسفر برابر با $4 \times 10^{-4} \text{ atm}$ باشد، غلظت تعادلی گاز دی اکسید را پیش و پس از باز کردن در نوشابه می توان حساب کرد. ثابت هنری برای کربن دی اکسید در محلول آبی در دمای 25°C برابر است با $3/1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (فرض کنید هیچ واکنش شیمیایی میان CO_2 و آب رخ نمی دهد).

توجه کنید فشار گاز CO_2 در نوشابه در بسته نزدیک به 5 atm و در نوشابه در باز نزدیک به $4 \times 10^{-4} \text{ atm}$ (معادل فشار CO_2 در هوا) است. پیش از باز شدن در بطری:

$$C_{\text{CO}_2} = k_{\text{CO}_2} = (3/1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}) \times (5 \text{ atm}) = 1/6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

پس از باز شدن در بطری:

$$C_{\text{CO}_2} = k_{\text{CO}_2} P_{\text{CO}_2} = (3/1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}) \times (4/10 \times 10^{-4} \text{ atm}) = 1/2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

کم شدن مقدار گاز حل شده نشان می دهد که چرا با باز کردن در نوشابه و با گذشت زمان، نوشابه ویژگی خود را از دست می دهد.

نفوذ (Diffusion) اُسمز (Osmosis) و اُسمز معکوس (Revers Osmosis)

فرایند نفوذ، فرایندی است که در اثر انرژی جنبشی ذرات ماده و حرکت های تصادفی آنها ذرات جابه جا و در یکدیگر پراکنده می شوند.

تصور کنید دو ظرف با ارتفاع یکسان از آب خالص و محلول آب نمک وجود داشته باشد که این دو ظرف از طریق لوله به یکدیگر متصل اند در آن صورت به علت پدیده نفوذ یون های نمک برای برقراری تعادل از ظرف حاوی آب نمک به ظرف حاوی آب خالص نفوذ می کنند این نفوذ تا جایی ادامه پیدا می کند تا غلظت یون ها در هر دو ظرف با یکدیگر یکسان شود. اما اگر بین این دو ظرف در مسیر جریان آب یک غشاء قرار گیرد که فقط اجازه دهد مولکول های آب از آن عبور کند برای برقراری تعادل غلظتی این بار آب خالص به ظرف حاوی آب نمک نفوذ می کند و این عمل تا آنجا ادامه می یابد که افزایش ارتفاع حاصل شده در ظرف آب نمک، فشار ایجاد کند و اجازه انتقال آب از ظرف آب خالص به ظرف آب نمک را ندهد. این فشار را فشار اُسمزی یا شارش اُسمزی می گویند.

در حقیقت اُسمز، حرکت و جنبش خود به خودی مولکول های حلال از ناحیه غلظت کمتر با عبور از منشأ نیمه تراوا به درون منطقه با غلظت بیش تر است.

جاکوب وانت هوف (Jacobus Henricus van't Hoff) برای فشار اُسمزی رابطه ریاضی

بیان کرد.

$$\pi v = nRT \rightarrow \pi = \frac{n}{v} RT \frac{n}{v} = m\pi = MRT$$

در این رابطه π فشار اُسمزی، R ثابت گاز ایده آل، M مولاریته محلول برحسب مول در لیتر و T دما را بر حسب کلون نشان می دهد.

برای مثال اگر غلظت نمک در آب دریا $3/4 \text{ g/L}$ باشد در آن صورت فشار اُسمزی که در دمای 25°C ایجاد می‌کند برابر است با

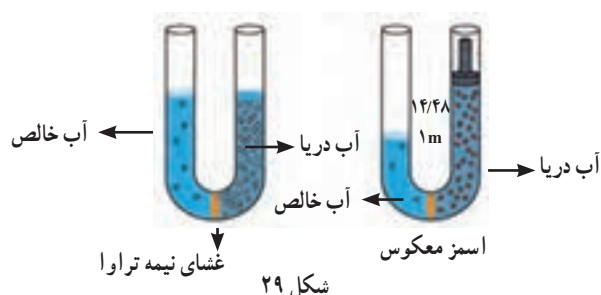
$$M = 3/4 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol NaCl}}{58/5 \text{ g NaCl}} \times \frac{1}{1 \text{ L}} = 5/82 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$\pi = 5/82 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \times 0/082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K}$$

$$\pi = 1/42 \text{ atm}$$

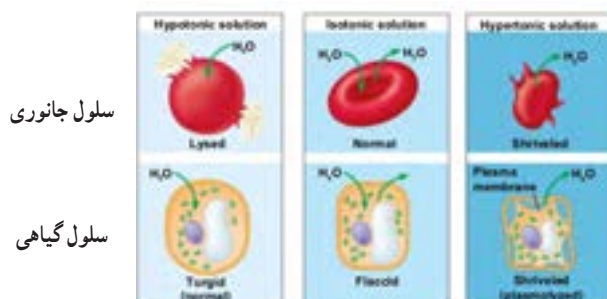
در صورتی که یک اتمسفر را به صورت ستونی از آب با طول $10/34 \text{ m}$ متر در نظر بگیریم می‌توان فشار اُسمزی یا ارتفاع ستون آب را حساب کرد.

$$1/42 \text{ atm} \times \frac{10/34 \text{ m}}{1 \text{ atm}} = 14/68 \text{ m}$$



شکل ۲۹

پدیده اُسمز در طبیعت و در گیاهان و جانداران نقش اساسی در انتقال مواد به عهده دارد؛ برای مثال دیواره گلبول‌های (گویچه‌های) سرخ خون یک غشای نیمه تراوا است. به طوری که اگر بافت گلبول‌های سرخ را در محلول آب خالص یا محلول با غلظت نمک کم (محلول با فشار اُسمزی کم) هیپوتونیک (Hypotonic) مولکول‌های آب بیرون یافته از جداره آن وارد گلبول سرخ می‌شوند در این حالت با افزایش و نفوذ مولکول‌های آب به درون بافت گویچه سرخ به تدریج گلبول ورم کرده و سپس جداره گویچه‌های سرخ پاره می‌شود. به این حالت تورگاید (Turgid) گویند در حالی که اگر این گویچه‌های سرخ در محلول آب نمک غلیظ (محلول فشار اُسمزی بالا) (هایپرتونیک (Hypertonic)) افزایش غلظت نمک در بیرون این یافته‌ها آب از درون گویچه به محلول آب نمک نفوذ می‌کند در این حالت گویچه آب خود را از دست داده و چروکیده می‌شود به این پدیده پلاسمولیزید (Plasmolyzed) می‌گویند. از این رو محلول‌های تزریقی به بدن باید فشار اُسمزی برابر با فشار اُسمزی درون سلول‌ها را داشته باشند. محلول‌هایی که فشار اُسمزی برابر دارند، محلول ایزوتونیک نامیده می‌شوند (شکل ۳۰).



شکل ۳۰

اُسمز معکوس Reversive Osmosis

در پدیده اُسمز انتقال حلال تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که فشار اُسمزی در دو طرف جداره نیمه تراوا با یکدیگر یکسان شود. حال اگر به یک سمت از محلول‌هایی که فشار اُسمزی برابر دارند فشار اعمال شود در آن صورت به علت افزایش فشار، حلال از جایی که فشار بیشتری دارد به سمت مکانی که فشار کمتری دارد. منتقل می‌شود به این فرایند اُسمز معکوس می‌گویند. این روش یکی از کارآمدترین روش‌ها برای شیرین کردن آب دریا است.

اساس کار اُسمز معکوس سیستم اُسمز معکوس شامل بخش‌های زیر است:

آ غشاء نیمه تراوا که معمولاً از جنس استات سلولز (CA) (Cellulose aceta) لایه نازک کامپوزیت‌های پلی‌آمید Polyamide thin film composites (TFC) سلولز تری استات (Cellulose Triacetate CTA) است که معمولاً به صورت مارپیچ اطراف یک لوله پیچیده می‌شوند یا به شکل فیبرهای توخالی متصل به هم می‌سازند. فیبرهای توخالی ظرفیت مبادله بیشتری نسبت به لوله‌های مارپیچ دارند اما منافذ فیبرهای توخالی احتمال مسدود شدنشان بیشتر از لوله‌های مارپیچی است.

(ب) پمپ که بتواند فشار لازم آب ورودی به سامانه را تأمین کند.

(پ) خروجی پساب

حذف مواد از آب به عنوان نرخ یا نسبت حذف مواد یا درصد حذف مواد معیاری برای قابلیت یک غشاء نیمه تراوا است و این درصد برای هر یون یا آلودگی برای کل جامد حل شده محاسبه می‌شود. غشاء TFC توانایی بیشتری و دوام و درصد حذف بالاتری از غشاهای CA و CTA دارد همچنین در برابر هجوم باکتری و در pH بالا درصد حذف بالاتری نسبت به دو غشاء دیگر دارد البته غشاهای CA و CTA توانایی و مقاومت بیشتری در برابر کلر دارند. غشاء سولفات پلی سولفون (SPS) تحمل بیشتری در برابر کلر دارند و در pH بالا مقاوم تر هستند این غشاء برای تصفیه آب‌هایی که pH بالا و حاوی مقادیر زیادی نیتрат هستند مناسب است.

غشاء به طور متوسط حدود ۹۵ تا ۹۹٪ از نمک‌های حل شده را حذف می‌کند هرچند غلظت نمک بیشتر باشد باید فشار بیشتری وارد شود تا این مواد حذف شوند.

تفاوت صاف کردن و اُسمز معکوس در این است که در صاف کردن آب تنها، ذرات بزرگ و مخلوط در آب مثل گل و لای، لجن، شن، ماسه و زنگ لوله‌ها را جدا می‌کند در حالی که اُسمز معکوس با به کارگیری یک غشاء نیمه تراوا افزون بر جدا کردن ناخالصی‌های بیان شده مواد شیمیایی محلول در آب مانند میکروب‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، انگل‌ها، نیترات، سموم کشاورزی، آفت‌کش‌ها، نمک‌ها و فلزات سنگین را جدا می‌کند و باعث کاهش سختی آب

می‌شود. به‌طور کلی هر آلاینده‌ای که وزن مولکولی آن بیش از ۲۰۰ است به احتمال زیاد حذف می‌شود.

البته میزان حذف آلاینده‌های موجود در آب به ظرفیت غشاء نیمه تراوا و اندازه روزنه این غشاءها نیز وابسته است از این رو غشاءهایی که قطر روزنه آنها بزرگ‌تر باشد با وجود آنکه سرعت تصفیه آب افزایش می‌یابد، اما موادی مانند یون سدیم به خوبی یون کلسیم کلر جرم و بار یونی بیشتری دارد حذف نمی‌شود همچنین گاز CO_2 به خوبی توسط این غشاء حذف نمی‌شود چون گاز CO_2 بار الکتریکی ندارد و یا یونیده نمی‌شود.

محاسبه درصد حذف نمک

ملاک ظرفیت یک غشاء، درصد نمک است. برای محاسبه این درصد برای هر یون از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{درصد حذف نمک} = \frac{\text{رسانایی آب تصفیه شده} - \text{رسانایی آب ورودی با سامانه}}{\text{رسانایی آب ورودی}} \times 100$$

بنابراین میزان عبور یون‌ها از غشاء را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد.

$$\text{درصد حذف نمک} = 1 - \text{درصد عبور نمک}$$

درصد بازگردانی آب: مقدار آبی است که پس از تصفیه به دست می‌آید برای مثال اگر درصد بازگردانی آب برای سامانه اُسمز معکوس ۷۵٪ باشد، یعنی از ۱۰۰ لیتر آب ورودی ۷۵ لیتر آب تصفیه شده و قابل استفاده به دست می‌آید.

در سامانه‌های اُسمز معکوس برای طراحی غشاء نیمه تراوا از فناوری خاصی استفاده می‌شود چون غشاءها باید پایداری شیمیایی و مکانیکی قابل قبولی داشته باشند تا بتوانند از آنها در طراحی سامانه‌های اُسمز معکوس استفاده کنند.

برای مثال برخی از غشاءها برای کلر و کلروآمین‌ها مقاوم نیستند از این رو با عبور آب حاوی این مواد در سطح غشاء اکسایش رخ داده باعث سوراخ شدن غشاء و نفوذپذیری نمک می‌شود همچنین باعث رشد باکتری‌ها روی غشاء نیمه تراوا می‌شود.

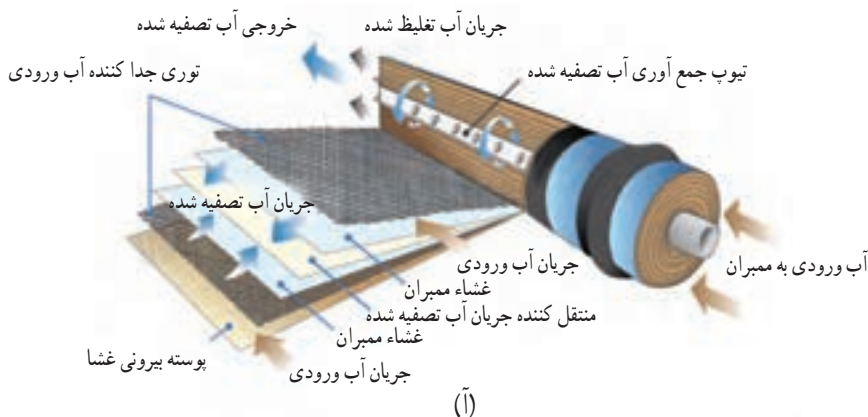
اگر فشار آب ورودی روی سامانه اُسمز معکوس بیش از حد باشد موجب آسیب دیدن غشاء سامانه می‌شود از این رو با قرار دادن پمپی، فشار آب ورودی به سامانه را تنظیم می‌کنند، افزون بر آن مواد نامحلول و کلویدی موجود در آب خود باعث رسوب گذاری در سطح غشاء نیمه تراوا می‌شود که کارایی غشاء کاهش می‌یابد.

بنابراین در سامانه‌های اُسمز معکوس از صافی‌های چند منظوره استفاده می‌شود.

یک صافی چند منظوره شامل سه لایه از زغال سنگ آتراسیت، شن و ماسه و گارنت

(garnet) یا یک لایه از شن است. آرایش لایه‌ای این صافی کمک می‌کند ذرات معلق به ابعاد $2-15$ میکرون حذف شود. برخی از صافی‌های چند منظوره دارای بخش اضافی برای لخته کردن ذرات کوچک‌تر به ابعاد 5 تا 10 میکرون هستند. همچنین در سامانه‌های اُسمز معکوس از میکروصافی‌های ویژه‌ای برای حذف ذرات بسیار کوچک کلویدی و باکتری استفاده می‌شود. اندازه قطر منفذ این میکروصافی‌ها حدود $1-1.5$ میکرومتر است که این نوع صافی‌ها نقش بسزایی در کاهش رسوب گذاری در سطح غشاء نیمه تراوا دارند.

مواد مهارکننده و ضد رسوب: در سامانه‌های اُسمز معکوس مهارکننده‌ها و مواد ضد رسوب به آب ورودی به سامانه اضافه می‌شود. این مواد انحلال پذیری ترکیب‌های معدنی موجود در آب را افزایش می‌دهد در حقیقت این مواد مانع از تشکیل بلورها و رسوب گذاری و رشد بلوری ترکیب‌های معدنی موجود در آب می‌شوند. همچنین برای تصفیه آب در سامانه اُسمز معکوس، مواد دیگری از قبیل تبادل‌های یونی برای کاهش سختی آب، سدیم بی‌سولفیت به عنوان یک کاهنده برای حذف اثر کلر و کربن فعال برای جذب و حذف ترکیب آلی استفاده می‌شود.



شکل ۳۱- (آ) نمایی از یک واحد یا سامانه اُسمز معکوس (RO) اُسمز معکوس را نشان می‌دهد - (ب) تصویر واقعی از واحدهای اُسمز معکوس برای شیرین کردن آب دریا را نشان می‌دهد.

پاسخ پرسش‌های فصل سوم

«خود را بیازمایید» صفحه ۹۳

۱ آ) اکسیژن، سدیم کلرید، منیزیم کلرید، کلسیم برمید و ...
 ب) اکسیژن از هواکره اما دیگر مواد محلول در آب، در مسیر رودها و رودخانه‌ها تا (از سنگ کره) رسیدن به دریا، در آب حل می‌شوند، گاهی برخی مواد از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی نیز همراه آنها به دریا وارد می‌شود. موجودات زنده در دریا نیز خود تولیدکننده برخی از این مواد هستند. (زیست کره)
 ۲ این جمله نشان می‌دهد که در زمین پیوسته مواد شیمیایی گوناگون در یک چرخه طبیعی در میان هواکره، زیست کره، سنگ کره و آب کره جابه‌جا می‌شوند، این جابه‌جایی دائمی مواد، نشانه پویایی زمین از دیدگاه شیمیایی است. (دانش آموز می‌تواند هر پاراگراف آخر صفحه ۹۲ را به عنوان پاسخ این پرسش ارائه کند.)

۳ آ) گروه ۱ و ۲ ب) Cl^- (یون کلرید) پ) Na^+ (یون سدیم)
 ت) $NaBr$ ، $MgCl_2$ ، KCl ، $CaCl_2$ ، $NaCl$

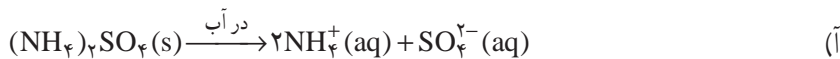
۴ آب شیرین و در دسترس ما درصد بسیار کمی از آب‌های موجود در جهان را تشکیل می‌دهد. این ویژگی مصداق «آب مایعی کمیاب در عین فراوانی» است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۹۹

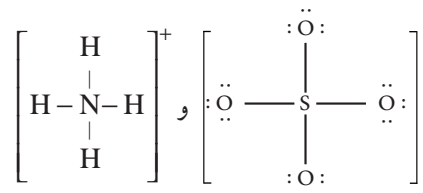
۱ تمرین فرمول نویسی و نام گذاری که در کلاس انجام می‌شود، پیش از این تدریس شده است.

۲ آمونیوم سولفات: $(NH_4)_2SO_4$

نمکی که هم کاتیون و هم آنیون، چند اتمی دارد.



از انحلال هر واحد آن، سه یون (دو کاتیون آمونیوم و یک آنیون سولفات) تولید می‌شود.
 ب)



«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۰۳

آ) جرم حل شونده $8g$ ، جرم حلال $42g = 42g - 8g$

(ب)

$$\text{حل شونده } 16\text{g} = \frac{\text{حل شونده } x\text{g}}{\text{محلول } 100\text{g}} = \frac{\text{حل شونده } 8\text{g}}{\text{محلول } 50\text{g}} : \text{روش اول}$$

$$\text{حل شونده } 16\text{g} = \frac{\text{حل شونده } 8\text{g}}{\text{محلول } 50\text{g}} \times (\text{محلول}) 100\text{g} = (\text{حل شونده})\text{g} : \text{روش دوم}$$

(پ) درصد جرمی محلول، جرم ماده حل شونده را در صدگرم محلول نشان می دهد.

$$\text{ت) } \text{درصد جرمی محلول} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

ث) این جمله نشان می دهد که از هر ۱۰۰g محلول استریل سدیم کلرید، ۹g/۱۰۰ آن NaCl و ۹۹/۱۰۰ باقی مانده آب (حلال) است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۰۴

۱

نام	نماد یون	آب دریا مقدار یون (میلی گرم در یک کیلوگرم)	غلظت یون	
			درصد جرمی	ppm
یون کلرید	Cl ⁻	۱۹۰۰۰	۱/۹	۱۹۰۰۰
یون سدیم	Na ⁺	۱۰۵۰۰	۱/۰۵	۱۰۵۰۰
یون سولفات	SO ₄ ²⁻	۲۶۵۵	۰/۲۶۵۵	۲۶۵۵
یون منیزیم	Mg ²⁺	۱۳۵۰	۰/۱۳۵۰	۱۳۵۰
یون کلسیم	Ca ²⁺	۴۰۰	۰/۰۴۰۰	۴۰۰
یون پتاسیم	K ⁺	۲۸۰	۰/۰۲۸۰	۲۸۰

۲

$$\text{جرم حل شونده} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100 \rightarrow 3/5 = \frac{\text{جرم حل شونده}}{1/5 \times 10^8 \text{ Ton}} \times 100$$

$$\text{جرم حل شونده} = 5/25 \times 10^8 \text{ Ton}$$

۳

$$\text{درصد جرمی قند در نوشابه کوچک} = \frac{\text{جرم حل شونده (قند)}}{\text{جرم محلول (نوشابه)}} \times 100 = \frac{39\text{g}}{330\text{g}} \times 100 = 11/8\%$$

$$\frac{\text{جرم حل شونده (قند)}}{\text{جرم محلول (نوشابه)}} \times 100 = \frac{1.8 \text{ g}}{15.0 \text{ g}} \times 100 = 12\%$$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۰۶

۱ آ) حجم محلول (ب) شمار ذره‌ها یا مول‌های حل شونده

پ) در محلول سمت چپ: $\frac{1 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 2 \text{ mol L}^{-1}$ ، $1 \times 0.1 \text{ mol} = 0.1 \text{ mol}$

در محلول سمت راست: $\frac{0.5 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 1 \text{ mol L}^{-1}$ ، $5 \times 0.1 \text{ mol} = 0.5 \text{ mol}$

ت) شمار مول‌های حل شونده در یک لیتر محلول، غلظت مولی (مولار) نامیده می‌شود و با یکای mol L^{-1} بیان می‌شود.

ث) محلول سمت چپ با غلظت مولی 2 mol L^{-1} ، غلیظ‌تر از محلول سمت راست با غلظت مولی 1 mol L^{-1} است.

۲ آ) $\frac{\text{کاهش}}{\text{افزایش}}$ ، $\frac{\text{حلال}}{\text{حل شونده}}$

ب) $\frac{\text{کاهش}}{\text{افزایش}}$ ، $\frac{\text{حلال}}{\text{حل شونده}}$

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۰۹

۱ آ) در دمای 25°C ، انحلال پذیری سدیم نیترات برابر با 92 g است در واقع حداکثر 92 g از آن در 100 g آب حل می‌شود و در این دما 192 g محلول سیرشده سدیم نیترات پدید می‌آورد. براساس این نسبت، حداکثر 184 g سدیم نیترات در 200 g آب حل می‌شود و 384 g محلول سیرشده پدید می‌آورد.

ب) با این توصیف $184 \text{ g} - 19 \text{ g} = 165 \text{ g}$ ، سدیم نیترات جامد در ته ظرف باقی می‌ماند.

۲ آ) چون در افراد سالم نمک‌های کلسیم دار (سازنده سنگ کلیه) ته نشین نمی‌شود، پس مقدار این نمک‌ها در ادرار این افراد از انحلال پذیری آنها در 37°C کمتر و محلول سیر نشده است.

ب) ابتلا به سنگ کلیه نشان می‌دهد، نمک‌های کلسیم دار (سازنده سنگ کلیه) ته نشین می‌شود، در واقع مقدار این نمک‌ها در ادرار این افراد بیش از انحلال پذیری آنهاست.

۳ مواد محلول: شکر، سدیم نیترات و سدیم کلرید.

مواد کم محلول: کلسیم سولفات.

مواد نامحلول: کلسیم فسفات، نقره کلرید و باریم سولفات.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۱۰

۱ آ) در 85°C ، انحلال پذیری آن در حدود 23 g است و انحلال پذیری 28 g مربوط به دمای 50°C است.

ب) نقطه C، محلول سیر نشده و نقطه B محلول فراسیر شده را نشان می‌دهد. هر نقطه روی منحنی انحلال پذیری، محلول سیر شده را در آن دما نشان می‌دهد و نقاط زیر منحنی، محلول‌های سیر نشده و نقطه‌های بالای منحنی (اما نزدیک به آن) محلول فراسیر شده را نشان می‌دهند.

* توجه: اگر نقطه‌ای مانند B (بالاتر از منحنی) فاصله زیادی تا منحنی انحلال پذیری داشته باشد، محلول سیر شده همراه با ماده جامد اضافی ته‌نشین شده در ظرف را نشان می‌دهد.

پ) انحلال پذیری لیتیم سولفات در 2°C برابر با 33g و در 7°C برابر با 25g است، با این توصیف اگر 133g محلول سیر شده را از 2°C تا 7°C گرم کنیم انتظار می‌رود، $133\text{g} - 125\text{g} = 8\text{g}$ ، لیتیم سولفات جامد ته‌نشین شود.

ت) سدیم کلرید (NaCl)، زیرا نمودار ۲ نشان می‌دهد که با افزایش چشمگیر دما (از 10°C تا $^{\circ}\text{C}$)، انحلال پذیری آن به میزان کمی (۵ تا ۶ گرم) افزایش می‌یابد.

ث) نقطه A (عرض از مبدأ) نشان دهنده میزان انحلال پذیری KCl را در دمای $^{\circ}\text{C}$ نشان می‌دهد.

«پیوند با ریاضی» صفحه ۱۱۱

۱ آ) برای نوشتن معادله یک خط می‌توان با داشتن مختصات دست کم دو نقطه از آن خط مانند

$$A \begin{vmatrix} x_1 \\ y_1 \end{vmatrix} \text{ و } B \begin{vmatrix} x_2 \\ y_2 \end{vmatrix} \text{ به صورت زیر عمل کرد:}$$

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

این رابطه بر اساس $y = f(x)$ نوشته شده است، برای وابستگی دمایی انحلال پذیری، $s = f(\theta)$ می‌توان نوشت:

$$\frac{S - S_1}{\theta - \theta_1} = \frac{S_2 - S_1}{\theta_2 - \theta_1} \rightarrow \frac{S - 72}{\theta - 0} = \frac{10 - 72}{10 - 0} \rightarrow \frac{S - 72}{\theta} = \frac{10}{1}$$

$$S - 72 = 10\theta \rightarrow \theta = 10\theta + 72$$

ب)

$$S = 10\theta + 72 \xrightarrow{\theta = 7^{\circ}\text{C}} S = 10(7) + 72 = 128$$

۲

$$\frac{S - S_1}{\theta - \theta_1} = \frac{S_2 - S_1}{\theta_2 - \theta_1} \rightarrow \frac{S - 27}{\theta - 0} = \frac{33 - 27}{20 - 0} \rightarrow S = 10\theta + 27$$

۳ آ) در هر معادله خط به صورت $y = ax + b$ ، b نشان دهنده عرض از مبدأ (مقدار y به ازای $x = 0$) و a نشان دهنده شیب خط است. با این توصیف در معادله $S = 10\theta + 72$ ، ۷۲ نشان دهنده عرض از مبدأ و 10 ، نشان دهنده شیب خط است.

چون شیب خط سدیم نیترات ($^{\circ}/8$) بیشتر از شیب خط پتاسیم کلرید ($^{\circ}/3$) می‌باشد پس اثر دما بر انحلال پذیری سدیم نیترات بیشتر است.

(ب) عرض از مبدأ برای سدیم نیترات (72) از پتاسیم کلرید (27) بیشتر است. یعنی در $^{\circ}C$ ، انحلال پذیری سدیم نیترات بیشتر از پتاسیم کلرید می‌باشد. از سوی دیگر شیب خط انحلال پذیری سدیم نیترات ($^{\circ}/8$) نیز بیش از پتاسیم کلرید ($^{\circ}/3$) است. با توجه به این دو عامل، در هر دمایی، انحلال پذیری $NaNO_3$ از KCl در آب بیشتر است.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۱۳

۱ آ) HCl ، زیرا مولکول‌های آن در میدان الکتریکی جهت‌گیری کرده‌اند.

(ب) دمای جوش HCl ، حدود $103^{\circ}C$ بالاتر از F_2 است، این ویژگی نشان می‌دهد که برای غلبه بر نیروهای بین مولکولی در HCl و تبدیل آن از حالت مایع به بخار، انرژی گرمایی بیشتری نسبت به F_2 نیاز است. به دیگر سخن نیروهای بین مولکولی در میان مولکول‌های قطبی قوی‌تر از مولکول‌های ناقطبی با جرم مولی مشابه است.

$$پ) \quad \frac{\text{مشابه}}{\text{متفاوت}} , \quad \frac{\text{قطبی}}{\text{ناقطبی}}$$

۲ آ) انتظار می‌رود مولکول دو اتمی CO (برخلاف N_2) در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمایند، زیرا مولکول‌های دو اتمی که از اتصال اتم‌های گوناگون تشکیل می‌شوند، قطبی هستند.

(ب) هرچه نیروهای بین مولکولی ماده‌ای قوی‌تر باشد، آن ماده در شرایط یکسان در دمای بالاتری به جوش می‌آید به دیگر سخن اگر مواد در حالت گاز باشند، هرچه نیروهای بین مولکولی قوی‌تر باشند، آسان‌تر به مایع تبدیل می‌شوند، با این توصیف CO در شرایط یکسان، آسان‌تر به مایع تبدیل می‌شود زیرا از مولکول‌های قطبی با نیروهای بین مولکولی قوی‌تر تشکیل شده است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۱۳

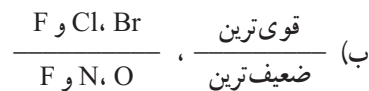
۱ آ) خیر، زیرا از مولکول‌های دو اتمی با اتم‌های یکسان تشکیل شده‌اند، چنین مولکول‌هایی ناقطبی بوده و در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کنند.

(ب) حالت فیزیکی، می‌تواند کمیتی برای مقایسه قدرت نیروهای بین مولکولی در شرایط یکسان باشد، با این توصیف نیروهای بین مولکولی در یُد قوی‌تر از برم و آن هم قوی‌تر از کلر است.

$$پ) \quad \frac{\text{افزایش}}{\text{کاهش}} , \quad \frac{\text{کاهش}}{\text{افزایش}}$$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۱۵

۱) در جدول سمت چپ، NH_3 و در جدول سمت راست HF، زیرا دمای جوش هر یک برخلاف جرم مولی کمتر آنها، غیرعادی بالاتر از دیگر مواد هم دسته است.



۲) در ساختار اتانول، اتم هیدروژن با پیوند کووالانسی به اتم اکسیژن متصل است. پس میان مولکول‌های آن، پیوندهای قوی هیدروژنی وجود دارد و باید دمای جوشی بالاتری از استون داشته باشد. در واقع دمای جوش 78°C مربوط به اتانول و 56°C مربوط به استون باشد.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۱۷

۱) شکل سمت چپ نشان می‌دهد، جرم آب و یخ یکسان بوده اما آب پس از انجماد و تبدیل شدن به یخ، با افزایش حجم همراه است، از این رو چگالی یخ کمتر از آب است به همین دلیل یخ روی آب شناور می‌ماند.

ب) آب موجود در یاخته‌های کلم، هنگام انجماد و تبدیل شدن به یخ، با افزایش حجم روبه‌رو شده و باعث پاره‌شدن دیواره یاخته‌ها می‌شود، به‌طوری که بافت گیاهی تخریب می‌شود.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۱۸

در ظرف (آ) حالت فیزیکی در سرتاسر مخلوط یکسان نیست زیرا یخ، حالت جامد و آب، حالت مایع دارد، اما ترکیب شیمیایی هر دو H_2O بوده و یکسان است. در ظرف (ب) حالت فیزیکی در سرتاسر مخلوط یکسان است زیرا آب و هگزان هر دو به حالت مایع هستند، اما ترکیب شیمیایی متفاوت است، هگزان از مولکول‌های ناقطبی اما آب از مولکول‌های قطبی تشکیل شده است.

نتیجه: اگر هر دو ویژگی حالت فیزیکی و ترکیب شیمیایی در سرتاسر مخلوط یکسان باشد، آن را محلول و اگر هر یک از آنها یا هر دو آنها یکسان نباشد آن را مخلوط ناهمگن می‌نامند.

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۲۰

۱) آب و استون، هر دو از مولکول‌های قطبی تشکیل شده‌اند، از این رو استون در آب حل می‌شود. ب) یُد و هگزان، هر دو از مولکول‌های ناقطبی تشکیل شده‌اند، از این رو یُد در هگزان حل می‌شود. پ) هگزان از مولکول‌های ناقطبی اما آب از مولکول‌های قطبی تشکیل شده است، از این رو هگزان در آب حل نمی‌شود (انحلال‌پذیری بسیار ناچیز) و یک مخلوط ناهمگن پدید می‌آید.

۲) جمله‌ای درست و کاربردی است که بیان می‌کند، حل‌شونده‌های قطبی در حلال‌های قطبی و حل‌شونده‌های ناقطبی در حلال‌های ناقطبی بهتر حل می‌شوند.

۳ آ) چون هم در مولکول آب (H_2O) و هم در مولکول اتانول (C_2H_5OH)، اتم هیدروژن با پیوند اشتراکی به اتم اکسیژن متصل است، در میان مولکول‌های آب خالص، در میان مولکول‌های اتانول خالص و همچنین میان مولکول‌های اتانول با آب در محلول، پیوندهای هیدروژنی وجود دارد.

ب) از آنجا که دمای جوش هر مایع معیاری از قدرت نیروهای بین مولکولی آن است پس پیوندهای هیدروژنی میان مولکول‌های آب با دمای جوش $100^\circ C$ قوی‌تر از اتانول با دمای جوش $78^\circ C$ است. با توجه به تشکیل محلول اتانول در آب می‌توان گفت که پیوندهای هیدروژنی جدید در محلول قوی‌تر از میانگین آب خالص و اتانول خالص است.

* توجه دو عدد 100 و 78 را در نظر بگیرید، میانگین آنها برابر است با

$$\text{میانگین} = \frac{100 + 78}{2} = 89 \rightarrow 78 < 89 < 100$$

این مثال نشان می‌دهد میانگین دو داده، از داده کوچک‌تر، بزرگ‌تر اما از داده بزرگ‌تر، کوچک‌تر است. با این توصیف پیوندهای هیدروژنی میان مولکول‌های اتانول و آب در محلول از پیوندهای هیدروژنی میان مولکول‌های آب، ضعیف‌تر و از پیوندهای هیدروژنی میان مولکول‌های اتانول قوی‌تر است. تجربه نشان می‌دهد که پیوند هیدروژنی آب – اتانول از میانگین پیوندهای هیدروژنی آب خالص و اتانول خالص قوی‌تر است. این ویژگی عامل انحلال اتانول در آب است.

$$\frac{\text{آب} - \text{آب} + \text{آب} - \text{اتانول} - \text{اتانول}}{3} = \text{آب} - \text{اتانول}$$

کاهش قدرت پیوندهای هیدروژنی میان مولکولی

پ) با انحلال اتانول در آب، ساختار مولکولی C_2H_5OH دچار تغییر، تبدیل یا تخریب نشده بلکه با همان ساختار مولکولی در میان مولکول‌های حلال (آب) فقط با تشکیل پیوندهای هیدروژنی جدید پراکنده شده است.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۲۱



۱



ب) $\square >$

۲ آ) $\square >$

«با هم بیندیشیم» صفحه ۱۲۳

۱ آ) این نمودار تأثیر فشار گاز بر میزان انحلال پذیری آن را در دمای ثابت نشان می‌دهد، به طوری که هرچه فشار گاز در دمای ثابت افزایش یابد، میزان انحلال پذیری گاز در آب بیشتر می‌شود.

ب) قانون هنری: میزان انحلال پذیری یک گاز در آب، با فشار گاز در دمای ثابت رابطه مستقیم دارد.

پ) برای گاز NO شیب نمودار تندتر است، در واقع با افزایش فشار گاز NO در دمای ثابت، افزایش

انحلال پذیری محسوس تر است زیرا NO برخلاف N_2 و O_2 از مولکول های قطبی تشکیل شده است. (۲) آ این نمودار تأثیر دما را بر میزان انحلال پذیری گازها در فشار ثابت (۱ atm) نشان می دهد، به طوری که با افزایش دما از انحلال پذیری گازها در آب کاسته می شود.

(ب) $25^{\circ}C$

(پ) افزایش می یابد به طوری که انحلال پذیری N_2 در $40^{\circ}C$ حدود ۱ mg و در $20^{\circ}C$ حدود ۳ mg است.

(۲) آ انتظار می رود NO با مولکول های قطبی، انحلال پذیری بیشتری از CO_2 با مولکول های ناقطبی داشته باشد، زیرا آب از مولکول های قطبی تشکیل شده و مواد با مولکول های قطبی را بهتر و بیشتر در خود حل می کند.

(ب) نکته مهم این است که انحلال NO در آب مولکولی است، در حالی که مولکول های CO_2 در آب با انجام واکنش شیمیایی و تولید محلول اسیدی ($pH < 7$) حل می شوند. انجام واکنش شیمیایی باعث می شود که انحلال پذیری CO_2 در آب و شرایط یکسان بیش از NO باشد.

«با هم ببیندیشیم» صفحه ۱۲۵

(۱) آ $KOH(aq)$ ، زیرا روشنایی بیشتری در لامپ مدار ایجاد شده است.

(ب) $HF(aq)$ ، زیرا روشنایی اندکی در لامپ مدار ایجاد شده است.

(پ) $C_2H_5OH(aq)$ ، زیرا روشنایی در لامپ مدار ایجاد نشده است.

(ت) KOH ، الکترولیت قوی، HF الکترولیت ضعیف و C_2H_5OH غیر الکترولیت است.

«با هم ببیندیشیم» صفحه ۱۲۹

(۱) آ با گذشت زمان تنها مولکول های آب با عبور از غشای نیمه تراوا از آب خالص به سوی آب دریا مهاجرت می کنند (پدیده اسمز)

(ب) خیر، با این روش آب خالص مصرف شده و آب دریا رقیق تر می شود در واقع با این روش نمی توان آب دریا را نمک زدایی کرد.

(پ) وارد کردن نیرو به پیستون مانع از مهاجرت خود به خود مولکول های آب از آب خالص به آب دریا (محلول) می شود. به طوری که اگر نیروی وارد شده به پیستون به یک حد معینی برسد، مهاجرت مولکول های آب از آب خالص به سوی محلول متوقف می شود.

(ت) اگر نیروی وارد بر پیستون از یک حد معین فراتر رود مولکول های H_2O از محلول (آب دریا) به سوی آب خالص مهاجرت می کنند، پدیده ای که خلاف جهت روند طبیعی رخ می دهد، از این رو به آن، اسمز معکوس می گویند.

(ث) آب دریا (شور) از یک سو وارد دستگاه شده، سپس با وارد نمودن نیروی بیش از حد نیاز، مولکول های H_2O با عبور از غشای نیمه تراوا به سوی آب شیرین مهاجرت کرده و محلول غلیظ تر از سوی دیگر خارج می شود. در واقع با اسمز معکوس می توان از آب دریا نمک زدایی و آن را شیرین کرد.

«خود را بیازمایید» صفحه ۱۳۰

- ۱ آ) نافلزها، آلاینده‌ها، حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها همچنین فلزهای سمی.
 ب) همه آلاینده‌ها به جز میکروب‌ها جدا می‌شوند.
 پ) همه آلاینده‌ها به جز میکروب‌ها جدا می‌شوند.
 ت) اسمز معکوس و استفاده از صافی کربن.
 ث) زیرا میکروب‌های موجود در آب جدا شده تنها با کلر که خاصیت گندزدایی دارد از بین می‌روند.
 ۲ آ) روش تقطیر.

ب) با تابش نور خورشید و تأمین انرژی گرمایی تنها مولکول‌های آب از آب دریا تبخیر می‌شوند، این مولکول‌ها با برخورد به دیواره ظرف به آسانی مایع شده و با جریان یافتن روی سطح دیواره در ظرف دیگری جمع و جدا می‌شوند. آب حاصل که فاقد مواد حل‌شونده گوناگون است، آب شیرین می‌باشد.

«تمرین‌های دوره‌ای» صفحه ۱۳۲

شماره محلول	۱	۲	۳	۴	۵	۶
غلظت مولی (mol L^{-1})	$3/2$	$4/8$	$1/6$	$1/6$	$1/6$	$3/2$

- آ) ۲، زیرا غلظت مولی آن بیشتر است.
 ب) محلول‌های ۱ و ۶ و محلول ۳ و ۴ و ۵.
 پ) از مخلوط کردن محلول ۱ و ۳، حجم حاصل 100 mL و مجموع مول‌های حل‌شونده 0.24 mol .

$$\text{خواهد شد از این رو: } \frac{0.24 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 2.4 \text{ mol L}^{-1} = \text{غلظت مولی محلول جدید}$$

- ت) با افزودن 110 mL آب به محلول شماره ۴، حجم محلول حاصل 160 mL اما شمار مول‌های حل‌شونده ثابت و همان 0.08 mol است پس:

$$\text{غلظت مولی محلول جدید} = \frac{0.08 \text{ mol}}{0.16 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol L}^{-1}$$

- ث) حجم محلول همان 25 mL اما شمار مول‌های حل‌شونده به 0.06 mol می‌رسد پس:

$$\text{غلظت مولی محلول جدید} = \frac{0.06 \text{ mol}}{0.25 \text{ L}} = 0.24 \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{جرم محلول (آب)} = 9 \times 10^3 \text{ g} = 9 \text{ kg}$$

$$\text{جرم اکسیژن} = 6/75 \times 10^{-3} \text{ g} = 6/75 \text{ mg}$$

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 = \frac{67/5 \times 10^{-3} \text{ g}}{9 \times 10^3 \text{ g}} \times 10^6 = 7/5 \text{ ppm}$$

چون اکسیژن محلول بیش از ۵ppm است پس برای اغلب ماهی‌ها مناسب است.
* برای آسانی کار می‌توان ppm را نسبت میلی گرم حل‌شونده به کیلوگرم محلول در نظر گرفت

$$\left(\frac{67}{5} = 13.4\right) \rightarrow \frac{67}{5} = 13.4$$

۲ m^۳ آب استخر هم ارز با ۷۰۰۰۰۰ L یا ۷۰۰۰۰۰ kg است.

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 \rightarrow 1 = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{70000000 \text{ g}} \times 10^6$$

* در واقع برای ضد عفونی کردن آب این استخر به ۷۰۰ g کلر به صورت محلول نیاز است با این توصیف برای تأمین آن به ۱۰۰ kg محلول ۰/۷ درصد جرمی نیاز است زیرا:

$$\text{درصد جرمی محلول} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100 \rightarrow 0.7 = \frac{700 \text{ g}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

$$\text{جرم محلول} = 100000 \text{ g} = 100 \text{ kg}$$

۴ هرچه گشتاور دو قطبی مولکول‌های سازنده ماده‌ای بزرگ‌تر باشد، مولکول‌های آن قطبی‌تر و با جرم مولی مشابه، نیروهای بین مولکولی آن قوی‌تر و دمای جوش بالاتری دارند.
آ) C، زیرا مولکول‌های آن قطبی‌تر است.

ب) C > B > A

پ) A زیرا میزان قطبی بودن مولکول‌های آن کم بوده و می‌توان گفت ناقطبی‌اند پس در حلال ناقطبی مانند هگزان به میزان بیشتری حل می‌شود.

۵ آ) در آب آشامیدنی، ۱/۴ و در آب دریا، ۱/۱ است.

ب) با افزایش دما از میزان انحلال پذیری O_۲، هم در آب آشامیدنی و هم در آب دریا کاسته می‌شود.
پ) بله، نمک‌ها ترکیب‌های یونی هستند که هنگام انحلال در آب، یون‌ها جاذبه‌های قوی یون-دوقطبی با مولکول‌های تشکیل می‌دهند، از این رو اغلب آنها به خوبی در آب حل می‌شوند اما O_۲ از مولکول‌های ناقطبی تشکیل شده که با جاذبه‌های ضعیف و اندروانس در آب حل می‌شوند. حال اگر در یک نمونه آب، حل‌شونده‌های یونی به میزان زیادی حل شده باشند مولکول‌های آب تمایل کمتری برای انحلال مواد دیگر و نیز گازها دارد.

* افزودن نمک خوراکی به بطری محتوی نوشابه و خروج سریع و شدید گاز از آن، نشان می‌دهد که آب تمایل بیشتری به انحلال NaCl دارد تا به انحلال گازهایی مانند O_۲ و CO_۲.

۶ آ) برخی مواد مانند شکر، انحلال‌پذیری معینی در آب با دمای ۲۵°C دارند یعنی با افزودن حل‌شونده بیشتر، انحلال تا پدید آمدن محلول سیر شده پیش می‌رود. به طوری که در هر ۱۰۰ g آب ۲۵°C، حداکثر ۲۰۵ g شکر حل شده و ۳۰۵ g محلول سیر شده پدید می‌آید و مطابق شکل ۹۵ g شکر در ته ظرف باقی می‌ماند.

ب) برخی مواد مانند روغن (ترکیب‌های ناقطبی) در آب نامحلول هستند یعنی به میزان بسیار ناچیز در آب حل می‌شوند و با افزودن بیشتر آنها انحلال پذیری تغییری نمی‌کند.

پ) برخی مواد مانند اتانول، به هر نسبتی در آب حل می‌شوند و هیچ‌گاه نمی‌توان از آنها محلول سیرشده تهیه کرد در واقع با افزایش بیشتر اتانول به آب به محلول‌هایی دست می‌یابیم که در آنها اتانول حلال و آب حل‌شونده خواهد بود.

۷ آ) کلسیم سولفات، ترکیب یونی جامد است که به‌عنوان گچ طبی به کار می‌رود درحالی‌که آمونیوم نترات یکی از کودهای شیمیایی محلول در آب است که برای رشد گیاهان مصرف می‌شود.
ب) انحلال‌پذیری جرم حل‌شونده را در 100 g آب با دمای معینی نشان می‌دهد پس جرم محلول سیرشده کلسیم سولفات و آمونیوم نترات به ترتیب $100/2\text{ g}$ و $165/5\text{ g}$ است از این رو:

$$\text{درصد جرمی محلول سیرشده کلسیم سولفات} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول سیرشده}} \times 100 = \frac{2\text{ g}}{100/2\text{ g}} \times 100 = 2\%$$

$$\text{درصد جرم محلول سیرشده آمونیوم نترات} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول سیرشده}} \times 100 = \frac{65/5\text{ g}}{165/5\text{ g}} \times 100 = 39/5\%$$

۸ 4×10^{12} لیتر آب دریا هم ارز با $4 \times 10^{12}\text{ kg}$ از آن است.

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6 = \frac{1\text{ g}}{4 \times 10^{12}\text{ g}} \times 10^6 = 2/5 \times 10^{-8}$$

این مقدار، حساسیت بسیار بالای حس بویایی کوسه را نشان می‌دهد. زیرا ppm غلظتی است که برای محلول‌های رقیق و بسیار رقیق به کار می‌رود، اما این مقدار کسر بسیار کوچکی از ppm است.
* روش آسان‌تر، نسبت میلی‌گرم‌های حل‌شونده به کیلوگرم محلول است.

$$\text{(به‌طوری‌که: } 2/5 \times 10^{-8} = \frac{100\text{ mg}}{4 \times 10^9\text{ kg}} \text{)}$$

- 1 Reger, D.L.; Goode, S. R.; Ball, D.W., Chemistry, Brooks/Cole, 2010.
- 2 Tro N., Chemistry in Focus, Brooks/Cole, 2009.
- 3 Eubanks, L. P.; Middlecamp, C. H.; Heltzel, C. H.; Keller, S. W., Chemistry in Context, ACS, 2009.
- 4 Angelica M. Stacy, Living by Chemistry, 2010.
- 5 John S. phillips, & *etal.* Glencoe Science Chemistry Concepts and applications, Mc Grow - Hill, 2009.
- 6 Kotz, John C.; Treichel, Paul M.; Weaver, Gabriela C., Chemistry & Chemical Reactivity, Thomson - Brooks/Cole, 2006.
- 7 Ebbing, Darrell D.; Gammon, Steven D., General Chemistry, Brooks/Cole, 2009.
- 8 Tro, Nivaldo J., Principles of Chemistry, A Molecular Approach, Pearson, 2010.
- 9 Chang, R.; Overby, J., General Chemistry, The Essential Concepts, MC Graw Hill, 2008.
- 10 Russo, S.; Silver, M., Introductory Chemistry, Prentice Hall, 2011.



معلمان محترم و صاحب نظران گرامی می توانند نظر اصلاحی خود را در باره ی مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۸۷۴- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار (Email)
talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر تالیف کتاب های درسی عمومی و متوسطه نظری

