

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شیمی (۳) و

آزمایشگاه

برهم کنش میان مواد

سال سوم دبیرستان

رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

نام کتاب : شیمی (۳) و آزمایشگاه - ۲۵۷/۱

مؤلفان : احمد روح الهی، سیف‌الله جلیلی، دوست محمد سمیعی و نعمت‌الله ارشدی

بازنگری و اصلاح : عابد بدریان، غلامعباس پارسافر، سیف‌الله جلیلی، حسن حذرخانی و علیرضا عابدین

دبیران شیمی همکار و مشاور : راضیه بنکدارسخی، مهدیه سالارکیا، معصومه شاه‌محمدی اردبیلی، فرشاد صیرفی‌زاده،

منصور مختاری و فیروزه منتظری

ویراستار علمی : حسن حذرخانی

ویراستار ادبی : سید علی اکبر میرجعفری

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱ ، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت : www.chap.sch.ir

مدیر امور فنی و چاپ : سیداحمد حسینی

طراح جلد : مریم کیوان

رسام : فاطمه رئیسیان فیروزآباد، مریم دهقان‌زاده

صفحه‌آرا : زهره بهشتی شیرازی

حروفچین : فاطمه باقری‌مهر

مصحح : رعنا فرج‌زاده‌دروئی، زهرا رشیدی‌مقدم

امور آماده‌سازی خبر : اعظم هاشمی

امور فنی رایانه‌ای : حمید ثابت کلاچاهی، پیمان حبیب‌پور

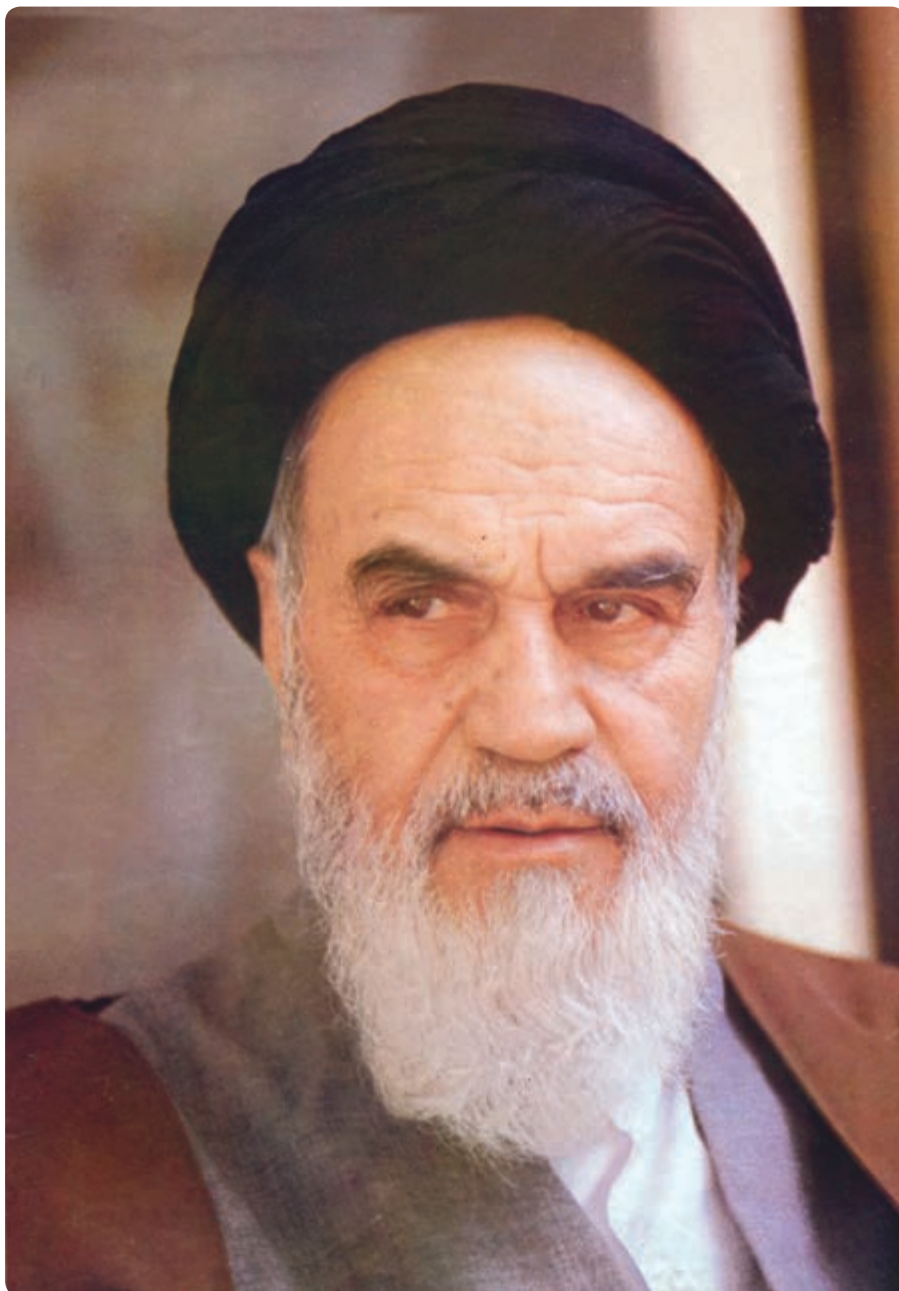
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن : ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ دوازدهم ۱۳۹۳

حق چاپ محفوظ است.



من در اینجا به جوانان عزیز کشورمان، به این سرمایه‌ها و ذخیره‌های عظیم الهی و به این گل‌های معطر و نوشکفته جهان اسلام سفارش می‌کنم که قدر و قیمت لحظات شیرین زندگی خود را بدانید و خودتان را برای یک مبارزه علمی و عملی بزرگ تا رسیدن به اهداف عالی انقلاب اسلامی آماده کنید.

امام خمینی (رحمة الله علیه)

معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطالب

این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۵۵/۳۶۳ - گروه دسی مربوط و یا پیام نگار (Email)

talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفترتالیف کتاب های دسی ابتدائی و متوسطه نظری

فهرست

بخش ۱

۱



واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری

بخش ۲

۳۹



ترمودینامیک شیمیایی

بخش ۳

۷۳



محلول‌ها

سخنی با شما دانش آموز عزیز

کتابی که پیش روی شماست مجموعه‌ای شامل سه بخش مهم از دانش شیمی است. بخش‌هایی که **اصل بر هم کنش میان مواد**، وجه مشترک مفاهیم بیان شده در آنهاست. در تألیف این کتاب تلاش شده است تا از طریق ارائه فعالیت‌های ذهنی و عملی متعدد و بیان برخی مطالب جذاب و انگیزاننده، زمینه برای درک عمیق مفاهیم ارائه شده در هر بخش فراهم آید. اگرچه مفاهیم موجود در این کتاب کم‌شمار است، ولی مشارکت فعال شما در فعالیت‌های فردی یا گروهی درون یا برون کلاس و ارائه دستاوردهای آنها در کلاس می‌تواند محتوای کتاب را هرچه بیشتر پربار کند. درواقع انتظار می‌رود که طی سال تحصیلی شما از طریق همکاری با همکلاسی‌ها و معلم گرانقدرتان افزون بر محتوای موجود در کتاب، محتوایی فراگیرتر و کامل‌تر تولید کنید و به این ترتیب با مشارکت فعال در فرایند یاددهی-یادگیری در کنار فراگیری دانش لازم در این سطح، بار دیگر تلاش کنید تا به جای یادگیری تعداد اندکی مفاهیم علمی از پیش تعریف شده، آموختن روش یادگیری را سرلوحه کار خود قرار دهید. امید است چنین کنید.

در ضمن یادآور می‌شود که تدریس و یادگیری همه مطالب ارائه شده در کتاب **الزامی** است ولی به معلمان محترم توصیه شده است از بخش‌های **بیشتر بدانید و آزمایش کنید فقط** در ارزشیابی‌های درون کلاسی (ارزشیابی مستمر) پرسش طرح کنند. علاوه بر این، **حفظ کردن کامل معادله‌های شیمیایی و اطلاعات داده شده در متن خود را بیازمایید، نمونه حل شده و فکر کنید، جزء هدف‌های این کتاب نیست و نباید در ارزشیابی پایانی و کنکور بیاید.** همچنین استفاده از ماشین حساب ساده و جدول تناوبی عنصرها در امتحان‌های پایانی این درس مانعی ندارد.

گروه شیمی دفتر تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

از اظهار نظر شما عزیزان پیرامون ساختار و محتوای این کتاب به گرمی استقبال می‌کند و در پایگاه اینترنتی خود به آدرس chemistry-dept.talif.sch.ir چشم‌انتظار آنها می‌ماند.

واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری



گندم مانند همه گیاهان برای رشد به منابع معدنی نیز نیاز دارد. افزودن منابع معدنی به صورت کودهای شیمیایی، سبب افزایش مقدار و کیفیت محصول می‌شود.



در برخی از کشورها، آمونیاک مایع را به عنوان کود شیمیایی، به طور مستقیم به خاک تزریق می‌کنند.

LED مخفف شده عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود نشردهنده نور است.

اگر با دقت به اطراف خود بنگریم، درمی‌یابیم که شیمی هر لحظه و هر جا در اطراف ما جریان دارد. شیمی کانون تمام تلاش‌هایی است که منجر به تولید مواد جدید از جمله داروهای ضد سرطان، سوخت‌های دوستدار محیط زیست، مواد هوشمند و انواع لوازم الکترونیکی (مانند LED و تلفن‌های همراه)، سفینه‌های فضایی و ... می‌شود. پیشرفت و گسترش شیمی می‌تواند سبب رشد و شکوفایی علوم دیگر مانند اقتصاد، پزشکی، کشاورزی، نظامی، زیست محیطی و ... شود.

در هزاره سوم میلادی یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش روی کشورهای جهان، تأمین غذاست.

گندم مهم‌ترین ماده غذایی است که اغلب کشورها تلاش می‌کنند تا در تولید آن به خود کفایی برسند. از این رو، کشاورزان برای تولید گندم بیشتر و مرغوب‌تر، سالانه از مقدار زیادی کود شیمیایی و انواع آفت کش استفاده می‌کنند.

حال این پرسش‌ها مطرح می‌شوند:

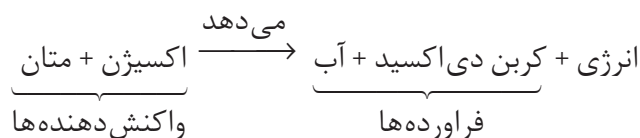
چگونه فرمول شیمیایی یک آفت کش و یک کود شیمیایی به دست می‌آید؟ برای تولید مقدار زیادی از یک آفت کش در کارخانه (مقیاس صنعتی)، چه مقدار از مواد اولیه باید با هم واکنش بدهند؟ به ازای هر هکتار از زمین کشاورزی به چند کیلوگرم کود شیمیایی نیاز است؟ یادگیری واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری به شما کمک می‌کند تا پاسخ این پرسش‌ها و پرسش‌های دیگری که ذهن شما را مشغول کرده است، پیدا کنید.

در کشور ما نیز برای رسیدن به خودکفایی در تولید گندم، برنامه‌های مناسبی اجرا می‌شود. در سال ۱۳۹۰، کشاورزان ایرانی تقریباً ۱۴ میلیون تن گندم تولید کردند.

واکنش شیمیایی و شیوه‌های نمایش آن

در سال‌های پیش با تغییرهای فیزیکی و شیمیایی و ویژگی‌های آنها آشنا شدید. برای نمونه ذوب شدن، تبخیر و میعان را از جمله تغییرهای فیزیکی و زنگ زدن آهن، سوختن کاغذ، ترش شدن شیر، هضم غذا و تنفس را از جمله تغییرهای شیمیایی دسته‌بندی کردید. همچنین واکنش شیمیایی را توصیفی برای یک تغییر شیمیایی دانستید و آن را فرایندی تعریف کردید که طی آن یک یا چند ماده شیمیایی (عنصر/ ترکیب) بر هم تأثیر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای تولید می‌کنند. در ضمن آموختید که واکنش‌های شیمیایی با مبادله انرژی نیز همراه‌اند.

واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید. این واکنش به تولید کربن دی‌اکسید، آب و آزاد کردن مقدار قابل توجهی انرژی می‌انجامد. این واکنش شیمیایی را می‌توان با یک معادله نوشتاری به صورت زیر توصیف کرد:



این معادله نام واکنش دهنده‌ها (سمت چپ) و فراورده‌های (سمت راست) واکنش را مشخص می‌کند و اطلاعات بیشتری در اختیار نمی‌گذارد.

اگر برای نوشتن معادله یک واکنش از نمادها و فرمول‌های شیمیایی مواد شرکت کننده استفاده شود، در این صورت معادله‌ای به دست می‌آید که به آن معادله نمادی می‌گویند. در این معادله حالت فیزیکی هر ماده شرکت کننده نیز باید مشخص شود.



یک معادله نمادی چه اطلاعاتی در اختیار ما می‌گذارد؟



با مخلوط کردن این دو محلول رسوب زرد رنگی (سرب (II) کرومات) ایجاد می‌شود. تشکیل این رسوب رنگی از وقوع یک واکنش شیمیایی خبر می‌دهد.

نمادهای به کار رفته برای نمایش حالت فیزیکی مواد در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
(s)	جامد
(l)	مایع
(g)	گاز
(aq)	محلول آبی

خود را بیازمایید

نام	فرمول شیمیایی
سیانید	CN^-
نیتрат	NO_3^-
فسفات	PO_4^{3-}
کلرات	ClO_3^-
پرمنگنات	MnO_4^-
منگنات	MnO_4^{2-}

در هر مورد معادله نمادی واکنش معرفی شده را بنویسید.

(آ) محلول سدیم نیترات + رسوب نقره سیانید → محلول نقره نیترات + محلول سدیم سیانید

(ب) محلول پتاسیم نیترات + رسوب کلسیم فسفات → محلول کلسیم نیترات + محلول پتاسیم فسفات

(پ) گاز اکسیژن + منگنز (IV) اکسید جامد + پتاسیم منگنات جامد → پتاسیم پرمنگنات جامد

(ت) از واکنش گاز هیدروژن با گاز کلر، گاز هیدروژن کلرید تولید می شود.

(ث) فلز آلومینیم و گرد آهن (III) اکسید با یک دیگر واکنش می دهند و نمک جامد

آلومینیم اکسید و آهن مذاب تولید می کنند.

(ج) پتاسیم کلرات جامد در اثر گرما به پتاسیم کلرید جامد و گاز اکسیژن تجزیه

می شود.

موازنه کردن معادله یک واکنش شیمیایی

می دانید که در واکنش های شیمیایی نه اتمی به وجود می آید و نه اتمی از بین

می رود؛ بلکه پس از انجام واکنش همان اتم ها به شیوه های دیگری به هم متصل می شوند.

بنابراین می توان نتیجه گرفت که همه واکنش های شیمیایی از قانون پایستگی ماده یا قانون

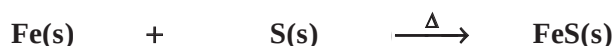
پایستگی جرم پیروی می کنند.

فکر کنید

۱- به شکل های زیر با دقت نگاه کنید و درباره قانون پایستگی جرم در واکنش های

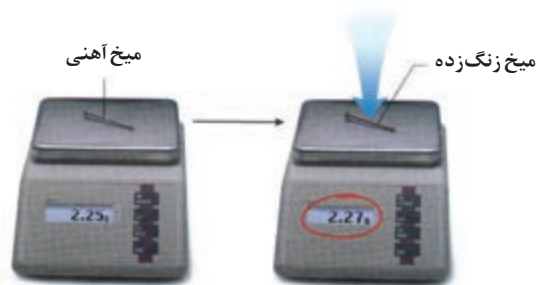
شیمیایی در کلاس به گفت و گو بپردازید.

(آ) فلز آهن با گوگرد واکنش می دهد و به آهن (II) سولفید تبدیل می شود.



یک معادله شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی و حالت فیزیکی واکنش دهنده ها و فراورده ها اطلاعاتی درباره شرایط لازم برای انجام واکنش نیز در اختیار می گذارد. در حالی که اطلاعاتی مانند چگونگی و ترتیب مخلوط کردن واکنش دهنده ها و نکته های ایمنی را دربر ندارد. برای دستیابی به این موارد باید به شرح عملی اجرای آن واکنش شیمیایی مراجعه کرد. شرح عملی بسیاری از واکنش های شیمیایی در منابع علمی معتبر یافت می شود.

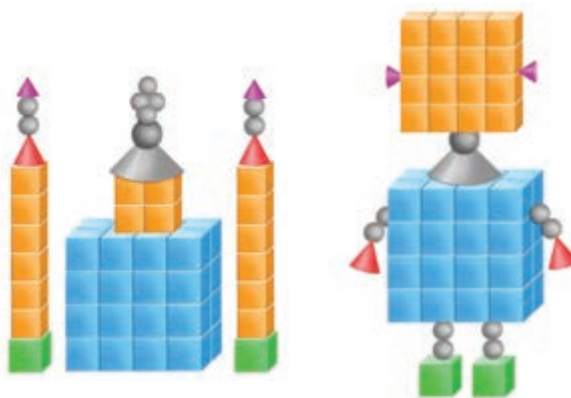
ب) میخ آهنی در مجاورت هوای مرطوب به آرامی زنگ می‌زند.



معنای برخی عبارت‌ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی

نماد	معنا
→	تولید می‌کند یا می‌دهد
$\xrightarrow{\Delta}$	واکنش دهنده‌ها بر اثر گرم شدن واکنش می‌دهند.
$\xrightarrow{2.0\text{ atm}}$	واکنش در فشار ۲.۰ اتمسفر انجام می‌شود.
$\xrightarrow{120.0^\circ\text{C}}$	واکنش در دمای ۱۲۰.۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود.
$\xrightarrow{\text{Pd}}$	برای انجام شدن واکنش از پالادیم (Pd) به عنوان یک کاتالیزگر استفاده می‌شود.

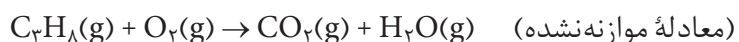
۲- دو دانش‌آموز با استفاده از قطعه‌های پلاستیکی، دو دست سازه به شکل‌های زیر درست کرده‌اند. دربارهٔ جرم این دو دست سازه در کلاس گفت‌وگو کنید و شرط برابری جرم آنها را بنویسید.



(همان‌طور که مشاهده کردید، در صورت برابری تعداد قطعه‌های هر رنگ در دو دست سازه، جرم آن دو، برابر خواهد شد.) به همین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که برای رسیدن به یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده، باید تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله یکسان باشد. برای این منظور، به هریک از واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها ضریبی نسبت می‌دهند.

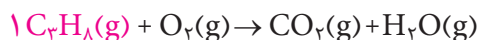
براساس یکی از ساده‌ترین روش‌های موازنه (روش وارسی) معمولاً به ترکیبی که دارای بیشترین تعداد اتم است، ضریب ۱ می‌دهند سپس با توجه به تعداد اتم‌های این ترکیب، ضرایبی را به مواد دیگر می‌دهند تا تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله برابر شود.

برای نمونه، معادلهٔ نمادی سوختن کامل پروپان به صورت زیر است:



برای موازنه معادله‌های شیمیایی، روش‌های گوناگونی وجود دارد.

برای موازنه به C_3H_8 ضریب ۱ بدهید.



اینک تعداد اتم‌های کربن و هیدروژن در سمت چپ مشخص شده است. حال اگر به H_2O ضریب ۴ و به CO_2 ضریب ۳ بدهید، تعداد اتم‌های C و H در دو طرف برابر می‌شود.



در پایان چون تعداد اتم‌های اکسیژن در سمت راست تعیین شده و برابر با ۱۰ اتم است، اگر به اکسیژن در سمت چپ، ضریب ۵ بدهید، تعداد اتم‌های همهٔ عناصرها در دو سوی معادله برابر می‌شوند.



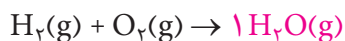
در معادله‌های شیمیایی موازنه شده، ضریب ۱ نوشته نمی‌شود.

همان‌طور که مشاهده کردید، هنگام موازنه کردن یک معادلهٔ شیمیایی، نباید زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر داد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که هریک از ضریب‌های به کار رفته در معادلهٔ موازنه شده، باید کوچک‌ترین عدد صحیح (غیر کسری) ممکن باشند.

برای نمونه، به روش موازنهٔ معادلهٔ سوختن گاز هیدروژن دقت کنید.

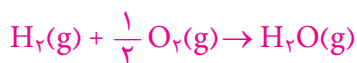


در اینجا برای موازنه، به H_2O ضریب ۱ می‌دهیم.



حال تعداد اتم‌های H و O در سمت راست معادله مشخص شده است. اگر به H_2

ضریب ۱ و به O_2 ضریب $\frac{1}{2}$ بدهیم، تعداد اتم‌های هر دو عنصر در دو سوی معادله برابر می‌شود.

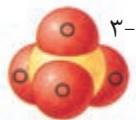


در پایان، برای از بین بردن ضریب کسری اکسیژن، همهٔ ضریب‌ها را در عدد ۲ ضرب می‌کنیم، در نتیجه:



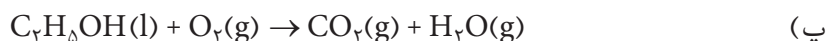
یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده به دو صورت خوانده می‌شود. برای نمونه:
۱- دو مول گاز هیدروژن با یک مول گاز اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مول بخار آب تولید می‌کند.
۲- دو مولکول هیدروژن با یک مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مولکول آب تولید می‌کند.

در یک معادلهٔ شیمیایی، تعداد یون‌های چنداتی مانند PO_4^{3-} ، NO_3^- و ... را به صورت یک گونهٔ شیمیایی جدا در دو سوی معادله شمارش و موازنه کنید.



خود را بیازمایید

معادلهٔ واکنش‌های زیر را موازنه کنید.



انواع واکنش‌های شیمیایی

تاکنون واکنش‌های شیمیایی بسیاری شناخته شده است که مطالعه همه آنها غیرممکن به نظر می‌رسد. به علت شباهتی که میان بسیاری از واکنش‌های شیمیایی، مشاهده می‌شود، می‌توان آنها را در دسته‌های کوچک‌تری طبقه‌بندی کرد و به این ترتیب مطالعه آنها را ممکن ساخت. دسته‌بندی پنجگانه زیر رایج‌ترین شیوه طبقه‌بندی واکنش‌های شیمیایی است، شکل ۱.



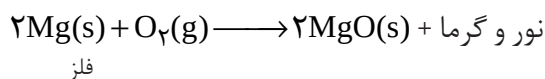
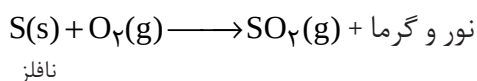
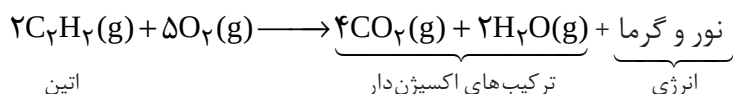
شکل ۱ دسته‌بندی پنجگانه واکنش‌های شیمیایی

توجه داشته باشید که برخی واکنش‌ها را نمی‌توان تنها به یکی از این دسته‌ها متعلق دانست، زیرا ممکن است ویژگی‌های بیش از یک دسته را داشته باشد.

واکنش سوختن: می‌دانید که سوختن به واکنشی می‌گویند که در آن یک ماده مثلاً یک ترکیب آلی مانند گاز اتین (استیلن)، یک نافلز مانند گوگرد یا یک فلز واکنش‌پذیر مانند منیزیم به سرعت و شدت با اکسیژن ترکیب می‌شود و افزون بر آزاد کردن مقدار زیادی انرژی به صورت نور و گرما، اغلب ترکیب‌های اکسیژن‌دار را به وجود می‌آورد.

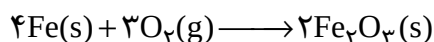


واکنش سوختن نوار منیزیم با آزاد شدن نور و گرمای زیادی همراه است. گفتنی است که Mg به آرامی و بدون شعله نیز با اکسیژن هوا واکنش می‌دهد. در این واکنش نیز MgO سفیدرنگ تولید می‌شود. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش اکسایش می‌گویند. (تشکیل آرام لایه ترد و سفیدرنگ روی سطح براق نوار منیزیم شاهدهی بر این مدعاست.)



همچنین می‌دانید که واکنش همه مواد با اکسیژن به شدت و سرعت سوختن نیست.

چنین واکنش‌هایی را **اکسایش** می‌گویند. زنگ زدن آهن، نوعی واکنش اکسایش است.



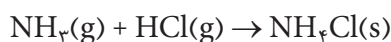
در سال آینده با این دسته از واکنش‌ها بیشتر آشنا خواهید شد.

اطلاعات جمع آوری کنید

هنگامی که فلزهای قلیایی برای مدتی در معرض هوا قرار بگیرند، مخلوط پیچیده‌ای از ترکیب‌های شیمیایی روی سطح آنها تشکیل می‌شود. درباره نام و ویژگی‌های اجزای این مخلوط و چگونگی تشکیل آنها تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

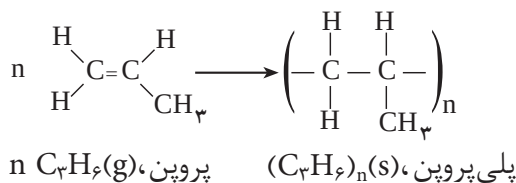


شکل ۲ بر اثر واکنش بخار NH_3 و بخار HCl گرد سفید رنگ NH_4Cl تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیب است.



واکنش سنتز یا ترکیب
واکنشی است که در آن چند ماده بر هم اثر کرده، فرآورده(ها)ی تازه‌ای با ساختار پیچیده‌تر تولید می‌کنند. در زیر یک نمونه از این واکنش‌ها را مشاهده می‌کنید، شکل ۲.

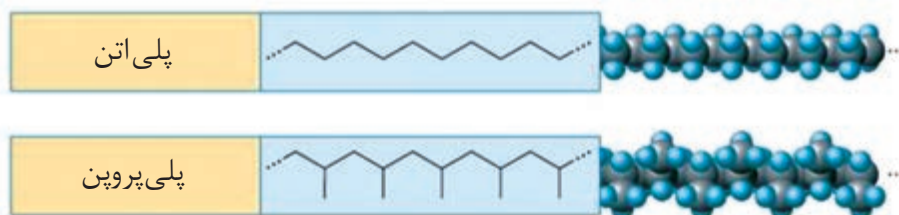
واکنش بسپارش (پلیمرشدن) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب شده، درشت مولکول‌هایی به نام بسپار (پلیمر) تولید می‌شود. تولید پلی‌تن (پلی اتیلن)، پلی پروپن و پلی تترافلوئوراتن (تفلون) از جمله مهم‌ترین واکنش‌های بسپارش (پلیمرشدن) در صنعت است.



به ساختار پلی اتن و پلی پروپن توجه کنید.

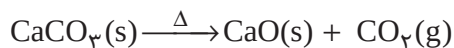


از پلی پروپن برای تولید ریسمان استفاده می‌شود.

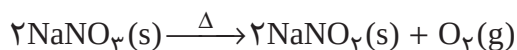
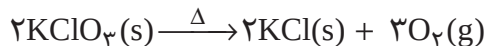


واکنش تجزیه

به واکنشی تجزیه می‌گویند که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود. تجزیه کربنات‌ها در اثر گرما نمونه‌ای از این واکنش‌هاست. در این واکنش گاز کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود.



ترکیب‌هایی مانند نیترات‌ها و کلرات‌ها نیز در اثر گرما تجزیه می‌شوند. گاز اکسیژن فراورده مهم این دسته از واکنش‌هاست.



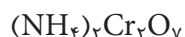
آزمایش کنید

هدف: تجزیه آمونیوم دی کرومات

وسایل مورد نیاز: بشر، لوله آزمایش، هم‌زن شیشه‌ای، شیشه ساعت، توری نسوز

و کبریت

مواد مورد نیاز: آمونیوم دی کرومات، جامدی بلوری و نارنجی‌رنگ به فرمول

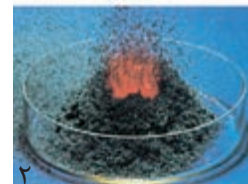
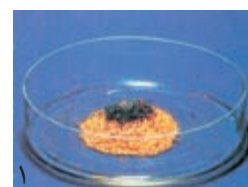


روش کار:

۵g آمونیوم دی کرومات را روی توری نسوز یا درون یک تشتک شیشه‌ای بریزید. سپس توری را روی یک کاغذ A۴ قرار دهید. برای شروع واکنش، کبریت را روشن کنید و به مدت چند ثانیه به طور مستقیم روی آمونیوم دی کرومات بگیرید. به محض شروع واکنش، شعله کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام دهید.

(۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵۰ mL را به طور وارونه چند سانتی‌متر بالاتر از مخلوط آزمایش نگه دارید. چه مشاهده می‌کنید؟ چه نتیجه‌ای از این مشاهده می‌گیرید؟

(۲) بعد از پایان واکنش، جامد باقی‌مانده را وزن کنید و اختلاف جرم ماده اولیه و فراورده را حساب کنید. علت این اختلاف را توضیح دهید.



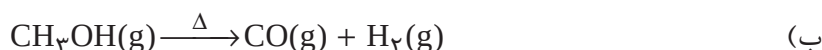
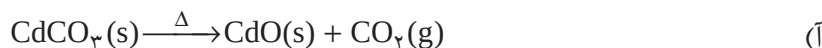
واکنش تجزیه آمونیوم دی کرومات

(۳) به کمک معلم خود، معادله واکنش تجزیه آمونیوم دی کرومات را نوشته، موازنه کنید.

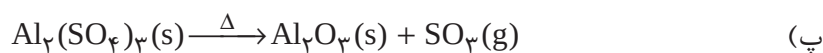
(۴) ویژگی‌های ظاهری و انحلال‌پذیری واکنش‌دهنده و فراورده جامد را در آب مقایسه کنید. برای این کار مقداری از واکنش‌دهنده یا فراورده را در یک لوله آزمایش بریزید و سپس روی آن کمی آب مقطر اضافه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

خود را بیازمایید

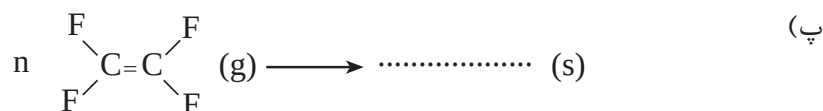
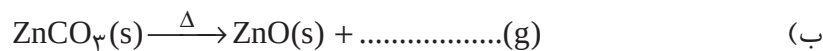
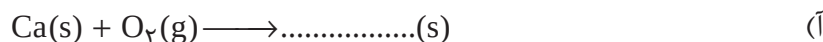
۱- در هر مورد معادله واکنش داده شده را موازنه کنید.



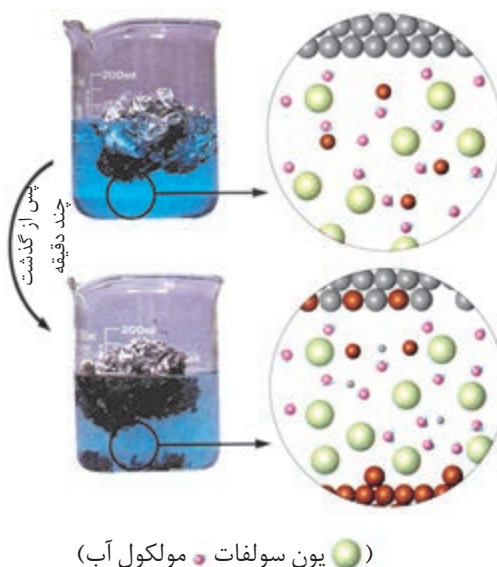
واکنش‌های جابه‌جایی را جانشینی یا جایگزینی نیز می‌نامند.



۲- در هر مورد، معادله واکنش داده شده را کامل و موازنه کنید.



واکنش جابه جایی یگانه: هنگامی که یک قطعه ورقه آلومینیمی درون محلولی از مس (II) سولفات قرار می گیرد، تشکیل فلز سرخ فام مس بر سطح ورقه آلومینیمی به خوبی قابل مشاهده است. در ضمن، مقداری از مس تولید شده نیز به ته ظرف فرو خواهد ریخت، شکل ۳.



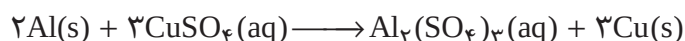
(● یون سولفات ● مولکول آب)

شکل ۳ واکنش آلومینیم با محلول مس (II) سولفات



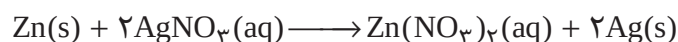
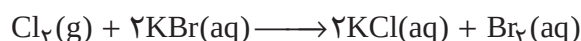
گاز کلر تولید شده در ارلن سمت چپ با محلول KBr در ارلن سمت راست واکنش می دهد.

به نظر می آید که در این واکنش، فلز آلومینیم جای مس موجود در مس (II) سولفات را گرفته و آن را به صورت فلز مس آزاد کرده است.

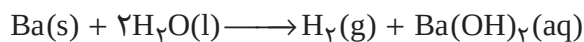
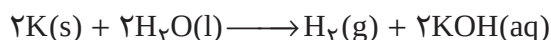


با نگاهی به معادله این واکنش می توان دریافت که تنها یک جابه جایی رخ داده است. جابه جایی یگانه، نامی است که به این دسته از واکنش ها داده اند.

معادله های شیمیایی زیر نمونه های دیگری از واکنش های جابه جایی یگانه اند.



واکنش فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی با آب به تولید گاز هیدروژن می انجامد. این واکنش ها نیز از جمله واکنش های جابه جایی یگانه به شمار می آیند.

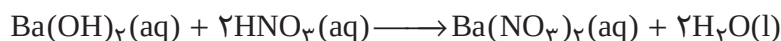
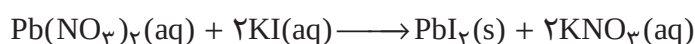


واکنش جابه جایی دوگانه: اگر محلولی از نقره نیترات بر روی محلولی از سدیم کلرید ریخته شود، رسوب سفیدرنگ نقره کلرید به سرعت تشکیل می شود، شکل ۴. معادله این واکنش به شرح زیر است:



شیمی دان ها این گونه واکنش ها را جابه جایی دوگانه می خوانند. دلیل این نام گذاری چیست؟

معادله های شیمیایی زیر نمونه های دیگری از واکنش های جابه جایی دوگانه اند.



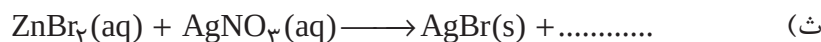
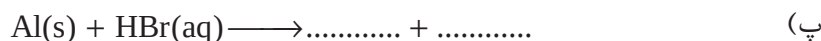
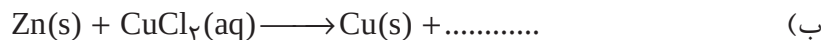
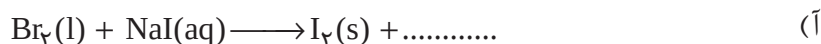
برلیم تنها عنصر قلیایی خاکی است که با آب یا بخار آب داغ واکنش نمی دهد و پایین تر از $600^\circ C$ در هوا نیز اکسایش نمی یابد.



شکل ۴ یک واکنش جابه جایی دوگانه؛ تشکیل رسوب سفیدرنگ نقره کلرید ($AgCl(s)$) در اثر مخلوط کردن محلول های نقره نیترات ($AgNO_3(aq)$) و سدیم کلرید ($NaCl(aq)$).

خود را بیازمایید

در هر مورد، معادله واکنش داده شده را کامل و موازنه کنید.



آزمایش کنید

هدف: شناسایی یون های Ag^+ ، Fe^{3+} ، Pb^{2+} در محلول نمک های آنها در آب

وسایل مورد نیاز: قاشقک، چند لوله آزمایش و قطره چکان

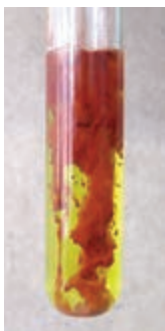
مواد مورد نیاز: محلول های رقیقی از سرب (II) نیترات، آهن (III) کلرید،



واکنش محلول سرب (II) نیترات با محلول پتاسیم یدید



واکنش محلول آهن (III) کلرید با محلول سدیم هیدروکسید



واکنش محلول نقره نیترات با محلول پتاسیم کرومات

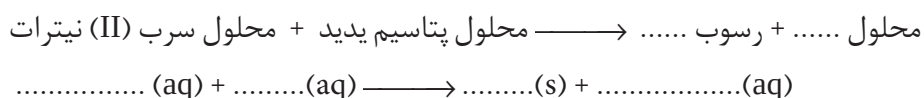
پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، نقره نیترات و پتاسیم کرومات

برای تهیه این محلول ها کافی است مقدار اندکی (به اندازه نوک یک قاشقک) از هریک از این مواد جامد برداشته، در یک لوله آزمایش بریزید. سپس در لوله آزمایش تا نیمه آب مقطر ریخته به هم بزنید.

روش کار:

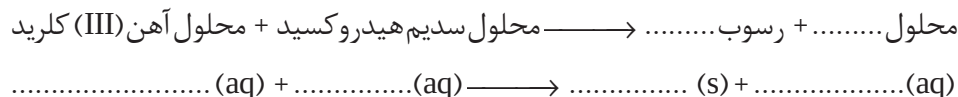
آ) شناسایی یون Pb^{2+}

۲mL از محلول سرب (II) نیترات را در یک لوله آزمایش بریزید سپس قطره قطره محلول پتاسیم یدید به آن اضافه کرده، مشاهده های خود را یادداشت کنید. معادله شیمیایی واکنش را کامل و موازنه کنید.



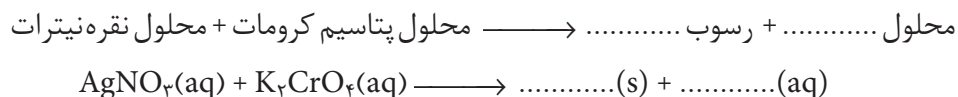
ب) شناسایی یون Fe^{3+}

مطابق روش بالا محلول سدیم هیدروکسید را به محلول آهن (III) کلرید اضافه کرده مشاهده های خود را یادداشت کنید. معادله واکنش را کامل و موازنه کنید.



پ) شناسایی یون Ag^+

محلول پتاسیم کرومات را قطره قطره به محلول نقره نیترات اضافه کرده، مشاهده های خود را یادداشت کنید. معادله واکنش را کامل و موازنه کنید.



توجه: پس از انجام هر مرحله قطره چکان را با آب مقطر بشویید (چرا؟). در مصرف مواد صرفه جویی کنید و به توصیه مربی آزمایشگاه برای دور ریختن محلول ها دقت کنید.

استوکیومتری (stoichiometry) واژه ای یونانی است که از ترکیب دو واژه استوکیون (stoicheion) به معنای عنصر و مترون (metron) به معنای سنجش گرفته شده است.

استوکیومتری؛ روابط کمی در واکنش های شیمیایی

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عناصرها در ترکیب ها و نیز ارتباط کمی میان مقادیر مواد شرکت کننده در واکنش های شیمیایی (واکنش دهنده ها و فراورده ها) سروکار دارد. با استفاده از روابط استوکیومتری می توان بین مقدار مواد واکنش دهنده و مقدار فراورده ها یک ارتباط کمی برقرار کرد. در محاسبه های استوکیومتری

تنها از معادله موازنه شده واکنش استفاده می‌شود؛ زیرا معادله شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها، نسبتی معین را مشخص می‌کند که مواد یادشده متناسب با آن در واکنش مصرف یا تولید می‌شوند.

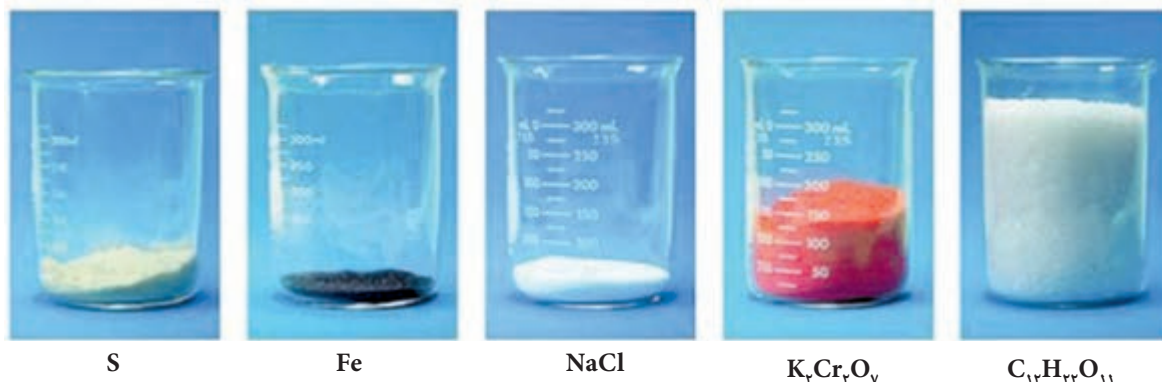
مول و جرم مولی در محاسبه‌های استوکیومتری

مفهوم مول در بحث استوکیومتری را می‌توان هم‌ارز با واحد پول در یک کشور دانست. همان‌طور که تنها با پول رایج یک کشور می‌توان در آنجا به خرید و فروش اقدام کرد، در بحث استوکیومتری و محاسبه‌های مربوط به آن نیز **مول** رایج است. بنابراین آشنایی با مول و شیوه‌های تبدیل یکاهای دیگر به مول و برعکس در این مبحث اهمیت زیادی دارد. در شیمی ۱ با مفهوم مول آشنا شدید. آموختید که یک مول به مجموعه‌ای شامل 6.022×10^{23} ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می‌شود.

همچنین ضمن آشنایی با مفهوم اتم گرم (جرم یک مول اتم بر حسب گرم) و مولکول گرم (جرم یک مول از مولکول‌های یک ماده بر حسب گرم) و شیوه محاسبه آن، آموختید که شیمی‌دان‌ها به جای این دو، مفهوم عمومی‌تر جرم مولی را به کار می‌برند و آن را بر حسب گرم بر مول ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) بیان می‌کنند.

از شیمی ۲ نیز به یاد دارید که وجود ایزوتوپ‌های مختلف و تفاوت در فراوانی آنها سبب شد که برای نمونه‌های طبیعی عنصرها از جرم اتمی میانگین آنها استفاده شود. بنابراین جرم مولی عنصرها یا ترکیب‌ها را به آسانی می‌توان از داده‌های تجربی موجود در جدول تناوبی عنصرها به دست آورد، شکل ۵.

عدد 6.022×10^{23} را عدد آووگادرو می‌گویند و آن را با N_A نمایش می‌دهند. ثابت آووگادرو برابر $6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ است.



شکل ۵ مقدار ۱ مول از مواد شیمیایی مختلف

خود را بیازمایید

در هر مورد با استفاده از جدول تناوبی عناصرها، جرم مولی گونه را حساب کنید.

آ) آمونیاک، NH_3

ب) اوره، $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

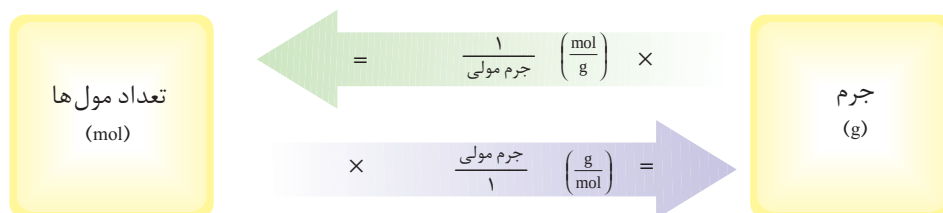
پ) آمونیوم هیدروژن فسفات $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

در ترکیب‌های یونی، مولکول وجود ندارد، به همین دلیل به جای واژه مولکول گرم از واژه جرم مولی برای آنها استفاده می‌شود.

تبدیل تعداد مول‌ها به جرم و برعکس

جرم از جمله کمیت‌هایی است که به آسانی در آزمایشگاه قابل سنجش است. از این رو یافتن توانایی تبدیل جرم به تعداد مول‌ها و برعکس یعنی تبدیل تعداد مول‌ها به جرم، مهارت مهمی در مبحث استوکیومتری است.

برای این تبدیل از جرم مولی استفاده می‌شود، شکل ۶.



شکل ۶ تبدیل تعداد مول‌ها و جرم به یکدیگر

نمونه حل شده

جرم $3/5^\circ \text{ mol}$ مس چند گرم است؟

پاسخ:

۱- فهرست داده‌های مسئله را بنویسید.

* تعداد مول‌های مس: $3/5^\circ \text{ mol}$

* جرم مولی مس: $63/55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ یعنی $\frac{63/55 \text{ g Cu}}{1 \text{ mol Cu}}$

۲- با یافتن ضریب تبدیل مناسب، محاسبه را انجام دهید.

$$\text{g Cu} = 3/5^\circ \text{ mol Cu} \times \underbrace{\frac{63/55 \text{ g Cu}}{1 \text{ mol Cu}}}_{\text{ضریب تبدیل}} = 222/4 \text{ g Cu}$$



مس یک فلز سکه‌زنی است.

خود را بیازمایید

۱- $83/5 \text{ g}$ مس چند مول است؟

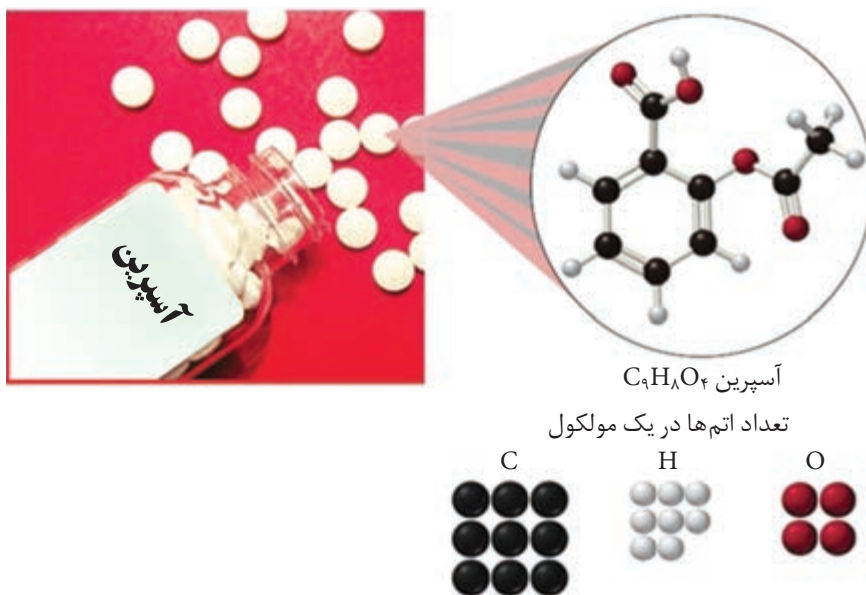
۲- $128/9 \text{ g}$ کربن دی اکسید چند مول است؟

تجزیهٔ عنصری و استوکیومتری فرمولی

چگونه می‌توان فرمول مولکولی یک مادهٔ شیمیایی را به دست آورد؟

در شیمی ۲ آموختید که فرمول مولکولی هر ترکیب نشان دهندهٔ نوع و تعداد اتم‌های

تشکیل دهندهٔ آن است. برای نمونه، در آسپرین با فرمول مولکولی $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$:



شکل ۷ مدل مولکولی آسپرین و نسبت اتم‌های سازنده آن

در هر مولکول، ۹ اتم کربن، ۸ اتم هیدروژن و ۴ اتم اکسیژن وجود دارد، شکل ۷.

در نتیجه هر مول آسپرین، ۹ مول C، ۸ مول H و ۴ مول O دارد. به بیان دیگر اتم‌های C، H و O به نسبت مولی ۹، ۸ و ۴ وجود دارند.

بنابراین با دانستن نسبت‌های مولی عنصرهای سازنده در یک ماده می‌توان فرمول

مولکولی آن را حدس زد. برای نمونه در فرمالدهید به ازای یک مول اتم کربن، ۲ مول اتم

هیدروژن و یک مول اتم اکسیژن وجود دارد. فرمول مولکولی فرمالدهید چیست؟

به نظر شما آیا با دانستن نسبت مولی عنصرهای یک ترکیب، همواره می‌توان

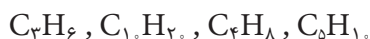
فرمول مولکولی آن را حدس زد؟ برای نمونه، در یک هیدروکربن به ازای یک مول اتم کربن،

آسپرین به طور طبیعی در پوست درخت بید یافت می‌شود، به طوری که مصرف محلولی از گرد پوست درخت بید، سبب کاهش تب و لرز در بیماران مبتلا به مالاریا می‌شود. این موضوع شیمی‌دان‌ها را تشویق کرد تا در پی یافتن فرمول مولکولی آسپرین باشند. از این رو، آنها با انجام واکنش‌های شیمیایی بر روی پوست درخت بید و با استفاده از استوکیومتری موفق شدند فرمول مولکولی آسپرین را کشف کنند. سپس با دانستن فرمول مولکولی آسپرین، توانستند آن را در آزمایشگاه از واکنش سالیسیلیک اسید با استیک‌انیدرید تولید کنند. مردم سراسر جهان، سالانه ۵۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ قرص آسپرین، برای کاهش تب، التهاب، تپش‌های قلب و سکنه مصرف می‌کنند. در نتیجه شرکت‌های دارویی به شدت با یکدیگر رقابت می‌کنند تا روش‌های تولید آسپرین و داروهای دیگر را اصلاح کنند و با افزایش مقدار فراورده، قیمت تمام‌شدهٔ داروها را کاهش دهند.

دومول اتم هیدروژن وجود دارد. فرمول شیمیایی این هیدروکربن را حدس بزنید. آیا فرمول به دست آمده، می تواند فرمول مولکولی هیدروکربن باشد؟ (چرا؟)

در برخی موارد، دانستن نسبت مولی عنصرهای تشکیل دهنده یک ماده برای تعیین فرمول مولکولی آن کافی نیست و تنها فرمول تجربی آن را نشان می دهد.

همان طور که می دانید فرمول تجربی، ساده ترین نسبت مولی عنصرهای سازنده یک ترکیب را مشخص می کند؛ برای نمونه، فرمول تجربی CH_2 نشان می دهد که در مولکول های این هیدروکربن، همواره تعداد اتم های هیدروژن دو برابر اتم های کربن است، بنابراین فرمول مولکولی آن کدام یک از فرمول های زیر است؟



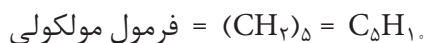
برای یافتن پاسخ، باید جرم مولی هیدروکربن مشخص باشد. حال فرض کنید که جرم مولی این هیدروکربن برابر با 70° گرم بر مول باشد؛ در آن صورت، با توجه به آنچه در شیمی ۲ آموختید، می توان نوشت:

$$n \times (\text{جرم فرمول تجربی}) = \text{جرم فرمول مولکولی}$$

$$70 = (12 + 2) \times n$$

$$n = 5$$

$$n (\text{فرمول تجربی}) = \text{فرمول مولکولی}$$



اما این پرسش که «فرمول تجربی را چگونه می توان به دست آورد؟» بی پاسخ مانده است.

فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از تجزیه عنصری آن با انجام محاسبه های

استوکیومتری به دست می آید. به طوری که می توان، نوع عنصرهای سازنده و درصد جرمی آنها را به دست آورد. سپس با استفاده از این داده ها فرمول تجربی و فرمول مولکولی آن را تعیین کرد.

نمونه حل شده

تجزیه عنصری ۱- پروپانول نشان می دهد که این ترکیب آلی از 60% کربن (C)، $13/4\%$ هیدروژن (H) و $26/6\%$ اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به دست آورید.

پاسخ:

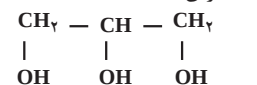
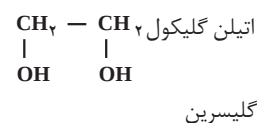
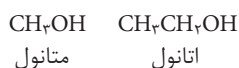
درصد جرمی عنصرهای سازنده نشان می دهد که در هر 100° گرم از ۱- پروپانول 60° گرم کربن، $13/4^\circ$ گرم هیدروژن و $26/6^\circ$ گرم اکسیژن وجود دارد؛

در ترکیب های یونی، فرمول تجربی با فرمول شیمیایی ترکیب یکسان است.

شیمی دان ها جرم اتم ها و مولکول ها را با استفاده از دستگاه طیف سنج جرمی به دست می آورند.

تجزیه عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل دهنده و درصد جرمی هریک از آنها در ترکیب شیمیایی یاد شده تعیین می شود.

الکل ها دسته ای از ترکیب های آلی هستند که یک یا تعداد بیشتری گروه عاملی هیدروکسیل (OH) روی زنجیر کربنی خود دارند. برخی الکل ها مانند متانول یک گروه OH دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱)، ۲- اتان دی آل و گلیسرین (۱، ۲، ۳. پروپان تری آل) به ترتیب دو و سه گروه عاملی هیدروکسیل دارند.



متانول به الکل چوب معروف است و از گرم کردن چوب در غیاب اکسیژن تا دمای 400°C به دست می آید. در حالی که اتانول، الکل میوه نام دارد و در اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات های موجود در میوه ها توسط آنزیم ها تولید می شود.

بنابراین:

$$\text{mol C} = 60/0 \text{ g C} \times \frac{1 \text{ mol C}}{12/0 \text{ g C}} = 5/0 \text{ mol C}$$

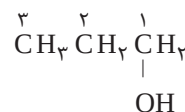
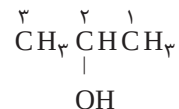
$$\text{mol H} = 13/4 \text{ g H} \times \frac{1 \text{ mol H}}{1/0 \text{ g H}} = 13/4 \text{ mol H}$$

$$\text{mol O} = 26/6 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16/0 \text{ g O}} = 1/7 \text{ mol O}$$

حال برای یافتن ساده‌ترین نسبت مولی عناصرها، تعداد مول هر عنصر را به تعداد مول عنصری که مقدار آن از همه کمتر است، تقسیم می‌کنیم.

$$\left. \begin{array}{l} \text{C: } \frac{5/0 \text{ mol C}}{1/7} = 2/9 \text{ mol C} \\ \text{H: } \frac{13/4 \text{ mol H}}{1/7} = 7/9 \text{ mol H} \\ \text{O: } \frac{1/7 \text{ mol O}}{1/7} = 1 \text{ mol O} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{C}_2\text{H}_7\text{O}$$

الکل‌های راست زنجیر هم کربن را با مشخص کردن شماره اتم کربنی مشخص می‌کنند که گروه هیدروکسیل به آن متصل شده است.



۱- پروپانول و ۲- پروپانول

در فرمول شیمیایی، زیروند ۱ نوشته نمی‌شود.

هنگام انجام محاسبه برای یافتن ساده‌ترین نسبت مولی عناصرها، عددهای نهایی به دست آمده را می‌توانید حداکثر تا تقریب یک دهم گرد کنید. برای نمونه؛

$$5/9 \approx 5$$

$$4/91 \approx 5$$

خود را بیازمایید

۱- یک ترکیب یونی که برای تولید شیشه‌های لوازم الکترونیکی به کار می‌رود، شامل ۵۶/۵٪ پتاسیم، ۸/۹٪ کربن و ۳۴/۶٪ اکسیژن است. فرمول تجربی این ترکیب را به دست آورید.

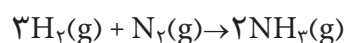
۲- ماده معطر و خوش طعم موجود در آناناس دارای ۶۲/۱٪ کربن، ۱۰/۳٪ هیدروژن و ۲۷/۶٪ اکسیژن است. اگر جرم مولی آن برابر ۱۱۶ گرم برمول باشد، فرمول مولکولی آن را به دست آورید.

۳- تجزیه عنصری نمونه‌ای از یک ماده شیمیایی نشان داد که در این نمونه ۱۲/۴g کلسیم و ۶/۴g فسفر وجود دارد. فرمول تجربی ماده شیمیایی موجود در این نمونه چیست؟

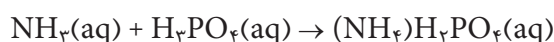
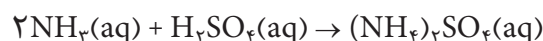
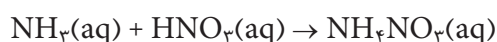
بیشتر بدانید

برای تأمین غذای جمعیت رو به فزونی جهان، کشاورزان ناگزیرند فراورده‌های بیشتر و مغذی‌تری را تولید کنند. آنها هر سال، صدها میلیون تن کود شیمیایی را به خاک می‌افزایند تا فراورده‌های با کیفیت بالاتری به‌دست آورند. گیاهان برای رشد مناسب، افزون بر کربن دی‌اکسید و آب، به شش عنصر دیگر نیز نیاز دارند. این شش عنصر عبارت‌اند از N، P، K، Ca، S و Mg.

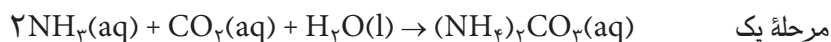
کودهای نیتروژن‌دار دارای نمک‌های نیترات (ترکیب‌های دارای یون NO_3^-)، نمک‌های آمونیوم (ترکیب‌های دارای یون NH_4^+) و ترکیب‌های دیگر است. گیاهان می‌توانند نیتروژن را به‌طور مستقیم به‌صورت نیترات از خاک جذب کنند، اما آمونیاک (NH_3) و نمک‌های آمونیوم ابتدا باید به‌وسیلهٔ باکتری‌های خاک به نیترات‌ها تبدیل شوند. آمونیاک مادهٔ اولیهٔ کودهای نیتروژن‌دار است که از واکنش بین هیدروژن و نیتروژن به‌دست می‌آید.



همچنین، آمونیاک را می‌توان براساس واکنش‌های زیر به آمونیوم نیترات (NH_4NO_3)، آمونیوم سولفات ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)، یا آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات ($(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$) تبدیل کرد:



از واکنش دو مرحله‌ای زیر نیز به‌عنوان روش دیگری برای تهیهٔ آمونیوم سولفات استفاده می‌شود:



برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر آن است که مواد اولیهٔ آن (گچ، کربن دی‌اکسید و آب) از سولفوریک اسید ارزان‌ترند.

جدول زیر درصد جرمی نیتروژن را در برخی از کودهای شیمیایی متداول نشان می‌دهد.

درصد جرمی نیتروژن در پنج کود شیمیایی رایج

نام	فرمول شیمیایی	%N
آمونیاک	NH_3	۸۲/۴
آمونیوم نیترات	NH_4NO_3	۳۵
آمونیوم سولفات	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	۲۱/۲
آمونیوم دی‌هیدروژن فسفات	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	۱۲/۲
اوره	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	۴۶/۷

برای انتخاب یک کود از میان چند کود شیمیایی چند عامل مؤثر است:

(۱) قیمت مواد اولیهٔ لازم برای تهیهٔ کود

(۲) آسانی انبار کردن، حمل و نقل و به کارگیری

(۲) درصد جرمی عنصر مورد نظر

(۴) مناسب بودن ترکیب از نظر انحلال پذیری در آب یا آسانی جذب آن به وسیله گیاهان.

با توجه به همه این عوامل، به نظر شما کدام یک از این کودها مهم ترین کود شیمیایی نیتروژن دار

در جهان به شمار می آید؟ در این باره تحقیق کنید.

استوکیومتری واکنش

یک معادله موازنه شده، رابطه کمی بین شمار ذره های واکنش دهنده (ها) و

فراورده (ها) را نشان می دهد. واکنش سوختن کامل گاز متان را در نظر بگیرید:



این معادله نشان می دهد که برای سوختن کامل هر مولکول متان، به دو مولکول

اکسیژن نیاز است. در این واکنش یک مولکول کربن دی اکسید و دو مولکول آب تولید

می شود. به همین ترتیب می توان گفت به ازای هر مول گاز متان به دو مول گاز اکسیژن

نیاز است و با انجام واکنش یک مول گاز کربن دی اکسید و دو مول بخار آب تولید می شود.

خود را بیازمایید

با توجه به معادله واکنش سوختن کامل متان، نسبت های مولی زیر را کامل کنید:

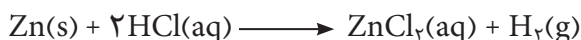
$$\begin{aligned} \text{نسبت مولی اکسیژن به متان} &= \frac{2 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol CH}_4} = 2 \\ \text{نسبت مولی کربن دی اکسید به متان} &= \frac{\quad}{\quad} \\ \text{نسبت مولی آب به کربن دی اکسید} &= \frac{\quad}{\quad} \\ \text{نسبت مولی متان به آب} &= \frac{\quad}{\quad} \end{aligned}$$

با استفاده از نسبت های مولی می توان تعداد مول فراورده (ها)ی به دست آمده از واکنش

یا تعداد مول واکنش دهنده (ها)ی مورد نیاز را به دست آورد.

نمونه حل شده

فلز روی با هیدروکلریک اسید به صورت زیر واکنش می دهد.



ا) از واکنش 2 mol فلز روی با هیدروکلریک اسید، چند مول گاز هیدروژن تولید می شود؟

ب) برای تولید 3 mol روی کلرید به چند مول هیدروکلریک اسید نیاز است؟

پاسخ:

مرحله ۱:

به دست آوردن نسبت های مولی از روی معادله موازنه شده واکنش

$$\text{نسبت مولی گاز هیدروژن به فلز روی} = \frac{1 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol Zn}}$$

$$\text{نسبت مولی هیدروکلریک اسید به روی کلرید} = \frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol ZnCl}_2}$$

مرحله ۲:

به دست آوردن تعداد مول های ماده خواسته شده از روی تعداد مول ماده داده شده

با استفاده از نسبت های مولی به دست آمده

پاسخ قسمت آ:

$$? \text{ mol H}_2 = \underbrace{\frac{1 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol Zn}}}_{\text{نسبت مولی}} \times \underbrace{\frac{1 \text{ mol Zn}}{2 \text{ mol Zn}}}_{\text{تعداد مول ماده داده شده}} = \underbrace{\frac{1}{2} \text{ mol H}_2}_{\text{تعداد مول ماده خواسته شده}}$$

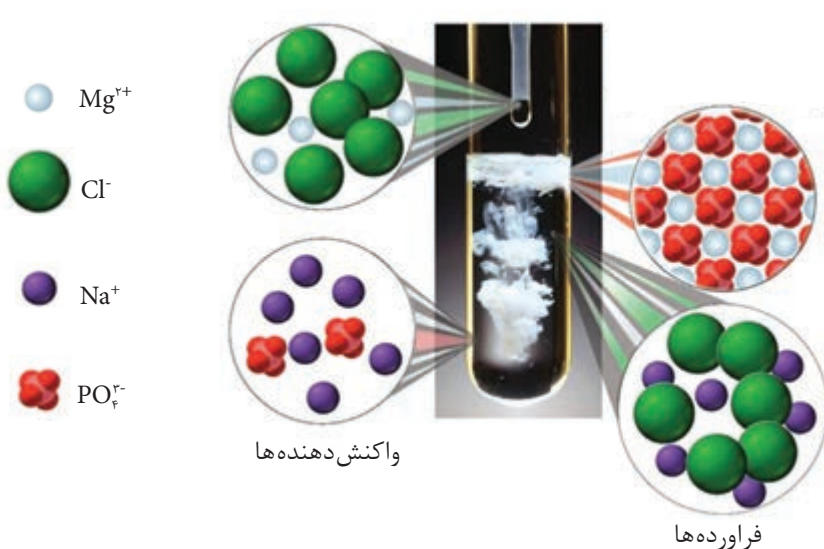
پاسخ قسمت ب:

$$? \text{ mol HCl} = \underbrace{\frac{2 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol ZnCl}_2}}_{\text{نسبت مولی}} \times \underbrace{\frac{1 \text{ mol ZnCl}_2}{3 \text{ mol ZnCl}_2}}_{\text{تعداد مول ماده داده شده}} = \underbrace{\frac{2}{3} \text{ mol HCl}}_{\text{تعداد مول ماده خواسته شده}}$$



خود را بیازمایید

آ) با توجه به شکل زیر، معادله واکنش شیمیایی انجام شده را بنویسید و موازنه کنید.

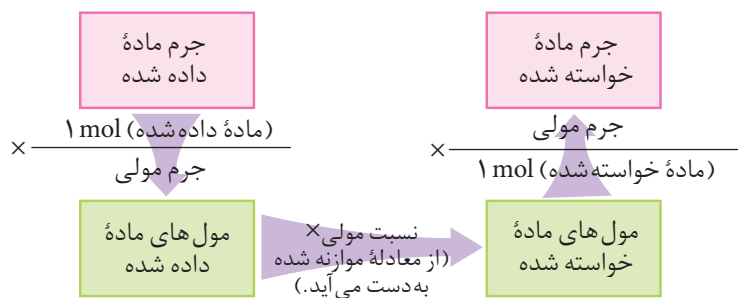


ب) از واکنش ۵/۰ مول سدیم فسفات با منیزیم کلرید کافی، چند مول منیزیم فسفات جامد تولید می‌شود؟

روابط جرمی - جرمی در محاسبه‌های استوکیومتری

همان گونه که می‌دانید جرم مولی میانگین هر ترکیب، از جمع جرم اتمی میانگین اتم‌های تشکیل دهنده آن به دست می‌آید. برای مثال جرم مولی میانگین آب و کربن دی‌اکسید به ترتیب ۱۸/۰ و ۴۴/۰ گرم بر مول است.

برای محاسبه مقدار جرم فراورده(ها)ی حاصل از یک واکنش یا جرم مورد نیاز از واکنش دهنده(ها) برای تولید جرم مشخصی از یک فراورده، می‌توان از روابط استوکیومتری استفاده کرد. در چنین مواردی، معادله شیمیایی موازنه شده واکنش مبنای محاسبه‌های کمی قرار می‌گیرد. استوکیومتری واکنش‌ها برحسب مول تفسیر می‌شود، بنابراین ابتدا باید با استفاده از جرم مولی، جرم ماده داده شده را به مول تبدیل کرد. سپس با استفاده از نسبت‌های مولی، تعداد مول ماده داده شده را به تعداد مول ماده خواسته شده تبدیل کرد. سرانجام می‌توان با استفاده از جرم مولی ماده خواسته شده، مقدار جرم آن را محاسبه کرد. شکل ۸، روند حل بسیاری از مسائل استوکیومتری را نشان می‌دهد.



شکل ۸ بسیاری از مسائل استوکیومتری، تبدیل جرم به مول و برعکس و استفاده از نسبت مولی در واکنش‌های شیمیایی را در بر می‌گیرد.

نمونه حل شده

از واکنش ۱۷/۰ g نقره نیترات با مقدار کافی محلول سدیم کلرید چند گرم نقره کلرید به دست می‌آید؟

۱- نوشتن معادله موازنه شده



۲- محاسبه تعداد مول‌های ماده داده شده (نقره نیترات) با استفاده از جرم مولی آن

$$\text{جرم مولی نقره نیترات (g)} \times \frac{\text{نقره نیترات } 1 \text{ mol}}{\text{جرم نقره نیترات (g)}} = \text{تعداد مول نقره نیترات}$$

$$? \text{ mol AgNO}_3 = 17/0 \text{ g AgNO}_3 \times \frac{1 \text{ mol AgNO}_3}{170 \text{ g AgNO}_3} = 0/100 \text{ mol AgNO}_3$$

۳- محاسبه تعداد مول های ماده خواسته شده (نقره کلرید) با استفاده از نسبت مولی به دست آمده از معادله موازنه شده

نسبت مولی $\times$ تعداد مول نقره نیترات = تعداد مول نقره کلرید

$$? \text{ mol AgCl} = 0/100 \text{ mol AgNO}_3 \times \frac{1 \text{ mol AgCl}}{1 \text{ mol AgNO}_3} = 0/100 \text{ mol AgCl}$$

۴- تبدیل تعداد مول ماده خواسته شده (نقره کلرید) به جرم با استفاده از جرم مولی آن

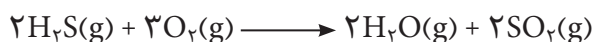
$$\text{جرم مولی نقره کلرید (g)} \times \frac{\text{تعداد مول نقره کلرید}}{1 \text{ mol نقره کلرید}} = \text{جرم نقره کلرید (g)}$$

$$? \text{ g AgCl} = 0/100 \text{ mol AgCl} \times \frac{143/5 \text{ g AgCl}}{1 \text{ mol AgCl}} = 14/4 \text{ g AgCl}$$

همان گونه که ملاحظه کردید در هر گام با استفاده از یک ضریب تبدیل مناسب، یک عدد با یکای معین به عدد دیگری با یکای معین تبدیل می شود. به عبارتی در هر گام با یک تبدیل عددی - ابعادی روبه رو هستیم و به این ترتیب یک گام به حل نهایی (عددی با یکای دلخواه) نزدیک می شویم.

خود را بیازمایید

۱- کدام یک از گزینه های زیر جرم آب تولید شده از واکنش $3/2$ مول گاز اکسیژن با گاز هیدروژن سولفید کافی را به درستی نشان می دهد؟



$$3/2 \text{ mol O}_2 \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{2 \text{ mol H}_2\text{O}} \quad (\text{آ})$$

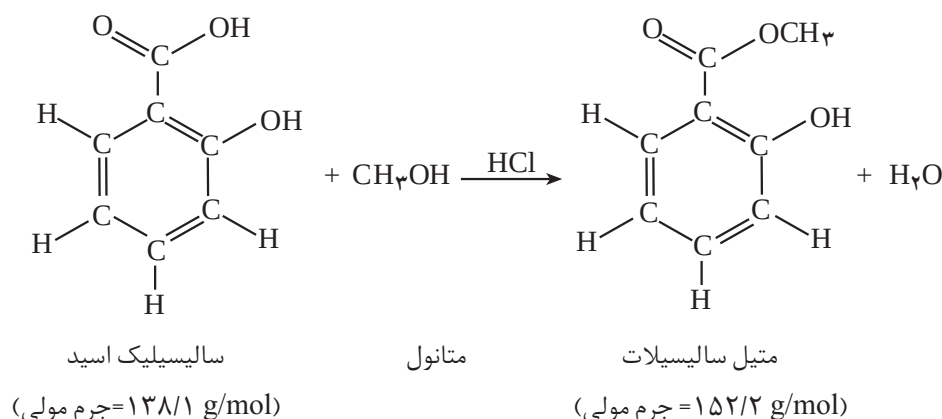
$$3/2 \text{ mol O}_2 \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{32 \text{ g O}_2} \quad (\text{ب})$$

$$3/2 \text{ mol O}_2 \times \frac{2 \text{ mol H}_2\text{O}}{3 \text{ mol O}_2} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} \quad (\text{پ})$$

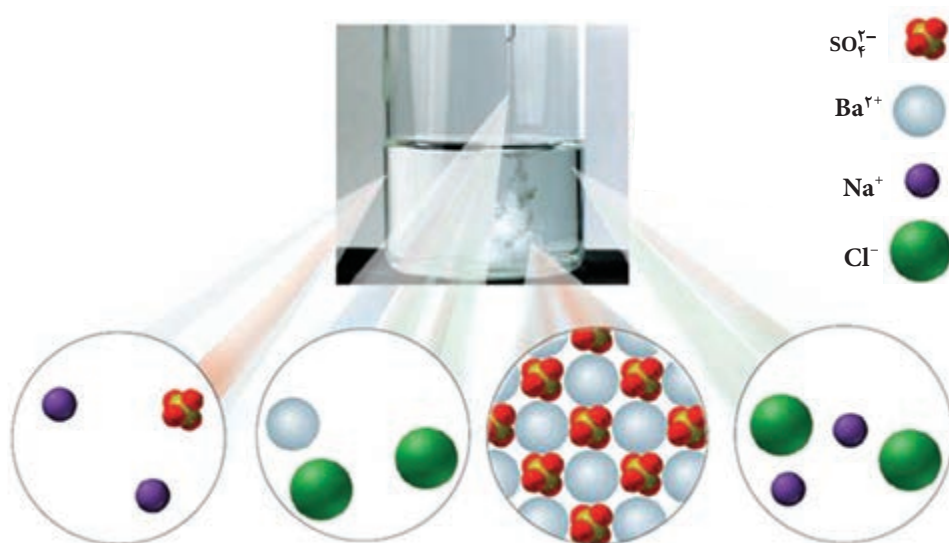
حفظ کردن واکنش های شیمیایی و اطلاعات داده شده در صورت پرسش ها، جزء هدف های کتاب درسی نیست و طرح سؤال از این موارد مجاز نیست.

$$\text{ت) } \frac{3}{2} \text{ mol O}_2 \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \times \frac{2 \text{ mol H}_2\text{O}}{3 \text{ mol O}_2}$$

۲- متیل سالیسیلات به عنوان طعم‌دهنده در مواد غذایی و دارویی، استفاده می‌شود. این ماده از واکنش متانول با سالیسیلیک اسید به دست می‌آید:



چند گرم سالیسیلیک اسید برای تولید $325/0 \text{ g}$ متیل سالیسیلات لازم است؟
۳- شکل زیر واکنش بین محلول‌های سدیم سولفات و باریم کلرید را نشان می‌دهد. (آ) معادله واکنش شیمیایی را بنویسید و موازنه کنید.



ب) از واکنش $104/1$ گرم از باریم کلرید با مقدار اضافی از سدیم سولفات، چند گرم باریم سولفات رسوب می‌دهد؟

درصد خلوص مواد

در شکل زیر، دو نمونه گندم برداشت شده از زمین های کشاورزی را مشاهده می کنید. به نظر شما برای تهیه مقدار معین و یکسانی از آرد گندم، از کدام نمونه باید مقدار بیشتری برداریم؟ چرا؟



ب) گندم ناخالص



آ) گندم خالص

شکل ۹

کانه هالیت، یک نمونه ناخالص از سدیم کلرید است.

همان طور که مشاهده می کنید، یکی از این نمونه ها دارای ناخالصی است. در صنعت و آزمایشگاه نیز، اغلب واکنش دهنده ها ناخالص اند. به بیان دیگر، افزون بر ماده شیمیایی مورد نظر، برخی ترکیب های دیگر نیز در آنها وجود دارند. برای نمونه، سدیم کلرید (نمک خوراکی) در طبیعت به صورت کانه هالیت یافت می شود. به طوری که در هر ۲۰۰ گرم از این نمونه، ۱۹۵ گرم سدیم کلرید وجود دارد. ۵ گرم باقی مانده برای این کانه، ناخالصی به شمار می رود، شکل ۱۰. به نظر شما درصد خلوص برای این هالیت چند است؟



ب) نمک خوراکی



آ) کانه هالیت

شکل ۱۰

شیمی دان ها برای بیان میزان خلوص یک نمونه، از درصد خلوص استفاده می کنند. بنابراین، در حین کار در آزمایشگاه و صنعت برای تأمین مقدار معینی از یک ماده خالص، همواره باید مقدار بیشتری از ماده ناخالص را به کار برد.

با استفاده از رابطه درصد خلوص و محاسبات کمی، می‌توان مقادیر مورد نیاز از ماده ناخالص را به دست آورد.

$$\text{جرم ماده خالص} = \frac{\text{جرم نمونه ناخالص}}{\text{درصد خلوص}} \times 100$$

نمونه حل شده

یکی از روش‌های تولید گاز کلر در آزمایشگاه، واکنش دادن هیدروکلریک اسید با منگنز (IV) اکسید طبق معادله زیر است:



برای تهیه ۲۰٪ گاز کلر، به چند گرم نمونه ناخالص منگنز (IV) اکسید با خلوص ۹۰٪ نیاز است؟ فرض کنید که این ناخالصی‌ها بی‌اثرند و در واکنش شرکت نمی‌کنند.

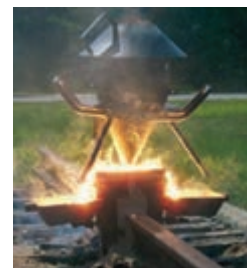
پاسخ: ابتدا باید جرم منگنز (IV) اکسید خالص مورد نیاز را محاسبه کرد. سپس با استفاده از درصد خلوص، جرم منگنز (IV) اکسید ناخالص را به دست آورد.

$$? \text{ mol Cl}_2 = 20\% \text{ g Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol Cl}_2}{70.9 \text{ g Cl}_2} = 0.282 \text{ mol Cl}_2$$

$$? \text{ mol MnO}_2 = 0.282 \text{ mol Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol MnO}_2}{1 \text{ mol Cl}_2} = 0.282 \text{ mol MnO}_2$$

$$\text{جرم MnO}_2 \text{ خالص مورد نیاز} = 0.282 \text{ mol MnO}_2 \times \frac{86.9 \text{ g MnO}_2}{1 \text{ mol MnO}_2} = 24.5 \text{ g MnO}_2$$

$$\text{نمونه ناخالص} = 24.5 \text{ g MnO}_2 \times \frac{100 \text{ g ناخالص}}{90 \text{ g MnO}_2} = 27.2 \text{ g}$$



از واکنش ترمیت برای جوش دادن خطوط راه آهن استفاده می‌شود.

خود را بیازمایید

در واکنش آلومینیم با آهن (III) اکسید (واکنش ترمیت)، آهن مذاب تولید می‌شود. از آهن مذاب تولید شده برای جوشکاری استفاده می‌کنند.

حساب کنید برای تولید ۲۷۹ گرم آهن، چند گرم آلومینیم با درصد خلوص ۸۰٪ لازم است تا با مقدار کافی از آهن (III) اکسید واکنش بدهد؟



روابط حجمی گازها در محاسبه‌های استوکیومتری

محاسبه‌های حجمی در گازها بر پایه کارهای ژوزف لویی گی لوساک شیمی دان و فیزیک دان فرانسوی بنا شده است. نتایج آزمایش‌های او به معرفی قانون نسبت‌های

ترکیبی منجر شد. برطبق این قانون:

در دما و فشار ثابت، گازها با نسبت‌های حجمی معینی با هم واکنش می‌دهند. این نسبت‌ها به طور مستقیم با نسبت ضریب‌های آنها در معادله موازنه شده واکنش متناسب هستند. برای مثال، واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید.

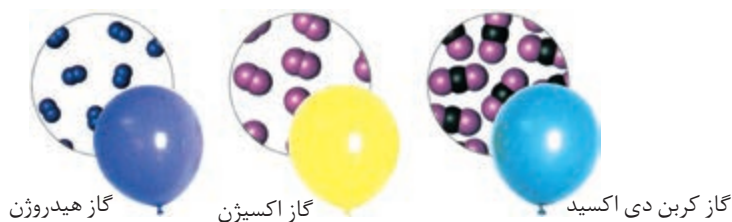


اگر همه مواد شرکت کننده در واکنش به حالت گازی و در فشار و دمای یکسانی قرار داشته باشند، می‌توان گفت که یک حجم گاز CH_4 با دو حجم گاز O_2 واکنش می‌دهد و یک حجم گاز CO_2 و دو حجم گاز H_2O تشکیل می‌شود، شکل ۱۱.

از بررسی معادله تصویری نمایش داده شده در شکل ۱۱ می‌توان چنین نتیجه گرفت که: در فشار و دمای یکسان، یک مول از گازهای مختلف حجم ثابت و برابری دارند. این همان نتیجه‌ای است که نخستین بار آووگادرو در سال ۱۸۱۱ به آن دست یافت.

فرضیه‌ای که بعدها به قانون آووگادرو معروف شد.

همان گونه که می‌دانید حجم گازها تابعی از فشار و دمای آنها است. از این رو معمولاً حجم گازها را در دمای 0°C (273K) و فشار ۱ اتمسفر (760 mmHg) بیان می‌کنند. در این شرایط که به شرایط استاندارد (STP) معروف است، هر مول گاز حجمی برابر با 22.4L را اشغال می‌کند. این مقدار را حجم مولی گازها در شرایط STP می‌نامند، شکل ۱۲.



شکل ۱۲ حجم مولی چند گاز در شرایط استاندارد

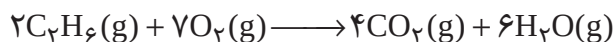


ژوزف گی لوساک
(۱۷۷۸ - ۱۸۵۰)

در حل بعضی مسائل استوکیومتری مربوط به گازها می‌توان با استفاده از قانون نسبت‌های حجمی، ضریب تبدیل حجمی - حجمی مناسب را از روی معادله موازنه شده واکنش پیدا کرد.

نمونه حل شده

حجم اکسیژن مورد نیاز و نیز حجم‌های CO_2 و H_2O تولید شده در هنگام سوختن کامل $1/5\text{ L}$ گاز اتان (C_2H_6) را در دما و فشار ثابت محاسبه کنید.



پاسخ:

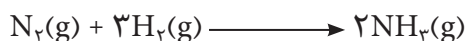
$$\text{حجم } O_2 \text{ مورد نیاز} = \cancel{1/50 \text{ L } C_4H_6} \times \frac{7 \text{ L } O_2}{\cancel{2 \text{ L } C_4H_6}} = 5/25 \text{ L } O_2$$

$$\text{حجم } CO_2 \text{ تولید شده} = \cancel{1/50 \text{ L } C_4H_6} \times \frac{4 \text{ L } CO_2}{\cancel{2 \text{ L } C_4H_6}} = 3/00 \text{ L } CO_2$$

$$\text{حجم } H_2O \text{ تولید شده} = \cancel{1/50 \text{ L } C_4H_6} \times \frac{6 \text{ L } H_2O}{\cancel{2 \text{ L } C_4H_6}} = 4/50 \text{ L } H_2O$$

خود را بیازمایید

گاز نیتروژن با گاز هیدروژن طبق معادله زیر واکنش می دهد و گاز آمونیاک تولید می کند:



در دما و فشار ثابت برای واکنش کامل $1/0 \text{ L}$ نیتروژن، به چند لیتر هیدروژن نیاز

است؟ در این شرایط چند لیتر آمونیاک به دست می آید؟

در حل برخی دیگر از مسائل استوکیومتری گازها، می توان با استفاده از حجم مولی،

ضرایب تبدیل مولی - حجمی مناسب را به دست آورد و از روی آن مقدار ماده مورد نظر را محاسبه کرد.

نمونه حل شده

بدن انسان در هر شبانه روز به طور متوسط 445 g گلوکز مصرف می کند. در این

مدت هر انسان به طور متوسط در شرایط استاندارد به چند لیتر گاز اکسیژن برای اکسایش گلوکز نیاز دارد؟



پاسخ: ابتدا تعداد مول های گلوکز را از روی جرم مولی آن ($180/0 \text{ g.mol}^{-1}$)

حساب می کنیم:

$$? \text{ mol } C_6H_{12}O_6 = 445 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180/0 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 2/47 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

حال با استفاده از ضرایب معادله موازنه شده واکنش و حجم مولی گازها

($22/4 \text{ L.mol}^{-1}$) حجم گاز اکسیژن مورد نیاز را حساب می کنیم.

$$\text{حجم } O_2 \text{ مورد نیاز} = 2/47 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{6 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{22/4 \text{ L } O_2}{1 \text{ mol } O_2} = 332 \text{ L } O_2$$

خود را بیازمایید

در شرایط استاندارد چند لیتر گاز H_2 از واکنش $g \text{ } 4/8^\circ$ منیزیم با مقدار اضافی هیدروکلریک اسید تولید می شود؟



در مواردی که واکنش در شرایطی غیر از STP انجام می شود می توان با استفاده از چگالی گازها، مقدار جرم آنها را به حجم یا برعکس تبدیل کرد.

نمونه حل شده

سدیم هیدروژن کربنات مطابق واکنش زیر در اثر گرما تجزیه می شود.



از گرم کردن $g \text{ } 1/5^\circ$ سدیم هیدروژن کربنات چند میلی لیتر گاز CO_2 آزاد می شود؟ چگالی CO_2 در دمای واکنش، $g.L^{-1}$ $1/1^\circ$ است.

پاسخ: ابتدا تعداد مول های سدیم هیدروژن کربنات را با استفاده از جرم مولی آن ($g.mol^{-1}$ $84/0^\circ$) حساب می کنیم.

$$\begin{aligned} \text{تعداد مول های } NaHCO_3 &= \frac{1/5^\circ g NaHCO_3}{84/0^\circ g NaHCO_3} \times \frac{1 \text{ mol } NaHCO_3}{2} \\ &= 1/79 \times 10^{-2} \text{ mol } NaHCO_3 \end{aligned}$$

سپس تعداد مول های CO_2 تولید شده را از روی نسبت مولی به دست آمده از معادله موازنه شده محاسبه کرده، با استفاده از جرم مولی، تعداد مول را به جرم تبدیل می کنیم:

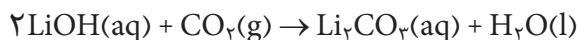
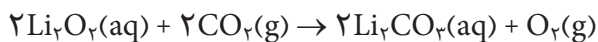
$$\begin{aligned} ? g CO_2 &= 1/79 \times 10^{-2} \text{ mol } NaHCO_3 \times \frac{1 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } NaHCO_3} \times \frac{44/0^\circ g CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \\ &= 0/393 g CO_2 \end{aligned}$$

جرم CO_2 تولید شده را با استفاده از چگالی آن به حجم تبدیل می کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ mL } CO_2 &= 0/393 g CO_2 \times \frac{1 \text{ L } CO_2}{1/1^\circ g CO_2} \times \frac{1000 \text{ mL } CO_2}{1 \text{ L } CO_2} \\ &= 357 \text{ mL } CO_2 \end{aligned}$$

خود را بیازمایید

برای تصفیه هوای درون فضاپیماها مطابق واکنش‌های زیر از تأثیر کربن دی‌اکسید بر لیتیم پراکسید (Li_2O_2) یا لیتیم هیدروکسید (LiOH) استفاده می‌شود:



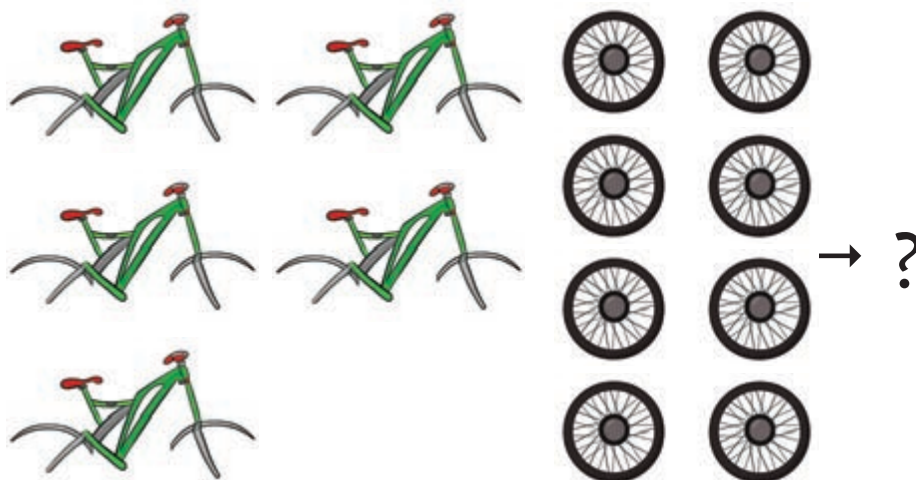
هر فضاانورد در شبانه‌روز به طور متوسط 20% مول CO_2 تولید می‌کند. (آ) اگر از واکنش اول برای تصفیه هوا استفاده شود و در این واکنش همه کربن دی‌اکسید تولید شده به مصرف برسد، مقدار اکسیژن تولید شده در یک شبانه‌روز چند لیتر خواهد بود؟ (چگالی اکسیژن را $1/4 \text{ g.L}^{-1}$ در نظر بگیرید.)
(ب) به نظر شما استفاده از کدام واکنش برای تصفیه هوای درون فضاپیما مناسب‌تر است؟ این موضوع را در کلاس به بحث بگذارید.



یک فضاانورد در حال تعویض قوطی‌های تصفیه هوای فضاپیما است.

واکنش دهنده محدود کننده

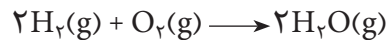
همان‌طور که می‌دانید برای تولید هر دوچرخه به یک عدد بدنه و دو حلقه چرخ نیاز است. حال اگر ۸ حلقه چرخ و ۵ عدد بدنه در اختیار داشته باشید، چند عدد دوچرخه می‌توانید بسازید؟ شکل ۱۳.



شکل ۱۳ برای تولید دوچرخه، تعداد بدنه‌ها کمتر است یا چرخ‌ها؟

برای ساختن دوچرخه پنجم، به دو حلقه چرخ دیگر نیاز داریم. به بیان دیگر در این مثال تعداد دوچرخه‌های تولید شده، به تعداد بدنه‌های موجود بستگی ندارد؛ بلکه به تعداد چرخ‌ها بستگی دارد.

در واکنش‌های شیمیایی نیز چنین است. برای نمونه، در واکنش سوختن هیدروژن همواره ۲ مول گاز هیدروژن با ۱ مول گاز اکسیژن به طور کامل ترکیب می‌شود.



حال اگر در یک آزمایش، ۲ مول هیدروژن را با ۲ مول اکسیژن واکنش دهیم، انتظار دارید که کدام یک از واکنش‌دهنده‌ها به طور کامل مصرف شوند؟

به واکنش‌دهنده‌ای که به طور کامل مصرف می‌شود، **واکنش‌دهنده محدودکننده** می‌گویند؛ بنابراین در آزمایش بالا، گاز H_2 ، محدودکننده است. هر چند نسبت‌های مولی مواد در واکنش‌های شیمیایی از قانون پایستگی جرم به دست می‌آید؛ اما، در آزمایشگاه و صنعت می‌توانیم به طور اختیاری مقدار یکی از واکنش‌دهنده‌ها را کمتر از مقدار استوکیومتری آن به کار ببریم تا از مصرف کامل آن اطمینان حاصل کنیم.

انتخاب محدودکننده در صنعت به عوامل متعددی مانند قیمت، سهولت کاربرد و... بستگی دارد.

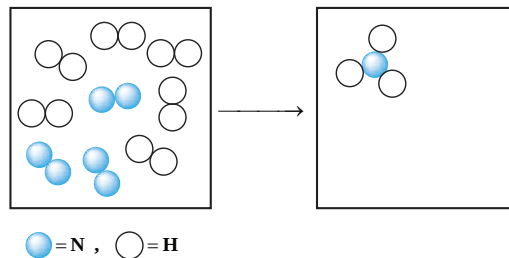
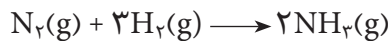
برای نمونه، برای تولید ۴۰۰ مول آهن از سنگ معدن آن، می‌توان ۲۰۰ مول Fe_2O_3 را با ۳۰۰ مول C واکنش داد.



اما از آنجا که کربن ارزان‌تر است و جداسازی تمام آهن از سنگ معدن آن اهمیت فراوانی دارد، مقدار کربن را بیشتر از ۳۰۰ مول (برای نمونه ۳۳۰ مول) به کار می‌برند. از این رو در این واکنش، Fe_2O_3 محدودکننده است و تمام آن مصرف می‌شود.

فکر کنید

۱- آمونیاک را می‌توان از واکنش گاز H_2 با گاز N_2 به صورت زیر به دست آورد:

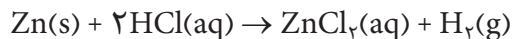


هرگاه مقداری از این دو گاز را مطابق شکل روبه‌رو در یک ظرف دربسته بریزیم و اجازه بدهیم با یکدیگر واکنش دهند: (آ) تعداد مولکول‌های فراورده را تعیین و شکل سمت راست را کامل کنید.

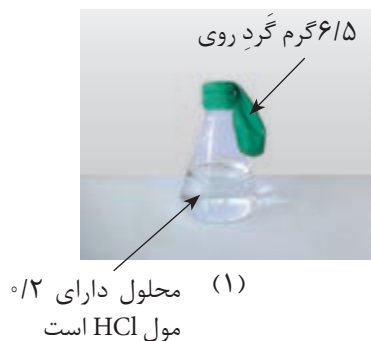
(ب) کدام واکنش‌دهنده، محدودکننده است؟

مقدار فراورده تولید شده به مقدار محدودکننده بستگی دارد.

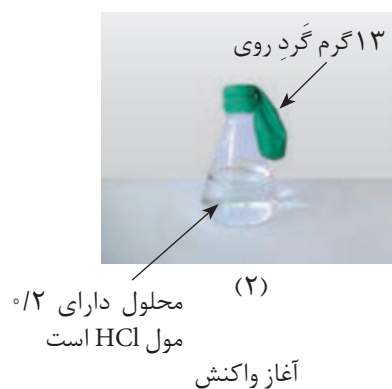
۲- شکل‌های زیر، واکنش گردِ فلز روی با محلول هیدروکلریک اسید را در دو آزمایش متفاوت نشان می‌دهد (دما 25°C است).



آزمایش اول:



آزمایش دوم:



پایان واکنش

آ) با بررسی شکل‌ها و بدون محاسبه توضیح دهید، چرا حجم گاز تولید شده در دو آزمایش برابر است؟

ب) با محاسبه تعداد مول‌های روی و با استفاده از ضرایب استوکیومتری، مشخص کنید که در آزمایش دوم کدام واکنش‌دهنده، محدودکننده است؟

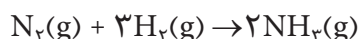
برای تشخیص واکنش‌دهنده محدودکننده در مسائل، می‌توان به شیوه‌های گوناگونی عمل کرد. یکی از این روش‌هایی را که طی دو مرحله به اجرا درمی‌آید با هم بررسی می‌کنیم.

گام نخست: جرم یا حجم واکنش‌دهنده‌ها را به تعداد مول آنها تبدیل کنید.

گام دوم: تعداد مول هر یک از واکنش دهنده ها را به ضریب استوکیومتری آن تقسیم کنید. سپس، هر واکنش دهنده ای که این «نسبت» برای آن عدد کوچک تری باشد، محدود کننده است.

نمونه حل شده

برای تولید آمونیاک، $25/00 \text{ kg}$ نیتروژن و $5/00 \text{ kg}$ هیدروژن با یکدیگر مخلوط شده، واکنش می دهند. در این فرایند (آ) واکنش دهنده محدود کننده کدام است؟ (ب) چه مقدار آمونیاک به دست می آید؟



پاسخ:

(آ)

گام نخست: تبدیل جرم واکنش دهنده ها به مول

$$\begin{aligned} ? \text{ mol N}_2 &= 25/00 \text{ kg N}_2 \times \frac{10^3 \text{ g N}_2}{1 \text{ kg N}_2} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28/02 \text{ g N}_2} \\ &= 8/93 \times 10^2 \text{ mol N}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ? \text{ mol H}_2 &= 5/00 \text{ kg H}_2 \times \frac{10^3 \text{ g H}_2}{1 \text{ kg H}_2} \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2/02 \text{ g H}_2} \\ &= 2/48 \times 10^3 \text{ mol H}_2 \end{aligned}$$

گام دوم: انتخاب واکنش دهنده محدود کننده

مول ماده ضریب استوکیومتری ماده	$\left\{ \begin{array}{l} \nearrow \\ \searrow \end{array} \right.$	$\text{N}_2 : \frac{8/93 \times 10^2 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 8/93 \times 10^2$
		$\text{H}_2 : \frac{2/48 \times 10^3 \text{ mol}}{3 \text{ mol}} = 8/27 \times 10^2$

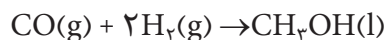
بنابراین H_2 محدود کننده است.

گام سوم: اکنون مقدار آمونیاک را با استفاده از واکنش دهنده محدود کننده یعنی

H_2 محاسبه می کنیم.

$$\begin{aligned} ? \text{ g NH}_3 &= 2/48 \times 10^3 \text{ mol H}_2 \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2} \times \frac{17/03 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} \\ &\quad \times \frac{1 \text{ kg NH}_3}{10^3 \text{ g NH}_3} = 28/2 \text{ kg NH}_3 \end{aligned}$$

۱- متانول (CH_3OH) به عنوان یک حلال و واکنش دهنده مناسب برای تولید بسیاری از مواد شیمیایی در صنعت شناخته می شود. به تازگی نیز در برخی کشورها به عنوان یک سوخت تمیز برای خودروها کاربرد یافته است. متانول را می توان از واکنش گازهای کربن مونواکسید و هیدروژن به دست آورد:



از واکنش کامل CO 356 g با H_2 65 g چند گرم متانول به دست می آید؟
 ۲- سیلیسیم خالصی را که در تراشه های الکترونیکی و نیز در سلول های خورشیدی به کار می برند، از واکنش سیلیسیم تتراکلرید مایع و منیزیم خالص، طبق واکنش زیر تهیه می کنند:

$$\text{SiCl}_4\text{(l)} + 2\text{Mg(s)} \rightarrow \text{Si(s)} + 2\text{MgCl}_2\text{(s)}$$

چند گرم سیلیسیم خالص از واکنش کامل SiCl_4 225 g و Mg 225 g به دست می آید؟

بازده واکنش های شیمیایی

در بسیاری از واکنش های شیمیایی که برای تهیه مواد شیمیایی به کار می روند، مقدار فراورده های به دست آمده کمتر از مقدار محاسبه شده است. مقدار فراورده های مورد انتظار از محاسبه های استوکیومتری، **مقدار نظری** واکنش است، در حالی که **مقدار عملی** یعنی مقدار فراورده ای که در عمل تولید می شود، اغلب کمتر از مقدار نظری است.

بازده درصدی یک واکنش نسبت این دو مقدار است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100$$

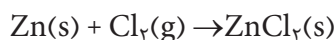
شیمی دان ها همواره برای افزایش بازده درصدی فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی تلاش می کنند، با این حال بازده اغلب واکنش ها کمتر از صد درصد است.

بازده درصدی واکنش را می توان با استفاده از روش گام به گام زیر به دست آورد:

- ۱- تعیین واکنش دهنده محدود کننده
- ۲- محاسبه مقدار نظری (بیشترین مقدار ممکن فراورده) با استفاده از مقدار واکنش دهنده محدود کننده
- ۳- محاسبه بازده درصدی واکنش با استفاده از رابطه بالا

نمونه حل شده

g ۳۵/۵ از گرد فلز روی خالص با مقدار اضافی گاز کلر واکنش می دهد. پس از پایان واکنش g ۶۵/۲ روی کلرید به دست می آید. بازده درصدی این واکنش را حساب کنید.



۱- پیدا کردن واکنش دهنده محدود کننده

گاز کلر به مقدار اضافی وجود دارد، پس فلز روی واکنش دهنده محدود کننده است.

۲- محاسبه مقدار نظری واکنش با استفاده از مقدار واکنش دهنده محدود کننده

$$? \text{ mol Zn} = 35.5 \text{ g Zn} \times \frac{1 \text{ mol Zn}}{65.38 \text{ g Zn}} = 0.543 \text{ mol Zn}$$

$$\begin{aligned} ? \text{ mol ZnCl}_2 &= 0.543 \text{ mol Zn} \times \frac{1 \text{ mol ZnCl}_2}{1 \text{ mol Zn}} \\ &= 0.543 \text{ mol ZnCl}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{مقدار نظری واکنش} &= 0.543 \text{ mol ZnCl}_2 \times \frac{136.28 \text{ g ZnCl}_2}{1 \text{ mol ZnCl}_2} \\ &= 74.0 \text{ g ZnCl}_2 \end{aligned}$$

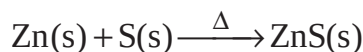
۳- محاسبه بازده درصدی واکنش

$$\text{بازده درصدی واکنش} = \frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} \times 100 = \frac{65.2 \text{ g ZnCl}_2}{74.0 \text{ g ZnCl}_2} \times 100 = 88.1\%$$

خود را بیازمایید

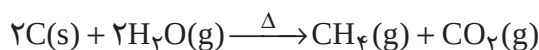
۱- برای تولید روی سولفید از واکنش دادن روی و گوگرد طبق معادله زیر استفاده

می کنند.



در یک آزمایش g ۳۶/۰ روی را با g ۳/۰ گوگرد واکنش داده اند و مقدار g ۴۲/۵ روی سولفید به دست آورده اند. بازده درصدی واکنش را حساب کنید.

۲- گاز متان را می توان از واکنش زغال سنگ با بخار آب بسیار داغ تهیه کرد.



در صورتی که بازده درصدی واکنش ۸۵٪ باشد، چند کیلوگرم متان از واکنش

kg ۲/۰ زغال سنگ با مقدار اضافی بخار آب به وجود می آید؟



متأسفانه، در یک بررسی که در آن بیش از ۱۰۰ مورد گزارش تصادف ارائه شده بود نه تنها کیسه‌های هوا از تلفات جانی جلوگیری نکرده، بلکه علت اصلی مرگ نیز بوده است. بیشتر این قربانیان، نوزادان یا کودکان خردسال بوده‌اند؛ از این رو، کارشناسان توصیه می‌کنند که از نشان دادن کودکان زیر ۱۲ سال روی صندلی جلوی خودروها به ویژه خودروهایی که مجهز به کیسه‌های هوا هستند، خودداری شود. همچنین، باز شدن کیسه‌های هوا در برخی موارد موجب زخمی شدن یا حتی مرگ رانندگانی شده که فاصله آنها تا فرمان خودرو بسیار کم بوده است. حداقل این فاصله باید ۲۵ سانتی‌متر باشد. رعایت این فاصله برای رانندگان بلندقد آسان است، اما رانندگان کوتاه قد، برای آنکه پیشانی‌شان به پدال گاز، ترمز و کلاچ برسد، ناچارند که بیش از اندازه، خود را به فرمان خودرو نزدیک کنند. برای حل این مشکلات به تازگی نسل جدیدی از کیسه‌های هوا به بازار آمده است که به آن **هوشمند** گفته می‌شود. سرعت باز شدن این کیسه‌ها برحسب شدت تصادف، قد و وزن راننده و فاصله سر راننده تا فرمان خودرو تغییر می‌کند.



کیسه‌های هوا

کیسه‌های هوا یکی از تازه‌ترین دستاوردهای صنایع خودروسازی است که در جهت افزایش ایمنی سرنشینان طراحی و تولید شده است. همان گونه که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، هنگام برخورد شدید خودرو، کیسه‌هایی که در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده‌اند، به سرعت از گاز پر می‌شوند و از برخورد سرنشینان به شیشه و قسمت جلویی اتاق، جلوگیری به عمل می‌آورند. کارایی این مجموعه به تولید گاز کافی در کمترین زمان ممکن بستگی دارد.



شکل ۱۴ باد شدن سریع کیسه‌های هوا هنگام برخورد شدید خودرو ناشی از انجام یک واکنش سریع شیمیایی است که طی آن حجم زیاد ولی کنترل شده‌ای از گاز نیتروژن تولید می‌شود.

تولید گاز در این کیسه‌ها به علت انجام سریع یک واکنش شیمیایی است. حسگرهایی در قسمت جلوی خودرو تعبیه شده‌اند که در هنگام برخورد شدید، فعال می‌شوند و باعث منفجر شدن یک کلاهک انفجاری کوچک می‌شوند. این انفجار، انرژی موردنیاز برای آغاز واکنشی را فراهم می‌آورد که **مولد گاز** نام دارد.

گازی که به سرعت کیسه‌ها را پر می‌کند، گاز نیتروژن (N_2) است. این گاز از واکنش زیر فراهم می‌شود:



این واکنش به تنهایی نمی‌تواند باعث پر شدن ناگهانی کیسه‌ها شود. به علاوه در این واکنش سدیم فلزی نیز تولید می‌شود که ماده‌ی فعال (واکنش‌پذیر) و خطرناکی است. برای حل این مشکل از واکنش بسیار سریع آهن (III) اکسید با سدیم فلزی استفاده می‌شود.



این واکنش دما را به‌طور ناگهانی تا بیش از یک صد درجه بالا می‌برد و باعث انبساط سریع گاز درون کیسه‌ها می‌شود (چرا؟). سدیم اکسید حاصل در اثر مجاورت با کربن دی‌اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات که ماده‌ای بی‌خطر است، تبدیل می‌شود.



حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه هوا با حجم مشخص، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد. برای محاسبه مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه های هوا، طراحان این کیسه ها باید با استوکیومتری واکنش ها و تغییر انرژی آنها (که باعث تغییر دما و بنابراین تغییر چگالی گازها می شود) به خوبی آشنا باشند.

خود را بیازمایید

فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسه هوا به ۶۵/۱ لیتر گاز N_2 نیاز است. برای تولید این مقدار گاز N_2 ، دستگاه مولد گاز به چند گرم $NaN_3(s)$ نیاز دارد؟ چگالی گاز N_2 در دمای واکنش به طور تقریبی 1.25 g.L^{-1} است.

افزایش کارایی موتورها

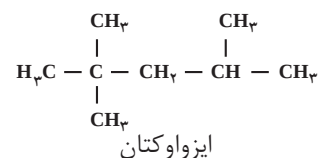
بهسوزی موتور خودرو به رعایت اصول استوکیومتری بستگی دارد. وقتی رانندگان برای افزایش سرعت، پا را بر پدال گاز می فشارند، سرعت جریان سوخت به موتور بیشتر می شود. بنابراین مقدار انرژی آزاد شده از سوختن بنزین افزایش می یابد. معادله نوشتاری زیر تولید انرژی در فرایند سوختن کامل بنزین را نشان می دهد:



در واقع این معادله نوشتاری، واکنش دهنده ها را به خوبی مشخص نمی کند، زیرا بنزین یک ماده شیمیایی ساده نیست و مخلوطی از چند هیدروکربن متفاوت با ۵ تا ۱۲ اتم کربن است. به طور میانگین می توان بنزین مورد استفاده در خودروها را ایزواوکتان خالص (با ۸ اتم کربن) در نظر گرفت و معادله سوختن را برای آن به صورت زیر نوشت:



دو واکنش دهنده باید در یک نسبت نزدیک به نسبت های مولی معادله موازنه شده واکنش با هم مخلوط شوند. فراموش نکنید که تنها حدود ۲۰ درصد از حجم هوا را اکسیژن تشکیل می دهد و بنابراین راه مناسب بهسوزی موتور، تنظیم عملی نسبت هوا به سوخت است. اگر هریک از واکنش دهنده ها به مقداری بیشتر از نسبت استوکیومتری استفاده شود، موتور کارایی خوبی نخواهد داشت و حتی ممکن است خاموش شود. کارکرد نادرست موتور خودرو که به واسطه سوختن ناقص بنزین به وقوع می پیوندد، نه تنها باعث کاهش توان خودرو می شود بلکه مصرف سوخت را بالا می برد و این خود افزایش آلودگی هوا را در پی خواهد داشت.



نسبت مولی سوخت به اکسیژن در موتور خودرویی که با سرعت معمولی حرکت می کند، به جای نسبت استوکیومتری ۱ به ۱۲/۵ در نسبت ۱ به ۱۶ نگهداری می شود. این درحالی است که هنگام روشن کردن موتور این نسبت ۱ به ۱۲ و در هنگامی که موتور درجا کار می کند، این نسبت ۱ به ۹ است. در هر حالت واکنش دهنده محدود کننده کدام است؟



ابوبکر محمد بن زکریای رازی
(۲۰۹-۲۴۲ هجری شمسی)
(۹۲۰-۸۶۴ میلادی)
شیمی دان، ریاضی دان،
فیلسوف، ستاره شناس و پزشک
ایرانی، وی ترکیب های شیمیایی
متعددی را تهیه کرد که از آن
میان می توان به اتانول اشاره
کرد. با مراجعه به شبکه
جهانی وب درباره این شخصیت
برجسته ایرانی - اسلامی
اطلاعات جمع آوری کرده، نتیجه
را به صورت روزنامه دیواری در
کلاس ارائه دهید.



این نقاشی توسط اروپایی های
سده پانزدهم میلادی کشیده
شده است.

بیشتر بدانید

جابر بن حیان بنیانگذار مسلمان شیمی

ابوموسی جابر بن حیان کیمیاگر برجسته مسلمان در سال ۱۰۰ هجری شمسی (۷۲۱ میلادی) در شهر طوس از توابع خراسان دیده به جهان گشود. مدت کوتاهی پس از تولد جابر، پدرش که خود یک داروساز شناخته شده عرب و مسلمان پیرو اهل بیت (ع) بود به دلیل نقشی که در طرح براندازی حکومت اموی داشت دستگیر شد و به شهادت رسید. پیشه پدر و مطالعه یادداشت های به جای مانده از او نقش مهمی در علاقه مند شدن جابر به داروسازی و کیمیاگری داشت. با این حال با شوق فراوان به یادگیری علوم دیگر نیز می پرداخت. اشتیاق فراگیری قرآن مجید و بهره مند شدن از محضر پرفیض حضرت امام جعفر صادق (ع) سبب شد که به شهر کوفه کوچ کند. هجرتی که بی تردید موجبات شکوفایی استعداد های نهفته جابر را فراهم آورد.

شهرت جابر بیشتر به دلیل سهمی است که در پیشرفت دانش شیمی داشته است. او همواره بر اجرای هدفمند و نظام دار فعالیت های تجربی تأکید داشت و تلاش بسیاری برای خرافه زدایی از کیمیاگری و تبدیل آن به یک علم تجربی کرد. نوآوری انواع گوناگونی از وسایل آزمایشگاهی از جمله **انبيق** به نام وی ثبت شده است. کشف مواد شیمیایی متعددی مانند هیدروکلریک اسید، نیتریک اسید، تهیه تیزاب (مخلوطی از دو اسید یاد شده که از جمله اندک موادی است که طلا را در خود حل می کند)، سیتریک اسید (جوهر لیمو) و استیک اسید (جوهر سرکه) همچنین معرفی فرایندهای تبلور و تقطیر که هر دو سنگ بنای شیمی امروزی به شمار می آیند همگی از نتایج تلاش خستگی ناپذیر این شیمی دان سرشناس است. وی یافته های زیادی درباره روش های استخراج و خالص سازی طلا، جلوگیری از زنگ زدن آهن، حکاکی روی طلا، رنگرزی و نم ناپذیر کردن پارچه ها و تجزیه مواد شیمیایی ارائه داد. همچنین بذر دسته بندی امروزی عناصرها به فلز و نافلز را می توان در دست نوشته های وی یافت.

جابر کتاب ها و رساله های بسیاری نوشت که سال ها بعد توجه کیمیاگران اروپایی را به خود جلب کرد. اروپایی ها تعدادی از این کتاب ها را به زبان لاتین ترجمه کردند و سال ها از آنها به عنوان منابع علمی معتبر استفاده می کردند. به گفته بسیاری از غربی ها، محتوای کتاب های جابر تأثیر ژرفی بر دیدگاه کیمیاگران اروپایی گذاشت و سال ها بعد مبدأ تحولات شگرفی در دانش شیمی شد. اگرچه

جابر بن حیان در سال ۱۹۴ هجری شمسی (۸۱۵ میلادی) - نزدیک به هزار و دویست سال پیش - در شهر کوفه در عراق چشم از جهان فرو بست ولی نام و دستاوردهای این چهرهٔ گران سنگ تاریخ تمدن اسلامی هرگز از یادها نرفت.

////////////////////////////////////



انبیق، وسیلهٔ ساده‌ای که جابر به منظور تقطیر مواد طراحی کرد. این ظرف برای گرم کردن مخلوط‌ها و جمع‌آوری و هدایت بخارهای حاصل به کار می‌رفت.

ترمودینامیک شیمیایی



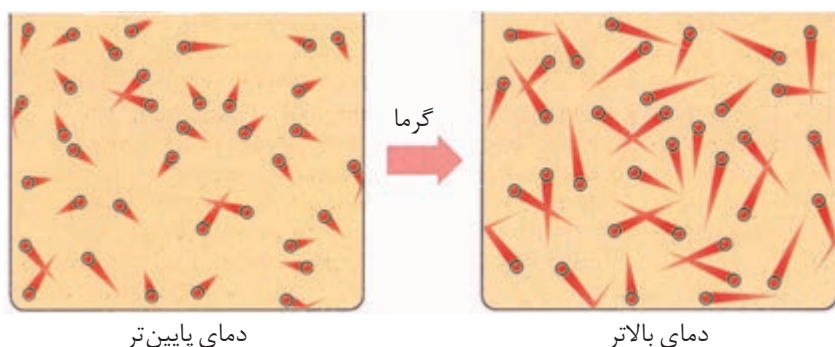
انرژی گرمایی و قابلیت آن برای تبدیل شدن به انرژی مکانیکی، پویایی به ارمغان آورده است.

سوختن نفت و زغال سنگ با آزاد شدن مقدار زیادی انرژی به صورت گرما همراه است که از این گرما می‌توان برای گرم کردن خانه، پختن غذا یا به حرکت درآوردن وسایل نقلیه استفاده کرد. شاید این گفته که: «یک لوکوموتیو بخار با سوزاندن چهارده گرم زغال سنگ می‌تواند دو تن بار را ۱۶۰۰ متر جابه‌جا کند!» تأکید کند که همواره برای انجام هر کاری به یک منبع انرژی نیاز داریم، اما مهم‌تر از آن یادآوری این نکته است که هر تغییر فیزیکی یا شیمیایی که چنین نتیجه‌ای را در پی دارد، نمی‌تواند بدون مبادله انرژی میان مواد روی داده باشد. مطالعه کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده در واکنش‌های شیمیایی، تغییر آن و تأثیری که بر حالت ماده دارد، موضوع‌هایی هستند که در شاخه‌ای از شیمی بررسی می‌شوند که ترموشیمی یا گرماشیمی نامیده شده است.

انرژی و ذره‌های سازنده ماده

می‌دانید که هر جسم در حال حرکت دارای انرژی جنبشی است. از آنجا که ذره‌های سازنده ماده یعنی اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌ها نیز پیوسته در حرکت‌اند، پس همه آنها دارای انرژی جنبشی هستند. این گفته به این معناست که همه مواد انرژی دارند. در واقع انرژی آنها مجموع انرژی ذره‌های سازنده آنهاست.

همچنین می‌دانید که گرما صورتی از انرژی است. هنگامی که یک جسم گرم می‌شود، مقدار انرژی آن جسم افزایش می‌یابد. در واقع طی این فرایند، انرژی جذب شده، در میان ذره‌های سازنده آن جسم توزیع می‌شود. پس می‌توان انتظار داشت که ذره‌های یادشده با سرعتی بیشتر از پیش به حرکت خود ادامه دهند، شکل ۱.



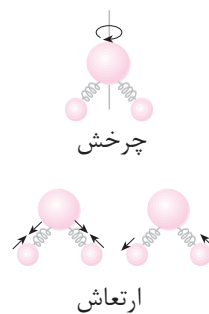
شکل ۱ ذره‌های تشکیل دهنده ماده، پیوسته و به طور نامنظم در حرکت‌اند. در اثر گرم شدن، دمای جسم افزایش می‌یابد و بر سرعت حرکت ذره‌های سازنده آن افزوده می‌شود.

اگر دما را معیاری از میزان گرمی یک جسم تعریف کنیم، در این صورت با گرم شدن یک جسم دمای آن نیز بالا می‌رود. به بیان دیگر، دانستن دمای یک جسم اطلاعات سودمندی درباره انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره‌های سازنده آن جسم در اختیار ما می‌گذارد. بنابراین اختلاف دمای میان دو جسم، ما را از اختلاف در انرژی جنبشی ذره‌های تشکیل دهنده آن دو آگاه می‌سازد.

اکنون این پرسش به ذهن خطور می‌کند که این انرژی جنبشی، در ذره‌های سازنده یک ماده صرف چه می‌شود؟ آیا حرکت از جایی به جای دیگر (حرکت انتقالی) تنها حرکت ممکن برای ذره‌های ماده است؟

اگر دو گلوله آهنی سبک را به فنری متصل کرده، آنها را به سمت بالا پرتاب کنید، مجموعه یادشده حرکت‌های متفاوتی را از خود نشان خواهد داد. این مجموعه از یک نقطه به نقطه دیگری جابه‌جا می‌شود، یعنی دارای حرکت انتقالی است. به دور خود می‌چرخد، پس حرکت چرخشی هم دارد. همچون فنر، کشیده و جمع می‌شود یا به عبارتی به نوسان درمی‌آید، پس می‌توان گفت که مجموعه دارای حرکت ارتعاشی نیز هست. این الگو نشان می‌دهد که ذره‌های تشکیل دهنده ماده، می‌توانند حرکت‌های انتقالی، چرخشی و ارتعاشی

حرکت‌های نامنظم ذره‌های سازنده یک ماده را حرکت‌های گرمایی می‌گویند. نمایش حرکت چرخشی و ارتعاشی در یک مولکول سه اتمی (مولکول آب)



داشته باشند. مشاهده‌های تجربی وجود چنین حرکت‌هایی را در ذره‌های سازندهٔ ماده به اثبات رسانده است.

همهٔ این حرکت‌ها به انرژی نیاز دارند. بنابراین با افزایش دمای یک جسم، انرژی جذب شده توسط ذره‌ها، میان همهٔ این حرکت‌ها توزیع می‌شود تا به این ترتیب هزینهٔ اجرای آنها تأمین شود. تجربه نشان می‌دهد که توزیع انرژی میان همهٔ ذره‌های ماده یکسان نیست (چرا؟)، از این رو همواره میانگین انرژی همهٔ آنها اندازه‌گیری می‌شود.

آیا انرژی ماده به مقدار آن بستگی دارد؟

دو لیوان آب را در نظر بگیرید. یکی دارای ۱۰۰ mL و دیگری دارای ۲۰۰ mL آب است. دمای آب درون هر دو لیوان برابر با ۲۵ °C است. آیا برای افزایش دمای آب هر دو لیوان تا ۵۰ °C، به انرژی یکسانی نیاز است؟

با کمک مفهومی به نام **ظرفیت گرمایی** می‌توان به این پرسش پاسخ داد. می‌دانید که ظرفیت گرمایی یک ماده، گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای آن به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس است. بنابراین هرچه مقدار ماده بیشتر باشد، گرمای بیشتری نیز برای افزایش دمای آن به این اندازه لازم است.

به دلیل وابستگی ظرفیت گرمایی یک ماده به جرم آن، می‌توان با استفاده از ظرفیت گرمایی ویژه، این وابستگی را از بین برد. ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم از ماده به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس لازم است. ظرفیت گرمایی ویژهٔ یک ماده را می‌توان به صورت زیر نیز بیان کرد.

$$\text{مقدار گرمای مبادله‌شده} = \frac{\text{ظرفیت گرمایی}}{\text{جرم ماده}} = \frac{\text{ظرفیت گرمایی ویژه}}{\text{تغییر دما} \times \text{جرم ماده}}$$

در این رابطه اگر تغییر دما برابر با یک درجهٔ سلسیوس باشد و جرم ماده نیز یک گرم در نظر گرفته شود، در این صورت ظرفیت گرمایی ویژهٔ ماده با مقدار گرمای مبادله شده برابر خواهد بود.

اگر مقدار گرمای مبادله شده را با q ، ظرفیت گرمایی ویژه را با c ، جرم ماده را با m و اختلاف دما را با ΔT نشان دهیم، آنگاه خواهیم داشت:

$$c = \frac{q}{m \cdot \Delta T}$$

در شیمی یکای ظرفیت گرمایی ویژه، ژول بر گرم بر درجهٔ سلسیوس ($J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$) است. در جدول ۱ ظرفیت گرمایی ویژهٔ برخی مواد داده شده است.

ژول و کالری یکاهای رایج انرژی‌اند. ژول یکای انرژی در SI است و به افتخار جیمز ژول فیزیک‌دان انگلیسی به این نام خوانده می‌شود. ژول یکای کوچکی است؛ از این رو برای گزارش مقادیر انرژی از کیلوژول (kJ) که معادل هزار ژول است استفاده می‌شود.

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

هر تپش قلب انسان به حدود ۱ J انرژی نیاز دارد. یک کالری مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک گرم آب خالص به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس است.

$$1 \text{ cal} = 4/184 \text{ J}$$

= مقدار گرمای مبادله‌شده
تغییر دما $\times$ ظرفیت گرمایی

دلتا، Δ ، یک حرف یونانی است و برای نشان دادن تغییر یک متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال Δx به معنی $x_2 - x_1$ است.

ارزش غذایی مواد غذایی، بر حسب کالری سنجیده می شود. ولی کارشناسان علوم تغذیه از نوعی کالری استفاده می کنند که آن را کالری رژیم غذایی (Cal) می نامند که حرف C در آن بزرگ است. این یکا معادل ۱۰۰۰ کالری یا یک کیلوکالری است.

$$1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal} = 1 \text{ kcal}$$

بنابراین وقتی که می گوئیم ۱۰۰ گرم موز ۷۰ کالری ارزش غذایی دارد به این معنی است که وقتی ۱۰۰ گرم موز مصرف می شود ۷۰ Cal یا ۷۰ kcal انرژی برای بدن فراهم می کند.

ارزش غذایی g ۱۰۰ از برخی مواد غذایی (Cal)	
برنج	۳۶۰
تخم مرغ	۱۴۰
نان	۲۵۰
سیب	۵۰
سیب زمینی	۷۰

اگر دما بر حسب کلونین بیان شود، یکای ظرفیت گرمایی ویژه، ژول بر گرم بر کلونین ($\text{J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$) می شود.

در شیمی بیشتر از **ظرفیت گرمایی مولی** استفاده می شود. ظرفیت گرمایی مولی، مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازه یک درجه سلسیوس (1°C) است. یکای ظرفیت گرمایی مولی، ژول بر مول بر درجه سلسیوس ($\text{J.mol}^{-1}.\text{C}^{-1}$) است.

جدول ۱ ظرفیت گرمایی ویژه برخی مواد در دمای اتاق (25°C)

ماده	حالت فیزیکی	ظرفیت گرمایی ویژه ($\text{J.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$)	ظرفیت گرمایی مولی ($\text{J.mol}^{-1}.\text{C}^{-1}$)
آب (یخ)	جامد	۲/۰۷۶	۳۷/۴۰
سدیم کلرید	جامد	۰/۸۵۰	۴۹/۷۰
کربن (گرافیت)	جامد	۰/۷۲۰	۸/۶۵
آهن	جامد	۰/۴۵۱	۲۵/۱۹
آب	مایع	۴/۱۸۴	۷۵/۳۸
اتانول	مایع	۲/۴۶۰	۱۱۳/۳۳
آب (بخار)	گاز	۲/۰۴۳	۳۶/۸۰
اکسیژن	گاز	۰/۹۱۷	۲۹/۳۴

نمونه حل شده

۵۳ گرم آلومینیم به ۲۳۹ J انرژی نیاز دارد تا دمای آن به اندازه 5°C افزایش پیدا کند، ظرفیت گرمایی ویژه این فلز را محاسبه کنید.

پاسخ:

می دانید که ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم از یک جسم به اندازه 1°C لازم است. از آنجا که دادن ۲۳۹ J انرژی، دمای ۵۳ g آلومینیم

را به اندازه 5°C افزایش می دهد، مقدار گرمایی معادل $4/51 \text{ J.g}^{-1}$ ($\frac{239 \text{ J}}{53 \text{ g}}$) لازم است تا دمای ۱ g آلومینیم را 5°C افزایش دهد. به این ترتیب گرمای لازم برای افزایش دمای ۱ g آلومینیم به اندازه 1°C برابر خواهد بود با:

$$\left(\frac{4/51 \text{ J.g}^{-1}}{5^\circ\text{C}}\right) = 0/902 \text{ J.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$$

به عبارت دیگر:

$$\text{ظرفیت گرمایی ویژه آلومینیم} = \frac{239 \text{ J}}{53 \text{ g} \times 5^\circ \text{C}} = 0.902 \text{ J.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$$

خود را بیازمایید

- ۱- با توجه به داده‌های جدول ۱، رابطه میان جرم مولی، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی مواد را بیابید.
- ۲- اگر افزایش دمای ۷۵ g سرب به مقدار 10°C به ۹۶ J گرما نیاز داشته باشد، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی سرب را محاسبه کنید.
- ۳- برای کاهش دمای ۲۵۰ g اتانول از دمای 25°C به دمای 3°C چه مقدار گرما باید از آن گرفته شود؟

اطلاعات جمع‌آوری کنید

ظرفیت گرمایی ویژه آب در سه حالت جامد، مایع و گاز با هم تفاوت دارد. آیا می‌توان نتیجه گرفت که حالت فیزیکی هم بر مقدار ظرفیت گرمایی ویژه یک ماده مؤثر است؟ این وابستگی را چگونه می‌توان توجیه کرد؟ با مراجعه به منابع علمی معتبر ضمن ارائه چند نمونه دیگر، پاسخ این پرسش‌ها را بیابید و نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

بیشتر بدانید

هزاران سال است که در کشورهای شرق آسیا مراسم شگفت‌انگیز راه رفتن روی زغال گداخته برگزار می‌شود. افرادی روی زغال داغ راه می‌روند، بدون آنکه دچار سوختگی شوند. چگونه این کار امکان‌پذیر است؟ آیا این افراد قدرت فراطبیعی دارند؟ یا اینکه علم تجربی توجیهی برای آن ندارد؟ پاسخ این پرسش‌ها را می‌توان با بررسی ظرفیت گرمایی پوست کف پا و زغال گداخته یافت. چون بافت بدن انسان به‌طور عمده از آب تشکیل شده است، از این رو پوست کف پا ظرفیت گرمایی ویژه نسبتاً بالایی دارد. بنابراین، برای آنکه دمای پاها به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر کند، باید مقدار زیادی انرژی از زغال به این اندام‌ها منتقل شود. چون مدت زمان تماس پاها با زغال گداخته نسبتاً کوتاه است، فرصت چندانی برای انتقال انرژی به پاها وجود ندارد، به‌طوری که دمای کف پاها آن‌چنان افزایش نمی‌یابد که آسیبی ببینند. از سوی دیگر، اگر چه دمای سطح زغال زیاد است، اما لایه گداخته سطح آن بسیار نازک است. از این رو، مقدار انرژی موجود برای گرم کردن پاها کمتر از آن است که انتظار می‌رود؛ زیرا اگر چه دمای این لایه گداخته بسیار نازک زیاد است، اما جرم آن به اندازه‌ای ناچیز است که گرمای قابل

ملاحظه‌ای برای مبادله در اختیار ندارد.

عامل سومی که به این افراد کمک می‌کند تا بتوانند روی زغال گذاخته راه بروند، پدیده‌ای است که نخستین بار یک فیزیک‌دان آلمانی به نام یوهان لیدن فراست به آن پی برد. اثر لیدن فراست به پدیده‌ای گفته می‌شود که به قطره‌های آب اجازه می‌دهد روی یک جسم داغ (مانند یک ماهی‌تابه داغ) برای مدت نسبتاً طولانی بلغزند، بدون آنکه تبخیر شوند. علت این پدیده آن است که ناحیه‌ای از قطره که در تماس با سطح داغ قرار دارد، تبخیر می‌شود و لایه‌ای از گاز (بخار) به وجود می‌آید. این لایه مانع از انتقال گرما به بقیه قطره می‌شود و به قطره امکان می‌دهد تا برای مدت بیشتری روی سطح داغ باقی بماند. قطره‌های عرق پای این افراد نیز همین اثر را دارد. افزون بر این، چون این مراسم معمولاً در شب اجرا می‌شود، چمن مرطوبی که در اطراف بستر زغال وجود دارد، پای شخص را نمناک کرده، رطوبت لازم برای پدیده لیدن فراست را فراهم می‌کند. بنابراین، اگرچه راه رفتن روی آتش، کار شگفت‌آوری به نظر می‌رسد، اما دلایل علمی محکمی وجود دارد که امکان انجام این کار را توجیه می‌کند. البته، تمرین کافی و بستر مناسب زغال نیز ضروری است. ضمن آن که نباید از تحلیل‌های روان‌شناسانه چنین اقدامی نیز چشم‌پوشی کرد.



مراسم راه رفتن روی زغال گذاخته. هندوهای جزایر فیجی در حال برگزاری این مراسم دیده می‌شوند.

ترمودینامیک چیست؟

تا اینجا آموختید که ماده انرژی دارد و این انرژی میان همه ذره‌های سازنده‌اش، آن هم به طور غیریکنواخت توزیع شده است. همچنین آموختید که هر ماده می‌تواند به مقادیر معین و قابل اندازه‌گیری انرژی جذب کند یا از دست بدهد و در یک کلام انرژی مبادله کند. این ویژگی‌های ماده و بسیاری دیگر از این دست در شاخه‌ای از علم تجربی مطالعه می‌شود که **ترمودینامیک** نامیده شده است. گستره ترمودینامیک آن قدر وسیع است که افزون بر مطالعه تبدیل شکل‌های مختلف انرژی به یکدیگر و راه‌های انتقال آن به پرسش‌های کلی‌تری از جمله دلیل انجام شدن یا نشدن فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در شرایط معین پاسخ می‌دهد.

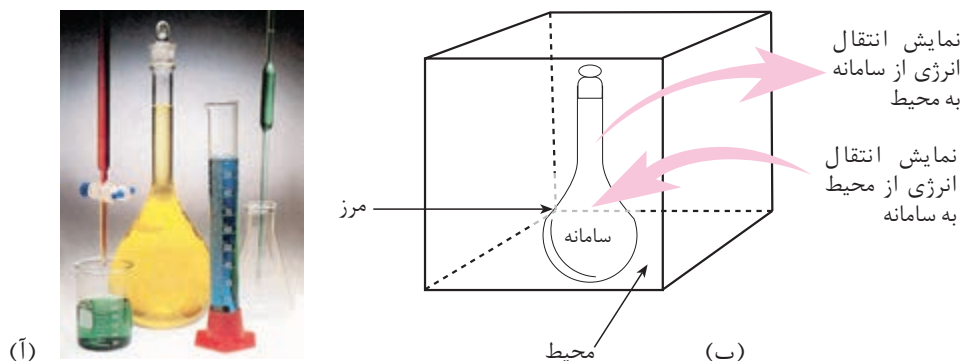
ترمودینامیک نیز مانند هر شاخه علمی دیگری الفبای ویژه خود را دارد. پس لازم است پیش از ورود به این مبحث با برخی مفاهیم اولیه ترمودینامیک آشنا شوید.

سامانه و محیط پیرامون آن

در ترمودینامیک بخشی از جهان را انتخاب و تغییر انرژی آن را مطالعه می‌کنند. به بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می‌شود، **سامانه** یا **سیستم** می‌گویند. هنگامی که سامانه مشخص شد، هر چیز دیگری که در پیرامون آن باشد، **محیط** نامیده می‌شود. در شکل ۲ یک سامانه و محیط پیرامون آن را می‌بینید. در این شکل اگر سامانه، محتویات بالون حجمی (محلول زرد) باشد، وسایل دیگر و همچنین بقیه قسمت‌های آزمایشگاه، محیط پیرامون سامانه

را تشکیل می‌دهند. در حقیقت، بقیه جهان هستی محیط پیرامون سامانه است ولی در عمل کافی است که فقط بخشی از جهان که با سامانه بر هم کنش دارد، محیط در نظر گرفته شود.

دیواره‌ای که سامانه را از محیط پیرامون آن جدا می‌کند **مرز سامانه** نامیده می‌شود. این مرز ممکن است حقیقی یا مجازی باشد.



شکل ۲ سامانه و محیط پیرامون آن (آ) وقتی که محتویات بالون (محلول زرد) را به عنوان سامانه در نظر بگیریم، دیواره بالون مرز سامانه و آزمایشگاه، محیط پیرامون آن به شمار می‌آید. (ب) نمایش دقیق تر اجزای سامانه یاد شده.

انواع سامانه‌ها

سامانه‌ها را براساس نوع مبادله‌ای که با محیط پیرامون خود دارند به سه دسته طبقه‌بندی می‌کنند. در این مبادله، سامانه و محیط می‌توانند انرژی، ماده یا هر دو را بین هم تبادل کنند. سامانه‌ای که هم انرژی و هم ماده با محیط مبادله می‌کند، **سامانه باز** نامیده می‌شود. به سامانه‌ای که در آن امکان مبادله ماده وجود ندارد و تنها به مبادله انرژی با محیط اکتفا می‌شود، **سامانه بسته** می‌گویند. سامانه‌ای که مبادله ماده و انرژی با محیط ندارد، **سامانه منزوی (ایزوله)** نامیده شده است.

فکر کنید

۱- با توجه به تعریف انواع سامانه‌ها، در هر مورد نوع سامانه را تعیین کنید.

(آ) دماسنج

(ب) یک لیوان شیر

(پ) کتری در حال جوشیدن



۲- آب جوش یا چایی که در یک فلاسک نگهداری می‌شود، یک سامانه منزوی به شمار می‌رود. آیا می‌توان ادعا کرد که این سامانه واقعاً منزوی است؟ توضیح دهید.

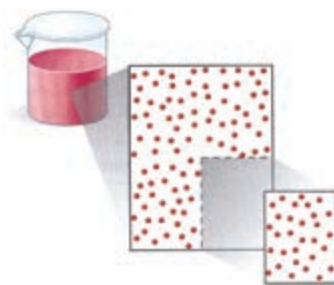
خواص سامانه

برای توصیف یک سامانه باید برخی از خواص مانند حجم، فشار، دمای سامانه و ... را اندازه‌گیری کرد. این خواص که حالت ترمودینامیکی سامانه را توصیف می‌کنند، **خواص ترمودینامیکی** نام دارند. این خواص به دو دسته **خواص مقداری** و **خواص شدتی** دسته‌بندی می‌شوند.

فکر کنید

۲۰۰ mL از یک محلول سرخ رنگ محتوی 0.2 mol حل شونده در یک بشر موجود است (سامانه اولیه). تصور کنید این محلول را به دو بخش با حجم‌های 5° و 15° میلی لیتر تقسیم کنیم. جرم، حجم، دما، غلظت، رنگ، چگالی و ظرفیت گرمایی محلول یاد شده در این دو بخش در مقایسه با سامانه اولیه چه تفاوتی کرده است؟ کدام خاصیت برای این دو بخش با همین خاصیت در سامانه اولیه برابر نیست؟

اگر خواصی را که مقدار آنها به مقدار ماده وابسته است، خواص مقداری و خواصی را که مقدار آنها به مقدار ماده بستگی ندارد، خواص شدتی بنامیم، از میان خاصیت‌های بیان شده، کدام خاصیت سامانه اولیه شدتی و کدام مقداری خواهد بود؟



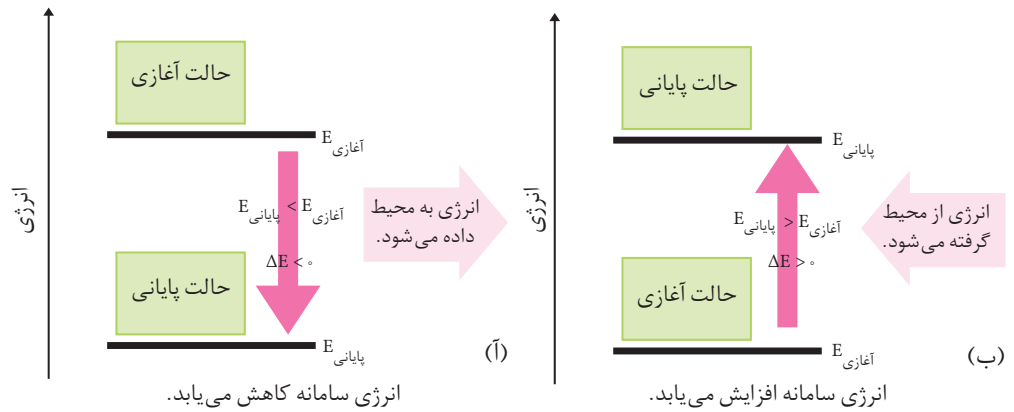
روشی برای نمایش
برخی از خواص شدتی
و مقداری سامانه

انتقال انرژی بین سامانه و محیط

اگر یک سامانه را شامل شمار بسیار زیادی ذره در نظر بگیریم، در این صورت چون هر ذره موجود در این سامانه دارای انرژی جنبشی و پتانسیل است، مجموع این انرژی‌ها برای همه ذره‌های تشکیل دهنده سامانه، **انرژی درونی** آن سامانه نامیده می‌شود. هنگامی که در یک سامانه شیمیایی واکنش دهنده‌ها به فرآورده‌ها تبدیل می‌شوند، انرژی درونی آن سامانه تغییر می‌کند. اگر این تغییر انرژی را با ΔE نشان دهیم، برای محاسبه آن باید اختلاف بین انرژی درونی سامانه را پیش و پس از وقوع تغییر اندازه‌گیری نماییم:

$$\Delta E = E_{\text{واکنش دهنده‌ها}} - E_{\text{فرآورده‌ها}} = E_{\text{آغازی}} - E_{\text{پایانی}}$$

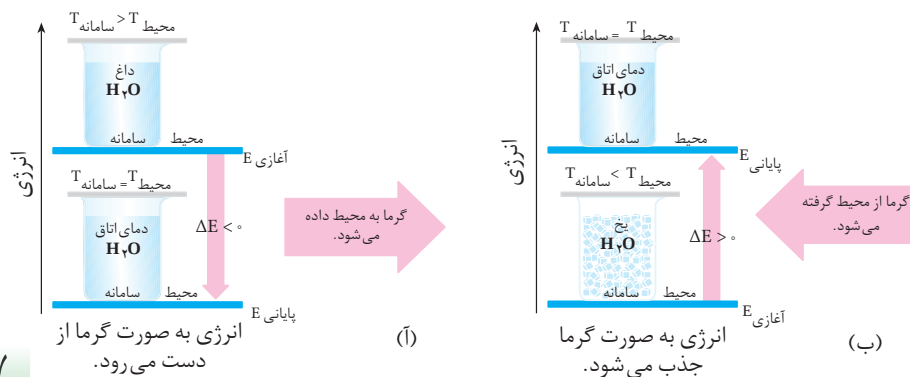
$E_{\text{پایانی}}$ نشان دهنده انرژی سامانه پس از تغییر و $E_{\text{آغازی}}$ نشان دهنده انرژی سامانه پیش از تغییر است. معمولاً، تغییر انرژی یک سامانه شیمیایی را با نموداری نمایش می‌دهند که در



شکل ۳ نمودار تغییر انرژی در یک سامانه. این نمودارها انتقال انرژی را بین یک سامانه و محیط پیرامون آن نشان می دهد.

آن پایانی E (انرژی فرآورده ها) و $E_{\text{آغازی}}$ (انرژی واکنش دهنده ها) خطوط افقی هستند و انرژی روی محور عمودی قرار دارد. نمونه ای از این نمودارها در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳. آ سامانه ای را نشان می دهد که در آن با انتقال انرژی از سامانه به محیط، انرژی درونی سامانه کاهش می یابد. در این شرایط ΔE سامانه منفی است. شکل ۳. ب سامانه ای را نشان می دهد که انرژی درونی آن در حال افزایش است، یعنی از محیط پیرامون به سامانه انرژی وارد می شود و علامت تغییر انرژی درونی سامانه مثبت است. در سامانه شیمیایی ۳. آ سطح انرژی فرآورده ها از سطح انرژی واکنش دهنده ها پایین تر است. در حالی که در سامانه شیمیایی ۳. ب سطح انرژی فرآورده ها از سطح انرژی واکنش دهنده ها بالاتر است.

فرض کنید که یک سامانه شامل نمونه ای آب داغ درون یک ظرف سربسته باشد، در این صورت گرما از آب به محیط پیرامون منتقل می شود و انرژی درونی سامانه کاهش می یابد، شکل ۴. آ در این حالت، تغییر انرژی درونی سامانه فقط ناشی از مبادله گرماست و این مبادله انرژی تا زمانی ادامه می یابد که دمای آب با دمای محیط پیرامون آن برابر شود. چون در این مورد، انرژی سامانه کاهش پیدا می کند، یعنی سامانه بخشی از انرژی خود را از دست داده است، پس علامت تغییر انرژی درونی آن منفی است. شکل ۴. ب نمودار انرژی را برای سامانه دیگری نشان می دهد. علامت تغییر انرژی درونی را در این سامانه توجیه کنید.



شکل ۴ سامانه بسته ای که فقط با محیط مبادله گرما دارد. (آ) آب گرم (سامانه بسته) انرژی را به صورت گرما به محیط پیرامون منتقل می کند تا زمانی که دمای آن با دمای محیط پیرامون یکسان شود. (ب) یخ از محیط پیرامون انرژی جذب می کند تا زمانی که دمای سامانه با دمای محیط پیرامون یکسان شود.

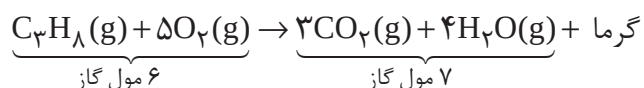
به طور خلاصه، اگر گرما از سامانه به محیط پیرامون منتقل شود، علامت گرما منفی و اگر گرما از محیط پیرامون به سامانه منتقل شود، علامت گرما مثبت است. اگر انرژی درونی سامانه کاهش پیدا کند، علامت آن منفی و اگر انرژی درونی سامانه افزایش یابد، علامت آن مثبت است.

انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

سامانه‌ای مانند یک لیوان محتوی ۵۰ mL آب خالص را با دمای 25°C در نظر بگیرید. برای افزایش دمای آن تا 35°C ، می‌توان از روش‌های گوناگونی استفاده کرد. برای نمونه، در یک روش با استفاده از شعله اجاق گاز دمای آن را به طور مستقیم از 25°C به 35°C می‌رسانیم. در روش دیگر، نخست با به هم زدن دمای آن را از 25°C به 27°C می‌رسانیم. سپس با یک گرمکن الکتریکی از 27°C به 35°C افزایش می‌دهیم. بنابراین در هر مسیر انرژی آغازی و پایانی سامانه تفاوتی نمی‌کند و میزان تغییر انرژی سامانه در هر دو مسیر یکسان است.

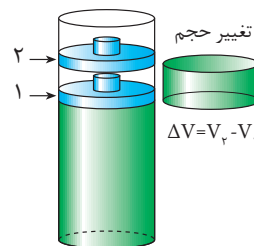
این مثال نشان می‌دهد که، تغییر انرژی درونی یک سامانه، به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی سامانه وابسته است. از این رو، انرژی درونی را **تابع حالت** می‌گویند. به این معنا که اگر برای انجام فرایندی مسیرهای متفاوتی وجود داشته باشد، تغییر انرژی درونی سامانه در تمام مسیرها یکسان است.

واکنش سوختن کامل پروپان را در نظر بگیرید. فرض کنید که این واکنش در سیلندری با یک پیستون روان انجام می‌شود، شکل ۵. انرژی درونی آغازی را نیز هم‌ارز با انرژی درونی واکنش دهنده‌ها فرض کنید. با توجه به معادله موازنه شده زیر در این واکنش از ۶ مول واکنش دهنده‌های گازی، ۷ مول فراورده‌های گازی به دست می‌آید و مقدار قابل توجهی گرما نیز آزاد می‌شود.



همان گونه که مشاهده می‌شود، حجم فراورده‌ها بیش از حجم واکنش دهنده‌هاست. ($\Delta V > 0$) این افزایش حجم سبب می‌شود که پیستون به سمت بالا حرکت کند. درواقع پیستون که پیش از این نیز فشار هوا را در برابر خود داشت، اکنون با انرژی بیشتری مولکول‌های هوا را به عقب می‌راند و درواقع روی آنها کار انجام می‌دهد. به دیگر سخن، مقداری از انرژی واکنش به صورت انرژی مکانیکی نمایان شده است.

همان طوری که دیدید، در این مثال تغییر انرژی درونی هم‌ارز با گرمای مبادله شده با محیط نیست؛ زیرا مقداری از این گرما به کار تبدیل شده است. اگر تغییر انرژی درونی را با ΔE ، گرمای مبادله شده را با q و کار انجام شده ناشی از تغییر حجم را با w نشان دهیم،



۱- پیش از انجام واکنش
۲- پس از انجام واکنش

شکل ۵ فشار درون سیلندر به دلیل افزایش حجم فراورده‌های گازی واکنش پروپان و اکسیژن بیش از فشار محیط است. بنابراین گازهای درون سیلندر روی محیط کار انجام می‌دهند. به خاطر داشته باشید که این واکنش در فشار ثابت انجام می‌شود.

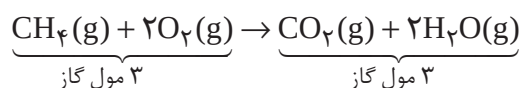
در این صورت خواهیم داشت:

$$\Delta E = q + w$$

این رابطه قانون اول ترمودینامیک را معرفی می کند. این قانون در واقع همان قانون پایستگی انرژی است. طبق این قانون، انرژی نه به وجود می آید و نه از بین می رود، بلکه از شکلی به شکل دیگری درمی آید.

گاهی ممکن است که طی یک واکنش شیمیایی تغییر حجمی ایجاد نشود، یعنی $\Delta V = 0$ باشد، در این صورت $w = 0$ است.

واکنش سوختن کامل متان را در دما و فشار ثابت درون سیلندری با پیستون روان در نظر بگیرید:

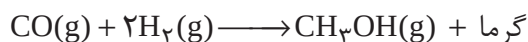


۳ مول از واکنش دهنده های گازی، ۳ مول فراورده های گازی تولید می کند، پس $\Delta V = 0$ است. در اینجا کار ناشی از تغییر حجم صفر خواهد بود.

در این حالت $\Delta E = q$ است. به عبارت دیگر هنگامی که یک واکنش شیمیایی با تغییر حجم همراه نیست یا در ظرفی با حجم ثابت انجام می گیرد، مقدار تغییر انرژی درونی تنها ناشی از انتقال گرما خواهد بود.

فکر کنید

واکنش زیر را در نظر بگیرید.



فرض کنید که این واکنش در سیلندری با پیستون روان (در فشار ثابت) انجام می گیرد. در این صورت علامت تغییر انرژی درونی (ΔE) را برای این واکنش پیش بینی کنید.

واکنش های شیمیایی به دو روش انجام می شود:

واکنش در حجم ثابت و واکنش در فشار ثابت

ا) واکنش در حجم ثابت ($\Delta V = 0$)؛ در چنین حالتی در اثر تغییر حجم، کاری انجام نمی شود ($w = 0$) و تغییر انرژی درونی سیستم فقط ناشی از مبادله گرما است. بنابراین می توان نوشت:

تغییر انرژی درونی $q_v = \Delta E$ گرمای مبادله شده برای واکنش در حجم ثابت

ب) واکنش در فشار ثابت ($\Delta V \neq 0$)؛ این واکنش در ظرفی سرباز یا هر ظرف دیگری

انجام می شود که با تغییر حجم، فشار را ثابت نگه می دارد. در این حالت کار انجام می شود

w می تواند منفی یا مثبت باشد. علامت آن هنگامی منفی است که سامانه روی محیط کار انجام دهد. ولی در شرایط معکوس که محیط روی سامانه کار انجام می دهد، علامت w مثبت است.

($w \neq 0$). پس در این حالت، تغییر انرژی درونی با انجام کار و مبادله گرما همراه است. اگر گرمای منتقل شده در فشار ثابت را با q_p نشان دهیم، در آن صورت:

$$\Delta E = q + w \xrightarrow[\text{در فشار ثابت}]{\text{انجام واکنش}} q_p = \Delta E - w$$

چون بیشتر واکنش‌های شیمیایی در فشار ثابت انجام می‌شود، برای چنین واکنش‌هایی گرمای مبادله شده در فشار ثابت (q_p) را با نماد ΔH نشان می‌دهند و آن را **گرمای واکنش** یا **آنتالپی واکنش** می‌نامند.

$$q_p = \Delta H$$

برای واکنش‌هایی که در آنها شرکت‌کننده‌ها، جامد و مایع هستند، ΔV بسیار ناچیز است. از این رو برای این واکنش‌ها مقدار ΔE را تقریباً با ΔH برابر در نظر می‌گیرند.

برای یک واکنش معمولاً به جای تغییر آنتالپی واژه آنتالپی را به کار می‌برند.

بیشتر بدانید

پدیده‌های زیادی در زندگی روزانه وجود دارد که آنها را می‌توان به کمک قانون اول ترمودینامیک توجیه کرد. تولید برف ساختگی برای پیست‌های اسکی از جمله این پدیده‌هاست. چگونه می‌توان برای رفع نیاز اسکی‌بازان در روزهای آفتابی به این اندازه برف تهیه کرد؟ راز تهیه برف ساختگی در معادله $\Delta E = q + w$ نهفته است. دستگاه سازنده برف دارای هوای فشرده و بخار آب با فشار 2° اتمسفر است. چون تفاوت فشار بین مخزن دستگاه و هوای بیرون زیاد است، وقتی مخلوط در هوا پاشیده می‌شود، به سرعت انبساط می‌یابد، به طوری که تقریباً هیچ تبادل گرمایی بین سامانه (هوا و آب) و محیط اطراف صورت نمی‌گیرد، یعنی، $q = 0$ است. (در ترمودینامیک، چنین فرایندی را فرایند بی‌دررو می‌نامند.) از این رو، می‌توان نوشت:

$$\Delta E = q + w = w$$

چون این سامانه روی محیط کار انجام می‌دهد، مقدار w منفی است و انرژی آن کاهش می‌یابد. انرژی جنبشی بخشی از کل انرژی این سامانه است. چون انرژی جنبشی متوسط یک گاز با دمای آن نسبت مستقیم دارد، بنابراین تغییر انرژی متناسب با تغییر دما خواهد بود. بنابراین:

$$\Delta E \propto \Delta T \Rightarrow \Delta E = C \Delta T$$

در این رابطه C ثابت تناسب است. چون ΔE منفی است، ΔT نیز باید منفی باشد. این اثر که اثر سرد کردن نامیده شده است، موجب کاهش انرژی جنبشی مولکول‌های آب و تشکیل برف می‌شود. اگر چه برای تهیه برف تنها به آب نیاز است، اما حضور هوا که آن نیز در اثر انبساط سرد می‌شود، به کاهش دمای بخار آب کمک شایانی می‌کند.



یک دستگاه سازنده برف

آنتالپی یک تابع حالت است.

همان طوری که گفته شد برای بررسی تغییر انرژی در واکنش‌های شیمیایی که اغلب در فشار ثابت روی می‌دهند، از کمیت ترمودینامیکی دیگری به نام آنتالپی (H) استفاده می‌شود. در واقع آنتالپی را می‌توان تغییر انرژی یک سامانه در فشار ثابت تعریف

کرد. در این شرایط مبادله انرژی با انجام کار توسط سامانه روی محیط پیرامون یا برعکس همراه است. بنابراین اغلب میزان تغییر آنتالپی با تغییر انرژی درونی تفاوت داشته، کمتر یا بیشتر از آن است.

آنتالپی هم مانند انرژی درونی، یک تابع حالت است و مقدار تغییر آن فقط به حالت‌های آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد. برای یک فرایند، تغییر آنتالپی (ΔH) به صورت زیر است:

$$\Delta H = H_{\text{پایانی}} - H_{\text{آغازی}}$$

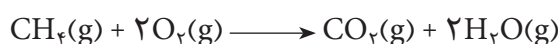
قدرمطلق ΔH یک فرایند، بزرگی آن را نشان می‌دهد در حالی که علامت آن نشان‌دهنده گرماده و گرماگیر بودن فرایند است.

اگر سامانه موردنظر یک واکنش شیمیایی باشد، در آن صورت $H_{\text{پایانی}}$ ، آنتالپی فرآورده‌ها

و $H_{\text{آغازی}}$ ، آنتالپی واکنش‌دهنده‌هاست و ΔH ، آنتالپی واکنش نامیده می‌شود؛ یعنی:

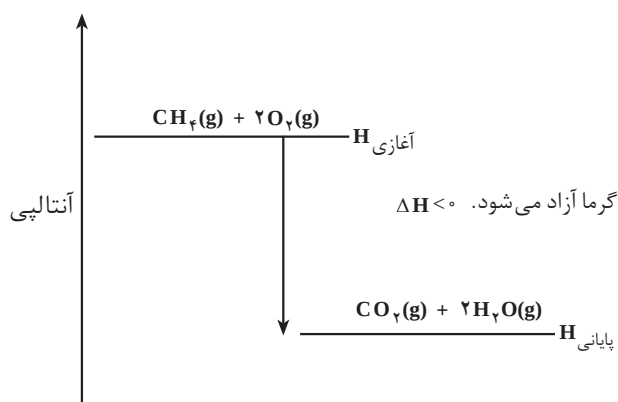
$$\Delta H_{\text{واکنش}} = H_{\text{فرآورده‌ها}} - H_{\text{واکنش‌دهنده‌ها}}$$

به عنوان نمونه واکنش زیر را در نظر بگیرید:



این واکنش، یک واکنش سوختن است و گرما آزاد می‌کند. همان طور که می‌دانید به

این نوع واکنش‌ها **گرماده** می‌گویند. ΔH برای چنین واکنش‌هایی منفی است. به عبارت دیگر، آنتالپی فرآورده‌ها ($H_{\text{پایانی}}$) از آنتالپی واکنش‌دهنده‌ها ($H_{\text{آغازی}}$) کمتر است، شکل ۶.



شکل ۶ نمودار تغییر آنتالپی در واکنش سوختن کامل متان

از سوختن یک مول گاز متان، 8.8 کیلو ژول گرما آزاد می‌شود. چون گرما آزاد

شده است، پس علامت ΔH برای این واکنش منفی است؛ $\Delta H_{\text{واکنش}} = -8.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

در یک واکنش گرماده، گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.

$$\Delta H < 0 \Rightarrow H_{\text{پایانی}} < H_{\text{آغازی}}: \text{در واکنش‌های گرماده}$$

آزمایش کنید

هدف: مشاهده گرمای آزاد شده در اثر حل شدن کلسیم کلرید بی آب در آب

وسایل مورد نیاز: دماسنج، یک بشر ۱۰۰ mL، میله هم زن، قاشقک، ترازو، شیشه

ساعت، گیره و پایه، مقداری نخ

مواد مورد نیاز: کلسیم کلرید بی آب، آب مقطر

روش کار

۱- ۵۰ mL آب مقطر در یک بشر ۱۰۰ mL بریزید.

۲- شیشه ساعت را روی ترازو قرار دهید و جرم آن را اندازه بگیرید. سپس با کمک قاشقک ۱۰ g کلسیم کلرید بی آب توزین کنید.

۳- با کمک مقداری نخ دماسنج را به گیره متصل شده به پایه آویزان کنید و سپس بشر دارای آب را زیر آن قرار دهید. دماسنج طوری در آب قرار گیرد که مخزن آن به طور کامل درون آب مقطر باشد. در ضمن دماسنج نباید هیچ تماسی با بدنه بشر داشته باشد.

۴- همه کلسیم کلرید را به کمک قاشقک و به آرامی در آب درون بشر بریزید و سپس با کمک هم زن شیشه ای آن را به هم بزنید.

۵- مشاهدات خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش خود را در کلاس ارائه دهید.

پرسش

به نظر شما چه عواملی می توانند در اندازه گیری میزان تغییر دمای محلول حاصل

خطا ایجاد کنند؟ چه پیشنهادهایی برای رفع آنها دارید؟

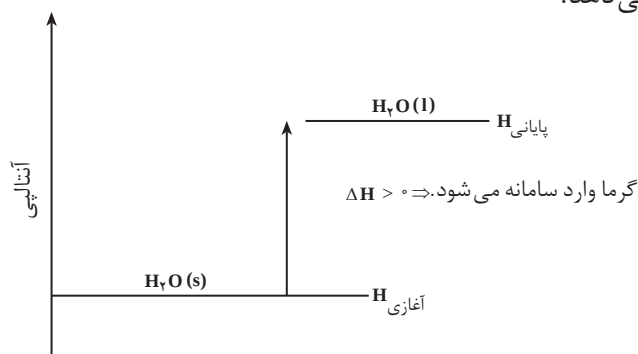
ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب از جمله فرایندهای گرماگیر است؛ یعنی برای ذوب

کردن یخ به گرما نیاز است. به عبارت دیگر، برای ذوب کردن یخ باید محیط به سامانه گرما

بدهد. در چنین فرایندهایی، آنتالپی فراورده ها ($H_{\text{پایانی}}$) از آنتالپی واکنش دهنده ها ($H_{\text{آغازی}}$)

بزرگ تر است و بنابراین علامت ΔH ، مثبت خواهد بود. شکل ۷، نمودار آنتالپی را برای ذوب

شدن یخ نشان می دهد.



شکل ۷ نمودار آنتالپی برای ذوب شدن یخ، مثالی از یک فرایند گرماگیر

برای ذوب کردن یک مول یخ $6/^\circ$ کیلوژول گرما لازم است. چون این فرایند گرماگیر است پس علامت ΔH باید مثبت باشد؛

$$\Delta H_{\text{ذوب}} = + 6/^\circ \text{ kJ.mol}^{-1}$$

در یک فرایند گرماگیر، گرما جذب می شود و آنتالپی سامانه افزایش می یابد.

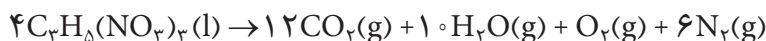
$$\Delta H > 0 \Rightarrow H_{\text{آغازی}} > H_{\text{پایانی}} : \text{در واکنش های گرماگیر}$$

آزمایش کنید

حل شدن آمونیوم نیترات در آب گرماگیر است. ۵ mL آب 20°C را در یک لوله آزمایش بریزید و ۱/۵ g آمونیوم نیترات خشک را در آن حل کنید. با اندازه گیری دمای آب مشاهده های خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش را در کلاس ارائه دهید.

فکر کنید

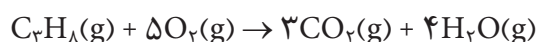
نیتروگلیسرین از جمله مواد منفجره بسیار حساسی است که در اثر اندکی گرما یا وارد شدن ضربه طی واکنشی گرماده تجزیه می شود. در این واکنش به ازای هر مول نیتروگلیسرین $5/72 \times 10^3 \text{ kJ.mol}^{-1}$ گرما آزاد می شود. تغییر آنتالپی این واکنش چقدر است؟ آیا در اثر انجام شدن این واکنش در فشار ثابت کاری انجام می شود؟ پاسخ خود را توضیح دهید.



حالت استاندارد

تغییر آنتالپی (ΔH) برای یک واکنش، مقدار گرمایی است که در تبدیل واکنش دهنده (ها) به فراورده (ها) در فشار ثابت مبادله می شود.

به عنوان نمونه، در واکنش سوختن کامل پروپان، یک مول گاز پروپان با ۵ مول گاز اکسیژن ترکیب می شود و ۳ مول گاز CO_2 و ۴ مول بخار آب تولید می شود. در این واکنش 2056 kJ گرما هم آزاد می شود. باید توجه داشته باشید که مقدار گرمای آزاد شده در یک واکنش شیمیایی به مقدار واکنش دهنده ها هم بستگی دارد؛ بنابراین واکنش $5/^\circ$ مول گاز پروپان با $2/5$ مول گاز O_2 مقدار $1028 \text{ kJ} = 2056 \text{ kJ.mol}^{-1} \times 2/5 \text{ mol}$ گرما آزاد می کند.

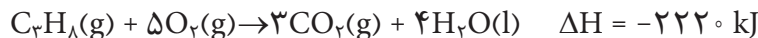
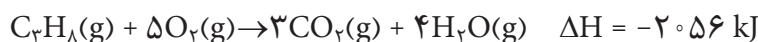


توجه کنید که واکنش دهنده ها و فراورده ها باید در دمای یکسانی باشند و حالت فیزیکی آنها به صورت جامد (s)، مایع (l)، گاز (g) و محلول آبی (aq) مشخص باشد.

آلفرد نوبل، دانشمند سوئدی (۱۸۳۲-۱۸۹۶) از ترکیب کردن خاک دیاتومه و نیتروگلیسرین، ماده منفجره ای به نام دینامیت ساخت. جالب است بدانید نیتروگلیسرین افزون بر خاصیت انفجاری کاربرد دارویی نیز دارد. به طوری که پزشکان برای بیماران قلبی، قرص زیرزبانی نیتروگلیسرین تجویز می کنند. این ماده سبب گشاد شدن رگ ها می شود.

آنتالپی یک واکنش، کمیتی مقداری است.

در صورتی که در واکنش سوختن کامل پروپان، بخار آب تولید شود، آنتالپی واکنش 2056 kJ - است. ولی اگر آب به حالت مایع تولید شود، تغییر آنتالپی واکنش برابر با 2220 kJ - خواهد بود. (چرا؟)



این نکته نشان می‌دهد که در هنگام محاسبه آنتالپی افزون بر دما و فشار باید حالت فیزیکی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها هم مشخص باشد.

برای اینکه اندازه‌گیری گرمای همه واکنش‌ها در شرایط یکسانی انجام گیرند، شرایط ویژه‌ای به نام «**حالت استاندارد ترمودینامیکی**» تعریف شده است. حالت استاندارد ترمودینامیکی، پایدارترین شکل ماده خالص در فشار یک اتمسفر و دمایی مشخص (معمولاً دمای اتاق، 25°C) تعریف می‌شود. برای نمونه حالت استاندارد نیتروژن، اکسیژن و کربن در دمای اتاق به ترتیب $\text{N}_2(\text{g})$ ، $\text{O}_2(\text{g})$ و (گرافیت، $\text{C}(\text{s})$) است. در واقع از میان دگرشکل‌های مختلف یک عنصر پایدارترین آنها ملاک اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

حالت استاندارد ترمودینامیکی برای یک ماده در حالت محلول، غلظت ۱ مول بر لیتر (1 mol.L^{-1}) در نظر گرفته می‌شود.

برای مشخص کردن شرایط استاندارد علامت «°» را بالای نماد کمیتی قرار می‌دهند که در آن شرایط اندازه‌گیری می‌شود. برای مثال ΔH° ، نشان دهنده آنتالپی استاندارد است، یعنی تمام مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد خود و در دمای اتاق (یا هر دمای مشخص دیگری) در نظر گرفته شده‌اند.

برخی از تغییر آنتالپی‌های مهم

۱- آنتالپی استاندارد تشکیل ($\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$): به واکنشی که طی آن یک مول ماده از عنصرهای سازنده‌اش تشکیل می‌شود، واکنش تشکیل آن ماده می‌گویند. اگر در این واکنش، همه مواد شرکت کننده در واکنش در حالت استاندارد خود قرار داشته باشند، تغییر آنتالپی این واکنش را **آنتالپی استاندارد تشکیل** آن ماده ($\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$) می‌گویند. برای نمونه به معادله تشکیل متان توجه کنید:



بنابراین، آنتالپی استاندارد تشکیل متان -75 kJ.mol^{-1} است. آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در جدول ۲ آمده است.

از میان دو دگرشکل مهم کربن یعنی الماس و گرافیت، گرافیت به عنوان حالت استاندارد انتخاب شده است، زیرا گرافیت پایدارتر از الماس است. بنابراین:

$$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}[\text{کربن}(\text{s})] = 0$$

$$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}[\text{الماس}(\text{s، کربن})] = 1/9 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

مطابق قرارداد، آنتالپی استاندارد تشکیل عنصرها صفر در نظر گرفته می‌شود. به بیان دقیق‌تر، آنتالپی استاندارد تشکیل ($\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}$) پایدارترین دگرشکل یک عنصر در حالت استاندارد، برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ جدول آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در 25°C

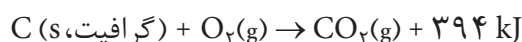
ماده	فرمول شیمیایی	ΔH° تشکیل (kJ.mol^{-1})	ماده	فرمول شیمیایی	ΔH° تشکیل (kJ.mol^{-1})
اتین	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	۲۲۷	آب	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-۲۸۶
آمونیاک	$\text{NH}_3(\text{g})$	-۴۶	نیتروژن دی اکسید	$\text{NO}_2(\text{g})$	۳۴
کربن دی اکسید	$\text{CO}_2(\text{g})$	-۳۹۴	اتن	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	۵۲
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	-۲۷۸	سدیم کلرید	$\text{NaCl}(\text{s})$	-۴۱۱
متان	$\text{CH}_4(\text{g})$	-۷۵	هیدروژن کلرید	$\text{HCl}(\text{g})$	-۹۲

فکر کنید

چرا آنتالپی استاندارد تشکیل بسیاری از مواد منفی است؟

۲- آنتالپی استاندارد سوختن ($\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}$): هنگامی که یک مول از ماده ای در مقدار

کافی گاز اکسیژن خالص بسوزد، گرمای واکنش یاد شده آنتالپی استاندارد سوختن آن ماده نامیده می شود. وقتی یک مول کربن یعنی 12° گرم کربن به طور کامل در اکسیژن بسوزد، گاز کربن دی اکسید به همراه 394 kJ گرما تولید می شود.



پس می توان نوشت:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}} [\text{C (s, گرافیت)}] = -394 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

در جدول ۳ آنتالپی استاندارد سوختن چند ترکیب آلی آمده است.

جدول ۳ آنتالپی استاندارد سوختن چند ترکیب آلی بر حسب kJ.mol^{-1}

فرمول مولکولی	$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}$	فرمول مولکولی	$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}$
$\text{CH}_4(\text{g})$	-۸۹۰	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	-۱۲۹۹
$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	-۱۵۶۰	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	-۷۱۵
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$	-۱۴۰۹	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	-۱۳۶۸

فکر کنید

با توجه به آنتالپی استاندارد سوختن اتان (C_2H_6)، اتن (C_2H_4) و اتین (C_2H_2)، جدول ۳، انتظار دارید که شعله حاصل از سوختن کدام یک داغ تر باشد؟ چرا؟ پاسخ خود را با نوشتن معادله موازنه شده سوختن هر یک از آنها توضیح دهید.

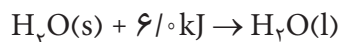
۳- **آنتالپی استاندارد تبخیر** ($\Delta H^\circ_{\text{تبخیر}}$): هنگامی که یک مول از ماده‌ای در دمای جوش خود تبخیر شود، تغییر آنتالپی مربوط به این فرایند، **آنتالپی استاندارد تبخیر** آن ماده گفته می‌شود. به عنوان نمونه در فشار استاندارد برای تبخیر یک مول آب ۴۱/۱ کیلو ژول گرما نیاز است.



بنابراین:

$$\Delta H^\circ_{\text{تبخیر}} [\text{H}_2\text{O(l)}] = 41/1 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

۴- **آنتالپی استاندارد ذوب** ($\Delta H^\circ_{\text{ذوب}}$): هنگامی که یک مول از ماده‌ای جامد در دمای ذوب خود به مایع تبدیل شود، تغییر آنتالپی این فرایند را **آنتالپی استاندارد ذوب** آن ماده می‌گویند. به عنوان نمونه برای ذوب کردن یک مول یخ صفر درجهٔ سلسیوس و تبدیل آن به آب صفر درجهٔ سلسیوس، ۶/۰ kJ گرما لازم است.

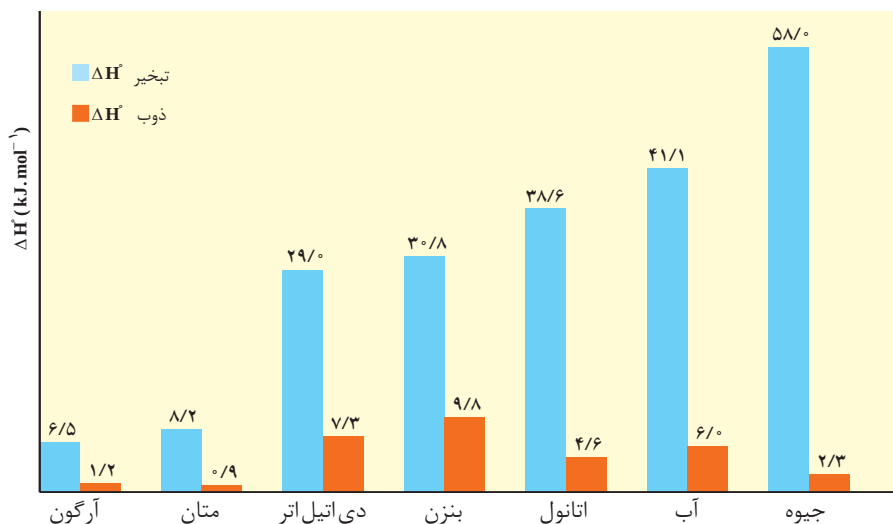


به عبارت دیگر:

$$\Delta H^\circ_{\text{ذوب}} [\text{H}_2\text{O(s)}] = 6/0 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

فکر کنید

نمودار زیر آنتالپی استاندارد تبخیر و آنتالپی استاندارد ذوب چند ماده را در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. به نظر شما چرا در این مواد آنتالپی استاندارد تبخیر از آنتالپی استاندارد ذوب بیشتر است؟ آیا این نتیجه‌گیری به همهٔ مواد قابل تعمیم است؟



۵- آنتالپی استاندارد تصعید ($\Delta H^\circ_{\text{تصعید}}$): هنگامی که یک مول از ماده‌ای تصعید شود، تغییر آنتالپی این فرایند را **آنتالپی استاندارد تصعید** آن ماده می‌نامند. یخ خشک (کربن دی‌اکسید جامد) در فشارهای معمولی به‌طور مستقیم تصعید می‌شود و به گاز CO_2 تبدیل می‌شود.



۶- میانگین آنتالپی پیوند: همان‌طور که می‌دانید، اتم‌های هیدروژن در مولکول دو اتمی هیدروژن (H_2) با یک پیوند کووالانسی قوی به هم متصل شده‌اند. برای شکستن این پیوند کووالانسی باید انرژی مصرف شود. تجربه نشان می‌دهد که برای شکستن پیوندهای موجود در یک مول $\text{H}_2(\text{g})$ و تبدیل آن به دو مول اتم هیدروژن گازی، 436 kJ انرژی لازم است.



به $436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ انرژی گسستن پیوند یا آنتالپی پیوند $\text{H}-\text{H}$ گفته می‌شود. این کمیت را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$\Delta H_{\text{H-H}} = 436 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

مولکول متان (CH_4) را در نظر بگیرید، آیا انرژی لازم برای شکستن همه پیوندهای $\text{C}-\text{H}$ در این ترکیب یکسان است؟ بی‌تردید خیر (چرا؟)؛ از این رو واژه میانگین آنتالپی پیوند برای پیوندهایی همچون $\text{C}-\text{H}$ مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در جدول ۴ میانگین آنتالپی پیوند برای برخی از پیوندهای کووالانسی داده شده است.

جدول ۴ میانگین آنتالپی پیوند برخی از پیوندهای کووالانسی بر حسب $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

پیوند	آنتالپی	پیوند	آنتالپی
H-H	۴۳۶	C-H	۴۱۲
N-N	۱۶۳	O-O	۱۴۶
O-H	۴۶۳	C-C	۳۴۸
پیوندهای چندگانه			
C=C	۶۱۲	$\text{C}\equiv\text{C}$	۸۳۷
$\text{N}\equiv\text{N}$	۹۴۴	O=O	۴۹۶

تعیین گرمای واکنش‌های شیمیایی

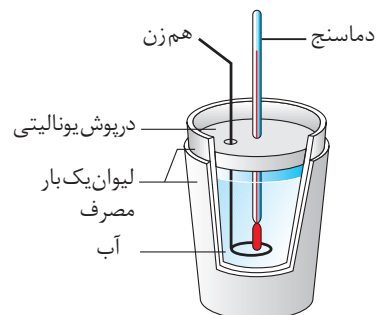
تاکنون با واکنش‌های شیمیایی بسیاری آشنا شده‌اید؛ واکنش‌هایی که گرماده یا گرماگیرند. شاید این پرسش در ذهن شما مطرح شده باشد که گرمای یک واکنش چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟ گرمای یک واکنش را می‌توان به روش مستقیم یا غیرمستقیم تعیین کرد.

گرماسنجی، روش مستقیم اندازه‌گیری گرمای یک واکنش

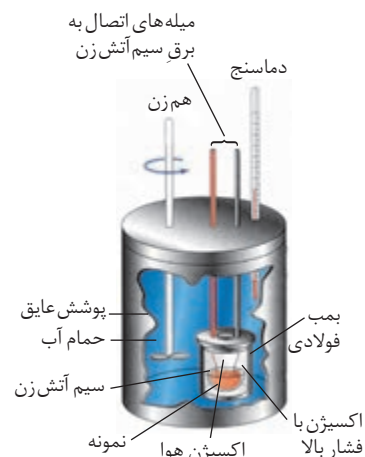
در روش مستقیم باید مقداری از واکنش‌دهنده‌ها را در شرایط مناسب برهم اثر داد و گرمای واکنش را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. برای این منظور دستگاهی به نام **گرماسنج** به کار می‌رود. گرماسنج دستگاهی است که برای اندازه‌گیری گرمای مبادله‌شده در یک واکنش شیمیایی به کار می‌رود. شما می‌توانید با استفاده از یک ظرف مناسب که با محیط بیرون گرما مبادله نکند، یک گرماسنج ساده بسازید. مثلاً می‌توانید از یک لیوان پلاستیکی استفاده کنید. به این نوع گرماسنج، **گرماسنج لیوانی** هم می‌گویند. به شکل ۸ توجه کنید، این شکل، گرماسنج لیوانی ساده‌ای را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در **فشار ثابت** به کار برده می‌شود.

این گرماسنج شامل مقدار معینی آب یا محلول یک واکنش‌دهنده در یک ظرف عایق‌بندی شده است. در این گرماسنج یک دماسنج و یک هم‌زن نیز قرار دارد. پیش از انجام واکنش، دمای اولیهٔ آب یا محلول اندازه‌گیری می‌شود. بعد از اضافه کردن مادهٔ دوم و انجام واکنش موردنظر، دمای نهایی آب هم اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از اختلاف دمای پیش و پس از آزمایش، گرمای واکنش محاسبه می‌شود.

در شکل ۹، گرماسنج دیگری نشان داده شده است که برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در **حجم ثابت** به کار برده می‌شود. از این نوع گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای سوختن یک ماده استفاده می‌کنند. **گرماسنج بمبی**، نامی است که به این نوع گرماسنج داده شده است. در گرماسنج بمبی، محفظهٔ انجام واکنش (بمب فولادی) درون یک حمام آب قرار دارد. آب درون این حمام به منظور همگون شدن دما به‌طور پیوسته در حال به هم خوردن است. پس از برقراری جریان برق و هم‌زمان با سوختن نمونه، گرمای آزاد شده سبب گرم کردن بمب و در نتیجه گرم شدن آب و افزایش دمای حمام آب می‌شود. با اندازه‌گیری پیوستهٔ دمای آب درون حمام و با استفاده از ظرفیت گرمایی اجزای سازندهٔ گرماسنج (شامل حمام آب، میلهٔ همزن، بدنه، دماسنج، محفظهٔ احتراق و میله‌های اتصال) که برای هر گرماسنج مقداری ثابت است و محاسبه‌ای ساده، می‌توان گرمای حاصل از واکنش سوختن را محاسبه کرد.



شکل ۸ یک گرماسنج لیوانی. از این گرماسنج برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود. برای ساختن این گرماسنج کافی است دو لیوان یک‌بار مصرف را داخل هم قرار داد و با قطعه‌ای یونالیت درپوشی برای آن ساخت.



شکل ۹ گرماسنج بمبی که برای اندازه‌گیری دقیق گرمای سوختن یک ماده در حجم ثابت به کار می‌رود.

با استفاده از یک گرماسنج بمبی کدام کمیت قابل اندازه گیری است؟ ΔE (تغییر انرژی درونی) یا ΔH (تغییر آنتالپی واکنش). برای یک گرماسنج لیوانی چگونه؟

روش های غیرمستقیم تعیین گرمای واکنش های شیمیایی

گرمای بسیاری از واکنش های شیمیایی را نمی توان به طور مستقیم تعیین کرد، چون بسیاری از واکنش ها در شرایط بسیار سختی انجام می شوند. گاهی یک واکنش ممکن است بخشی از یک فرایند زیست شناختی پیچیده باشد و نتوان آن را به صورت یک واکنش جداگانه در آزمایشگاه انجام داد. گرمای چنین واکنش هایی از روش های غیرمستقیم تعیین می شود. در بخش های قبلی با مفهوم تابع حالت آشنا شدید و آموختید که آنتالپی، یک تابع حالت است و تغییر آن در یک فرایند فقط به حالت آغازی و پایانی فرایند بستگی دارد. بنابراین، ممکن است که یک واکنش شیمیایی را بتوان از چند مسیر مختلف انجام داد ولی تغییر آنتالپی واکنش در همه مسیرها یکسان می باشد.

واکنش تولید آمونیاک را در نظر بگیرید.



اگر با جزئیات این واکنش بیشتر آشنا شوید، خواهید دید که واکنش به صورت نوشته شده در بالا انجام نمی شود بلکه واکنش طی چند مرحله روی می دهد. در این واکنش ابتدا هیدرازین (N_2H_4) تولید می شود و سپس آمونیاک به وجود می آید.



تغییر آنتالپی تبدیل هیدرازین به آمونیاک قابل اندازه گیری است و برای آن $\Delta H_2^\circ = -183 \text{ kJ}$ به دست آمده است. ولی اگر بخواهیم ΔH_1° را اندازه گیری کنیم با مشکل روبه رو خواهیم شد. بنابراین به روش غیرمستقیم می توان گرمای واکنش تولید هیدرازین را محاسبه کرد. برای این منظور می توان از **قانون هس** استفاده کرد. این قانون به صورت زیر بیان می شود:

«اگر معادله یک واکنش را بتوان از جمع معادله های دو یا چند واکنش دیگر به دست آورد، ΔH° واکنش یاد شده را می توان از جمع جبری مقادیر ΔH° همه واکنش های تشکیل دهنده آن، به دست آورد.»

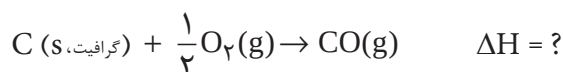
بنابراین مقدار ΔH_1° به صورت زیر به دست می آید:

$$\Delta H^\circ = \Delta H_1^\circ + \Delta H_2^\circ \Rightarrow -92 \text{ kJ} = \Delta H_1^\circ + (-183 \text{ kJ}) \Rightarrow \Delta H_1^\circ = +91 \text{ kJ}$$

مثال دیگری را در نظر بگیرید. فرض کنید که شما می خواهید تغییر آنتالپی برای تشکیل کربن مونوکسید (CO) از عنصرهای تشکیل دهنده اش (کربن و گاز اکسیژن) را به دست آورید.



می دانید که مقادیر آنتالپی استاندارد تشکیل برای تشکیل یک مول از ماده مورد نظر است، بنابراین با تقسیم دو طرف معادله بر عدد ۲ به معادله ای دست می یابیم که طی آن یک مول کربن مونواکسید تولید می شود. نوشتن ضرایب کسری در معادله های موازنه شده، اگرچه رایج نیست ولی در این مبحث محاسبه های عددی را ساده تر می کند، بنابراین:

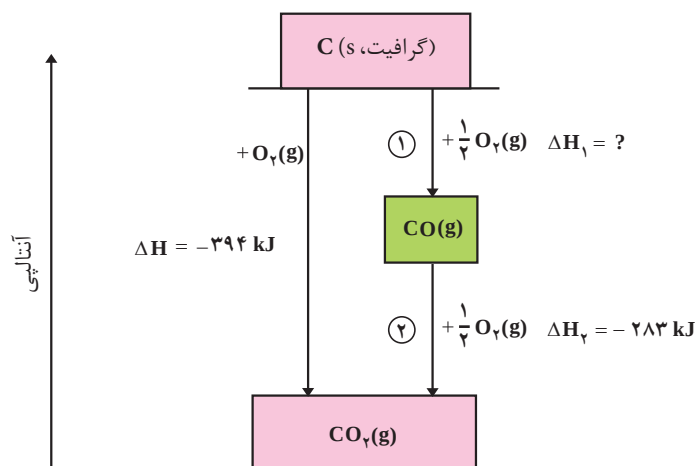


این واکنش را نمی توان به روش تجربی انجام داد. (چرا؟) ولی می توان تغییر آنتالپی تبدیل کربن به $CO_2(g)$ و همچنین تغییر آنتالپی تبدیل $CO(g)$ به $CO_2(g)$ را به راحتی به دست آورد.

آنتالپی این دو فرایند به شرح زیر است:

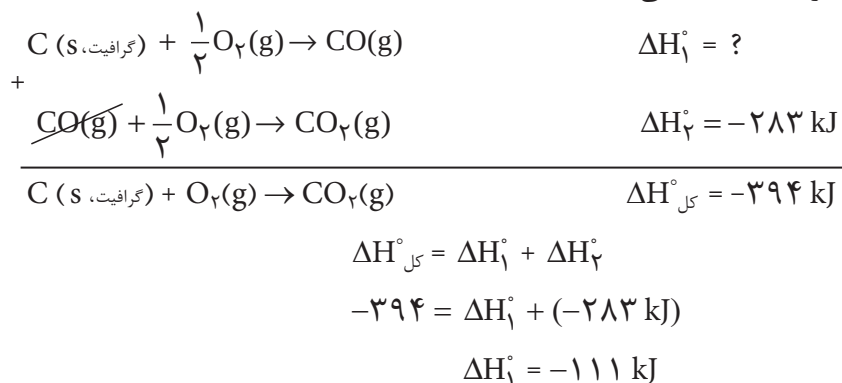


شکل ۱۰ را با دقت نگاه کنید. همان طور که در این شکل دیده می شود، $CO_2(g)$ می تواند در دو مرحله تشکیل شود. مرحله نخست تشکیل $CO(g)$ است. برای این مرحله مقدار تجربی ΔH معلوم نیست. مرحله دوم تبدیل $CO(g)$ به $CO_2(g)$ است که ΔH این مرحله به طور مستقیم اندازه گیری شده است. چون واکنش کلی (تبدیل C به CO_2) از جمع



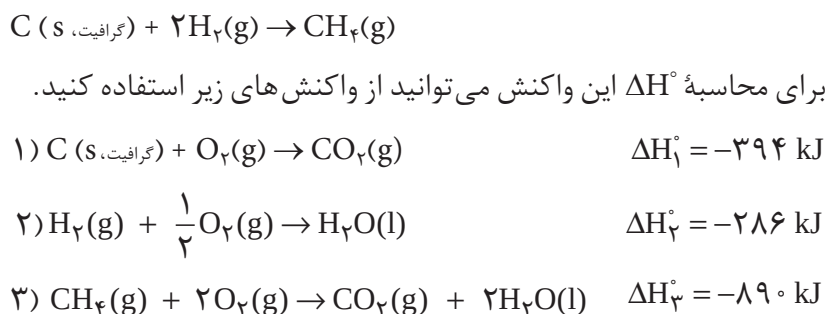
شکل ۱۰ مراحل تشکیل CO_2 از کربن و اکسیژن

واکنش‌های این دو مرحله به دست می‌آید، پس آنتالپی واکنش کلی هم از جمع آنتالپی‌های این دو مرحله به دست می‌آید.

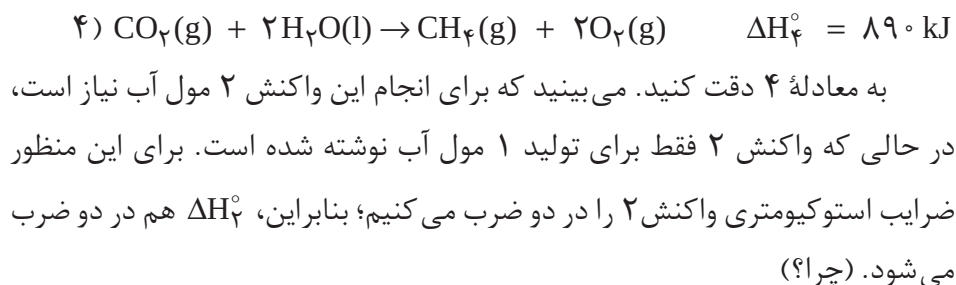


نمونه حل شده

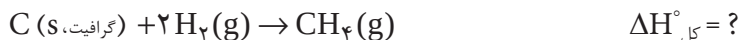
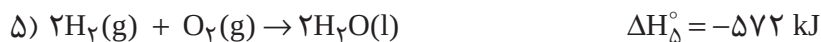
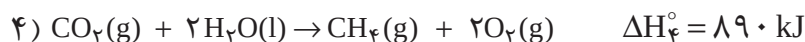
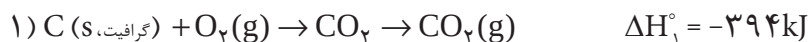
آنتالپی استاندارد تشکیل متان، $\text{CH}_4(\text{g})$ ، را از کربن جامد (گرافیت) و گاز هیدروژن محاسبه کنید.



پاسخ: اگر به این واکنش‌ها دقت کنید، متوجه می‌شوید که نمی‌توان واکنش‌های ۱، ۲ و ۳ را باهم جمع کرد و معادله مربوط به تشکیل متان را به دست آورد. براساس معادله موردنظر، متان $\text{CH}_4(\text{g})$ باید فراورده واکنش باشد، در حالی که در معادله ۳ متان یک واکنش دهنده است. پس باید معادله ۳ را وارونه کرد. وقتی که معادله واکنشی را وارونه می‌کنید، علامت ΔH° آن واکنش هم تغییر می‌کند (چرا؟). بنابراین واکنش ۳ را وارونه می‌کنیم.



با این تغییرها می‌توان معادله‌های جدید ۴ و ۵ را با معادله ۱ جمع کرد تا معادله واکنش کلی به دست آید.



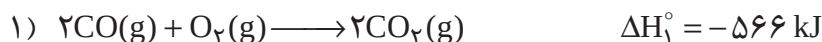
$$\Delta H^\circ_{\text{کل}} = \Delta H_1^\circ + \Delta H_4^\circ + \Delta H_5^\circ = -76 \text{ kJ}$$

خود را بیازمایید

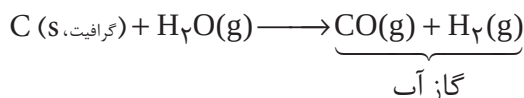
۱- NO و CO دو گاز آلوده کننده هوا هستند که از آگروز خودروها خارج می‌شوند. یک شیمی‌دان محیط‌زیست از طریق واکنش زیر راه‌های تبدیل این گازها را به گازهای کم‌ضررتر بررسی کرده است.



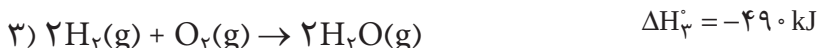
با استفاده از اطلاعات داده شده برای واکنش‌های زیر، ΔH° واکنش یاد شده را محاسبه کنید.



۲- گاز آب نامی است که برای مخلوطی از CO و H_2 به کار برده می‌شود. این مخلوط با عبور دادن بخار آب از روی زغال چوب در دمای 1000°C به دست می‌آید:



معمولاً هیدروژن گاز آب، جدا و خالص می‌شود و به عنوان ماده اولیه برای تولید آمونیاک به کار می‌رود. با استفاده از واکنش‌های زیر ΔH° برای واکنش تشکیل گاز آب را محاسبه کنید.

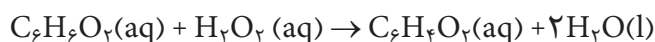


۳- سوسک بمب‌افکن برای دفاع از خود، مخلوطی از چند ماده را به سمت دشمن

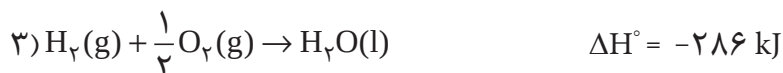
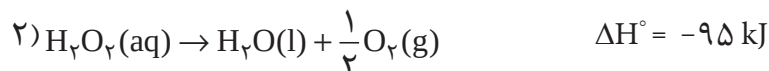
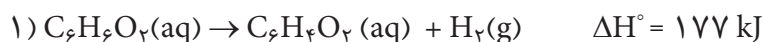


شکل ۱۱ سوسک بمب افکن

پرتاب می‌کند، شکل ۱۱؛ به‌طوری که این مواد به‌سرعت، طبق معادلهٔ زیر با هم واکنش می‌دهند و گرمای زیادی آزاد می‌کنند.



با استفاده از واکنش‌های زیر ΔH° این واکنش را محاسبه کنید.



آنتالپی‌های استاندارد تشکیل و محاسبهٔ گرمای واکنش

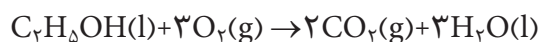
با استفاده از آنتالپی استاندارد تشکیل مواد شرکت‌کننده در یک واکنش می‌توان گرمای آن واکنش را محاسبه کرد. گرمای یک واکنش شیمیایی در دما و فشار ثابت برابر با تفاضل مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها و آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش‌دهنده‌ها است؛ یعنی:

$$\text{گرمای واکنش} = \left[\begin{array}{c} \text{مجموع آنتالپی استاندارد} \\ \text{تشکیل فراورده‌ها} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{مجموع آنتالپی استاندارد} \\ \text{تشکیل واکنش‌دهنده‌ها} \end{array} \right]$$

چون در اینجا مواد شرکت‌کننده در واکنش در حالت استاندارد خود در نظر گرفته شده‌اند، آنتالپی یا گرمای واکنش، آنتالپی یا گرمای استاندارد آن واکنش (ΔH°) خواهد بود.

نمونهٔ حل شده

واکنش سوختن کامل اتانول را در نظر بگیرید:



آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها به‌صورت زیر است:

ماده	$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	-۲۷۸
$\text{CO}_2(\text{g})$	-۳۹۴
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-۲۸۶

با استفاده از این اطلاعات، آنتالپی استاندارد واکنش سوختن اتانول را محاسبه کنید.

پاسخ:

آنتالپی استاندارد واکنش از تفاضل مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها و مجموع آنتالپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده‌ها به دست می‌آید:

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_{\text{واکنش}} &= [2 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{CO}_2) + 3 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{H}_2\text{O})] \\ &\quad - [1 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 3 \times \Delta H^\circ_{\text{تشکیل}}(\text{O}_2)] \\ &= \left[(2 \text{ mol} \times \frac{-394 \text{ kJ}}{1 \text{ mol}}) + (3 \text{ mol} \times \frac{-286 \text{ kJ}}{1 \text{ mol}}) \right] - \\ &\quad \left[(1 \text{ mol} \times \frac{-278 \text{ kJ}}{1 \text{ mol}}) + (3 \text{ mol} \times 0) \right] \\ &= -1368 \text{ kJ}\end{aligned}$$

ماده	$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$
CO(g)	-111
CH ₃ OH(l)	-239
CaCO ₃ (s)	-1207
CaO(s)	-635
CO ₂ (g)	-394
Fe(l)	12/5
Fe ₂ O ₃ (s)	-822
Al ₂ O ₃ (s)	-1670

خود را بیازمایید

با استفاده از آنتالپی‌های استاندارد تشکیل داده شده، آنتالپی هریک از واکنش‌های زیر را محاسبه کنید.



آنتروپی و تعیین جهت پیشرفت واکنش‌های شیمیایی

یکی از هدف‌های ترمودینامیک تعیین جهت پیشرفت واکنش‌های شیمیایی است. به عبارت دیگر تعیین جهتی که واکنش به طور خودبه‌خود پیشرفت می‌کند. بسیاری از فرایندهایی که روزانه با آنها سروکار داریم، به طور خودبه‌خودی انجام می‌شوند، شکل ۱۲. به عنوان نمونه اگر مقداری یخ را در دمای اتاق قرار دهید، بعد از مدتی خودبه‌خود شروع به ذوب شدن می‌کند. برخی از فرایندهای خودبه‌خودی، خیلی سریع‌اند. برای مثال هنگامی که شما یک جسم داغ را به طور تصادفی لمس می‌کنید، یک رشته واکنش‌های زیست‌شیمیایی بسیار سریع رخ می‌دهد. برخی از فرایندهای خودبه‌خود کندتر انجام می‌شوند. برای نمونه، آهن به آهستگی به طور خودبه‌خود زنگ می‌زند.

یکی از کمیت‌هایی که می‌توان برای تعیین جهت خودبه‌خودی واکنش‌ها استفاده کرد، تغییر انرژی آن واکنش است. به شکل ۱۲ نگاه کنید، همه رویدادهای نشان داده شده خودبه‌خودی‌اند. آب خودبه‌خود از آبشار به پایین فرو می‌ریزد، وسایل آهنی در مجاورت



سوختن سوخت



زنگ زدن آهن



ریزش آب آبشارها

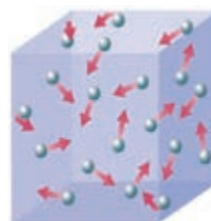
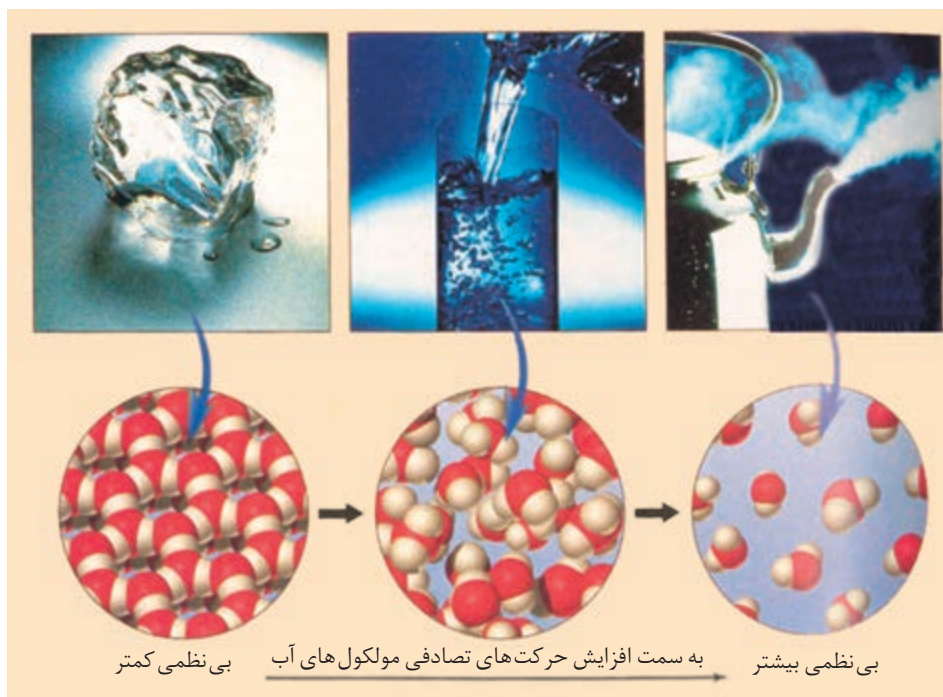
شکل ۱۲ برخی از تغییرهای خودبه خودی

هوا و رطوبت به آهستگی زنگ می‌زنند و سوخت‌ها می‌سوزند. هر یک از این رویدادها با کاهش انرژی سامانه همراه است. هنگامی که آب از آبشار به پایین می‌ریزد، انرژی پتانسیل آن کاهش می‌یابد. وقتی که مخلوط گاز متان و اکسیژن می‌سوزد، یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و انرژی سامانه کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی به صورت گرما آزاد می‌شود. چون همه این رویدادها خودبه خودی‌اند، نتیجه می‌گیریم:

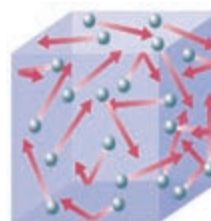
«اگر در فرایندی انرژی سامانه کاهش یابد، آن فرایند می‌تواند خودبه خود باشد.»
به فرایندی که در آن انرژی سامانه کاهش می‌یابد، گرماده گفته می‌شود؛ بنابراین، می‌توان گفت که فرایندهای گرماده اغلب تمایل دارند که به صورت خودبه خودی انجام شوند. اغلب واکنش‌های شیمیایی که در آنها محتوی انرژی فرآورده‌ها از واکنش دهنده‌ها پایین‌تر است، خودبه خودی‌اند. چون بیشتر واکنش‌ها در فشار ثابت انجام می‌شوند، می‌توان گفت: اغلب واکنش‌هایی که ΔH آنها منفی است، خودبه خود انجام می‌شوند.

آیا هر فرایند گرماده، خودبه خودی و هر فرایند گرماگیر، غیر خودبه خودی است؟ اگر در واکنشی، محتوی انرژی فرآورده‌ها از واکنش دهنده‌ها بالاتر باشد، آیا احتمال دارد که این واکنش خودبه خود باشد؟ باید توجه داشت که انرژی سامانه فقط یکی از عوامل تعیین‌کننده جهت پیشرفت یک واکنش است. فرایندهای بسیاری وجود دارند که انرژی آنها کاهش نمی‌یابد ولی خودبه خودی انجام می‌شوند. پس به نظر می‌رسد که باید عامل دیگری غیر از انرژی در تعیین جهت پیشرفت چنین فرایندهایی مؤثر باشد. این عامل را با یک مثال معرفی می‌کنیم. یخ صفر درجه از محیط پیرامون خود گرما جذب می‌کند و خودبه خود ذوب می‌شود، بدون این که دمای آن تغییر کند. در شکل ۱۳ می‌بینید که نظم مولکول‌ها در آب مایع کمتر از یخ و در بخار آب این نظم کمتر از آب مایع است.

به شکل ۱۴ نگاه کنید. این شکل یک سامانه منزوی را نشان می‌دهد. این سامانه از



دمای پایین تر
(بی نظمی کمتر)

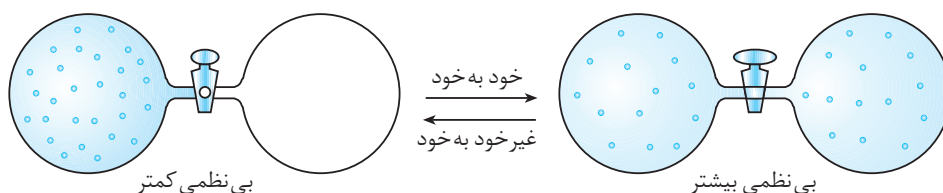


دمای بالاتر
(بی نظمی بیشتر)

شکل ۱۳ ذوب شدن یخ و تبدیل آب به بخار آب. در اینجا میزان بی نظمی چه رابطه ای با دما دارد؟

ذره های سازنده یک ماده در دمای بالا دارای انرژی جنبشی بیشتر و بی نظمی زیادتری هستند.

دو حباب جدا از هم تشکیل شده، که میان آنها یک شیر تعبیه شده است. در حباب سمت چپ، گاز نئون با فشار یک اتمسفر وجود دارد. هنگامی که شیر باز شود، گاز خودبه خود در حباب دوم وارد شده، در کل سامانه پخش می شود و فشار گاز در مجموع کاهش می یابد. علت پخش شدن اتم های گاز نئون در دو حباب این است که هر اتم اکنون در یک سامانه با حجمی دو برابر حجم اولیه قرار گرفته است و در واقع فضای بیشتری در اختیار دارد. از این رو تعداد راه هایی که اتم های گاز می توانند در این فضای جدید پخش شوند، افزایش می یابد و بی نظمی بیشتری پیدا می کنند. از این رو، اتم های گاز ترجیح می دهند که همه حجم سامانه را اشغال کنند.

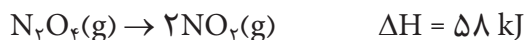


شکل ۱۴ دو حباب متصل به هم که یکی از حباب های آن با گاز نئون پر شده است؛ وضعیت دو حباب پیش و پس از باز شدن شیر

آنتروپی یک سامانه منزوی طی یک فرایند خودبه خودی، افزایش می یابد.

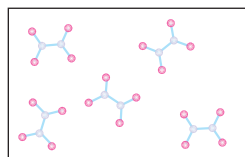
گرچه اغلب واکنش های گرماده خودبه خود هستند ولی واکنش های گرماگیر زیادی وجود دارند که خودبه خود انجام می شوند. برای مثال، تجزیه $N_2O_4(g)$ به $NO_2(g)$ یک

واکنش گرماگیر است ولی خودبه خود انجام می شود.

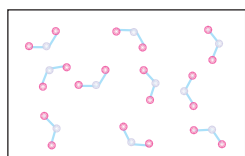


فکر کنید

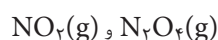
علت پیشرفت خود به خودی واکنش تجزیه $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ افزایش بی نظمی است. این افزایش بی نظمی را توجیه کنید.



افزایش بی نظمی
↑
کاهش بی نظمی



واکنش تبدیل



به یکدیگر

مفهوم آنتروپی در سال ۱۸۶۵ توسط رودولف کلازیوس دانشمند آلمانی برای توجیه جهت انجام فرایندهای فیزیکی و شیمیایی ارائه شد.

بسیاری از واکنش های شیمیایی مانند سوختن کاغذ در شرایط معین در یک جهت خاص خودبه خود انجام می شوند، درحالی که در جهت عکس به طور خودبه خود پیشرفتی نمی کنند.

حل شدن آمونیوم نیتрат (NH_4NO_3) در آب را در نظر بگیرید. می دانید که آمونیوم نیترات یک جامد یونی است. یون های آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) در بلورهای آمونیوم نیترات به طور منظم آرایش یافته اند. وقتی که آمونیوم نیترات در آب حل می شود، نظم یون ها در بلور آن از بین می رود. این یون ها در بین مولکول های آب پخش می شوند. یعنی بعد از حل شدن آمونیوم نیترات در آب، بی نظمی سامانه افزایش می یابد. به طور کلی در واکنش ها یا تغییرهای گرماگیر که خودبه خود انجام می شوند، با انجام واکنش یا تغییر، بی نظمی افزایش می یابد؛ بنابراین می توان افزایش بی نظمی را به عنوان عامل دیگری برای خودبه خود انجام شدن این گونه تغییرهای فیزیکی و شیمیایی در نظر گرفت. **آنتروپی** کمیتی ترمودینامیکی است که میزان این بی نظمی را بیان می کند. آنتروپی را می توان معیاری از بی نظمی یک سامانه تعریف کرد.

آنتروپی را با حرف «S» نشان می دهند. به طور کلی می توان گفت که هر تغییری که باعث افزایش آنتروپی شود، می تواند خودبه خود باشد. مانند انرژی درونی و آنتالپی، آنتروپی هم یک تابع حالت و کمیتی مقداری است. یعنی تغییر آنتروپی نیز فقط به حالت آغازی و پایانی سامانه بستگی دارد. بنابراین تغییر آنتروپی سامانه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta S = S_{\text{پایانی}} - S_{\text{آغازی}}$$

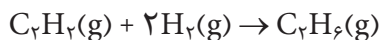
به دیگر سخن تغییر آنتروپی در یک واکنش شیمیایی به آنتروپی فراورده ها و واکنش دهنده ها بستگی دارد. اگر ΔS مثبت باشد؛ یعنی در آن تحول یا تغییر، سامانه نامنظم تر شده است (یعنی $S_{\text{آغازی}} < S_{\text{پایانی}}$). اگر ΔS منفی باشد، در آن صورت در آن تحول یا تغییر، سامانه منظم تر شده است (یعنی $S_{\text{آغازی}} > S_{\text{پایانی}}$). بنابراین می توان گفت که به طور کلی:

هر تغییر شیمیایی یا فیزیکی به طور طبیعی در جهتی پیشرفت می کند که به سطح انرژی پایین تر (ΔH کوچک تر) و آنتروپی بالاتر (ΔS بزرگ تر) برسد.

فکر کنید

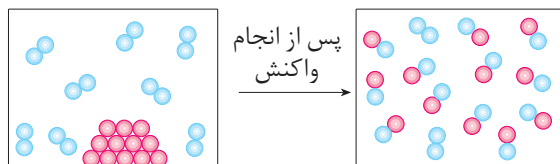
۱- مطابق معادله زیر گاز اتان را می‌توان از واکنش گاز اتین با گاز هیدروژن تهیه

کرد. برای این واکنش ΔS مثبت یا منفی است؟ چرا؟



۲- شکل زیر را با دقت نگاه کنید. برای واکنش نشان داده شده، ΔS مثبت یا منفی

است؟ توضیح دهید.



بیشتر بدانید

آنتروپی و احتمال

حالتی را در نظر بگیرید که در آن تعداد معینی از مولکول‌ها درون سامانه گازی در دما و حجم ثابت وجود دارند. هر مولکول در این سامانه افزون بر جنبش‌های انتقالی، جنبش‌های چرخشی و ارتعاشی نیز دارد. اگر برای این سامانه تغییر دما در حجم ثابت یا تغییر حجم در دمای ثابت رخ دهد، هر مولکول می‌تواند موقعیت‌های گوناگونی را نسبت به دیگر مولکول‌ها داشته باشد. به هریک از این موقعیت‌های گوناگون و قابل دسترس یک ریز حالت گفته می‌شود و تعداد ریز حالت‌ها برای یک حالت از سامانه، تابع قواعد آمار و احتمال است.

تصور کنید در یک سامانه منزوی با دما و حجم ثابت، دو اتم تمییزپذیر هلیوم (ایزوتوپ ^4He با نماد $\bullet$ و ایزوتوپ ^3He با نماد $\circ$) وجود دارند. با باز شدن شیر بین دو حباب در این ظرف، این دو اتم می‌توانند به شکل‌های گوناگونی در این دو حباب توزیع شوند. هریک از الگوهای توزیع در این سامانه، یک ریز حالت به شمار می‌رود. به جدول زیر دقت کنید.

توزیع (حالت)	شکل سامانه منزوی	راه‌های توزیع (ریزحالت‌ها)	احتمال توزیع
2^0		۱	$\frac{1}{4}$
1^1		۲	$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$
0^2		۱	$\frac{1}{4}$
		جمع ریزحالت‌ها = ۴	جمع احتمال‌ها = ۱

مطابق جدول هرچه شمار ریزحالت‌ها (راه‌های توزیع ذره‌ها در یک سامانه منزوی) بیشتر باشد،

احتمال توزیع و دسترسی به آن حالت بیشتر است. به دیگر سخن حالت‌های نامنظم، احتمال وقوع و

دسترسی بیشتری از حالت‌های منظم دارند. این الگو نشان می‌دهد هرچه تعداد ریزحالت‌ها یا راه‌های توزیع ذره‌ها در یک سامانهٔ منزوی بیشتر باشد، آنتروپی سامانه بیشتر خواهد بود.

همچنین هرچه تعداد ذره‌های موجود در سامانهٔ منزوی بیشتر باشد، تعداد ریزحالت‌ها برای انرژی درونی ثابت، بیشتر و آنتروپی نیز بیشتر است. از این رو آنتروپی یک کمیت مقداری است. برای درک این مطلب به توزیع سه اتم تمیزپذیر نئون در یک سامانهٔ منزوی با دما و حجم ثابت توجه کنید.

توزیع (حالت)	شکل سامانهٔ منزوی	تعداد راه‌های توزیع (ریزحالت‌ها)	احتمال توزیع
۳ و ۰		۱	$\frac{1}{8}$
۲ و ۱		۳	$\frac{3}{8}$
۱ و ۲		۳	$\frac{3}{8}$
۰ و ۳		۱	$\frac{1}{8}$
		جمع ریزحالت‌ها = ۸	جمع احتمال‌ها = ۱

${}^3\text{Ne} \cdot$

${}^2\text{Ne} \cdot$

${}^1\text{Ne} \cdot$

این توصیف از آنتروپی نشان می‌دهد که باید S را وابسته به احتمال بدانیم نه وابسته به بی‌نظمی، واژه‌ای که در ذهن تنها آشفتگی را تداعی می‌کند.

در این سامانه نیز حالت‌های (۱ و ۲) و (۲ و ۱) ریزحالت‌های بیشتری را دربر داشته از این رو احتمال توزیع و در نتیجه آنتروپی بیشتری دارند. نخستین بار لودویک بولتزمن، فیزیک‌دان اتریشی (۱۸۴۴-۱۹۰۶) پس از تلاش و پژوهش‌های دقیق دریافت که آنتروپی (S) با تعداد ریزحالت‌های ممکن برای سامانه رابطه مستقیم دارد. این رابطه بر روی سنگ قبر وی نیز حک شده است.

پیش‌گویی جهت انجام واکنش‌های شیمیایی

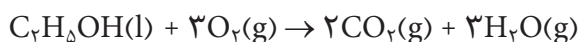
در بیشتر واکنش‌های شیمیایی هم آنتروپی و هم آنتالپی تغییر می‌کنند؛ بنابراین به‌هنگام اظهارنظر دربارهٔ خودبه‌خودی بودن یا نبودن این واکنش‌ها باید به نقش هر دو عامل (آنتالپی و آنتروپی) توجه کرد. در واقع هر دوی آنها در شرایط معین بر خودبه‌خود انجام شدن یک واکنش تأثیر می‌گذارند و در حقیقت رقابت بین این دو عامل است که تعیین می‌کند واکنش در کدام جهت پیشرفت می‌کند. این دو عامل گاهی در یک جهت و گاهی در خلاف جهت هم عمل می‌کنند.

واکنش‌های خودبه‌خود: $\Delta H < 0$ و $\Delta S > 0$

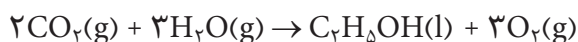
واکنش‌های غیر خودبه‌خود: $\Delta H > 0$ و $\Delta S < 0$

برای روشن شدن مطلب دو مثال را با هم بررسی می‌کنیم.

* واکنش سوختن اتانول را در نظر بگیرید:

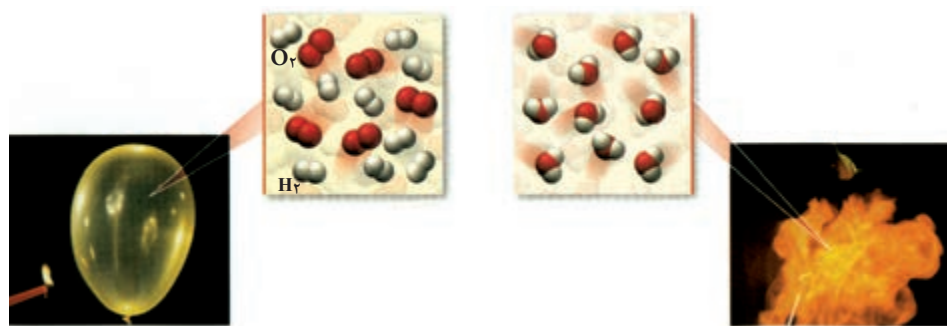
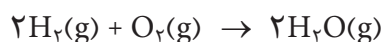


این واکنش گرماده است و آنتروپی آن هم افزایش می‌یابد (چرا؟). پس برای این واکنش دو عامل آنتالپی و آنتروپی در یک جهت عمل می‌کنند و واکنش خودبه‌خود انجام می‌شود، ولی واکنش معکوس سوختن اتانول، یعنی:



هم گرمگیر و هم با کاهش آنتروپی همراه است. چون گرمگیر بودن و کاهش آنتروپی عوامل مساعدی برای انجام واکنش نیستند، پس این واکنش خودبه‌خود انجام نمی‌شود.

* واکنش سوختن هیدروژن را در نظر بگیرید شکل ۱۵:



شکل ۱۵ سوختن H_2

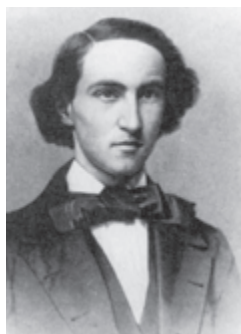
مقدار آنتروپی یک سامانه در صفر مطلق برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

در قانون دوم ترمودینامیک آنتروپی به عنوان ملاکی برای توضیح خودبه‌خود بودن فرایندهای طبیعی معرفی می‌شود.

می‌دانید که این واکنش به شدت گرماده است ولی در این واکنش آنتروپی کاهش می‌یابد (چرا؟). گرماده بودن واکنش، عامل مساعدی برای خودبه‌خود انجام شدن واکنش است ولی کاهش آنتروپی برخلاف آن عمل می‌کند. پس در این واکنش، دو عامل آنتالپی و آنتروپی در خلاف جهت هم عمل می‌کنند و هر کدام که اثر بیشتری داشته باشد، واکنش را کنترل می‌کند. چون سوختن هیدروژن خودبه‌خود انجام می‌شود، بنابراین، در این مورد گرماده بودن واکنش یا کاهش آنتالپی بر کاهش آنتروپی غلبه می‌کند.

انرژی آزاد گیبس

چنان که دیدید آنتروپی و آنتالپی، انجام یک فرایند خودبه‌خودی را کنترل می‌کنند، در ضمن با شیوه رقابت آنها نیز تا حدودی آشنا شدید. از این رو مناسب به نظر می‌رسد کمیت



ویلارد گیبس
(۱۸۳۹ - ۱۹۰۳)

ترمودینامیکی دیگری را تعریف کنیم که بین آنتالپی و آنتروپی ارتباط برقرار می‌کند و به کمک آن بهتر می‌توان دربارهٔ رقابت آنها بحث کرد. کمیتی که آنتروپی و آنتالپی را به هم ربط می‌دهد، انرژی آزاد نامیده می‌شود. انرژی آزاد، مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند تعریف می‌شود. ویلارد گیبس فیزیک‌دان آمریکایی برای انرژی آزاد معادله‌ای به دست آورد. به همین دلیل و به افتخار او این انرژی را، انرژی آزاد گیبس نامیده‌اند. انرژی آزاد گیبس را با حرف G ، نمایش می‌دهند. تغییر انرژی آزاد گیبس با معادلهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

(به کلین)
دما

تغییر انرژی	آنتالپی	تغییر
آزاد گیبس	واکنش	آنتروپی

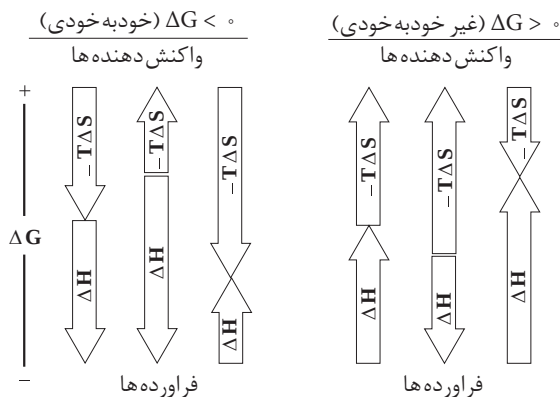
چنان‌که از این معادله برمی‌آید، ΔG به دما بستگی دارد. این که کدام یک، ΔH یا ΔS جهت واکنش را تعیین می‌کند، به مقدار و علامت آنها بستگی دارد. انرژی آزاد گیبس تابع حالت است و تغییر آن فقط به حالت آغازی و پایانی هر تغییر یا تحول بستگی دارد. با توجه به علامت ΔG می‌توان گفت که آیا یک تغییر می‌تواند خودبه‌خود انجام شود یا نه.

آ) برای یک تغییر خودبه‌خودی، $\Delta G < 0$ است.

ب) برای یک تغییر غیر خودبه‌خودی، $\Delta G > 0$ است.

اگر مقدار ΔG برای واکنشی صفر باشد، در این صورت واکنش در هر دو مسیر خودبه‌خود خواهد بود و گفته می‌شود که واکنش در تعادل است. با بحث تعادل در سال آینده آشنا خواهید شد.

علامت ΔG به علامت و مقدار ΔH و عبارت $-T\Delta S$ بستگی دارد. در شکل ۱۶، ΔH و عبارت $-T\Delta S$ که به روش‌های مختلف با هم ترکیب شده‌اند، نشان داده شده است. این واقعیت که مقدار عددی عبارت $-T\Delta S$ به دما بستگی دارد، نشان می‌دهد که برخی تغییرها با توجه به شرایط دمایی ممکن است خودبه‌خودی یا غیر خودبه‌خودی باشند. برای مثال، در



شکل ۱۶ حالت‌های مختلفی که ΔH و عبارت $-T\Delta S$ می‌توانند بر یکدیگر اثر بگذارند. اگر برآیند دو بردار به سمت پایین باشد، واکنش خود به خودی انجام می‌شود. اگر برآیند به سمت بالا باشد، واکنش غیر خود به خود خواهد بود.

دمای پایین یک ΔH نامساعد (مثبت) ممکن است از $-T\Delta S$ مساعد (منفی) بزرگ‌تر باشد ولی در دمای بالاتر، مقدار $-T\Delta S$ افزایش یابد و بزرگ‌تر از ΔH شود. از این رو یک تغییر گرماگیر که در دمای پایین غیرخودبه‌خود است، می‌تواند در دمای بالا به‌طور خودبه‌خود انجام شود.

نمونه حل شده

با استفاده از داده‌های زیر، نشان دهید که واکنش سوختن گاز هیدروژن در دمای 25°C ، خودبه‌خود است.



$$\Delta S^\circ = -189 \text{ J.K}^{-1}$$

پاسخ: با استفاده از رابطه گیبس، ΔG واکنش را به‌دست می‌آوریم:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -484 \text{ kJ} - \left[(273 + 25) \text{ K} \times (-189 \frac{\text{J}}{\text{K}}) \right] \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = -457 \text{ kJ}$$

چون $\Delta G < 0$ است، پس واکنش در این دما خود به‌خود است.

توجه کنید که در رابطه گیبس یکای دما، کلون (K) و یکای آنتروپی واکنش ژول بر کلون (J.K^{-1}) است.

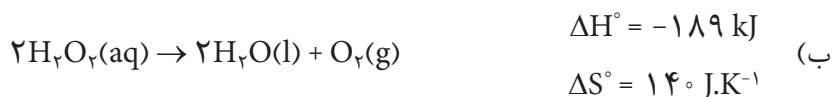
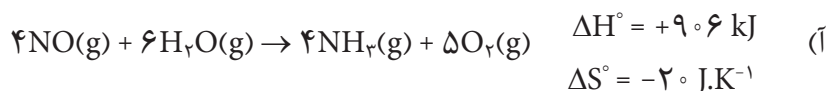
خود را بیازمایید

۱- جدول زیر را کامل کنید.

ΔH	ΔS	ΔG	آیا واکنش خودبه‌خود است؟
منفی	؟	؟	بله، در همه دماها
؟	منفی	؟	خیر، در هیچ شرایطی

۲- کدام یک از واکنش‌های زیر در دمای اتاق در جهت نشان داده شده خود به‌خود

است؟ چرا؟



محلول‌ها



آب دریا نمونه‌ای از محلول‌هاست که سالانه میلیون‌ها تن نمک از آن استخراج می‌شود.

در زندگی روزانه خود با محلول‌های گوناگونی سروکار دارید. هوایی که تنفس می‌کنید، چای و نوشیدنی‌های دیگری که می‌نوشید، سکه‌ای که در جیب خود دارید، مایع‌های پاک‌کننده‌ای که برای شست‌وشو استفاده می‌کنید، بنزین و گازوئیلی که به‌عنوان سوخت در باک وسایط نقلیه می‌ریزید و از همه مهم‌تر آبی که روزانه بارها و بارها برای مصارف مختلفی چون شستن، پختن و نوشیدن استفاده می‌کنید، همگی محلول‌اند. محلول‌ها نقش مهمی در زندگی ما دارند. در این بخش با خواص و کاربرد محلول‌ها بیشتر آشنا می‌شوید.

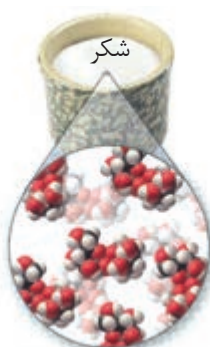
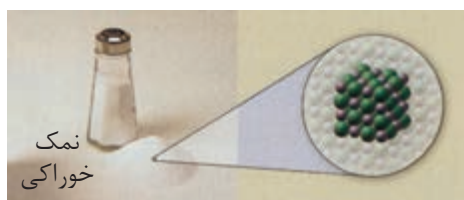
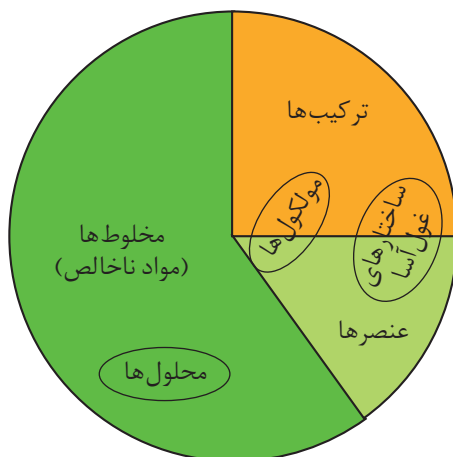
محلول‌ها نمونه‌ای از مواد ناخالص

آموختید که مواد را به دو دسته خالص (شامل عنصر و ترکیب) و ناخالص (شامل مخلوط همگن یا محلول و مخلوط ناهمگن) طبقه‌بندی می‌کنند. در سال گذشته با ساختار و رفتار عنصرها و ترکیب‌های شیمیایی نیز آشنا شدید و اطلاعات بسیاری دربارهٔ

آنها به دست آوردید، اما دسته بزرگ تری از مواد شیمیایی هستند که با عنوان مواد ناخالص یا مخلوط شناخته می شوند.

فکر کنید

دانش آموزی، نمودار دایره ای زیر را برای دسته بندی مواد پیشنهاد داده است. شما نیز با بررسی تصویرهای داده شده، نام هر یک از آنها را در مکان مناسب روی نمودار بنویسید.



فاز چیست؟

بخشی از یک سامانه که خواص شدتی در همه جای آن یکسان است فاز نامیده می‌شود.



یخ در اثر جذب گرما ذوب و به آب مایع تبدیل می‌شود. در این جا یخ یک فاز جامد را تشکیل می‌دهد. ولی بر اثر ذوب شدن به یک فاز مایع تبدیل می‌شود، بنابراین در اینجا تغییر فاز رخ داده است؛ زیرا یک فاز به فاز دیگری تبدیل شده است.

هنگامی که ماده خالصی تغییر فاز می‌دهد ماهیت شیمیایی آن تغییر نمی‌کند؛ بنابراین تغییر فاز، یک تغییر فیزیکی است. به طور کلی هر کدام از تبدیل‌های جامد به مایع، مایع به بخار، بخار به جامد، مایع به جامد و جامد به بخار یک تغییر فاز به شمار می‌آید.

یک لیوان پر از آب خالص را در نظر بگیرید. آیا رنگ، بو، طعم و حالت فیزیکی آب در همه جای درون لیوان یکسان است؟ خواصی مانند چگالی، ضریب شکست نور، ظرفیت گرمایی ویژه و نقطه جوش چطور؟ اگر فضای درون این لیوان را که با آب خالص پر شده است، یک سامانه در نظر بگیرید؛ مشاهده‌ها نشان می‌دهد که خواص شدتی این سامانه در همه جای آن یکسان است. صرف به کار بردن واژه حالت برای معرفی این ویژگی‌ها یعنی یکسان و یکنواخت بودن ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی ماده تشکیل دهنده این سامانه، کافی نیست. از این رو به جای واژه حالت از واژه فاز استفاده می‌شود. برای یک ماده خالص اغلب این دو واژه هم معنا هستند. برای مثال آب در حالت بخار را آب در فاز بخار نیز می‌گویند. به این ترتیب یخ، فاز جامد آب خواهد بود. اگر نیمی از آب درون لیوان را خالی کنیم، در این صورت سامانه یادشده دارای دو فاز خواهد شد. بخشی از لیوان که با آب پر شده، فاز مایع و بخشی از لیوان که با هوا پر شده، فاز گازی آن را تشکیل می‌دهند. افزودن یک قطعه یخ یا مقداری روغن مایع درون این لیوان تعداد فازها را به سه افزایش می‌دهد (چرا؟ در هر مورد این فازها کدام‌اند؟) به چنین سامانه‌ای مخلوط ناهمگن گفته می‌شود. در مخلوط‌های ناهمگن همواره مرز میان فازها قابل تشخیص است. به مرز میان دو فاز، **فصل مشترک** گفته می‌شود. اگر در مخلوطی این مرزها قابل تشخیص نباشد و مخلوط تنها یک فاز به وجود آورد، در این صورت این مخلوط یک فاز را مخلوط همگن یا محلول می‌گویند.

فکر کنید

مخلوط‌های زیر تهیه شده‌اند. با توجه به تعریف فاز، در هر سامانه تعداد فازهای موجود را تعیین کنید. به نظر شما کدام مخلوط ناهمگن و کدام محلول است؟ چرا؟

(آ) مخلوط اتانول و آب

(ب) مخلوط روغن با آب و مقداری نمک خوراکی

(پ) مخلوط آب، روغن و جیوه

(ت) مخلوط آب، یک قطعه یخ، روغن و یک قطعه آهن

محلول‌های مایع و اجزای آنها

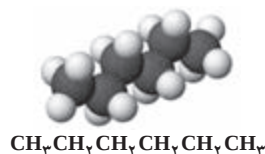
یک محلول دست کم از دو جزء تشکیل شده است: **حلال** و **حل‌شونده**. جزئی که حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیشتری از محلول را تشکیل می‌دهد،

حلال نام دارد. در محلول آب نمک، آب حلال و نمک خوراکی، حل شونده است. اغلب محلول های موجود در طبیعت شامل یک حلال و چند حل شونده هستند. آب دریا نمونه ای از این نوع محلول هاست. برخی از اجزای این محلول را نام ببرید.

آب فراوان ترین و رایج ترین حلال شناخته شده است. این حلال، ترکیب های یونی و مولکولی بسیاری را در خود حل می کند. محلول هایی که حلال آنها آب است، **محلول آبی** نامیده می شوند. آب و محلول های آبی نقش مهمی در زندگی روزانه دارند. اغلب فرایندهای زیست شیمیایی از قبیل هضم، جذب و سوخت و ساز مواد غذایی در محلول آبی انجام می شوند. در صنایع شیمیایی تعداد زیادی از واکنش ها در محیط آبی صورت می گیرد. گرچه آب مهم ترین حلال شناخته شده است، اما حلال های مهم دیگری نیز وجود دارند. هگزان، اتانول و استون سه نمونه مهم از حلال های آلی هستند (جدول ۱). به محلول حاصل از حلال های آلی، **محلول غیر آبی** می گویند.

جدول ۱ برخی حلال های آلی و کاربردهای آنها

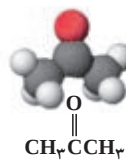
هگزان؛ آلکانی با ۶ اتم کربن است و مولکول هایی ناقطبی دارد. این ماده، حلال بسیار مناسبی برای تعداد زیادی از ترکیب های ناقطبی است. هگزان مایع بی رنگ و فراری است که از نفت خام به دست می آید و به عنوان رقیق کننده (تینر) در رنگ های پوششی کاربرد دارد.



اتانول؛ پس از آب، اتانول مهم ترین حلال صنعتی است. این مایع بی رنگ و فرار به هر میزان با آب مخلوط می شود. از اتانول برای ضد عفونی کردن زخم ها و تولید مواد دارویی، آرایشی و بهداشتی نیز استفاده می شود.



استون؛ حلال مناسبی برای چربی ها، رنگ ها و انواع لاک هاست. این مایع بی رنگ و فرار به هر نسبت در آب حل می شود و از جمله حلال های پر کاربرد در آزمایشگاه های شیمی به شمار می آید.



در اثر نشت نفت خام به آب دریا، یک مخلوط دوفازی تشکیل می شود که آثار زیان بار زیست محیطی به دنبال دارد.

اطلاعات جمع آوری کنید

در زندگی روزانه و در صنعت از حلال های آلی دیگری نیز استفاده می شود. در یک فعالیت گروهی فهرستی از این حلال ها، خواص و کاربردهای آنها همچنین آثار زیان باری که بر محیط زیست و سلامت انسان می گذارند، تهیه کنید و نتیجه را در قالب یک روزنامه دیواری به کلاس ارائه دهید.

انحلال پذیری مواد در آب

در شیمی ۱ با مفهوم انحلال پذیری آشنا شدید. می دانید که در دمای یکسان میزان حل شدن مواد مختلف در آب متفاوت است. بیشترین مقدار از یک ماده که در دمای معین در ۱۰۰ گرم آب حل می شود، **انحلال پذیری** آن ماده را در آب مشخص می کند. در جدول ۲ انحلال پذیری برخی از ترکیب های شیمیایی در آب در دمای ۲۰ °C داده شده است.

جدول ۲ انحلال پذیری برخی ترکیب های شیمیایی در آب در ۲۰ °C

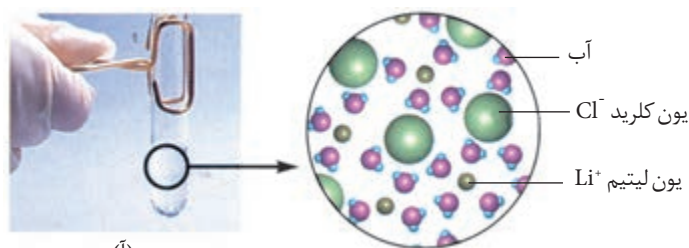
نام	فرمول شیمیایی	انحلال پذیری (گرم حل شونده) ۱۰۰ g H ₂ O
متانول	CH ₃ OH	به هر نسبتی در آب حل می شود.
اتانول	C ₂ H ₅ OH	به هر نسبتی در آب حل می شود.
شکر (ساکارز)	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	۲۰۵
۱-هگزانول	C ₆ H ₁₃ OH	۰/۵۹
نقره کلرید	AgCl	کمتر از ۰/۰۰۰۲
هیدروژن کلرید	HCl	۶۳
کلسیم سولفات	CaSO ₄	۰/۲۱
باریم سولفات	BaSO ₄	کمتر از ۰/۰۰۰۳
پتاسیم نترات	KNO ₃	۳۴

فکر کنید

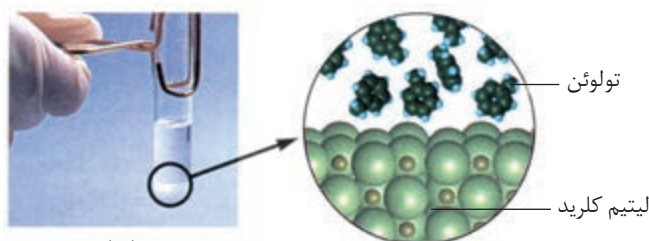
- با توجه به داده های جدول ۲ به پرسش های زیر پاسخ دهید.
- آ) انحلال پذیری برای کدام ترکیب ها از یک گرم حل شونده در ۱۰۰ گرم آب بیشتر است؟
- ب) انحلال پذیری برای کدام ترکیب ها از ۰/۰۱ گرم حل شونده در ۱۰۰ گرم آب کمتر است؟
- پ) انحلال پذیری کدام ترکیب ها بین ۰/۰۱ تا ۱ گرم حل شونده در ۱۰۰ گرم آب است؟
- ت) اگر بخواهیم هر یک از موارد آ، ب و پ را با عنوان های نامحلول، کم محلول و محلول دسته بندی کنیم، در این صورت کدام نام را به کدام مورد آ تا پ نسبت می دهید؟

چرا محلول‌ها به وجود می‌آیند؟

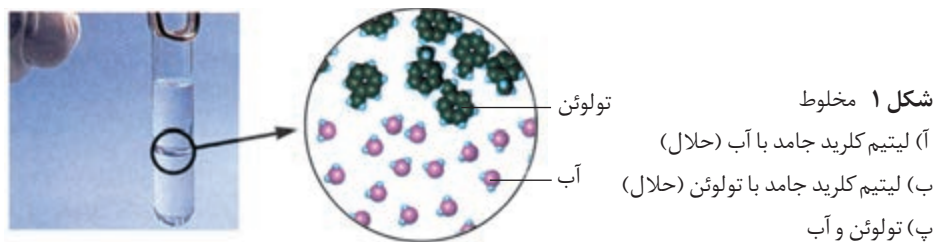
به آزمایش‌های نشان داده شده در شکل ۱ به دقت نگاه کنید. در هر آزمایش چه ترکیب‌هایی با هم مخلوط شده‌اند؟ در کدام مورد دو ماده مخلوط شده، انحلال‌پذیر و در کدام مورد، انحلال‌ناپذیر هستند؟



(آ)



(ب)



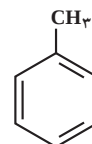
(پ)

شکل ۱ مخلوط

(آ) لیتیم کلرید جامد با آب (حلال)

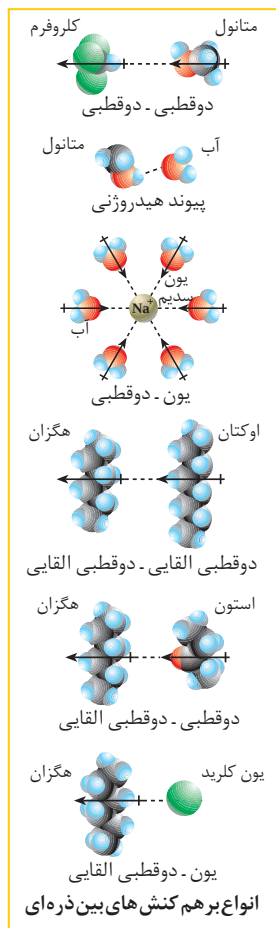
(ب) لیتیم کلرید جامد با تولوئن (حلال)

(پ) تولوئن و آب

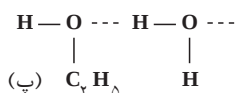
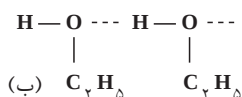
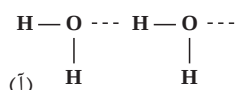


تولوئن یک هیدروکربن آروماتیک است و به مقدار زیادی در قطران زغال‌سنگ یافت می‌شود. مایعی بی‌رنگ و آتش‌گیر است و به عنوان حلال در صنایع مختلفی چون رنگ و رزین کاربرد دارد.

بدون انجام آزمایش نیز می‌توان انحلال‌پذیری یک ماده در یک حلال و تشکیل محلول‌ها را پیش‌بینی کرد. براساس آگاهی از نوع و میزان نیروهای جاذبه موجود بین ذره‌های تشکیل‌دهنده حل‌شونده و حلال، پیش و پس از مجاورت با یکدیگر، پیش‌بینی انحلال‌پذیری بودن یا نبودن حل‌شونده در حلال یاد شده امکان‌پذیر است. به شکل ۱. آ توجه کنید. LiCl ترکیبی یونی است که در آن یون‌های Li^+ و Cl^- در یک شبکه بلوری قرار دارند و با پیوند یونی یکدیگر را به شدت جذب می‌کنند. آب مولکول‌هایی قطبی دارد به طوری که در یک سر، جزئی بار مثبت (اتم‌های H) و در سر دیگر جزئی بار منفی (اتم O) دارند. هنگامی که LiCl در آب حل می‌شود، جاذبه‌ای قوی بین یون Cl^- و سر مثبت مولکول‌های آب ($\text{Cl}^- \dots \text{H}_2\text{O}$) و یون Li^+ با سر منفی مولکول‌های آب ($\text{H}_2\text{O} \dots \text{Li}^+$) به وجود می‌آید. این جاذبه یون-دوقطبی انرژی لازم را برای جدا شدن یون‌های Li^+ و Cl^- از شبکه بلور فراهم می‌کند. به طور کلی ترکیب‌های یونی تمایل دارند در حلال‌های قطبی حل شوند. البته میزان انحلال‌پذیری ترکیب‌های یونی



نیروی جاذبه بین مولکول آب و یک یون از نوع یون - دوقطبی است. این جاذبه بین‌ذره‌ای از جاذبه دوقطبی - دوقطبی و پیوند هیدروژنی قوی‌تر و از پیوند یونی (جاذبه یون - یون) ضعیف‌تر است.



شکل ۲ پیوند هیدروژنی
(آ) بین مولکول‌های آب
(ب) بین مولکول‌های اتانول
(پ) بین مولکول‌های آب و مولکول‌های اتانول

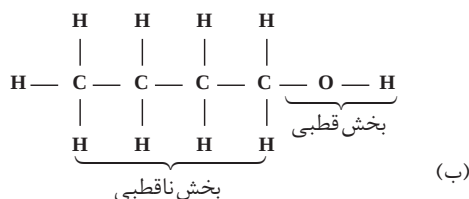
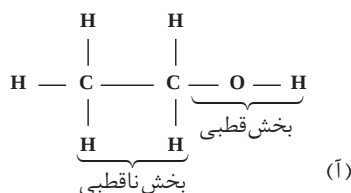
در شرایط یکسان متفاوت است و به نوع یون‌های سازنده و ساختار بلوری آنها بستگی دارد. به شکل ۱. ب دقت کنید. تولوئن ترکیبی آلی است و مولکول‌های ناقطبی دارد. بین این مولکول‌ها، نیروهای جاذبه وان دروالس وجود دارد که از جمله نیروهای بین مولکولی ضعیف به شمار می‌رود. درحالی‌که LiCl، ترکیبی یونی است. وقتی این دو با هم مخلوط می‌شوند، نیروی جاذبه بین یون‌ها و مولکول‌های تولوئن به اندازه‌ای نیست که بتواند بر پیوندهای یونی در شبکه بلوری LiCl غلبه کند. مشاهده تجربی نیز درستی این ادعا را ثابت می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که ترکیب‌های یونی در مواد ناقطبی حل نمی‌شوند.

فکر کنید

- با توجه به شکل ۱. پ آیا تولوئن در آب حل شده است؟ این مشاهده تجربی را توجیه کنید.
- نفثالین در تولوئن حل می‌شود. آیا از این مشاهده می‌توان نتیجه گرفت که مولکول‌های نفثالین ناقطبی‌اند؟ به عبارت دیگر آیا می‌توان نتیجه گرفت که «شبيه، شبيهه را در خود حل می‌کند»؟

انحلال اتانول در آب را در نظر بگیرید. در ترکیب‌هایی مانند اتانول، نیروهای بین مولکولی از نوع پیوند هیدروژنی است. بین مولکول‌های قطبی آب نیز پیوند هیدروژنی وجود دارد. وقتی اتانول در آب حل می‌شود، پیوندهای هیدروژنی تازه‌ای بین مولکول‌های اتانول و مولکول‌های آب به وجود می‌آید. میزان این نیروهای جاذبه بین مولکولی به اندازه‌ای است که بر پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های اتانول و پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب غلبه کرده، باعث انحلال اتانول در آب می‌شود. شکل ۲ پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های اتانول و آب را نشان می‌دهد. براساس این یافته تجربی (انحلال اتانول در آب) کدام پیوند هیدروژنی نشان داده شده در این شکل باید قوی‌تر باشد؟ چرا؟

توجه کنید که برخی از مولکول‌ها در ساختار خود یک بخش قطبی و یک بخش ناقطبی دارند. ۱. بوتانول و اتانول از این دست ترکیب‌ها هستند، شکل ۳. انحلال پذیری چنین ترکیب‌هایی در آب، بستگی به این دارد که کدام بخش بر دیگری غالب است.



شکل ۳ (آ) اتانول (ب) ۱-بوتانول

فکر کنید

جدول زیر، انحلال پذیری برخی از الکل های راست زنجیر را در آب نشان می دهد. با بررسی آن به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.

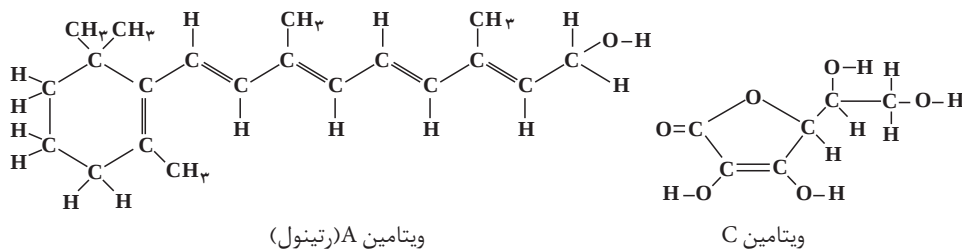
نام الکل	فرمول ساختاری الکل	انحلال پذیری $\left(\frac{\text{گرم حل شونده}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}\right)$
متانول	CH_3OH	به هر نسبتی در آب حل می شود.
اتانول	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	به هر نسبتی در آب حل می شود.
۱- پروپانول	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	به هر نسبتی در آب حل می شود.
۱- بوتانول	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$	۸/۲۱
۱- پنتانول	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OH}$	۲/۷۰
۱- هگزانول	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH}$	۰/۵۹

الکل ها و اسیدهای آلی حداکثر با پنج کربن در آب محلول هستند.

آ) بخش های قطبی و ناقطبی را در هر یک از الکل ها مشخص کنید.
 ب) انحلال پذیری الکل ها با افزایش تعداد کربن چه تغییری می کند؟ با دلیل توضیح دهید.

خود را بیازمایید

در شکل زیر ساختار ویتامین A (رتینول) و ویتامین C (آسکوربیک اسید) نشان داده شده است. به این شکل ها با دقت نگاه کنید و سپس به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.

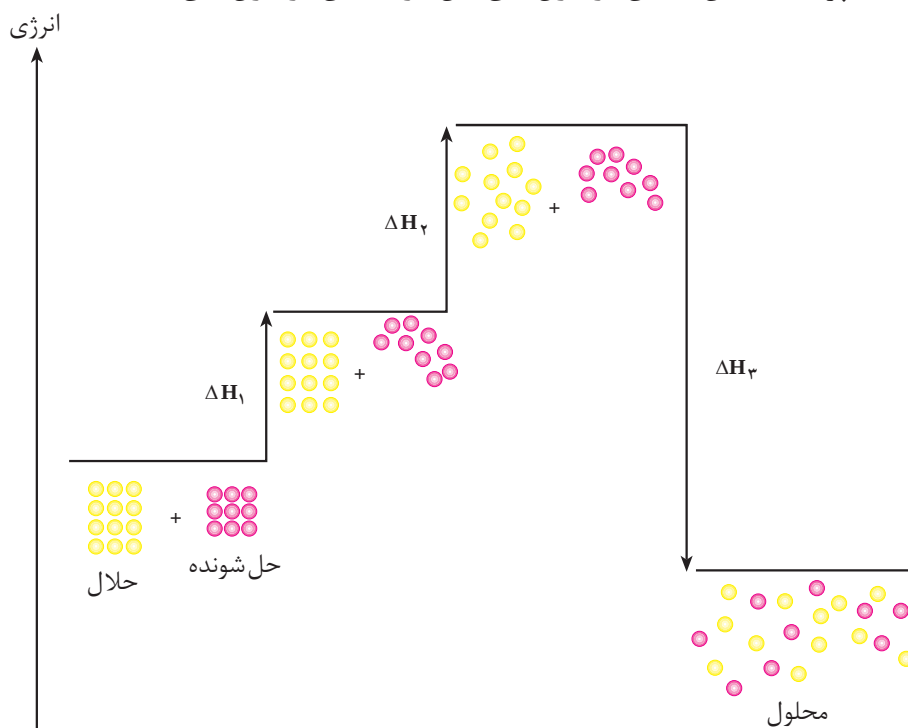


آ) بخش های قطبی هر مولکول را روی شکل نشان دهید.
 ب) به نظر شما کدام یک از این ویتامین ها باید در آب و کدام یک در چربی انحلال پذیر باشد؟ چرا؟
 پ) مصرف بیش از اندازه لازم از کدام ویتامین برای بدن مشکلی ایجاد نمی کند؟ چرا؟

آنتالپی انحلال

فرایند انحلال با مبادله انرژی همراه است. تغییر آنتالپی مربوط به حل شدن یک مول حل شونده در مقدار زیادی حلال را گرمای انحلال یا آنتالپی انحلال ($\Delta H_{\text{انحلال}}$) می نامند. انحلال یک ترکیب مولکولی در آب را در نظر بگیرید. این انحلال از دید مولکولی شامل سه مرحله است، شکل ۴.

- ۱- جدا شدن مولکول های حل شونده از یکدیگر
- ۲- جدا شدن مولکول های آب از یکدیگر
- ۳- پراکنده شدن همگن مولکول های حل شونده بین مولکول های آب



شکل ۴ مراحل سه گانه انحلال یک ترکیب مولکولی فرضی در آب
این مراحل به طور همزمان انجام می شوند.

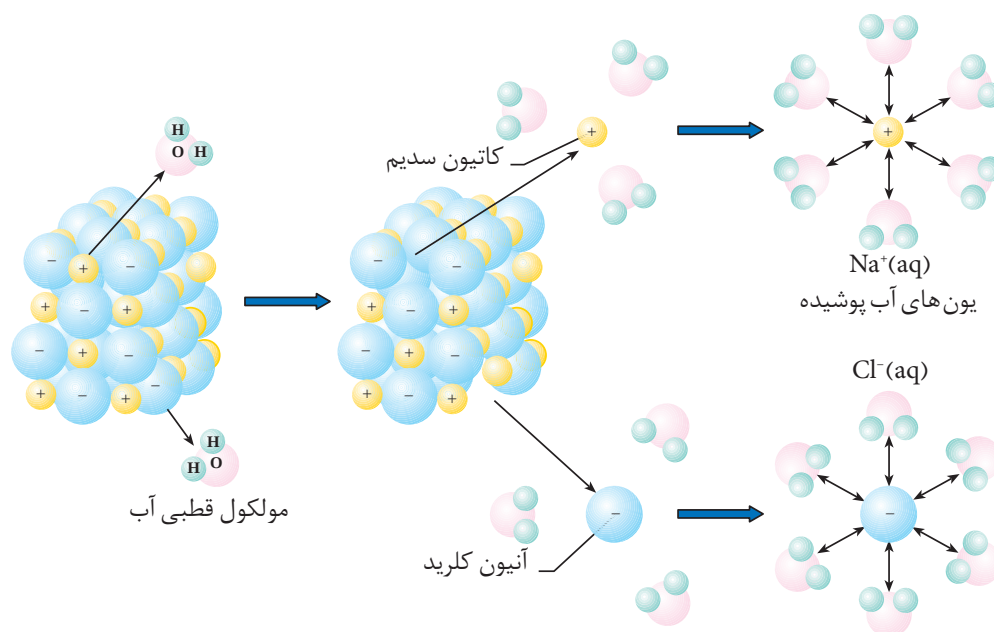
فکر کنید

- ۱- با توجه به شکل ۴ به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.
(آ) هر یک از مراحل ۱، ۲ و ۳ را روی نمودار مشخص کنید و در هر مورد گرماده یا گرماگیر بودن مرحله یاد شده را با بیان علت معلوم کنید.
(ب) براساس قانون هس، رابطه ای میان ΔH_1 ، ΔH_2 و ΔH_3 با آنتالپی انحلال بنویسید.
(پ) این انحلال در مجموع گرماده یا گرماگیر است؟ چرا؟
- ۲- تجربه نشان می دهد که انحلال شکر (ساکارز) به عنوان مثالی از ترکیب های مولکولی در آب، فرایندی گرماگیر است.

آ) این مشاهده را با توجه به آنتالپی مراحل سه گانه یاد شده، توجیه کنید.
 ب) با توجه به گرماگیر بودن فرایند انحلال شکر در آب، چرا این فرایند به طور خود به خودی روی می دهد؟

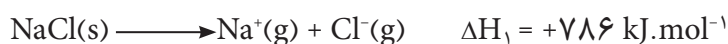
پ) انتظار دارید که در یک انحلال گرماگیر ($\Delta H_{\text{انحلال}} > 0$) افزایش دما چه تأثیری بر انحلال پذیری حل شونده در آب داشته باشد؟ چرا؟

اکنون به فرایند انحلال یک ترکیب یونی مانند NaCl در آب توجه کنید، شکل ۵. این انحلال نیز شامل سه مرحله است.



شکل ۵ انحلال سدیم کلرید در آب، به برهم کنش مولکول های آب با یون های سدیم و کلرید توجه کنید.

۱. فروپاشی شبکه بلوری NaCl : این مرحله با صرف انرژی همراه است، بنابراین گرماگیر به شمار می آید.



۲. جدا شدن مولکول های آب از یکدیگر: این مرحله نیز گرماگیر است.

۳. برقراری جاذبه قوی بین یون ها (Na^+ ، Cl^-) و مولکول های آب: این مرحله گرماده است و طی آن انرژی زیادی آزاد می شود.

مجموع مراحل ۲ و ۳ را **مرحله آب پوشی** می نامند. در این مرحله یون های Na^+ و Cl^- به وسیله مولکول های آب احاطه می شوند. مرحله آب پوشی در مجموع گرماده است. مقدار آنتالپی انحلال NaCl در آب، جمع جبری گرمای لازم برای فروپاشی شبکه بلوری NaCl و گرمای آزاد شده در اثر آب پوشی یون های Na^+ و Cl^- است.

نمونه حل شده

اگر انرژی لازم برای فروپاشی شبکه بلوری NaCl (آنتالپی فروپاشی شبکه، $\Delta H_{\text{فروپاشی}}$)، ۷۸۶ کیلوژول بر مول و مجموع انرژی آزاد شده در آب پوشی (آنتالپی آب پوشی، $\Delta H_{\text{آب پوشی}}$) یون های Na^+ و Cl^- ، ۷۸۳ کیلوژول بر مول باشد، آنتالپی انحلال NaCl را در آب محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\Delta H_{\text{فروپاشی}} = \text{NaCl بلوری شبکه بلوری} = +786 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{آب پوشی}} = \text{مجموع انرژی آب پوشی یون های } \text{Na}^+ \text{ و } \text{Cl}^- = -783 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{انحلال}} = \Delta H_{\text{فروپاشی}} + \Delta H_{\text{آب پوشی}} = \text{NaCl انحلال} = +3 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

آنتروپی و انحلال

همان طور که ملاحظه کردید، آنتالپی انحلال سدیم کلرید ۳ کیلوژول بر مول است. یعنی برای انحلال یک مول NaCl در آب ۳ کیلوژول گرما لازم است. با وجود گرماگیر بودن، انحلال NaCl در آب خودبه خودی انجام می شود؛ زیرا به جز آنتالپی باید به عامل دیگری در انحلال مواد توجه کرد.

تغییر آنتروپی بر فرایند انحلال بسیار مؤثر است. با به کارگیری قواعد زیر می توان میزان تأثیر این عامل را پیش بینی کرد:

آ) حل شدن جامد در مایع اغلب با افزایش آنتروپی همراه است، زیرا ذره های تشکیل دهنده یک جامد بلوری، آرایش بسیار منظمی دارند و در اثر حل شدن، ذره ها از این حالت بسیار منظم خارج شده، درون مایع پراکنده می شوند و ضمن جنبش دائمی آزادی عمل بیشتری پیدا می کنند.

ب) حل شدن مایع در مایع نیز با افزایش آنتروپی همراه است؛ زیرا دو مایع که در یکدیگر حل می شوند، حجم بیشتری نسبت به دو مایع جدا از یکدیگر پیدا می کنند. بنابراین، در این فضای بزرگ تر آزادی عمل و جنبش ذره های دو مایع در حالت محلول بیشتر می شود.

پ) حل شدن گاز در مایع با کاهش آنتروپی همراه است؛ زیرا بین ذره ها در حالت گازی نیروی جاذبه ناچیزی وجود دارد و از این رو ذره ها آزادی عمل بیشتری دارند. هنگامی که گازی در یک حلال مایع حل می شود، نیروی جاذبه بین ذره ای افزایش می یابد و آزادی عمل آنها کمتر می شود. به عبارتی این نیروهای جاذبه از تمایل آنها به بی نظمی می کاهند.

خود را بیازمایید

با بیان علت مشخص کنید که فرایند انحلال در کدام مورد با افزایش آنتروپی و در کدام مورد با کاهش آنتروپی همراه است؟

(آ) اتانول در آب (ب) گاز آمونیاک در آب (پ) پتاسیم کلرید در آب

فکر کنید

۱- انحلال پتاسیم هیدروکسید و پتاسیم نیترات در آب به ترتیب گرماده و گرماگیر است. اگر هنگام این دو انحلال هیچ گونه مبادله انرژی با محیط پیرامون وجود نداشته باشد، دمای محلول آنها چه تغییری می کند؟ چرا؟

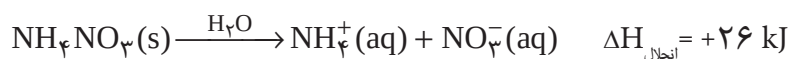
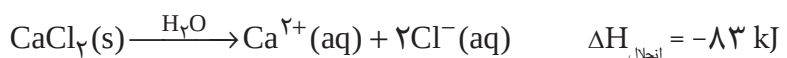
۲- شکل روبه رو محلول یُد در تولوئن را نشان می دهد. با اینکه در طی فرایند انحلال، دمای محلول تغییر محسوسی نمی کند، توضیح دهید چرا حل شدن یُد در تولوئن، خودبه خود انجام می شود؟



بیشتر بدانید

اغلب، ورزشکاران برای درمان آسیب دیدگی های خود از بسته هایی استفاده می کنند که گرما یا سرما را سریعاً انتقال می دهند. این بسته ها که از وسایل کمک های اولیه به شمار می آیند، طرز کار این بسته ها بر پایه آنتالپی انحلال استوار است. این بسته ها از یک کیسه پلاستیکی تشکیل شده اند که درون آن، یک بسته کوچک آب و یک ماده شیمیایی به صورت گرد وجود دارد. ضربه زدن به کیسه پلاستیکی موجب می شود که بسته کوچک آب پاره شده، ماده شیمیایی در آن حل شود. اگر انحلال ماده شیمیایی در آب گرماده باشد، دمای بسته افزایش و اگر این انحلال گرماگیر باشد، دمای بسته کاهش می یابد.

معمولاً در بسته های تولیدکننده گرما از کلسیم کلرید و در بسته های تولیدکننده سرما از آمونیوم نیترات استفاده می شود. فرایند انحلالی که در هر مورد رخ می دهد، عبارت است از:



آزمایش ها نشان می دهد که افزودن ۴ گرم CaCl_2 (۳۶٪ مول CaCl_2) به ۱۰۰ میلی لیتر



بسته های تولیدکننده سرما و گرما که در بازار به فروش می رسند. بسته ایجادکننده سرما دارای آمونیوم نیترات و آب و بسته آزادکننده گرما دارای کلسیم کلرید و آب است.

آب 2°C ، دمای آب را تا 9°C افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، هرگاه 3°C گرم NH_4NO_3 (۳۸٪ مول NH_4NO_3) را به 100 میلی‌لیتر آب 2°C بیفزاییم، دمای آب به $^{\circ}\text{C}$ کاهش می‌یابد. بسته‌های تولیدکننده سرما یا گرما، در حدود 20 دقیقه کار می‌کنند.

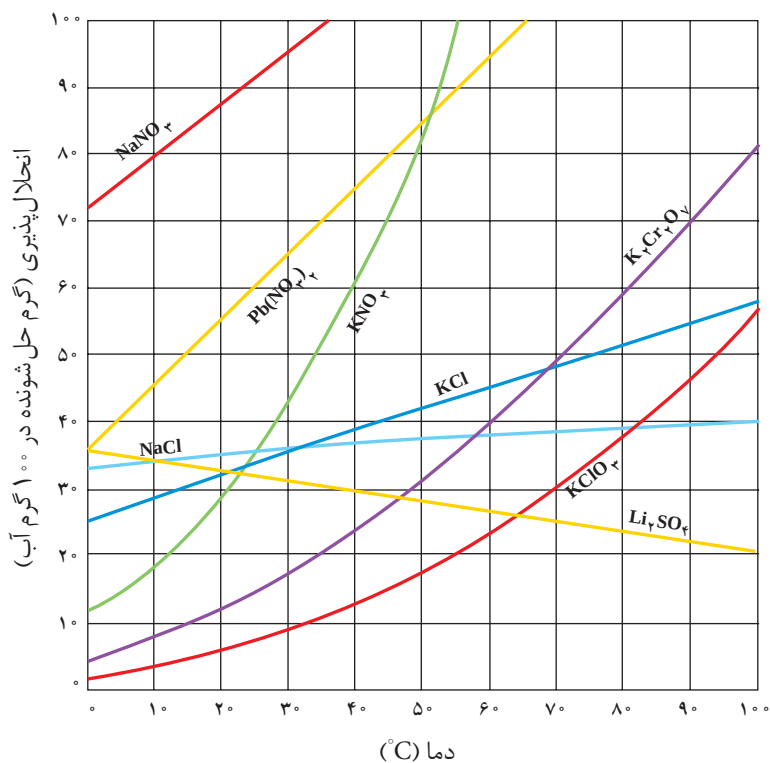
همچون دانشمندان

۱- شکل زیر نمودار انحلال‌پذیری چند ترکیب یونی را نشان می‌دهد. با دقت به این نمودار نگاه کنید و به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.
 (آ) اگر بخواهید محلول‌های سیر شده‌ای از پتاسیم کلرید در دماهای 0°C ، 40°C و 80°C تهیه کنید، در هر مورد چند گرم KCl را باید در 100 گرم آب حل کنید؟
 (ب) جدول زیر را کامل کنید. تأثیر دما بر انحلال‌پذیری KNO_3 و KCl را با هم مقایسه کنید.

انحلال‌پذیری در آب			ماده حل‌شونده
50°C	30°C	0°C	
			KNO_3
			KCl



سنگ کلیه به دلیل ایجاد محلول سیر شده از برخی نمک‌های کلسیم دار در کلیه به وجود می‌آید.
 پزشکان برای پیشگیری از این عارضه نوشیدن ۶ تا ۸ لیوان آب را در روز توصیه می‌کنند.



نمودار انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های یونی در آب

پ) محلول سیر شده‌ای از پتاسیم کلرات (KClO_3) در دمای 8°C در اختیار دارید. اگر این محلول تا دمای 0°C سرد شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا در 0°C نیز محلول سیر شده است؟
۲. منحنی انحلال پذیری AgNO_3 را با توجه به داده‌های جدول روبه‌رو روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید (گرم AgNO_3 در 100°g آب را روی محور عمودی و دما را روی محور افقی قرار دهید).

مقدار AgNO_3 (g/100gH ₂ O)	دما ($^\circ\text{C}$)
۱۲۲	۰
۲۱۶	۲۰
۳۱۱	۴۰
۴۴۰	۶۰
۵۸۵	۸۰

آ) انحلال پذیری AgNO_3 را در 3°C روی نمودار نشان دهید.
ب) در چه دمایی انحلال پذیری AgNO_3 ، 275°g گرم در 100°g آب است؟
پ) انحلال پذیری AgNO_3 در آب گرماده یا گرماگیر است؟ چرا؟
ت) اگر در دمای 10°C مقدار $98/5^\circ\text{g}$ گرم AgNO_3 به 100°g آب افزوده شود، محلول حاصل سیر شده یا سیر نشده است؟

انحلال پذیری گازها در آب

می‌دانید که گازها در مایع‌ها حل شده، محلول ایجاد می‌کنند. در این میان، شناخت ویژگی‌های محلول آبی گازهای مختلف و اثر عواملی مانند نوع گاز، دما و فشار بر انحلال پذیری گازها در آب از اهمیت زیادی برخوردار است.

اکسل (Excell) نرم‌افزاری است که با استفاده از آن می‌توان انواع نمودارها را رسم کرد. شما هم می‌توانید برای رسم نمودار انحلال پذیری مواد آن را به کار ببرید.

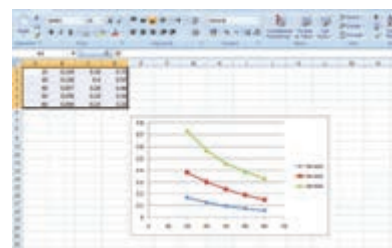
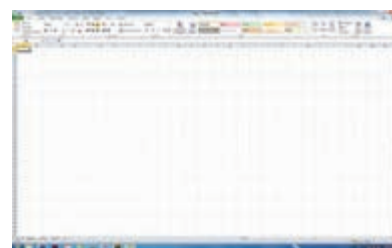
همچون دانشمندان

۱. با استفاده از داده‌های جدول زیر، روی یک کاغذ میلی‌متری نمودار انحلال پذیری (گرم حل‌شونده در 100°g آب) سه گاز یادشده را در برابر دما ($^\circ\text{C}$) رسم کنید. سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

انحلال پذیری ($\text{g}/100^\circ\text{gH}_2\text{O}$) سه گاز در دماهای مختلف در فشار 1 atm

دما ($^\circ\text{C}$)	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	گاز
CO_2	۰/۱۶۹	۰/۱۲۶	۰/۰۹۷	۰/۰۷۶	۰/۰۵۸	
H_2S	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۵	
Cl_2	۰/۷۳	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۳۹	۰/۳۳	

آ) انحلال پذیری هر سه گاز را در 45°C تخمین بزنید.
ب) در چه دمایی انحلال پذیری گاز کلر، 5°g در 100°g آب است؟
پ) محلولی که شامل 100°g کربن دی‌اکسید در 100°g آب است، در 35°C چه حالتی؛ سیر شده، سیر نشده یا فراسیر شده دارد؟



ت) انحلال پذیری گاز هیدروژن سولفید را در 7°C پیش بینی کنید.

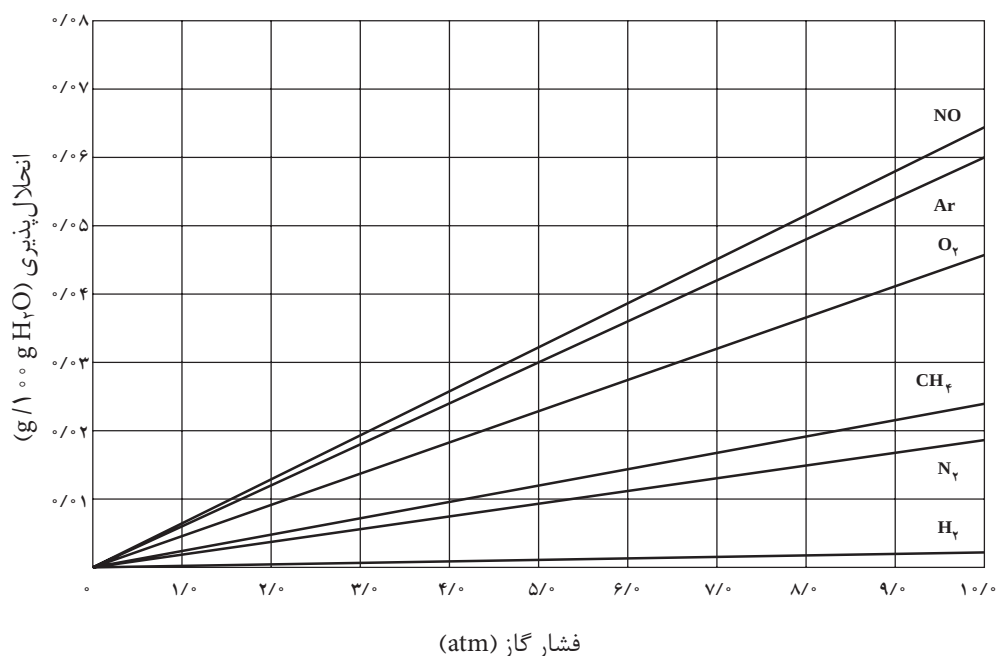
ث) از این نمودارها چه نتیجه ای می گیرید؟

۲. انحلال پذیری چند گاز در آب در فشار ۱ atm و دمای 25°C در جدول زیر داده شده است. از این داده ها چه نتیجه ای می گیرید؟ تفاوت های مشاهده شده را توجیه کنید.

HCl	NH ₃	CO ₂	O ₂	N ₂	گاز
۶۹/۵	۴۷/۰	۰/۱۴۵	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۱۸	انحلال پذیری (g/۱۰۰ g H ₂ O)

۳. نمودار زیر تأثیر فشار گاز بر انحلال پذیری آنها را در آب 2°C نشان می دهد.

ویلیام هنری در سال ۱۸۰۳ از تفسیر چنین داده هایی به یک نتیجه گیری مهم درباره انحلال پذیری گازها در آب دست یافت. این نتیجه گیری را که **قانون هنری** گفته می شود، در یک سطر بیان کنید.



غلظت محلول و روش های بیان آن

بیشتر واکنش های شیمیایی مانند واکنش های زیست شیمیایی که در بدن موجودات زنده رخ می دهند، در فاز محلول انجام می شوند. در آزمایشگاه و طبیعت نیز اغلب واکنش دهنده ها را در فاز محلول با یکدیگر وارد واکنش می کنند. از این رو محلول ها در زندگی ما نقش مهمی دارند. در این میان، واکنش هایی که در

هنگامی که یک غواص در عمق آب از هوای فشرده درون کپسول تنفس می کند، به دلیل فشار زیاد، غلظت گاز نیتروژن به میزان قابل توجهی در خون او بالا می رود. در این شرایط اگر غواص سریع به سطح آب بیاید، نیتروژن حل شده در خون او آزاد می شود. در نتیجه، حباب هایی در خون او تشکیل می شود که مانع از رسیدن اکسیژن به مغز می شود. این پدیده باعث ایجاد یک عارضه دردناک و گاهی کشنده می شود. امروزه در غواصی از کپسول محتوی اکسیژن و هلیوم استفاده می شود.



آب دریا منبع مهمی برای تهیه بسیاری از مواد شیمیایی است. برای نمونه، از هر تن آب دریا، می توان تقریباً یک کیلوگرم فلز منیزیم تهیه کرد.

فاز محلول آبی انجام می‌شوند، از اهمیت بیشتری برخوردارند. برای بررسی کمی چنین واکنش‌هایی، دانستن غلظت محلول ضروری است.

غلظت یک محلول، مقدار حل‌شونده را در مقدار معینی از محلول یا حلال نشان می‌دهد. غلظت محلول‌ها را به روش‌های گوناگون بیان می‌کنند. در اینجا با برخی از آنها آشنا می‌شوید.

درصد جرمی: آیا تا به حال به برچسب محلول شست‌وشوی دهان توجه کرده‌اید؟ روی ظرف دارای این محلول این عبارت نوشته شده است: «محلول استریل سدیم کلرید ۰/۹ درصد برای شست‌وشو، غیرقابل تزریق»، شکل ۶.

عبارت «سدیم کلرید ۰/۹ درصد» نوعی بیان غلظت برای این محلول است؛ یعنی در هر ۱۰۰ گرم از این محلول ۰/۹ گرم سدیم کلرید وجود دارد و بقیه آن آب است. این نوع بیان غلظت را **درصد جرمی** می‌نامند. درصد جرمی با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

توجه کنید که در صورت و مخرج باید از یک نوع یکای جرم استفاده شود؛ یعنی هر دو کمیت باید برحسب میلی‌گرم، گرم یا کیلوگرم بیان شوند.



شکل ۶ محلول سدیم کلرید ۰/۹ w/w

درصد جرمی را با نماد w/w نشان می‌دهند.

نمونه حل شده

۱/۷ گرم سدیم کلرید در ۶/۸ گرم آب حل شده است. درصد جرمی NaCl را در این محلول محاسبه کنید.

پاسخ:

(آ) فهرست داده‌ها

۱/۷ g NaCl = جرم حل‌شونده

۶/۸ g H₂O = جرم حلال

محلول NaCl g = ? = جرم محلول

(ب) محاسبه جرم محلول

۸/۵ g = ۱/۷ g + ۶/۸ g = جرم حل‌شونده + جرم حلال = جرم محلول

(پ) محاسبه درصد جرمی

$$\text{درصد جرمی} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 100$$

$$\text{درصد جرمی} = \frac{1/7 \text{ g NaCl}}{8/5 \text{ g NaCl}} \times 100 = 20\%$$

خود را بیازمایید

۱- $1/5 \text{ g}$ سدیم هیدروکسید NaOH در $43/5 \text{ g}$ آب حل شده است. درصد جرمی NaOH را در این محلول حساب کنید.

۲- محلول 5% جرمی سدیم نیترات تهیه شده است. در 40 g از این محلول چند گرم NaNO_3 وجود دارد؟

قسمت در میلیون (ppm):

برای محلول های بسیار رقیق، جرم حل شونده، آنقدر کم است که معمولاً غلظت محلول آن به جای درصد، برحسب قسمت در میلیون (ppm) بیان می شود.

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6$$



نمایشگر آلاینده های هوا.
در این نمایشگر غلظت اغلب آلاینده ها با ppm نمایش داده می شود.

توجه کنید که در صورت و مخرج این رابطه باید از یک نوع یکای اندازه گیری جرم (میلی گرم، گرم یا کیلوگرم) استفاده کرد.

از ppm برای بیان غلظت بسیار کم کاتیون ها و آنیون ها در آب دریا، بدن جانداران، بافت های گیاهی و میزان آلاینده های هوا (ذره های معلق یا گازهای آلاینده) استفاده می شود. در جدول زیر غلظت برخی یون ها در یک نمونه آب دریا برحسب ppm بیان شده است.

$\text{K}^+(\text{aq})$	$\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$	$\text{Na}^+(\text{aq})$	$\text{Cl}^-(\text{aq})$	یون
۳۸۰	۴۰۰	۱۰۶۰۰	۱۹۰۰۰	غلظت (ppm)

فکر کنید

برای محلول های بسیار رقیق از یک حل شونده در آب، می توان ppm را هم ارز با میلی گرم حل شونده موجود در یک لیتر محلول تعریف کرد؛ چرا؟

غلظت مولی (مولار): رایج ترین شیوه برای بیان غلظت یک محلول است. غلظت

مولار، تعداد مول های حل شونده در یک لیتر از محلول را نشان می دهد و با یکای mol.L^{-1} بیان می شود.

برای نمونه، محلولی که دارای $2/00$ مول NaCl در $10/0$ لیتر محلول است،

$$\text{غلظتی برابر با } (2/00 \text{ mol.L}^{-1}) = \frac{2/00 \text{ mol NaCl}}{10/0 \text{ L محلول}} \text{ دارد.}$$

نمونه حل شده

برای تهیه ۲۰۰ لیتر محلول سدیم کلرید ۱۰٪ مول در لیتر چند گرم سدیم کلرید خالص نیاز است؟

پاسخ:

$$? \text{ g NaCl} = 200 \text{ L NaCl محلول} \times \frac{10 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ L NaCl محلول}}$$

$$\times \frac{58.44 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 117 \text{ g NaCl}$$



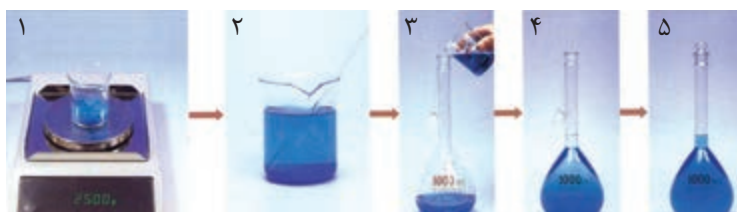
دستگاه اندازه گیری قند خون؛ این دستگاه تعداد میلی گرم های گلوکز را در mL از خون نشان می دهد. غلظت گلوکز در این نمونه از خون چند مولار است؟

آزمایش کنید

۱- تصاویرهای زیر مراحل تهیه محلولی از یک ماده جامد را با غلظت مولی مشخص در آزمایشگاه نشان می دهد. در هر مورد بر مبنای دستور کار داده شده و با محاسبه مقدار حل شونده مورد نیاز، محلول های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.

(آ) ۱۰۰ mL محلول سدیم کلرید 2 mol.L^{-1}

(ب) ۲۵۰ mL محلول مس (II) سولفات 0.5 mol.L^{-1}



مراحل تهیه محلولی با غلظت معین از حل شونده جامد

۱- اندازه گیری جرم حل شونده

۲- حل کردن حل شونده در آب درون یک بشر

۳- انتقال محلول به درون بالون حجمی و افزودن آب به آن

۴- افزودن آب بیشتر و تکان دادن بالون به منظور همگن سازی محلول

۵- افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم رساندن).

۲- برای تهیه محلول های رقیق می توان از رقیق کردن محلول های غلیظ تر استفاده

کرد.

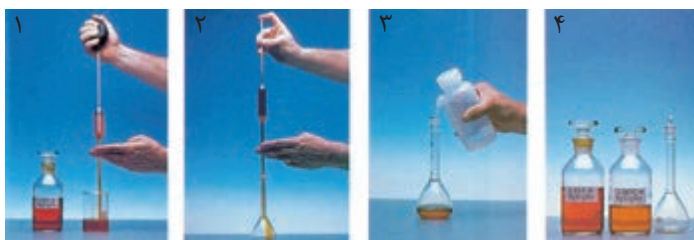
با دقت به تصاویرهای صفحه بعد نگاه کنید. در هر مورد بر مبنای دستور کار

معرفی شده و با محاسبه حجم مورد نیاز از محلول غلیظ داده شده، محلول های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.



رقیق کردن شربت پرتقال. اگر یک قوطی شربت پرتقال غلیظ را با سه قوطی آب مخلوط کنیم و خوب هم بزنیم، ۴ قوطی شربت پرتقال رقیق به دست می‌آید.

ا) ۲۵۰ mL محلول 0.4 mol.L^{-1} پتاسیم دی کرومات از محلول 0.2 mol.L^{-1} آن
 ب) ۱۰۰ mL محلول 0.1 mol.L^{-1} سدیم کلرید از محلول 0.2 mol.L^{-1} آن



تهیه محلولی با غلظت معین به روش رقیق کردن حجم معینی از یک محلول غلیظ

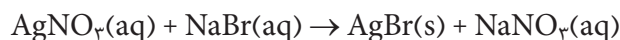
- ۱- برداشتن حجم معینی از محلول غلیظ
- ۲- انتقال آن حجم به درون یک بالون حجمی
- ۳- افزودن آب و تکان دادن بالون به منظور همگن سازی محلول
- ۴- افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم رساندن)
- ۵- انتقال محلول تهیه شده به ظرف مناسب برای نگهداری

محاسبه‌های استوکیومتری برای واکنش‌ها در فاز محلول

وقتی حجم‌های مشخصی از محلول‌های دو واکنش دهنده با غلظت معین به هم اضافه می‌شود، تعداد مول مشخصی از هریک از آنها در مجاورت هم قرار می‌گیرد. برای محاسبه تعداد مول هر واکنش دهنده می‌توان حجم محلول (بر حسب لیتر) را در غلظت آن (بر حسب مول در لیتر) ضرب کرد. به عبارت دیگر با استفاده از رابطه حجم - غلظت، تعداد مول واکنش دهنده‌ها محاسبه می‌شود و با استفاده از نسبت‌های مولی به دست آمده از معادله موازنه شده واکنش، تعداد مول ماده خواسته شده محاسبه می‌شود.

نمونه حل شده

نقره برمید یکی از ترکیب‌های به کار رفته در ساخت فیلم‌های عکاسی است. این ترکیب شیمیایی را می‌توان از واکنش محلول‌های آبی نقره نیترات و سدیم برمید به دست آورد.



چند میلی لیتر محلول 0.125 mol.L^{-1} NaBr برای واکنش با ۲۵۰ mL از محلول

0.115 mol.L^{-1} AgNO_3 لازم است؟

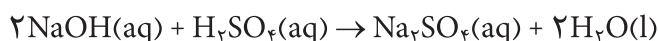
پاسخ:

$$? \text{ mL NaBr (aq)} = 250 \text{ mL AgNO}_3(\text{aq}) \times \frac{0.115 \text{ mol AgNO}_3}{1 \text{ L AgNO}_3(\text{aq})}$$

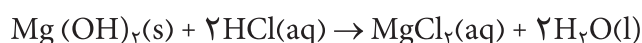
$$\times \frac{1 \text{ mol NaBr}}{1 \text{ mol AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ L NaBr(aq)}}{0.125 \text{ mol NaBr}} = 23.0 \text{ mL NaBr (aq)}$$

خود را بیازمایید

۱. چند میلی لیتر محلول NaOH 0.12 mol.L^{-1} برای واکنش کامل با 15.0 mL از محلول H_2SO_4 0.10 mol.L^{-1} طبق واکنش زیر لازم است؟

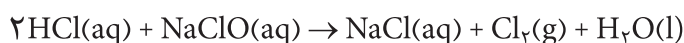


۲. یکی از راه‌های کاهش غلظت اسید معده (HCl)، مصرف یک ضد اسید است. شیرمنیزی متداول‌ترین ضد اسید است که منیزیم هیدروکسید سازنده اصلی آن است. براساس واکنش زیر:



برای خنثی کردن 36 mL از محلول HCl 0.32 mol.L^{-1} ، چند گرم Mg(OH)_2 نیاز است؟

۳. براساس واکنش زیر به چند میلی لیتر محلول HCl 0.12 mol.L^{-1} برای واکنش کامل با 21.0 mL از محلول NaClO 0.18 mol.L^{-1} نیاز است؟



شیر منیزی

محلول هیدروکلریک اسید (HCl(aq)) جوهر نمک و محلول سفید کننده (NaClO(aq)) برای از بین بردن جرم و تمیز کردن سطوح در حمام و آشپزخانه به کار برده می‌شوند. توجه به این نکته ضروری است که هیچ‌گاه نباید آنها را با هم مخلوط کنید، بلکه باید هر یک از این مواد را جداگانه استفاده کنید؛ زیرا مخلوط کردن این دو منجر به تولید گاز کلر می‌شود. کلر گازی بسیار سمی است که تنفس آن موجب اختلال در مجاری تنفسی و حتی مرگ می‌شود. هنگام استفاده از سفیدکننده‌ها حتماً در و پنجره‌ها را باز کنید.

غلظت مولال: اگر یک مول پتاسیم کلرید ($74/54 \text{ گرم KCl}$) را در یک کیلوگرم آب حل کنید، محلولی با غلظت ۱ مولال تهیه کرده‌اید. غلظت مولال، مول ماده حل شونده در یک کیلوگرم حلال (1000 گرم حلال) را بیان می‌کند. غلظت مولال در مطالعه خواص کولیگاتیو محلول‌ها به کار می‌رود. با این خواص در ادامه این بخش آشنا خواهید شد.

محلول‌های الکترولیت و غیر الکترولیت

محلول‌های آبی دارای یون، جریان برق را از خود عبور می‌دهند. آب خالص به میزان ناچیزی یونیده می‌شود و رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد. رسانایی الکتریکی محلول آبی ترکیب‌هایی مانند HCl ، NaCl ، NH_3 و HF از آب خالص بیشتر است. این مواد را **الکترولیت** و محلول آبی آنها را **محلول الکترولیت** می‌نامند.

یک ماده الکترولیت به طور کامل یا به مقدار کم در آب یونیده می‌شود. اغلب محلول‌هایی که از حل کردن ترکیب‌های یونی یا ترکیب‌های مولکولی قطبی در آب به دست می‌آیند، الکترولیت هستند.

فکر کنید

در شکل زیر رسانایی الکتریکی چند محلول آبی با هم مقایسه شده است. کدام یک از این محلول‌ها الکترولیت و کدام یک غیر الکترولیت است؟ علت تفاوت در رسانایی الکتریکی محلول‌های الکترولیت را شرح دهید.



(آ)

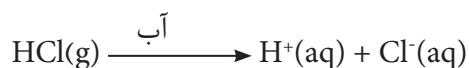
(ب)

(پ)

میزان رسانایی الکتریکی چند محلول

(آ) محلول شکر (ساکاروز) در آب (ب) محلول CuSO_4 در آب (پ) محلول آمونیاک در آب

محلول‌های آبی موادی مانند اتانول و استون رسانای جریان برق نیستند. این مواد **غیر الکترولیت** و محلول حاصل را **محلول غیر الکترولیت** می‌نامند. مواد غیر الکترولیت در محلول به صورت مولکولی حل می‌شوند و در اثر انحلال، یون ایجاد نمی‌کنند. الکترولیت‌ها از نظر میزان رسانایی الکتریکی به دو دسته قوی و ضعیف تقسیم می‌شوند. به الکترولیت‌هایی مانند NaCl (یک ترکیب یونی) و HCl (یک ترکیب مولکولی) که هنگام انحلال در آب به ترتیب به طور کامل تفکیک و یونیده می‌شوند، **الکترولیت قوی** می‌گویند.



الکترولیت‌هایی مانند HF و NH_3 هنگام انحلال در آب به طور عمده به صورت مولکولی حل شده و تعداد کمی از آنها یونیده می‌شود. تعداد یون‌ها در محلول این الکترولیت‌ها کم است. چنین محلول‌هایی **الکترولیت ضعیف** نامیده می‌شوند. برای نمونه در محلول ۱٪ HF ، از هر ۱۰۰۰ مولکول تقریباً ۷۲ مولکول آن یونیده می‌شود و بقیه آن یعنی ۹۲۸ مولکول HF به صورت یونیده نشده در محلول باقی می‌ماند.

خود را بیازمایید

۱. معادله تفکیک یونی هر یک از ترکیب های یونی زیر را در آب بنویسید.

(آ) KBr (ب) $(NH_4)_2S$ (پ) Na_2CO_3 (ت) $Cr(NO_3)_3$

۲. در میان ترکیب های زیر الکترولیت ها را مشخص کنید. از میان این الکترولیت ها،

محلول یک مولار کدام یک، رسانای الکتریکی قوی تری است؟ چرا؟

(آ) متانول (ب) سدیم نیترات (پ) باریم کلرید (ت) آمونیاک

خواص کولیگاتیو محلول ها

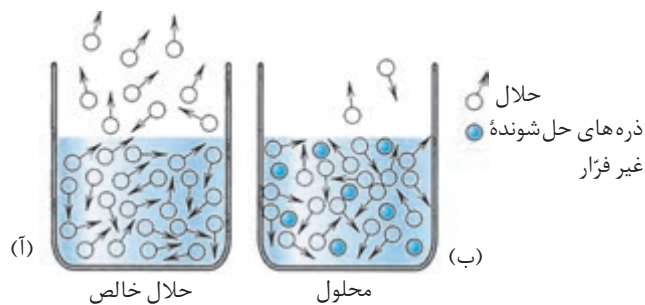
تجربه نشان می دهد که برای یک محلول شامل حلال و یک حل شونده غیر فرّار نقطه جوش، نقطه انجماد و فشار بخار برای حلال در حالت محلول و حلال خالص تفاوت می کند. این خواص که به تعداد ذره های حل شونده غیر فرّار موجود در محلول رقیق (نه به نوع و خواص شیمیایی ذره ها) بستگی دارند، خواص کولیگاتیو نامیده می شود.

حل شونده غیر فرّار به ماده ای گفته می شود که در دمای اتاق فشاربخار بسیار ناچیزی داشته باشد. این گونه مواد می توانند جامد مانند انواع نمک ها یا مایع هایی با نقطه جوش بالا باشند.

فشار بخار

اگر در یک بشر مقداری آب بریزید و آن را برای مدتی روی میز قرار دهید، مشاهده خواهید کرد که آب به تدریج تبخیر شده، سطح آب درون بشر پایین می آید. مایع ها در هر دمایی تبخیر می شوند. سرعت تبخیر سطحی هر مایع به تعداد مولکول های موجود در سطح مایع بستگی دارد. هرچه تعداد این مولکول ها بیشتر باشد، سرعت تبخیر مایع بیشتر خواهد بود. اکنون با دقت به شکل ۷ نگاه کنید. به نظر شما در کدام ظرف سرعت تبخیر سطحی بیشتر است؟ چرا؟

مایع فرّار به مایعی گفته می شود که نقطه جوش آن کمتر از $100^\circ C$ باشد.



شکل ۷ تبخیر مولکول های مایع

(آ) حلال خالص (ب) محلول دارای ماده حل شونده غیر فرّار

مولکول های گریخته از سطح مایع با دیواره داخلی بشر، مولکول های هوا و سطح مایع برخورد می کنند و به این ترتیب بخار ایجاد شده فشاری به اطراف خود وارد می کند.

در دمای معین این فشار مقداری ثابت است و به آن **فشار بخار مایع** گفته می‌شود. با توجه به شکل ۷، آیا می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ثابت، حل شدن یک حل‌شونده غیر فرار در یک مایع باعث کاهش فشار بخار محلول در مقایسه با مایع (حلال) خالص می‌شود؟ غلظت حل‌شونده چه تأثیری بر این فشار خواهد داشت؟

نقطه جوش محلول‌ها

اندازه‌گیری نقطه جوش محلول‌ها و مقایسه آن با نقطه جوش حلال خالص نشان می‌دهد که برای مثال نقطه جوش محلول شکر در آب یا محلول آب نمک بیشتر از آب خالص است. چرا؟ برای پاسخ به این پرسش، باید بدانید جوشیدن چه موقع روی می‌دهد. جوشیدن زمانی رخ می‌دهد که فشار بخار مایع با فشار هوا روی سطح مایع (فشار محیط) برابر شود. آب خالص در فشار ۱ اتمسفر در 100°C به جوش می‌آید. در واقع در این دما، فشار بخار آب به ۱ atm می‌رسد. این در حالی است که، فشار بخار محلول شکر در آب کمتر از آب خالص است. از این رو برای رساندن فشار بخار این محلول به فشار ۱ atm، باید مولکول‌های آب از قسمت‌های زیرین محلول به سطح بیایند و سپس به مولکول‌های روی سطح محلول بپیوندند. چون این مولکول‌ها درون محلول از هر سو توسط مولکول‌های دیگر جذب می‌شوند، تحرک کمتری دارند و از این رو انرژی کمتری نیز برخوردارند. در نتیجه برای تبخیر آنها به انرژی بیشتری نیاز است. این موضوع سبب می‌شود که نقطه جوش محلول نسبت به حلال خالص افزایش یابد. به طور کلی نقطه جوش هر محلول دارای ماده حل‌شونده غیر فرار از حلال خالص آن بیشتر است.



اتیلن گلیکول، مایعی غیر فرار است.

فکر کنید

۱. چرا در رادیاتور خودرو به جای آب خالص، استفاده از مخلوط آب و ضدیخ (اتیلن گلیکول) توصیه می‌شود؟
۲. نقطه جوش محلول‌ها برخلاف حلال خالص ثابت نیست و با گذشت زمان افزایش می‌یابد. چرا؟



شکل ۸ استفاده از سدیم کلرید برای کاهش نقطه ذوب یخ به منظور ذوب کردن یخ سطح جاده‌ها

نقطه انجماد محلول‌ها

آب خالص در دمای 0°C یخ می‌زند، در حالی که محلول آب نمک در مقایسه با آب خالص، نقطه انجماد پایین‌تری دارد. از این خاصیت در زمستان به منظور سرعت بخشیدن به ذوب شدن یخ در پیاده‌روها و سطح پوشیده از برف جاده‌ها استفاده می‌شود، شکل ۸.

به طور کلی انجماد هر محلول آبی که دارای حل شونده غیر فرار است، در دمایی پایین تر از 0°C رخ می دهد.

فکر کنید

۱. کدام ترتیب پیشنهادی برای آنتروپی آب، یخ و محلول نمک خوراکی در آب درست است؟ چرا؟

(آ) محلول S > یخ S > آب S (ب) آب S > یخ S > محلول S

(پ) یخ S > آب S > محلول S (ت) یخ S > محلول S > آب S

۲. فرایند انجماد آب خالص و یک محلول آبی را در نظر بگیرید. با قرار دادن علامت $<$ ، $>$ یا $=$ درون مربع رابطه دو کمیت خواسته شده (تغییر آنتروپی فرایند) را مشخص کنید.

(یخ $\rightarrow$ آب) ΔS □ (یخ $\rightarrow$ محلول) ΔS

۳. به نظر شما کدام یک از دو مایع، آب خالص و محلول نمک در آب، با کاهش دما تمایل بیشتری برای منجمد شدن دارد؟ چرا؟

همچون دانشمندان

می دانید افزودن یک حل شونده غیر فرار به یک مایع موجب افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجماد مایع یاد شده می شود. آیا میزان افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجماد برای همه محلول ها یکسان است؟

برای بررسی عوامل مؤثر در میزان افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجماد یک محلول نسبت به حلال خالص آن، چند محلول آبی مطابق جدول زیر انتخاب و نقطه جوش و نقطه انجماد آنها اندازه گیری شده است (فشار محیط آزمایشگاه 1 atm بوده است).

مقایسه نقطه جوش و نقطه انجماد چند محلول آبی

حل شونده	شکر	شکر	سدیم کلرید	کلسیم کلرید	پتاسیم نیترات
غلظت مولال محلول آبی	$0/1$	$0/2$	$0/1$	$0/1$	$0/1$
دمای شروع به جوش محلول، $^{\circ}\text{C}$	$100/05$	$100/1$	$100/1$	$100/15$	؟
دمای شروع به انجماد محلول، $^{\circ}\text{C}$	$0/18$	$0/37$	$0/37$	$-0/55$	؟
تعداد مول ذره های حل شونده موجود					

محاسبه های کمی برای خواص کولیگاتیو فقط برای محلول های رقیق به کار می رود.

(آ) ردیف آخر این جدول را کامل کنید.

ب) دو مقایسه زیر را انجام دهید. از این مقایسه ها چه نتیجه ای می گیرید؟

۱. نقطه جوش محلول ۱/۱ مولال و ۲/۲ مولال شکر

۲. نقطه جوش محلول ۱/۱ مولال سدیم کلرید و محلول ۲/۲ مولال شکر

پ) آیا با این اطلاعات می توانید نقطه جوش محلول یک مولال پتاسیم نترات را

پیش بینی کنید؟

ت) میزان کاهش نقطه انجماد محلول های سدیم کلرید، کلسیم کلرید و محلول

۱/۱ مولال شکر نسبت به آب خالص چگونه است؟ از این مقایسه چه نتیجه ای می گیرید؟

ث) آیا با اطلاعات به دست آمده می توانید نقطه انجماد محلول ۱/۱ مولال پتاسیم

نترات را پیش بینی کنید؟

کلویدها

کلوید از واژه یونانی Kolla به معنای چسب گرفته شده است.

در سال ۱۸۶۱ توماس گراهام واژه ای را معرفی کرد که امروزه از دید علمی و فناوری

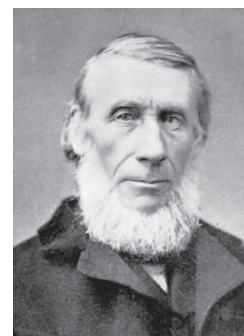
اهمیت زیادی یافته است. رنگ های پوششی، سرامیک ها، مواد آرایشی، پاک کننده ها،

مواد غذایی و بسیاری دیگر که زندگی روزانه ما به وجود آنها وابسته شده است، اهمیت این

واژه یعنی **کلوید** را پیوسته به ما یادآور می شود، شکل ۹.



شکل ۹ نمونه هایی از کلویید؛ سُس مایونز، رنگ های پوششی، کف، سنگ پا، افشانه ها و چسب ها



جان تیندال
(۱۸۲۰ - ۱۸۹۳)
فیزیک دان بریتانیایی

کلویدها که مخلوط‌هایی ناهمگن به شمار می‌آیند، برخلاف محلول‌ها که شفاف‌اند، ظاهری کدر یا مات دارند. ذره‌های تشکیل دهنده آنها به اندازه کافی درشت است که بتوانند نور مرئی را پخش کنند. به طوری که مسیر عبور نور از میان کلویدها، قابل دیدن است، شکل ۱۰. آ. بی تردید این پدیده را که **اثر تیندال** گفته می‌شود، بارها در زندگی روزانه تجربه کرده‌اید، شکل ۱۰. ب.



(آ)



(ب)

شکل ۱۰ اثر تیندال، (آ) مقایسه پخش نور در محلول و کلویید. (ب) نمونه‌ای از مشاهده اثر تیندال در زندگی روزانه پرتوهای خورشید در هوای مه‌آلود یا آلوده به غبار

مانند محلول‌ها، ذره‌های سازنده یک کلویید پس از مدتی ماندگاری ته‌نشین نمی‌شود. حتی با صافی نیز نمی‌توان آنها را جدا کرد. این ویژگی‌های ظاهری سبب می‌شود که بتوان کلویید را پلی میان محلول و سوسپانسیون در نظر گرفت، جدول ۲.

جدول ۲ مقایسه برخی ویژگی‌های کلویدها با محلول‌ها و سوسپانسیون‌ها

نوع مخلوط	حداقل اجزای تشکیل دهنده	تعداد فازها	ذره‌های سازنده	اندازه ذره‌ها (nm)	نمونه
محلول	حلال و حل شونده	۱	یون‌ها یا مولکول‌ها	< 1	حلال: آب آب نمک حل شونده: نمک خوراکی
کلویید	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	≥ 2	مولکول‌های بزرگ یا توده‌های مولکولی*	$1 - 100$	فاز پخش کننده: آب شیر فاز پخش شونده: قطره‌های چربی
سوسپانسیون	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	≥ 2	توده‌های مولکولی بزرگ یا ذره‌های بسیار کوچک ماده	> 100	فاز پخش کننده: آب خاکشیر فاز پخش شونده: دانه‌های خاکشیر

* ذره‌هایی که از گردهمایی چند مولکول پدید می‌آیند.

همانند محلول ها، کلوییدها نیز به سه حالت جامد، مایع و گاز یافت می شوند، جدول ۳.

جدول ۳ انواع گوناگون کلویید

فاز پخش شونده	فاز پخش کننده	نام	نمونه ها
گاز	مایع جامد	کف کف جامد	کف صابون سنگ پا، یونالیت
مایع	گاز مایع جامد	آبروسول مایع امولسیون ژل	مه شیر، کره، مایونز ژله، ژل موی سر
جامد	گاز مایع جامد	آبروسول جامد سول سول جامد	دود، غبار رنگ های روغنی سنگ های گران بهایی مانند یاقوت، لعل و فیروزه

////////// آزمایش کنید

مایونز یک امولسیون خوراکی

اگر مخلوطی از روغن و سرکه را به هم بزنید، در خواهید یافت که نگه داشتن مخلوط این دو مایع در کنار هم، غیرممکن است. ما به این دو مایع، **مخلوط نشدنی** می گوییم. با توقف هم زدن، قطره های بسیار کوچک روغن به هم می پیوندند و بزرگ می شوند و سرانجام به شکل یک لایه جداگانه در می آیند. به هر حال، اگر شما ماده سومی را به این دو مایع اضافه کنید که آنها را پس از هم خوردن در کنار هم پایدار نگه دارد، می توانید از گردهمایی قطره های روغن جلوگیری کنید. ماده سوم را یک **عامل امولسیون کننده** می نامند و مخلوط سه ماده یک **امولسیون (کلویید مایع در مایع)** نامیده می شود.



مایونز

در مایونز، این سه ماده عبارتند از: روغن مایع، سرکه و زرده تخم مرغ که نقش عامل امولسیون کننده را دارد. در این آزمایش اثر زرده تخم مرغ را در تهیه مایونز بررسی می کنید.

مواد و وسایل مورد نیاز: دو زرده تخم مرغ، سرکه، نمک خوراکی، روغن مایع، فنجان

کوچک، کاسه کوچک، مخلوط کن دستی یا الکتریکی و ذره بین دستی.

روش کار

توجه: این فعالیت را می توان در کلاس درس یا خانه انجام داد.

۱. ۱۰ mL سرکه در یک فنجان کوچک بریزید.

۲. ۲۰ mL روغن به فنجان اضافه کنید.

۳. دو مایع درون فنجان را به منظور مخلوط کردن آنها به شدت به هم بزنید.

۴. پس از توقف به هم زدن، مشاهده خواهید کرد که دو مایع باز هم جدا از یکدیگر قرار می گیرند.

۵. یک زرده تخم مرغ، مقداری نمک و ۱۰ mL سرکه، در یک کاسه تمیز بریزید.

۶. مخلوط را تا هنگامی که چسبناک شود، هم بزنید.

۷. در مدت به هم زدن، محتویات فنجان را به آرامی به کاسه اضافه کنید.

۸. به هم زدن را ادامه دهید تا امولسیون پایدار شود.

۹. برای دیدن جزئیات بیشتر، از ذره بین دستی استفاده کنید.

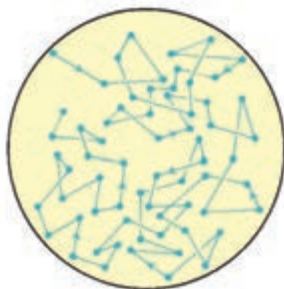
آنچه که روی می دهد

لستیتین در زرده تخم مرغ به عنوان عامل امولسیون کننده عمل می کند. مولکول های لستیتین لایه ای در اطراف قطره های روغن تشکیل می دهند که مانع از جمع شدن آنها و تشکیل قطره های بزرگ تر می شود. لستیتین و مولکول های امولسیون کننده دیگر، دارای نواحی آب گریز هستند که به روغن - که آن هم آب گریز است - می چسبند. سر دیگر یک مولکول امولسیون کننده، معمولاً آب دوست است و با آب برهم کنش می کند. به این ترتیب عامل امولسیون کننده پلی بین مولکول های آب و روغن تشکیل می دهد.

ویژگی های دیگر کلویید

ذره های کلویید پیوسته در جنب و جوش اند

اگر یک قطره شیر را با میکروسکوپ نوری به دقت نگاه کنید، ذره های تشکیل دهنده آن را در حال جنب و جوش دائمی می بینید. ذره های کلوییدی هنگامی که به هم می رسند، در برخورد با یکدیگر تغییر جهت می دهند. به این حرکت دائمی و نامنظم ذره های کلوییدی حرکت براونی می گویند، شکل ۱۱.



رابرت براون
(۱۷۷۳-۱۸۲۷)
گیاه پزشک انگلیسی

شکل ۱۱ حرکت براونی ذره های کلوییدی. به نظر شما عامل ایجاد این حرکت چیست؟

ذره‌های کلوییدی بار الکتریکی دارند!

بررسی‌های تجربی نشان داده است که ذره‌های کلوییدی می‌توانند ذره‌های باردار مانند یون‌ها را در سطح خود جذب کنند و به نوعی بار الکتریکی دست‌یابند. این بار الکتریکی می‌تواند مثبت یا منفی باشد. پایداری کلوییدها (ته‌نشین نشدن فاز پخش شونده) را به وجود این بار الکتریکی نسبت می‌دهند.

فکر کنید

با دقت به شکل زیر نگاه کنید و به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



لخته شدن کلوییدها
افزودن مقداری از یک محلول الکترولیت به کلوییدها سبب لخته شدن آنها می‌شود.



- ۱- ذره‌های یک کلویید همگی بار الکتریکی همان‌دارند ولی مقدار بار الکتریکی آنها می‌تواند متفاوت باشد. چرا؟
- ۲- علت پایداری کلوییدها را توضیح دهید.
- ۳- با افزایش الکترولیت به یک کلویید، ذره‌های کلوییدی ته‌نشین می‌شوند، این فرایند را **لخته شدن** می‌گویند. این پدیده را توجیه کنید.
- ۴- شیر یک کلویید است. افزودن چه موادی به شیر سبب انعقاد آن می‌شود؟ چرا؟

بیشتر بدانید

مطالعه حرکت ذره‌های کلوییدی باردار در میدان الکتریکی زمینه خوبی برای پژوهش‌های زیست‌شناختی روی پروتئین‌هاست. **الکتروفورز** دستگاهی است که به این منظور به کار می‌رود. درواقع با این دستگاه می‌توان با تنظیم pH محیط پروتئین‌ها را جداسازی و خالص‌سازی کرده، مورد مطالعه قرار داد.

یکی از راه‌های پایدار کردن کلوییدها کاهش غلظت یون‌های حاصل از الکترولیت‌ها در آنهاست. فرایند جدا کردن یون‌ها از یک کلویید، دیالیز نام دارد. این کار معمولاً به کمک غشاهای مناسبی انجام می‌شود. امروزه از روش دیالیز به‌طور گسترده برای تصفیه خون افراد مبتلا به نارسایی کلیه استفاده می‌شود.

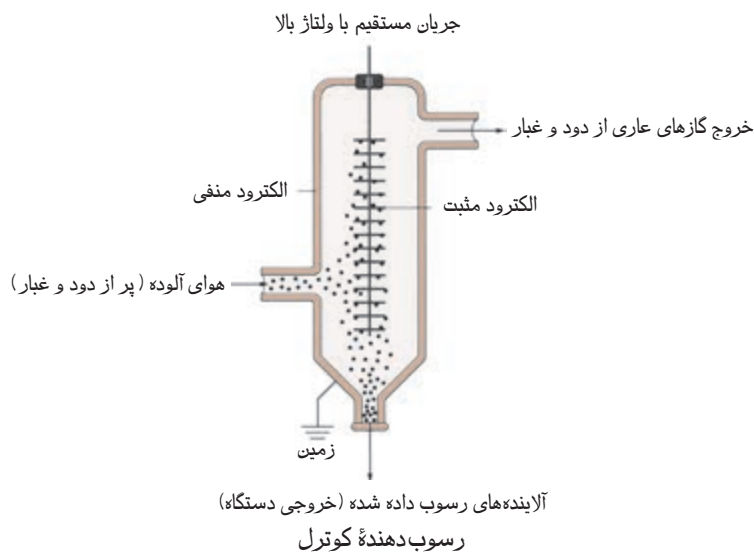


دستگاه الکتروفورز



این بیمار در حال تصفیه خون خود با دستگاه دیالیز است.

برخی آلاینده‌های محیط زیست از نوع ذره‌های کلوییدی هستند. برای پالایش هوای آلوده به این ذره‌ها از **رسوب‌دهنده‌های کوتزل** استفاده می‌شود. در این دستگاه آلاینده‌هایی مانند دود و گرد و غبار در یک میدان الکتریکی قوی قرار می‌گیرند و چون بار الکتریکی دارند، جذب صفحه‌های باردار این دستگاه می‌شوند. پس از خنثی شدن بار الکتریکی، این ذره‌ها به پایین سقوط می‌کنند.



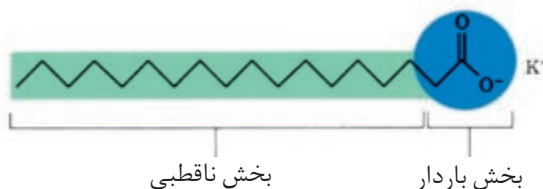
صابون و نقش امولسیون کنندگی آن

چرک لباس و پوست بدن بیشتر از جنس چربی است. چربی و آب در حالت عادی در یکدیگر حل نمی‌شوند. به همین دلیل آب نمی‌تواند همه چرک‌ها را از تن یا لباس جدا کند. برای برداشتن بهتر چرک‌ها باید امولسیون پایداری از چرک‌ها در آب ایجاد کرد. این کار به کمک پاک‌کننده‌ها انجام می‌شود. صابون یکی از رایج‌ترین پاک‌کننده‌هاست. صابون

همان طوری که می دانید اسیدهای آلی گروه عاملی کربوکسیل (-C(=O)OH) دارند.

اسیدهای چرب دسته ای از اسیدهای آلی دراز زنجیر هستند که در روغن های گیاهی یا در چربی جانوران یافت می شوند. این ترکیب ها دارای یک زنجیر هیدروکربنی سیر شده یا سیر نشده بزرگ هستند که عموماً ۱۴ تا ۱۸ کربن دارند.

نمک سدیم، آمونیوم یا پتاسیم اسیدهای چرب محسوب می شوند. جزء آنیونی صابون دو بخش دارد، شکل ۱۲. یک بخش زنجیر هیدروکربنی، آب گریز است و سر ناقطبی صابون را تشکیل می دهد. این بخش مولکول در حلال های ناقطبی حل می شود. بخش دیگر صابون سر قطبی و آب دوست آن است. این بخش مولکول، در حلال های قطبی مانند آب حل می شود.

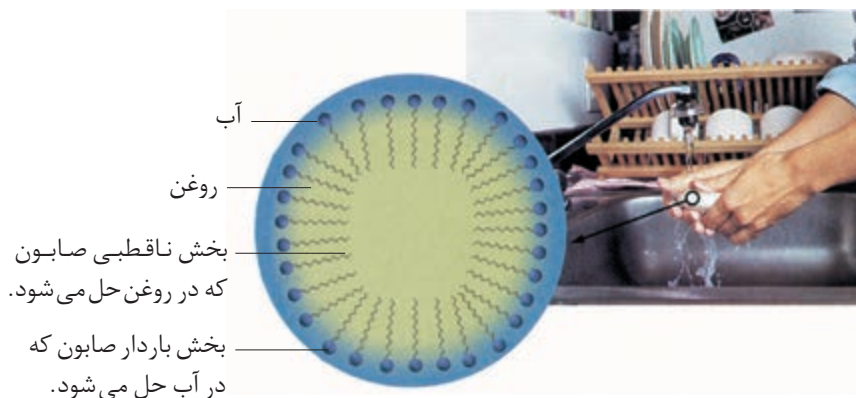


شکل ۱۲ ساختار مولکول های صابون

صابون جامد، نمک سدیم اسید چرب و صابون مایع، نمک پتاسیم یا آمونیوم اسید چرب است.

فکر کنید

با دقت به شکل زیر نگاه کنید. هنگامی که دست های خود را با صابون می شوییم در واقع یک امولسیون از قطره های روغن پخش شده در آب ایجاد می کنیم که این امولسیون به کمک صابون پایدار می شود. اگر این گفته را بپذیرید، تشکیل کف (کلوئید گاز در مایع) هنگام شست و شوی دست با صابون را شرح دهید.



پاک کننده های غیر صابونی

در سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم شیمی پاک کننده های غیر صابونی به بازار عرضه شدند. در این پاک کننده ها به جای گروه کربوکسیلات (-COO^-) در صابون گروه های دیگری از جمله گروه سولفونات (-SO_3^-) قرار گرفته است. سدیم دو دسیل بنزن سولفونات نمونه ای از پاک کننده های غیر صابونی است، شکل ۱۳. در این پاک کننده ها چربی ها به

CCCCCCCCCCCCCc1ccc(cc1)S(=O)(=O)[O-].[Na+]

بیشتر بدانید

بیشتر بدانید

۱۰۴

واژه‌نامه

واکنش شیمیایی	Chemical Reaction	۲	فرایندی است که طی آن یک یا چند ماده شیمیایی بر هم اثر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای ایجاد می‌کنند.
معادله نوشتاری	Word Equation	۲	یک معادله شیمیایی که در آن نام واکنش دهنده (ها) و فراورده (ها) نوشته می‌شود.
معادله نمادی	Symbol Equation	۲	یک معادله شیمیایی که در آن فرمول شیمیایی واکنش دهنده (ها) و فراورده (ها) نوشته می‌شود.
معادله شیمیایی	Chemical Equation	۳	رابطه‌ای است که به کمک آن فرمول شیمیایی و نسبت واکنش دهنده (ها) و فراورده (ها) در یک واکنش شیمیایی نمایش داده می‌شود و مانند معادله‌های ریاضی از چپ به راست نوشته می‌شود.
واکنش دهنده	Reactant	۲	ماده آغازی یا اولیه واکنش
فراورده	Product	۲	محصول واکنش، ماده پایانی یا نهایی واکنش
استوکیومتری	Stoichiometry	۱۱	دانش مطالعه روابط کمی در ترکیب‌ها و واکنش‌های شیمیایی
واکنش دهنده محدود کننده	Limiting Reactant	۲۸	واکنش دهنده‌ای که مقدار فراورده واکنش را تعیین می‌کند.
موازنه کردن	Balancing	۳	برابر کردن تعداد اتم‌های هر عنصر در دوسوی یک معادله شیمیایی
حالت فیزیکی	Physical State	۲	یکی از حالت‌های جامد، مایع یا گاز که ماده مشاهده می‌شود.
روش واریسی	Inspection Method	۴	روشی برای موازنه کردن معادله‌های شیمیایی از طریق شمارش نوبتی اتم‌ها در دو سوی معادله
واکنش ترکیب (سنتز)			
واکنش ترکیب (سنتز)	Combination (Synthesis) Reaction	۷	واکنشی که در آن چند ماده با هم ترکیب شده و فراورده تازه‌ای تولید می‌شود.
واکنش تجزیه	Decomposition Reaction	۷	واکنشی که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود.

واکنش سوختن	Combustion	۶	واکنشی که در آن یک ماده به سرعت با اکسیژن ترکیب می شود و طی آن مقداری انرژی به صورت نور و گرما آزاد می شود.
واکنش جابه جایی یگانه			
Single Replacement Reaction		۹	واکنشی که در آن یک عنصر، جانشین عنصر دیگر در یک ترکیب می شود.
واکنش جابه جایی دوگانه			
Double Replacement Reaction		۱۰	واکنشی که در آن، جای دو عنصر یا یون در دو ترکیب با یکدیگر عوض می شود.
واکنش اکسایش	Oxidation Reaction	۶	به واکنش ترکیب شدن ماده با اکسیژن می گویند.
پلیمر شدن	Polymerization	۷	مجموعه ای از واکنش های سنتزی که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب می شوند و درشت مولکول هایی به نام پلیمر یا بسپار تولید می کنند.
پلی اتیلن	Polyethylene	۷	ترکیبی که از اتصال تعداد زیادی مولکول اتیلن ایجاد شده باشد.
مول	Mol	۱۲	به مجموعه ای از ذره ها شامل 6.022×10^{23} ذره (اتم، مولکول یا یون) گفته می شود.
کود شیمیایی	Fertilizer	۱۷	ماده ای که برای افزایش میزان و بالا بردن کیفیت فراورده های کشاورزی به خاک افزوده می شود.
متیل سالیسیلات	Methyl Salicylate	۲۲	مایعی بی رنگ که از سالیسیلیک اسید ساخته می شود و در داروهای مسکن به کار می رود.
قانون نسبت های ترکیبی (قانون گی لوساک)			در دما و فشار ثابت، گازها با نسبت های ساده حجمی با یکدیگر ترکیب می شوند.
قانون آووگادرو	Avogadro's Law	۲۵	حجم های مساوی از همه گازها در شرایط یکسان دما و فشار، تعداد مولکول های مساوی دارند.
غلظت مولی	Molar Concentration	۸۹	به تعداد مول های حل شونده موجود در یک لیتر محلول، غلظت مولی آن ماده می گویند.
محلول	Solution	۷۳	مخلوطی همگن که دارای یک فاز باشد.
رقیق کردن	Dilution	۹۱	فرایند افزایش حلال به یک محلول به جهت کاهش غلظت آن
واکنش دهنده اضافی	Excess Reactant	۲۹	واکنش دهنده ای است که پس از پایان واکنش هنوز مقداری از آن باقیمانده است.
مقدار نظری	Theoretical Yield	۳۲	مقدار فراورده مورد انتظار که از محاسبات استوکیومتری به دست می آید.

مقدار عملی	Actual Yield	۳۲	مقدار فراورده ای که در عمل تولید می شود.
بازده درصدی	Percent Yield	۳۲	به نسبت مقدار عملی فراورده یک واکنش به مقدار نظری آن گفته می شود. این کمیت به صورت درصد بیان می شود.
واکنش تراکمی	Condensation Reaction	۳۴	تشکیل مولکول های بزرگ از انواع کوچک تر آنها از طریق حذف یک یا چند مولکول ساده
کیسه هوا	Air Bag	۳۵	کیسه هایی که در جلوی برخی خودروها تعبیه شده است و در هنگام برخورد خودرو با مانع به سرعت از گاز پر می شود.
سوختن ناقص	Incomplete Combustion	۳۶	نوعی سوختن که در آن به جای کربن دی اکسید، کربن مونواکسید یا دوده تولید می شود.
گرماشیمی	Thermochemistry	۳۹	شاخه ای از علم شیمی که به مطالعه کمی و کیفی انرژی گرمایی مبادله شده در واکنش های شیمیایی می پردازد.
گرما	Heat	۴۰	انرژی ای که بر اثر اختلاف دما از یک جسم به جسم دیگر منتقل می شود.
حرکت چرخشی	Rotational Motion	۴۰	به حرکت ذره به دور خود حرکت چرخشی می گویند.
حرکت ارتعاشی	Vibrational Motion	۴۰	به حرکت رفت و برگشت بخش های مختلف یک مولکول یا یون نسبت به یکدیگر حرکت ارتعاشی می گویند.
ظرفیت گرمایی	Heat Capacity	۴۱	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای ماده به اندازه یک درجه سلسیوس
ظرفیت گرمایی ویژه	Specific Heat Capacity	۴۱	مقدار گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک گرم ماده به اندازه یک درجه سلسیوس
ظرفیت گرمایی مولی	Molar Heat Capacity	۴۲	مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازه یک درجه سلسیوس
سامانه یا سیستم	System	۴۴	بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می شود.
محیط	Surroundings	۴۴	هر چیزی که در پیرامون سامانه باشد محیط نامیده می شود.
سامانه بسته	Closed System	۴۵	سامانه ای که با محیط مبادله انرژی دارد ولی مبادله ماده ندارد.
سامانه باز	Open System	۴۵	سامانه ای که هم انرژی و هم ماده با محیط مبادله می کند.
سامانه ایزوله	Isolated System	۴۵	سامانه ای که انرژی و ماده با محیط مبادله نمی کند.
مرز سامانه	Boundary System	۴۵	دیواره ای که سامانه را از محیط پیرامون آن جدا می کند.
خواص ترمودینامیکی			
	Thermodynamical Properties	۴۶	خواص قابل اندازه گیری که به کمک آنها می توان یک سامانه را توصیف کرد.
خواص مقداری	Extensive Properties	۴۶	خواصی که مقدار آنها به مقدار ماده وابسته است.
خواص شدنی	Intensive Properties	۴۶	خواصی که مقدار آنها به مقدار ماده بستگی ندارد.

انرژی درونی Internal Energy ۴۶ به مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همه ذره‌های تشکیل دهنده یک سامانه گفته می‌شود.

قانون اول ترمودینامیک

First law Thermodynamics ۴۸ طبق این قانون انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود بلکه از شکلی به شکل دیگر در می‌آید.

تابع حالت State Function ۴۸ تابعی که تغییر آن به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی وابسته است.

آنتالپی واکنش Enthalpy change ۵۰ به تغییر انرژی یک سامانه در فشار ثابت، آنتالپی واکنش گفته می‌شود.

دستگاه برف‌ساز Snowmaking Machine ۵۰ دستگاهی محتوی بخار آب و هوای فشرده که براساس یک فرایند بی دررو برف مصنوعی تولید می‌کند.

حالت استاندارد ترمودینامیکی

Standard State ۵۳ پایدارترین شکل ماده خالص در فشار یک اتمسفر و دمای مشخص (معمولاً 25°C)

آنتالپی استاندارد تشکیل

Standard Molar Enthalpy Of Formation ۵۴ به تغییر آنتالپی در هنگام تشکیل یک مول ماده از عنصرهای سازنده آن در حالت استاندارد گفته می‌شود.

ترمودینامیک Thermodynamics ۴۴ دانش مطالعه تبدیل شکل‌های مختلف انرژی به یکدیگر و راه‌های انتقال آن

آنتالپی استاندارد سوختن

Standard Molar Enthalpy Of Combustion ۵۵ گرمای آزاد شده در هنگام سوختن یک مول از ماده در مقدار کافی اکسیژن

آنتالپی استاندارد تبخیر

Standard Molar Enthalpy Of Vaporization ۵۶ گرمای مصرف شده در فشار یک اتمسفر هنگام تبدیل یک مول مایع به بخار در دمای جوش آن ماده

آنتالپی استاندارد ذوب

Standard Molar Enthalpy Of Fusion ۵۶ گرمای مصرف شده در فشار یک اتمسفر هنگام تبدیل یک مول جامد به مایع در دمای ذوب آن ماده

آنتالپی استاندارد تصعید

Standard Molar Enthalpy Of Sublimation ۵۷ تغییر آنتالپی در هنگام تصعید شدن یک مول ماده

میانگین آنتالپی پیوند ۵۷ مقدار انرژی مصرف شده در هنگام شکستن یک مول پیوند بین دو اتم گازی و تبدیل آنها به اتم‌های گازی جدا از یکدیگر

Average Bond Energy

گرماسنجی	Calorimetry	۵۸	روش مستقیم برای اندازه گیری گرمای آزاد شده یا جذب شده در فرایندهای فیزیکی یا شیمیایی
گرماسنج لیوانی	Coffee-Cup Calorimeter	۵۸	وسیله‌ای که از آن برای اندازه گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود.
گرماسنج بمبی	Bomb Calorimeter	۵۸	وسیله‌ای که از آن برای اندازه گیری گرمای یک واکنش در حجم ثابت استفاده می‌شود.
قانون هس	Hess's Law	۵۹	ΔH یک واکنش چندمرحله‌ای از جمع جبری مقادیر ΔH همه واکنش‌های تشکیل دهنده آن به دست می‌آید.
گاز آب	Water - Gas	۶۲	به مخلوطی از گازهای H_2 و CO گفته می‌شود.
سوسک بمب افکن	Bombardier Beetle	۶۳	
فرایند گرماده	Exothermic Process	۵۱	فرایندی که در آن گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.
فرایند گرماگیر	Endothermic Process	۵۲	فرایندی که در آن گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌یابد.
آنتروپی	Entropy	۶۴	معیاری برای بیان میزان بی‌نظمی یک سامانه است.
انرژی آزاد	Free Energy	۶۹	کمیتی ترمودینامیکی که آنتروپی و آنتالپی را به هم ربط می‌دهد.
انرژی آزاد گیبس	Gibbs Free Energy	۶۹	به مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند گفته می‌شود.
مخلوط همگن (محلول)			
	Solution (Homogeneous Mixture)	۷۴	مخلوطی است که تنها یک فاز تشکیل می‌دهد.
مخلوط ناهمگن	Heterogeneous Mixture	۷۴	مخلوطی است که بیش از یک فاز داشته باشد.
فاز	Phase	۷۵	بخشی از ماده که حالت فیزیکی و ترکیب شیمیایی در همه نقاط آن یکسان است.
حلال	Solvent	۷۵	جزئی که حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً در صد بیشتری از محلول را تشکیل می‌دهد.
حل‌شونده	Solute	۷۵	جزئی که در حلال حل می‌شود.
محلول آبی	Aqueous Solution	۷۶	محلولی که حلال آن آب است.
محلول غیر آبی	Non-Aqueous Solution	۷۶	محلولی که حلال آن یک حلالی آلی است.
انحلال پذیری	Solubility	۷۷	بیشترین مقدار ماده بر حسب گرم که در دمای مشخص در 100° گرم آب حل می‌شود.
آسکوربیک اسید	Ascorbic Acid	۸۰	ویتامین ث؛ جامد سفیدرنگ و متبلوری که به خوبی در آب حل می‌شود.

تغییر آنتالپی مربوط به حل شدن یک مول حل شونده در مقدار زیادی حلال	۸۱	Enthalpy Solution	آنتالپی انحلال
احاطه شدن ذره‌های حل شونده توسط مولکول‌های آب را گویند.	۸۲	Hydration	آب پوشی
موادی که ۱٪ تا ۱۰٪ گرم در ۱۰۰ گرم آب در دمای ۲۰°C حل می‌شود.	۷۷	Slightly Soluble	مواد کم محلول
موادی که کمتر از ۱٪ گرم در ۱۰۰ گرم آب در دمای ۲۰°C حل می‌شود.	۷۷	Insoluble	مواد نامحلول
در دمای ثابت انحلال پذیری گازها با فشار گاز رابطه مستقیم دارد.	۸۷	Henry's Law	قانون هنری
به جرم ماده حل شده در ۱۰۰ گرم محلول گفته می‌شود.	۸۸	Weight(Mass)Percent	درصد جرمی
تعداد مول‌های حل شونده در ۱۰۰۰ گرم حلال	۹۲	Molality	غلظت مولال
ماده‌ای که در حالت مذاب یا محلول رسانای الکتریکی است.	۹۲	Electrolyte	الکترولیت
محلولی از یک اسید، قلیا یا نمک که دارای یون‌های آبپوشیده است.	۹۲	Electrolyte Solution	محلول الکترولیت
ماده‌ای که در حالت مذاب یا محلول در آب، رسانای جریان برق نیست.	۹۲	Non-Electrolyte	غیرالکترولیت
خواصی از محلول‌های رقیق که میزان آن تنها به تعداد ذره‌های موجود در محلول بستگی دارد.	۹۴	Colligative Properties	خواص کولیگاتیو
فشاری که بخار یک مایع روی سطح آن مایع وارد می‌کند.	۹۴	Vapor Pressure	فشار بخار
دمایی که در آن فشار بخار مایع با فشار هوا کره برابر شود.	۹۵	Bolling Point	نقطه جوش
در فشار معین هر مایع در دمای معینی آغاز به انجماد می‌کند که آن را دمای انجماد آن مایع می‌گویند.	۹۵	Freezing Point	نقطه انجماد
حالتی از مخلوط است که در آن ذره‌هایی به قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در یک فاز پیوسته (فاز پخش کننده) پراکنده شده‌اند.	۹۷	Colloid	کلوئید
پراکندگی نور به وسیله ذره‌های کلوئید به هنگام عبور نور از میان آن	۹۸	Tyndall Effect	اثر تیندال
نوعی مخلوط که یکی از اجزای آن پس از مدتی ته نشین می‌شود.	۹۸	Suspension	سوسپانسیون
کلوئیدی که از پراکنده شدن یک مایع در مایع دیگر ایجاد می‌شود.	۹۹	Emulsion	امولسیون
حرکت سریع و تصادفی ذره‌های کلوئیدی که به کمک نور تابانیده شده بر زمینه‌ای تاریک قابل مشاهده است.	۱۰۰	Brownian Motion	حرکت براونی
تجمع ذره‌های معلق یک کلوئید و ایجاد ذره‌هایی درشت‌تر با جرم بیشتر که موجب ته نشین شدن ذره‌ها و از بین رفتن کلوئید می‌شود.	۱۰۱	Coagulation یا Flocculation	لخته شدن

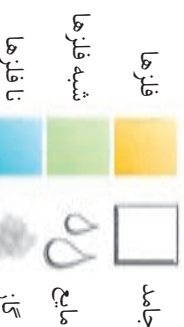
الکتروفورز	Electrophoresis	۱۰۱	روشی برای جداسازی ذره‌های کلوییدی باردار در یک میدان الکتریکی
دیالیز	Dialysis	۱۰۱	روشی برای جداسازی یون‌ها یا مولکول‌های موجود در یک محلول به کمک غشای نیمه‌تراوا
رسوب‌دهنده کوتزل	Cottrell Precipitator	۱۰۲	دستگاهی صنعتی که با ایجاد یک میدان الکتریکی قوی باعث ته‌نشین شدن گرد و غبار کلوییدی موجود در هوای خروجی کارخانه می‌شود.
صابون	Soap	۱۰۲	به نمک سدیم، پتاسیم و آمونیوم، اسیدهای چرب گفته می‌شود.
پاک‌کننده غیرصابونی (مواد مؤثر سطحی)	Detergent (Surfactant)	۱۰۳	ترکیب‌هایی که کشش سطحی آب را کاهش می‌دهند و به ایجاد کلویید چربی در آب کمک می‌کنند.

جدول تناوبی عناصرها

عنصرهای گروه اصلی

فلزهای قلیایی

فلزهای قلیایی خاکی



جامد

مایع

گاز

عدد اتمی

نماد شیمیایی

نام

جرم اتمی

میانگین

گازهای نجیب

هالوژن ها

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.008	2 He 4.003	3 Li 6.941	4 Be 9.012	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc [98]	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm [145]	62 Sm 150.4	63 Eu 151.9	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0	72 Hf 178.5
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]	104 Rf [261]
105 Db [262]	106 Sg [266]	107 Bh [264]	108 Hs [277]	109 Mt [268]	110 Ds [281]	111 Rg [289]	112 Uub [285]	113 Uut [284]	114 Uuq [289]	115 Uup [288]	116 Uuh [293]	117 Uus [294]	118 Uuo [294]	119 Uue [293]	120 Uub [293]	121 Uut [293]	122 Uuq [293]

لانثانیدها

آکتینیدها

57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm [145]	62 Sm 150.4	63 Eu 151.9	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0
89 Ac [227]	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]

منابع و مأخذ

- 1– Kotz, John C. ; Treichel, Paul M.; Weaver, Gabriela C. , Chemistry & Chemical Reactivity , 2006, Thomson – Brooks/Cole.
- 2– Ebbing, Darrell D.; Gammon, Steven D. , General Chemistry, 2009, Brooks/Cole.
- 3– Tro, Nivaldo J. , Principles of Chemistry, A Molecular Approach, 2010, Pearson.
- 4 – Chang, R , ; Overby, J. , General Chemistry, The Essential Concepts, 2008, MC Graw Hill.
- 5– Russo, S.; Silver, M. , Introductory Chemistry, 2011, Prentice Hall.

