

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِيمِ

شیمی (۳)

و

آزمایشگاه

برهم کنش میان مواد

سال سوم دبیرستان

رشته های 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 روح‌الله، سیف‌الله جلیلی، دوست‌محمد سمیعی و نعمت‌الله ارشدی

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

دیران شیمی همکار و مشاور: راضیه بنکدار سخنی، مهدیه سالارکیا، معصومه شاه‌محمدی اردبیلی، فرشاد صیرفیزاده،

منصور مختاری و فیروزه منتظری

ویراستار علمی: حسن حذرخانی

ویراستار ادبی: سید‌علی‌اکبر 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: ۰۹۱۶۱۳۳۱۱۸۸۸، 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

حروفچن: فاطمه باقری مهر

مصحح: رعناء فرج‌زاده درویی، زهرا رشیدی مقدم

امور آماده‌سازی خبر: اعظم هاشمی

امور فنی رایانه‌ای: حمید ثابت کلاچاهی، پیمان حبیب‌پور

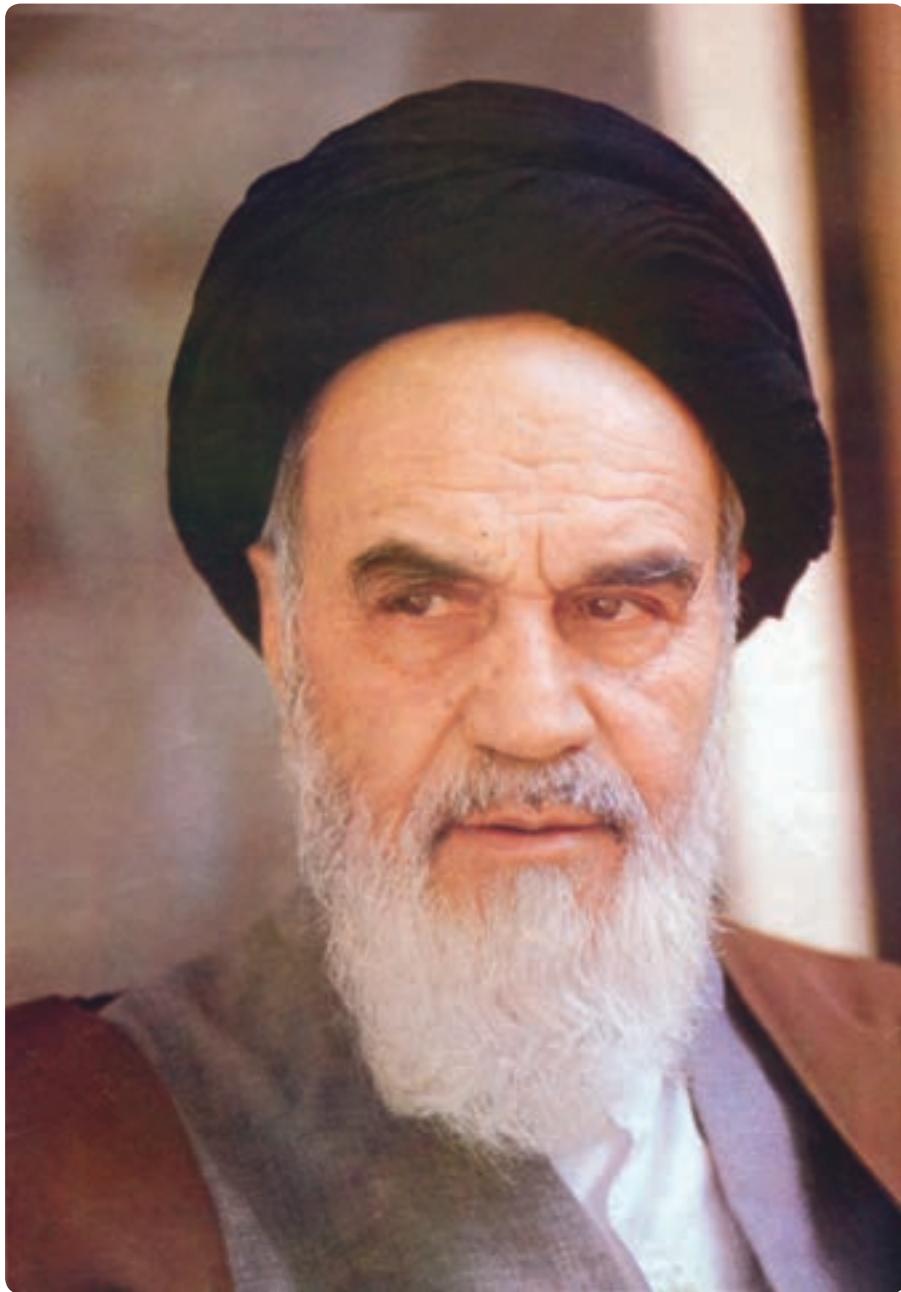
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۰۵-۱۶۱۸۵۸۵۴، دورنگار: ۰۵-۸۵۱۴۴۹، صندوق پستی: ۱۳۹-۱۵۷۵۱۵

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

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ سیزدهم ۱۳۹۴

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 (رحمه‌الله علیه)

www.ShimiPedia.ir

علیان محترم، صاحب نظران، داش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را درباره نظر این کتاب از طریق نامه به شعبه تهران - صندوق پستی ۳۶۲، ۱۵۸۵۵ - کروه دسی مربوط و پایام نکار (Email) talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفترچه این کتاب ای دس اندیشی و متاطف نظری

فهرست

بخش ۱

واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری



۱

بخش ۲

ترمودینامیک شیمیایی



۳۹

بخش ۳

محلول‌ها



۷۲

سخنی با شما دانشآموز 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 ارائهً فعالیت‌های ذهنی و عملی متعدد و بیان برخی مطالب جذاب و انگیزاندۀ، 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 ارائهً دستاوردهای آنها در کلاس می‌تواند محتوای کتاب را هرچه بیشتر پرپار 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 سرلوحة 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 مانع 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.

اگر با دقت به اطراف خود بنگریم، در می‌یابیم که شیمی هر لحظه و هرجا 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، زیست‌محیطی و ... شود.

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

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

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 آفت‌کش استفاده می‌کنند.

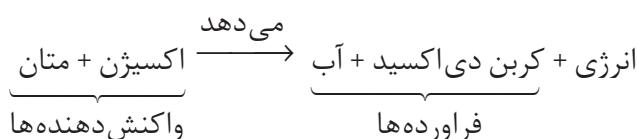
حال این پرسش‌ها مطرح می‌شوند:
 چگونه فرمول شیمیایی یک آفت کش و یک کود شیمیایی به دست می‌آید؟ برای تولید مقدار زیادی از یک آفت کش در کارخانه (مقیاس صنعتی)، چه مقدار از مواد اولیه باید با هم واکنش بدهند؟ به ازای هر هکتار از زمین کشاورزی به چند کیلوگرم کود شیمیایی نیاز است؟ یادگیری واکنش‌های شیمیایی و استوکیومتری 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 زنگ‌زن 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 مادهٔ شیمیایی (عنصر/ترکیب) بر هم تأثیر می‌گذارند و مواد شیمیایی تازه‌ای تولید می‌کنند. در ضمن آموختید که واکنش‌های شیمیایی با مبادلهٔ 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 معادلهٔ نوشتاری به صورت زیر توصیف کرد:



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

اگر برای نوشتتن معادلهٔ یک واکنش از نمادها و فرمول‌های شیمیایی مواد شرکت کننده استفاده شود، در این صورت معادله‌ای به دست می‌آید که به آن **معادلهٔ نمادی** می‌گویند.

در این معادله حالت فیزیکی هر مادهٔ شرکت کننده نیز باید مشخص شود.



یک معادلهٔ 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

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

خود را بیاز ماید

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

در هر مورد معادله نمادی واکنش معرفی شده را بنویسید.

آ) محلول سدیم نیترات + رسوب نقره سیانید \rightarrow محلول نقره نیترات + محلول سدیم سیانید

ب) محلول پتاسیم نیترات + رسوب کلسیم فسفات \rightarrow محلول کلسیم نیترات + محلول پتاسیم فسفات

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

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

ث) فلز آلمینیم 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.

موازنۀ 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.

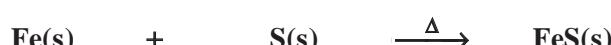
بنابراین می توان نتیجه گرفت که همه واکنش های شیمیایی از قانون پایستگی ماده یا قانون

پایستگی جرم پیروی می کنند.

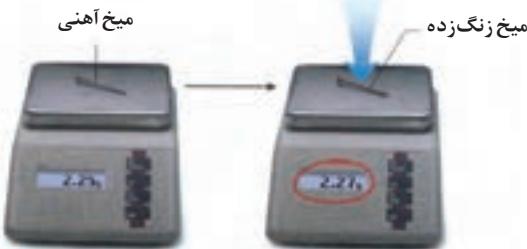
فکر کنید

۱- به شکل های زیر با دقیق نگاه کنید و درباره قانون پایستگی جرم در واکنش های شیمیایی در کلاس به گفت و گو پردازید.

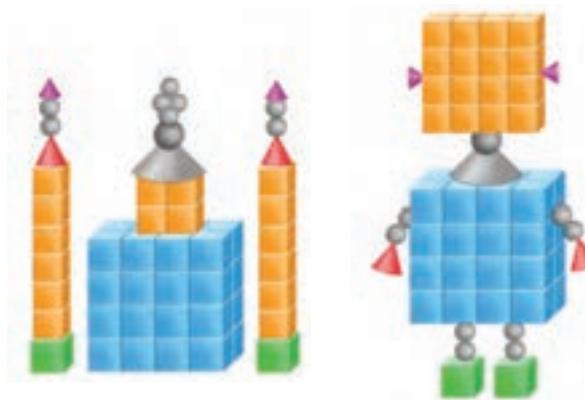
آ) فلز آهن با گوگرد واکنش می دهد و به آهن (II) سولفید تبدیل می شود.



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



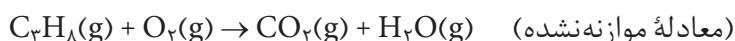
۲- دو دانش آموز با استفاده از قطعه‌های پلاستیکی، دو دست سازه به شکل‌های زیر درست کرده‌اند. درباره جرم این دو دست سازه در کلاس گفت و گو کنید و شرط برابری جرم آنها را بنویسید.



(همان طور 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 معادله شیمیایی موازن نه شده، باید تعداد اتم‌های هر عنصر در دو سوی معادله یکسان باشد. برای این منظور، به هریک از واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ضریبی نسبت می‌دهند.

براساس یکی از ساده‌ترین روش‌های موازن نه (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، معادله نمادی سوختن کامل پروپان به صورت زیر است:



معنای برخی عبارت‌ها یا نمادهای مورد استفاده در معادله‌های شیمیایی

معنا	نماد
تولید می‌کند یا می‌دهد	→
واکنش‌دهنده‌ها برابر گرم شدن. واکنش می‌دهند.	△ →
واکنش در فشار ۲۰ atm ۲۰ اتمسفر انجام می‌شود.	→ ۲۰ atm
واکنش در دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود.	→ ۱۲۰۰ °C
برای انجام شدن واکنش از پالادیم (Pd) به عنوان یک کاتالیزگر استفاده می‌شود.	→ Pd

برای موازن نه معادله‌های شیمیایی، روش‌های گوناگونی وجود دارد.

اغلب برای آغاز یک واکنش به مقداری انرژی نیاز است. به حداقل انرژی لازم برای شروع یک واکنش شیمیایی انرژی فعال سازی می‌گویند. دادن گرماء، تابش نور، ایجاد حرقه، تخلیه الکتریکی یا واردآوردن یک شوک مانند زدن ضربه یا افزایش ناگهانی فشار این انرژی را تأمین می‌کند.

در معادله‌های شیمیایی موازن شده به دو صورت خوانده می‌شود. برای نمونه:

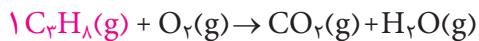
- ۱- دو مول گاز هیدروژن با یک مول گاز اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مول بخار آب تولید می‌کند.
- ۲- دو مولکول هیدروژن با یک مولکول اکسیژن واکنش می‌دهد و دو مولکول آب تولید می‌کند.

در یک معادله شیمیایی، تعداد یون‌های چنداتمی مانند NO_3^- ، PO_4^{3-} و ... را به صورت یک گونه شیمیایی جدا در دو سوی معادله شمارش و موازن کنید.



۵

برای موازنی به C_2H_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 است، اگر به اکسیژن در سمت چپ، ضریب ۵ بدهید، تعداد اتم‌های همه عنصرها در دو سوی معادله برابر می‌شوند.

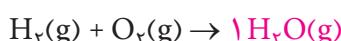


همان طور که مشاهده کردید، هنگام موازنی کردن یک معادله شیمیایی، نباید زیروندهای موجود در فرمول شیمیایی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها را تغییر داد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که هریک از ضریب‌های به کار رفته در معادله موازنی شده، باید **کوچک‌ترین عدد صحیح (غیر کسری)** ممکن باشند.

برای نمونه، به روش موازنی معادله سوختن گاز هیدروژن دقت کنید.



در اینجا برای موازنی، به H_2O ، ضریب ۱ می‌دهیم.



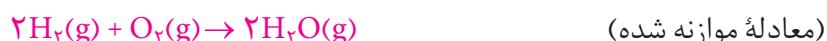
حال تعداد اتم‌های H و O در سمت راست معادله مشخص شده است. اگر به H_2

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، همه ضریب‌ها را در عدد ۲ ضرب

می‌کنیم، درنتیجه:



خود را بیازمایید

معادله واکنش‌های زیر را موازنی 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 پنجگانهٔ زیر را یچ‌ترین شیوهٔ طبقه‌بندی واکنش‌های شیمیایی است، شکل ۱.



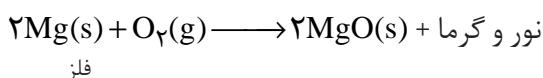
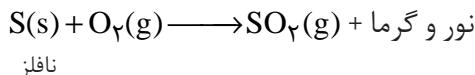
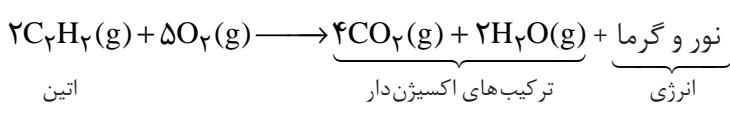
شکل ۱ دسته‌بندی پنجگانهٔ واکنش‌های شیمیایی

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.

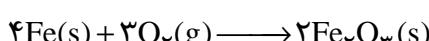
واکنش سوختن: می‌دانید که سوختن به واکنشی می‌گویند که در آن یک ماده مثلاً یک ترکیب آلی مانند گاز اتین (استیلن)، یک نافلز مانند گوگرد یا یک فلز واکنش‌پذیر مانند منیزیم به سرعت و شدت با اکسیژن ترکیب می‌شود و افزون بر آزاد کردن مقدار زیادی انرژی به صورت نور و گرما، اغلب ترکیب‌های اکسیژن‌دار را به وجود می‌آورد.



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 سفید رنگ روی سطح براق نوار منیزیم شاهدی بر این مدعاست.)



همچنین می‌دانید که واکنش همهٔ 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 خواهد شد.

اطلاعات جمع‌آوری کنید

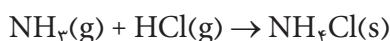
هنگامی که فلزهای قلیایی برای مدتی در معرض هوا قرار بگیرند، مخلوط پیچیده‌ای از ترکیب‌های شیمیایی روی سطح آنها تشکیل می‌شود. درباره نام و ویژگی‌های اجزای این مخلوط و چگونگی تشکیل آنها تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



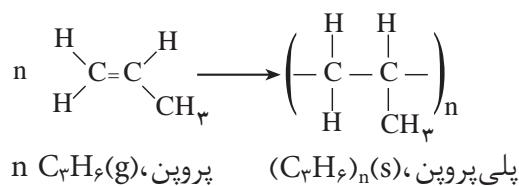
شکل ۲ بر اثر واکنش HCl با خار NH_2 و بخار NH_4Cl گرد سفید رنگ تولید می‌شود. این واکنش نمونه‌ای از واکنش‌های ترکیب است.

واکنش سنتز یا ترکیب

واکنشی است که در آن چند ماده بر هم اثر کرده، فراورده‌ها (های) تازه‌ای با ساختار پیچیده‌تر تولید می‌کنند. در زیر یک نمونه از این واکنش‌ها را مشاهده می‌کنید، شکل ۲.

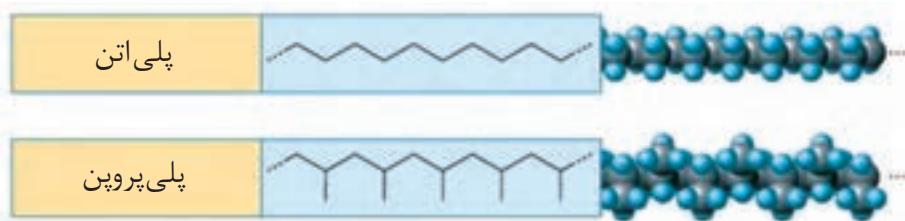


واکنش بسپارش (پلیمر شدن) مجموعه‌ای از واکنش‌های سنتزی است که طی آن هزارها مولکول کوچک با یکدیگر ترکیب شده، درشت مولکول‌هایی به نام بسپار (پلیمر) تولید می‌شود. تولید پلی‌تن (پلی‌اتیلن)، پلی‌پروپن و پلی‌ترافلئور‌اتن (تفلون) از جمله مهم‌ترین واکنش‌های بسپارش (پلیمر شدن) در صنعت است.



از پلی‌پروپن برای تولید ریسمان استفاده می‌شود.

به ساختار پلی‌اتن و پلی‌پروپن توجه کنید.

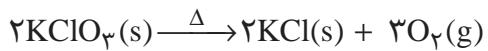


واکنش تجزیه

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 کربن‌دی‌اکسید آزاد می‌شود.



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



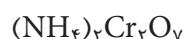
آزمایش کنید

هدف: تجزیه آمونیوم دی‌کرومات

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

و کبریت

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



روش کار:

۵g آمونیوم دی‌کرومات را روی توری نسوز یا درون یک تشتک شیشه‌ای بریزید. سپس توری را روی یک کاغذ ۴A قرار دهید. برای شروع واکنش، کبریت را روشن کنید و به مدت چند ثانیه به طور مستقیم روی آمونیوم دی‌کرومات بگیرید. به محض شروع واکنش، شعلهٔ کبریت را دور کنید. مشاهده‌های خود را یادداشت کرده، فعالیت‌های زیر را انجام دهید.

۱) در هنگام پیشرفت واکنش، یک بشر ۲۵ mL را به طور وارونه چند سانتی‌متر بالاتر از مخلوط آزمایش نگه دارید. چه مشاهده‌هایی کنید؟ 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.

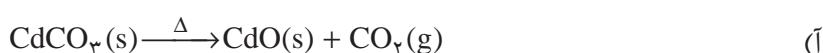


واکنش تجزیه آمونیوم
دی‌کرومات

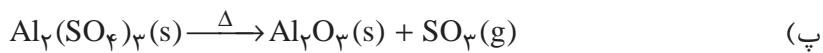
۳) به کمک معلم خود، معادله واکنش تجزیه آمونیوم دی‌کرومات را نوشت، موازنی کنید.
۴) ویژگی‌های ظاهری و انحلال‌پذیری واکنش‌دهنده و فراورده جامد را در آب مقایسه کنید. برای این کار مقداری از واکنش‌دهنده یا فراورده را در یک لوله آزمایش بریزید و سپس روی آن کمی آب مقطراً اضافه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

خود را بیازمایید

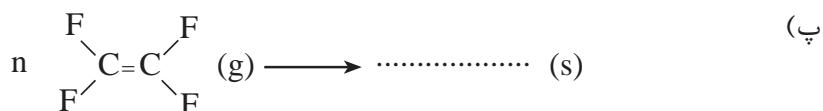
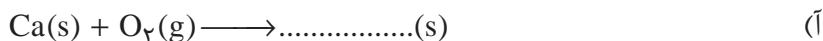
۱- در هر مورد معادله واکنش داده شده را موازنی کنید.



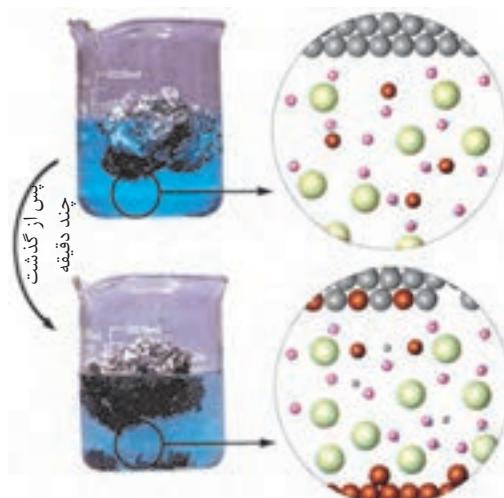
واکنش‌های جابه‌جایی را
جانشینی یا جایگزینی نیز
می‌نامند.



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



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



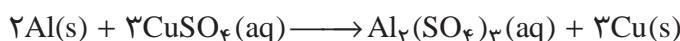
(یون سولفات SO_4^{2-} مولکول آب)

شکل ۳ واکنش آلومنینیم 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 آلومنینیم جای مس موجود در مس (II) سولفات را گرفته و آن را به صورت فلز مس آزاد کرده است.

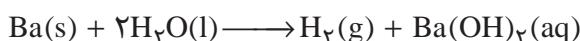
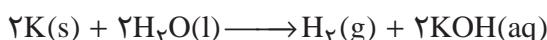


بانگاهی به معادله این واکنش می توان دریافت که تنها یک جابه جایی رخ داده است. جابه جایی یگانه، نامی است که به این دسته از واکنش ها داده اند. معادله های شیمیایی زیر نمونه های دیگری از واکنش های جابه جایی یگانه اند.



بریلیم تنها عنصر قلیایی خاکی است که با آب یا بخار آب داغ واکنش نمی‌دهد و پایین‌تر از 60°C در هوا نیز اکسایش نمی‌یابد.

واکنش فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی با آب به تولید گاز هیدروژن می‌انجامد. این واکنش‌ها نیز از جمله واکنش‌های جابه‌جایی یگانه به شمار می‌آیند.

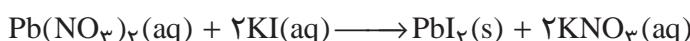


واکنش جابه‌جایی دوگانه: اگر محلولی از نقره نیترات بر روی محلولی از سدیم کلرید ریخته شود، رسوب سفیدرنگ نقره کلرید به سرعت تشکیل می‌شود، شکل ۴. معادله این واکنش به شرح زیر است:



شیمی دان‌ها این گونه واکنش‌هارا جابه‌جایی دوگانه می‌خوانند. دلیل این نام گذاری چیست؟

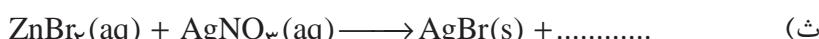
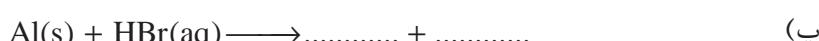
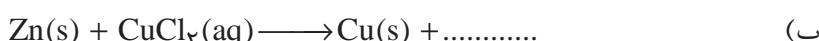
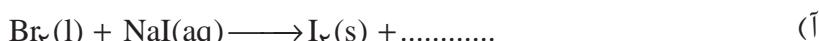
معادله‌های شیمیایی زیر نمونه‌های دیگری از واکنش‌های جابه‌جایی دوگانه‌اند.



شکل ۴ یک واکنش جابه‌جایی دوگانه؛ تشکیل رسوب سفیدرنگ نقره کلرید (AgCl(s)) در اثر مخلوط کردن محلول‌های نقره نیترات ($\text{AgNO}_3\text{(aq)}$) و سدیم کلرید (NaCl(aq)).

خود را بیاز ماید

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



آزمایش کنید

هدف: شناسایی یون‌های Fe^{3+} , Pb^{2+} , Ag^+ در محلول نمک‌های آنها در آب

وسایل مورد نیاز: قاشقک، چند لوله آزمایش و قطره‌چکان

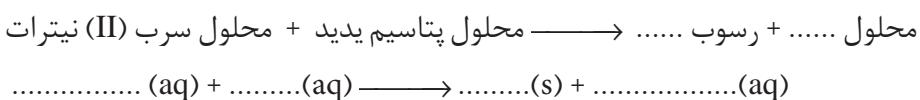
مواد مورد نیاز: محلول‌های ریقیقی از سرب (II) نیترات، آهن (III) کلرید،

پتاسیم یدید، سدیم هیدروکسید، نقره نیترات و پتاسیم کرومات برای تهیه این محلول‌ها 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 مقطّر ریخته به هم بزنید.

روش کار:

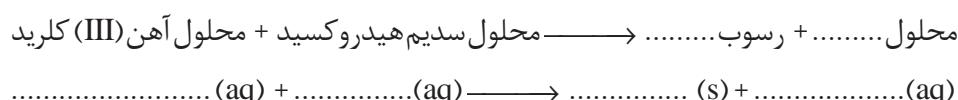
(آ) شناسایی یون Pb^{2+}

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



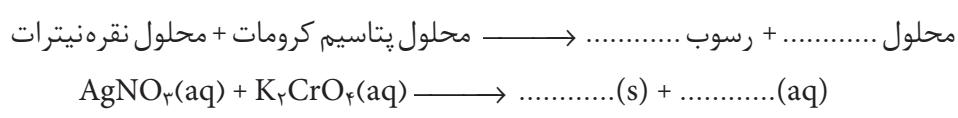
(ب) شناسایی یون Fe^{3+}

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



توجه: پس از انجام هر مرحله قطره چکان را با آب مقطّر بشویید (چرا؟). در مصرف مواد صرفه‌جویی کنید و به توصیهٔ مرتبی آزمایشگاه برای دور ریختن محلول‌ها دقیق کنید.

استوکیومتری؛ روابط کمی در واکنش‌های شیمیایی

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

استوکیومتری بخشی از شیمی است که با نسبت مقدار عنصرها در ترکیب‌ها و نیز ارتباط کمی میان مقادیر مواد شرکت کننده در واکنش‌های شیمیایی (واکنش دهنده‌ها و فرآورده‌ها) سروکار دارد. با استفاده از روابط استوکیومتری می‌توان بین مقدار مواد واکنش دهنده و مقدار فرآورده‌ایک ارتباط کمی برقرار کرد. در محاسبه‌های استوکیومتری

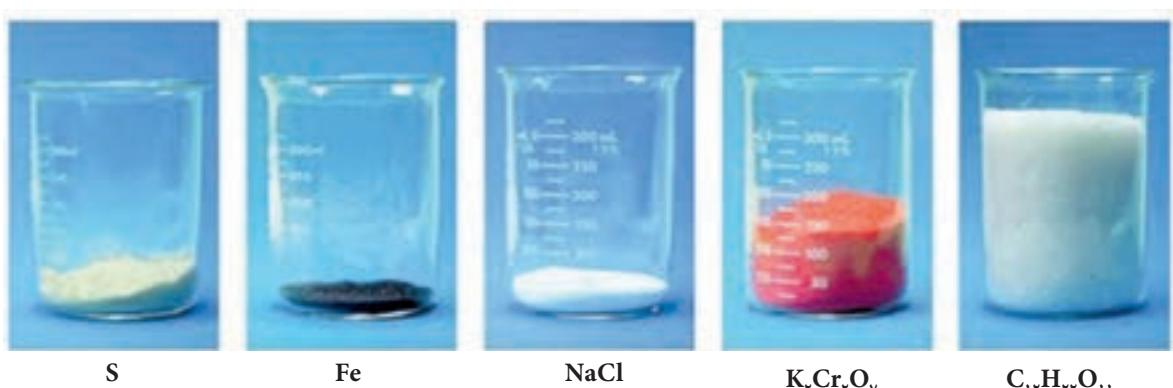
تنها از معادلهٔ موازن‌شدهٔ واکنش استفاده می‌شود؛ زیرا معادلهٔ شیمیایی افزون بر نمایش فرمول شیمیایی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها، نسبتی معین را مشخص می‌کنند که مواد یادشده متناسب با آن در واکنش مصرف یا تولید می‌شوند.

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 6×10^{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 شیوهٔ 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 (g/mol) 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.



شکل ۵ مقدار ۱ مول از مواد شیمیایی مختلف

عدد 6×10^{23} را عدد آوگادرو می‌گویند و آن را با N_A نمایش می‌دهند. ثابت آوگادرو برابر $6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ است.

خود را بیاز ماید

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

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

(آ) آمونیاک، NH_3

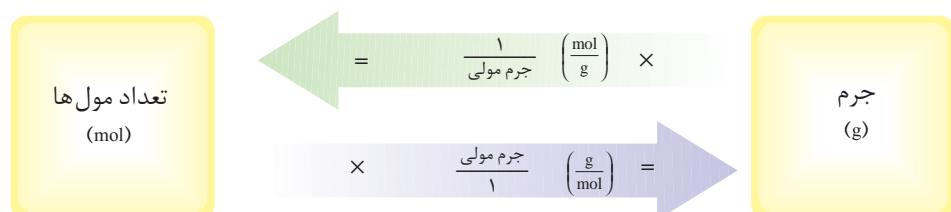
(ب) اوره، $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

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

تبدیل تعداد مول‌ها به جرم و بر عکس

جرم از جمله کمیت‌هایی است که به آسانی در آزمایشگاه قابل سنجش است. از این رو یافتن توانایی تبدیل جرم به تعداد مول‌ها و بر عکس 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 $۳/۵^{\circ}$ مس چند گرم است؟

پاسخ:

۱- فهرست داده‌های مسئله را بنویسید.

* تعداد مول‌های مس: $۳/۵^{\circ}$ mol

* جرم مولی مس: $۶۳/۵۵ \text{ g Cu}$ یعنی $۶۳/۵۵ \text{ g.mol}^{-1}$

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

$$۹ \text{ g Cu} = ۳/۵^{\circ} \text{ mol Cu} \times \frac{۶۳/۵۵ \text{ g Cu}}{۱ \text{ mol Cu}} = ۲۲۲/۴ \text{ g Cu}$$

ضریب تبدیل



مس یک فلز سکه‌زنی است.

خود را بیاز ماید

۱- g-۸۳/۵ مس چند مول است؟

۲- g-۱۲۸/۹ 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 نشان‌دهندهٔ نوع و تعداد اتم‌های

تشکیل‌دهندهٔ آن است. برای نمونه، در آسپرین با فرمول مولکولی $C_9H_8O_4$:



شکل ۷ مدل مولکولی آسپرین و نسبت اتم‌های سازندهٔ آن

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

درنتیجهٔ 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 به‌ازای 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 به‌ازای یک مول اتم کربن،

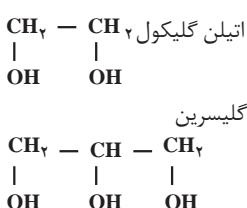
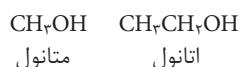
آسپرین به طور طبیعی در پوست درخت بید یافت می‌شود، به‌طوری که مصرف محلولی از گرد پوست درخت بید، سبب کاهش تب و لرز در بیماران مبتلا به مalaria می‌شود. این موضوع شیمی‌دان‌ها را تشویق کرد تا در پی یافتن فرمول مولکولی آسپرین باشند. از این‌رو، آنها با انجام واکنش‌های شیمیایی بر روی پوست درخت بید و با استفاده 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,... قرص آسپرین، برای کاهش تب، التهاب، تپش‌های قلب و سکته مصرف می‌کنند. درنتیجه 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.

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

شیمی دانها جرم اتم‌ها و مولکول‌ها را با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی به دست می‌آورند.

تجزیه عنصری روشی است که طی آن نوع عنصرهای تشکیل‌دهنده و درصد جرمی هریک از آنها در ترکیب شیمیایی یاد شده تعیین می‌شود.

الکل‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های آلی هستند که یک یا تعداد بیشتری گروه عاملی هیدروکسیل (OH-) روی زنجیر کربنی خوددارند. برخی الکل‌ها مانند متانول یک گروه OH- دارند و برخی مانند اتیلن گلیکول (۱،۲-اتان‌دی‌اول) و گلیسرین (۳،۲،۱-پروپان‌تری‌اول) 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 ۴۰°C به دست می‌آید. در حالی که اتانول، الکل میوه‌نام دارد و در اثر تخمیر قندها و کربوهیدرات‌های موجود در میوه‌ها توسط آنزیم‌ها تولید می‌شود.

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

در برخی موارد، دانستن نسبت مولی عنصرهای تشکیل‌دهنده یک ماده برای تعیین فرمول مولکولی آن کافی نیست و تنها فرمول تجربی آن را نشان می‌دهد.

همان‌طور که می‌دانید فرمول تجربی، ساده‌ترین نسبت مولی عنصرهای سازنده یک ترکیب را مشخص می‌کند؛ برای نمونه، فرمول تجربی CH_2 نشان می‌دهد که در مولکول‌های این هیدروکربن، همواره تعداد اتم‌های هیدروژن دو برابر اتم‌های کربن است، بنابراین فرمول مولکولی آن کدام یک از فرمول‌های زیر است؟



برای یافتن پاسخ، باید جرم مولی هیدروکربن مشخص باشد. حال فرض کنید که جرم مولی این هیدروکربن برابر با ۷۰ گرم بر مول باشد؛ در آن صورت، با توجه به آنچه در شیمی ۲ آموختید، می‌توان نوشت:

$$n \times (\text{جرم فرمول تجربی}) = \text{جرم فرمول مولکولی}$$
$$70 = (12 + 2) \times n$$

$$n = 5$$

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

$$(\text{CH}_2)_5 = \text{C}_5\text{H}_1.$$

اما این پرسش که «فرمول تجربی را چگونه می‌توان به دست آورد؟» بی‌پاسخ مانده است.

فرمول تجربی هر ترکیب شیمیایی از تجزیه عنصری آن با انجام محاسبه‌های استوکیومتری به دست می‌آید. به طوری که می‌توان، نوع عنصرهای سازنده و درصد جرمی آنها را به دست آورد. سپس با استفاده از این داده‌ها فرمول تجربی و فرمول مولکولی آن را تعیین کرد.

نمونه حل شده

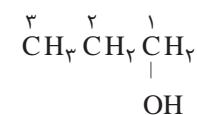
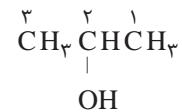
تجزیه عنصری ۱- پروپانول نشان می‌دهد که این ترکیب آلی از ۶۰٪ کربن (C)، ۱۳/۴٪ هیدروژن (H) و ۲۶/۶٪ اکسیژن (O) تشکیل شده است. فرمول تجربی آن را به دست آورید.

پاسخ:

درصد جرمی عنصرهای سازنده نشان می‌دهد که در هر ۱۰۰ گرم از ۱-پروپانول

۶٪ گرم کربن، ۱۳/۴٪ گرم هیدروژن و ۲۶/۶٪ گرم اکسیژن وجود دارد؛

الكل های راست زنجیر هم کربن را با مشخص کردن شماره اتم کربنی مشخص می کنند که گروه هیدروکسیل به آن متصل شده است.



۱-پروپانول و ۲-پروپانول

در فرمول شیمیایی، زیرونده نوشته نمی شود.

$$\left. \begin{array}{l} \text{C: } \frac{5/0 \text{ mol C}}{1/7} = 2/9 \text{ mol C} \\ \text{H: } \frac{13/4 \text{ mol H}}{1/7} = 7/9 \text{ mol H} \\ \text{O: } \frac{1/7 \text{ mol O}}{1/7} = 1 \text{ mol O} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{C}_2\text{H}_8\text{O}$$

خود را بیازمایید

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

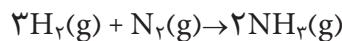
۲- ماده معطر و خوش طعم موجود در آناناس دارای ۶۲/۱٪ کربن، ۱۰/۳٪ هیدروژن و ۲۷/۶٪ اکسیژن است. اگر جرم مولی آن برابر ۱۱۶ گرم برمول باشد، فرمول مولکولی آن را به دست آورید.

۳- تجزیه عنصری نمونه ای 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؟

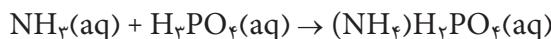
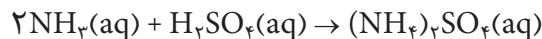
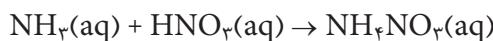
بیشتر بدانید

برای تأمین غذای جماعتی رو به فزوئی جهان، کشاورزان ناگزیرند فرآورده‌های بیشتر و مغذی‌تری را تولید کنند. آنها هر سال، صدها میلیون تن کود شیمیایی را به خاک می‌افزایند تا فرآورده‌های با کیفیت بالاتری به دست 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، Ca، K، 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 به طور مستقیم به صورت نیترات از خاک جذب کنند، اما آمونیاک (NH_3) و نمک‌های آمونیوم ابتدا باید به وسیلهٔ باکتری‌های خاک به نیترات‌ها تبدیل شوند. آمونیاک مادهٔ اولیهٔ کودهای نیتروژن‌دار است که از واکنش بین هیدروژن و نیتروژن به دست 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 به عنوان 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

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

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
 (۳) درصد جرمی عنصر موردنظر
 (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 موازن 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 بیاز ماید

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

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

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.



- (آ) از واکنش $\frac{1}{2}$ mol فلز روی با هیدروکلریک اسید، چند مول گاز هیدروژن تولید می شود؟
 (ب) برای تولید $\frac{3}{2}$ mol روی کلرید به چند مول هیدروکلریک اسید نیاز است؟

پاسخ:

مرحله ۱:

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

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

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

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:

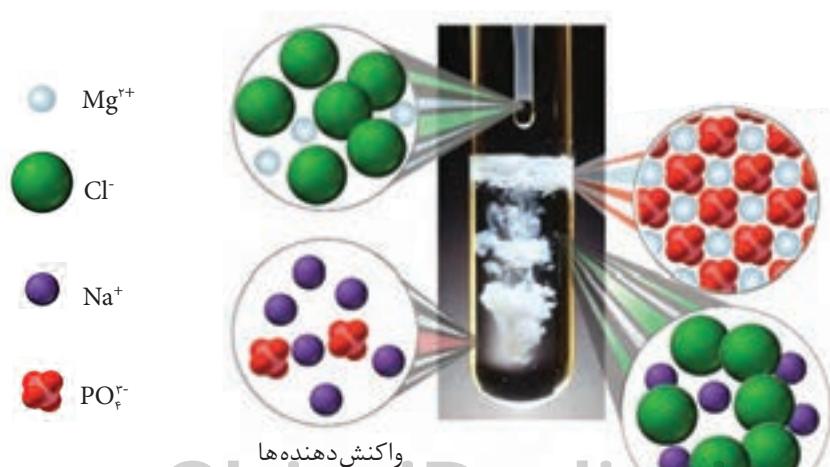
$$? \text{ mol H}_2 = \underbrace{\frac{0 / 2 \text{ mol Zn}}{\text{تعداد مول ماده داده شده}}} \times \underbrace{\frac{1 \text{ mol H}_2}{\frac{1 \text{ mol Zn}}{\text{نسبت مولی خواسته شده}}}}_{= 0 / 2 \text{ mol H}_2} = 0 / 2 \text{ mol H}_2$$

پاسخ قسمت ب:

$$? \text{ mol HCl} = \underbrace{\frac{0 / 3 \text{ mol ZnCl}_2}{\text{تعداد مول ماده داده شده}}} \times \underbrace{\frac{2 \text{ mol HCl}}{\frac{1 \text{ mol ZnCl}_2}{\text{نسبت مولی خواسته شده}}}}_{= 0 / 6 \text{ mol HCl}} = 0 / 6 \text{ mol HCl}$$

خود را بیازماید

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

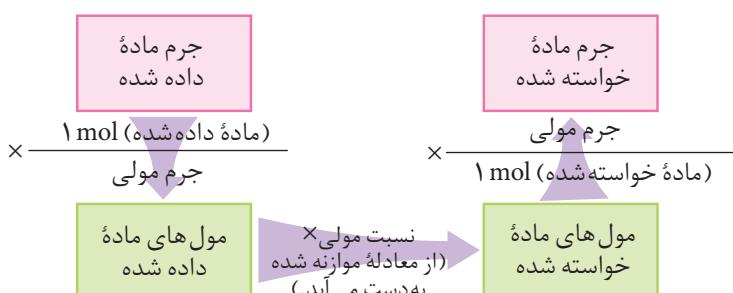


ب) از واکنش 5% مول سدیم فسفات با منیزیم کلرید کافی، چند مول منیزیم فسفات جامد تولید می‌شود؟

روابط جرمی-جرمی در محاسبه‌های استوکیومتری

همان‌گونه 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 کربن‌دی‌اکسید به ترتیب 18% و 44% گرم بر مول است.

برای محاسبه مقدار جرم فراورده‌ها)ی حاصل از یک واکنش یا جرم مورد نیاز از واکنش‌دهنده‌ها) برای تولید جرم مشخصی از یک فراورده، می‌توان از روابط استوکیومتری استفاده کرد. در چنین مواردی، معادله شیمیایی موازن‌شده واکنش مبنای محاسبه‌های کمی قرار می‌گیرد. استوکیومتری واکنش‌ها بر حسب مول تفسیر می‌شود، بنابراین ابتدا باید با استفاده از جرم مولی، جرم ماده‌داده شده را به مول تبدیل کرد. سپس با استفاده از نسبت‌های مولی، تعداد مول ماده‌داده 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 17% نقره نیترات با مقدار کافی محلول سدیم کلرید چند گرم نقره کلرید به دست می‌آید؟

۱- نوشتن معادله موازن‌شده



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

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

$$? \text{ mol AgNO}_3 = 17 / 170 \text{ g } \cancel{\text{AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{AgNO}_3}}{170 \text{ g } \cancel{\text{AgNO}_3}} = 0.1 \text{ mol AgNO}_3$$

حفظ کردن واکنش‌های شیمیایی و اطلاعات داده شده در صورت پرسش‌ها، جزء هدف‌های کتاب درسی نیست و طرح سؤال از این موارد مجاز نیست.

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

$$\text{نسبت مولی} \times \text{تعداد مول نقره نیترات} = \text{تعداد مول نقره کلرید}$$

$$? \text{ mol AgCl} = 0.1 \text{ mol } \cancel{\text{AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ mol AgCl}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{AgNO}_3}} = 0.1 \text{ mol AgCl}$$

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

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

$$? \text{ g AgCl} = 0.1 \text{ mol } \cancel{\text{AgCl}} \times \frac{143.5 \text{ g AgCl}}{1 \text{ mol AgCl}} = 14.35 \text{ g AgCl}$$

همان‌گونه 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 می‌شود. به عبارتی در هر گام با یک تبدیل عددی - ابعادی روبرو هستیم و به این ترتیب یک گام به حل نهایی (عددی با یکای دلخواه) نزدیک می‌شویم.

خود را بیازماید

۱- کدام یک از گزینه‌های زیر جرم آب تولید شده از واکنش $\frac{3}{2}$ مول گاز اکسیژن با گاز هیدروژن سولفید کافی را به درستی نشان می‌دهد؟



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

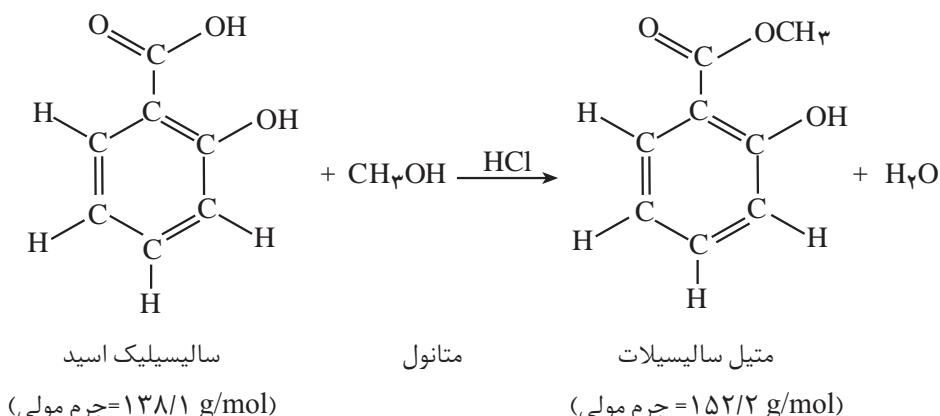
$$\frac{3/2 \text{ mol O}_2}{3/2 \text{ mol O}_2} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{32 \text{ g O}_2} \quad (\text{ب})$$

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

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

۲- متیل سالیسیلات به عنوان طعم‌دهنده در مواد غذایی و دارویی، استفاده می‌شود.

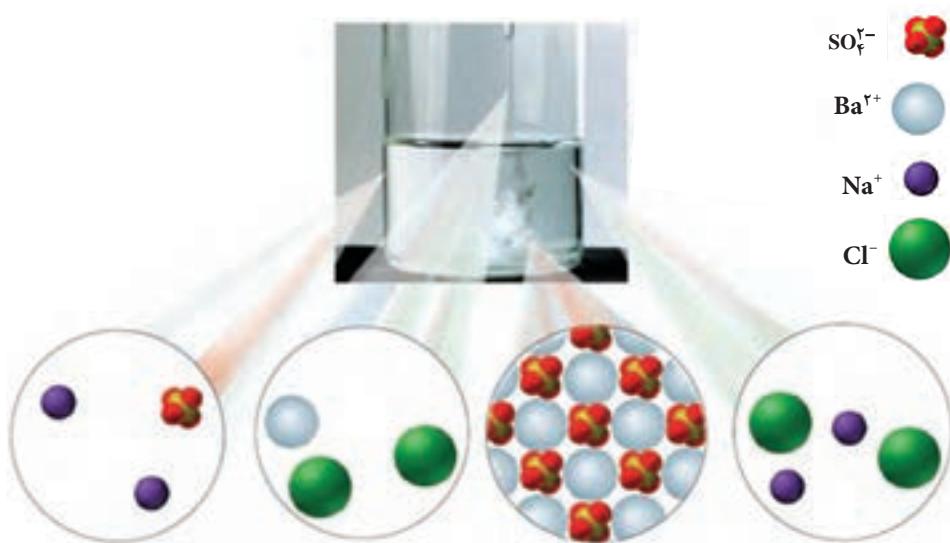
این ماده از واکنش متانول با سالیسیلیک اسید به دست می‌آید:



چند گرم سالیسیلیک اسید برای تولید 325 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 $104/1 \text{ g}$ 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 زمین‌های کشاورزی را مشاهده می‌کنید.

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

همان طور که مشاهده می‌کنید، یکی از این نمونه‌ها دارای ناخالصی است. در صنعت و آزمایشگاه نیز، اغلب واکنش‌دهنده‌ها ناخالص‌اند. به بیان دیگر، افزون بر ماده شیمیایی مورد نظر، برخی ترکیب‌های دیگر نیز در آنها وجود دارند. برای نمونه، سدیم کلرید (نمک خوراکی) در طبیعت به صورت کانه هالیت یافت می‌شود. به طوری که در هر 20° گرم از این نمونه، ۱۹۵ گرم سدیم کلرید وجود دارد. ۵ گرم باقی‌مانده برای این کانه، ناخالصی به شمار می‌رود، شکل ۱۰. به نظر شما درصد خلوص برای این هالیت چند است؟



ب) نمک خوراکی



آ) کانه هالیت

شکل ۱۰

شیمی‌دان‌ها برای بیان میزان خلوص یک نمونه، از درصد خلوص استفاده می‌کنند.

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 موردنیاز از مادهٔ ناخالص را به دست آورد.

$$\frac{\text{جرم مادهٔ خالص}}{\text{جرم نمونهٔ ناخالص}} \times 100 = \text{درصد خلوص}$$

نمونهٔ 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 نمونهٔ ناخالص منگنز (IV) اکسید با خلوص ۹۰٪ نیاز است؟ فرض کنید که این ناخالص‌ها 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.

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

$$? \text{ mol MnO}_4 = 0.282 \text{ mol Cl}_2 \times \frac{1 \text{ mol MnO}_4}{1 \text{ mol Cl}_2} = 0.282 \text{ mol MnO}_4$$

$$0.282 \text{ mol MnO}_4 \times \frac{86.9 \text{ g MnO}_4}{1 \text{ mol MnO}_4} = 24.5 \text{ g MnO}_4$$

$$24.5 \text{ g MnO}_4 \times \frac{100 \text{ g نمونهٔ ناخالص}}{90 \text{ g MnO}_4} = 27.2 \text{ g نمونهٔ ناخالص}$$



از واکنش ترمیت برای جوش‌دادن خطوط راه‌آهن استفاده می‌شود.

خود را بیار ماید

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٪ درصد

لازم است تا با مقدار کافی از آهن (III) اکسید واکنش بدهد؟

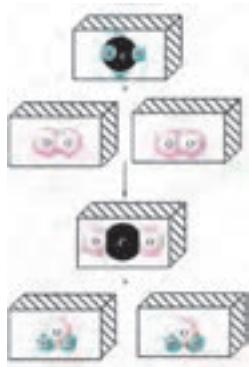


روابط حجمی گازها در محاسبه‌های استوکیومتری

محاسبه‌های حجمی در گازها بر پایهٔ کارهای ژوزف لویی گی لوساک شیمی‌دان

و فیزیک‌دان فرانسوی بنا شده است. نتایج آزمایش‌های او به معروفی 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 موازن‌شده واکنش متناسب هستند. برای مثال، واکنش سوختن کامل متان را در نظر بگیرید.



شکل ۱۱ معادله حجمی ترکیب شدن متان و اکسیژن. هر مکعب ۱۱ از آن گاز را نشان می‌دهد.

کوتاه شده STP
Standard Temperaturer and Pressure است.

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.

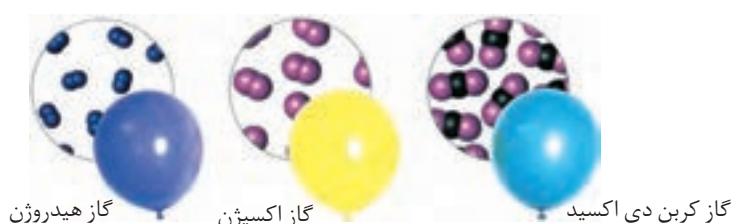
از بررسی معادله تصویری نمایش داده شده در شکل ۱۱ می‌توان چنین نتیجه گرفت که: در فشار و دمای یکسان، یک مول از گازهای مختلف حجم ثابت و برابر دارند. این همان نتیجه‌ای است که نخستن بار آووگادرو در سال ۱۸۱۱ به آن دست یافت.

فرضیه‌ای که بعدها به قانون آووگادرو معروف شد.

همان‌گونه که می‌دانید حجم گازها تابعی از فشار و دمای آنها است. از این رو معمولاً حجم گازها را در دمای 0°C و فشار ۱ اتمسفر (76°mmHg) بیان می‌کنند. در این شرایط که به شرایط استاندارد (STP) معروف است، هر مول گاز حجمی برابر با $22/4\text{L}$ را اشغال می‌کند. این مقدار را حجم مولی گازها در شرایط STP می‌نامند، شکل ۱۲.



ژوزف گی لوساک (۱۷۷۸ - ۱۸۵۰)



شکل ۱۲ حجم مولی چند گاز در شرایط استاندارد

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

نمونه حل شده

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



پاسخ:

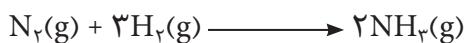
$$\frac{1}{5} \text{L C}_2\text{H}_6 \times \frac{7 \text{L O}_2}{2 \text{L C}_2\text{H}_6} = \frac{7}{10} \text{L O}_2 \text{ مورد نیاز}$$

$$\frac{1}{5} \text{L C}_2\text{H}_6 \times \frac{4 \text{L CO}_2}{2 \text{L C}_2\text{H}_6} = \frac{2}{5} \text{L CO}_2 \text{ تولید شده}$$

$$\frac{1}{5} \text{L C}_2\text{H}_6 \times \frac{6 \text{L H}_2\text{O}}{2 \text{L C}_2\text{H}_6} = \frac{3}{5} \text{L H}_2\text{O} \text{ تولید شده}$$

خود را بیاز ماید

گاز نیتروژن با گاز هیدروژن طبق معادله زیر واکنش می‌دهد و گاز آمونیاک تولید می‌کند:



در دما و فشار ثابت برای واکنش کامل L 100% نیتروژن، به چند لیتر هیدروژن نیاز

است؟ در این شرایط چند لیتر آمونیاک به دست می‌آید؟

در حل برخی دیگر از مسائل استوکیومتری گازها، می‌توان 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 می‌کند. در این مدت هر انسان به طور متوسط در شرایط استاندارد به چند لیتر گاز اکسیژن برای اکسایش گلوکز نیاز دارد؟



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

حساب می‌کنیم:

$$\text{?mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = \frac{445 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{180/\text{g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{2.47 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 2.47 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

حال با استفاده از ضرایب معادله موازن‌شده واکنش و حجم مولی گازها ($22/4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$) حجم گاز اکسیژن مورد نیاز را حساب می‌کنیم.

$$2.47 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \times \frac{6 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \times \frac{22/4 \text{ L O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 33.2 \text{ L O}_2 \text{ موردنیاز}$$

خود را بیاز ماید

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



در مواردی که واکنش در شرایطی غیر از STP انجام می‌شود می‌توان با استفاده از چگالی گازها، مقدار جرم آنها را به حجم یا بر عکس تبدیل کرد.

نمونه حل شده

سدیم هیدروژن کربنات مطابق واکنش زیر در اثر گرما تجزیه می‌شود.



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

پاسخ: ابتدا تعداد مول‌های سدیم هیدروژن کربنات را با استفاده از جرم مولی آن

$84/\text{g.mol}^{-1}$) حساب می‌کنیم.

$$\begin{aligned} \text{NaHCO}_3 &= 1/5^\circ \text{ g NaHCO}_3 \times \frac{1 \text{ mol NaHCO}_3}{84/\text{g NaHCO}_3} \\ &= 1/79 \times 10^{-2} \text{ mol NaHCO}_3 \end{aligned}$$

سپس تعداد مول‌های CO_2 تولید شده را از روی نسبت مولی به دست آمده از معادله موازن شده محاسبه کرده، با استفاده از جرم مولی، تعداد مول را به جرم تبدیل می‌کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ g CO}_2 &= 1/79 \times 10^{-2} \text{ mol NaHCO}_3 \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{2 \text{ mol NaHCO}_3} \times \frac{44/\text{g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \\ &= 0/393 \text{ g CO}_2 \end{aligned}$$

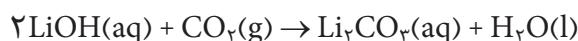
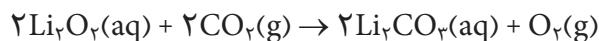
جرم CO_2 تولید شده را با استفاده از چگالی آن به حجم تبدیل می‌کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ mL CO}_2 &= 0/393 \text{ g CO}_2 \times \frac{1 \text{ L CO}_2}{1/10 \text{ g CO}_2} \times \frac{1000 \text{ mL CO}_2}{1 \text{ L CO}_2} \\ &= 357 \text{ mL CO}_2 \end{aligned}$$

خود را بیاز ماید

برای تصفیه هوا درون فضای پیماها مطابق واکنش های زیر از تأثیر کربن دی اکسید

بر لیتیم پراکسید (Li_2O_2) یا لیتیم هیدروکسید (LiOH) استفاده می شود:



هر فضانورد در شبانه روز به طور متوسط 20 g مول CO_2 تولید می کند.

آ) اگر از واکنش اول برای تصفیه هوا استفاده شود و در این واکنش همه

کربن دی اکسید تولید شده به مصرف برسد، مقدار اکسیژن تولید شده در یک شبانه روز

چند لیتر خواهد بود؟ (چگالی اکسیژن را 1.4 g L^{-1} در نظر بگیرید).

ب) به نظر شما استفاده از کدام واکنش برای تصفیه هوا درون فضای پیما مناسب تر

است؟ این موضوع را در کلاس به بحث بگذارید.



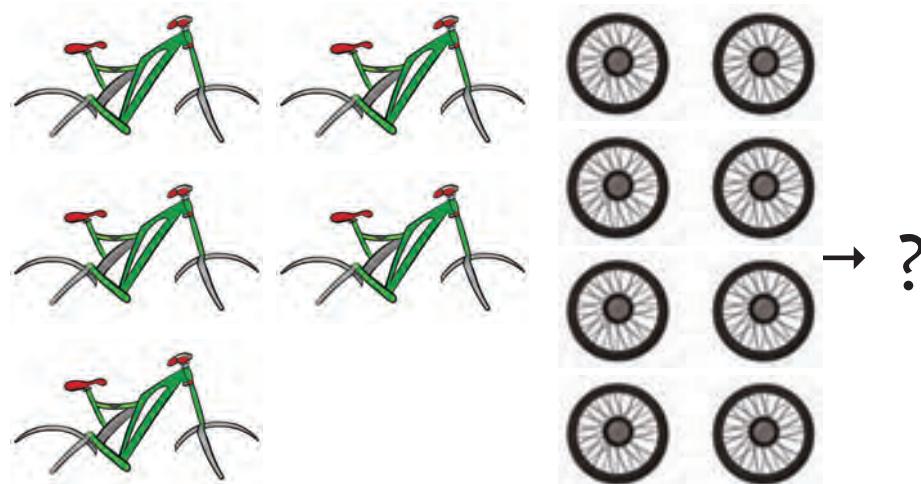
یک فضانورد در حال تعویض
قطولی های تصفیه هوا
فضای پیما است.

واکنش دهنده محدود گننده

همان طور که می دانید 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

می توانید بسازید؟ شکل ۱۳.



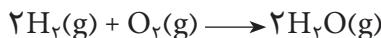
شکل ۱۳ برای تولید دوچرخه، تعداد بدنه ها کمتر است یا چرخ ها؟

برای ساختن دوچرخه پنجم، به دو حلقه چرخ دیگر نیاز داریم. به بیان دیگر در این

مثال تعداد دوچرخه های تولید شده، به تعداد بدنه های موجود بستگی ندارد؛ بلکه به تعداد

چرخ ها 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 محدود کننده**

می‌گویند؛ بنابراین در آزمایش بالا، گاز H_2 ، محدود کننده 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 محدود کننده در صنعت به عوامل متعددی مانند قیمت، سهولت کاربرد و... بستگی دارد.

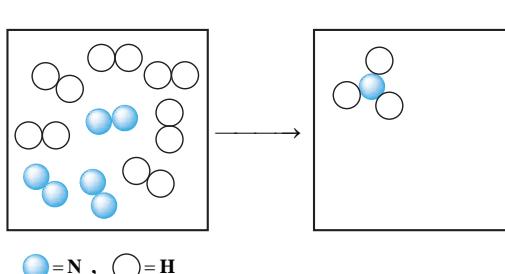
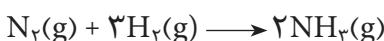
برای نمونه، برای تولید ۴۰۰ مول آهن از سنگ معدن آن، می‌توان ۲۰۰ مول Fe_3O_4 را با ۳۰۰ مول C واکنش داد.



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_3O_4 محدود کننده است و تمام آن مصرف می‌شود.

فکر کنید

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

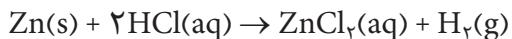


هرگاه مقداری از این دو گاز را مطابق شکل رو به رو در یک ظرف در بسته بربیزیم و اجازه بدهیم با یکدیگر واکنش دهند:

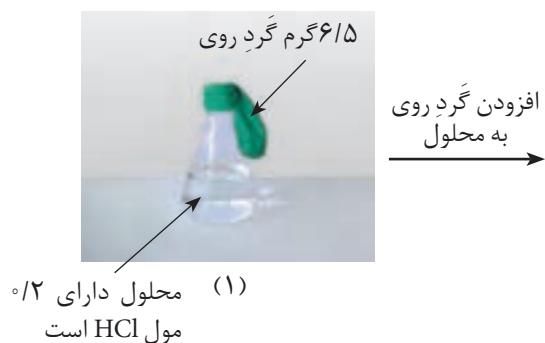
آ) تعداد مولکول‌های فراورده را تعیین و شکل سمت راست را کامل کنید.

ب) کدام واکنش دهنده، محدود کننده است؟

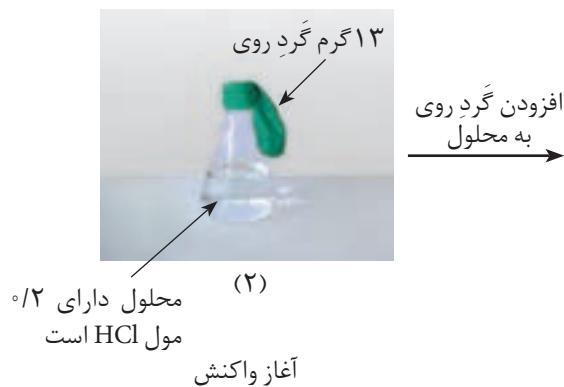
۲- شکل های زیر، واکنش گرد فلز روی با محلول هیدروکلریک اسید را در دو آزمایش متفاوت نشان می دهد (دما 25°C است).



آزمایش اول:



آزمایش دوم:



پایان واکنش

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

ب) با محاسبه تعداد مول های روی و با استفاده از ضرایب استوکیومتری، مشخص کنید که در آزمایش دوم کدام واکنش دهنده، محدود کننده است؟

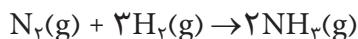
برای تشخیص واکنش دهنده محدود کننده در مسائل، می توان به شیوه های گوناگونی عمل کرد. یکی از این روش هایی را که طی دو مرحله به اجرا درمی آید با هم بررسی می کنیم.

گام نخست: جرم یا حجم واکنش دهنده ها را به تعداد مول آنها تبدیل کنید.

گام دوم: تعداد مول هر یک از واکنش دهنده‌ها را به ضریب استوکیومتری آن تقسیم کنید. سپس، هر واکنش دهنده‌ای که این «نسبت» برای آن عدد کوچک‌تری باشد، محدود کننده است.

نمونه حل شده

برای تولید آمونیاک، 25 kg نیتروژن و 5 kg هیدروژن با یکدیگر مخلوط شده، واکنش می‌دهند. در این فرایند آ) واکنش دهنده محدود کننده کدام است؟ ب) چه مقدار آمونیاک به دست می‌آید؟



پاسخ:
(آ)

گام نخست: تبدیل جرم واکنش دهنده‌ها به مول

$$\begin{aligned} ? \text{ mol N}_2 &= 25/\text{kg} \cancel{\text{N}_2} \times \frac{10^3 \text{ g N}_2}{1 \text{ kg} \cancel{\text{N}_2}} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28/\text{g} \cancel{\text{N}_2}} \\ &= 8.93 \times 10^{-2} \text{ mol N}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ? \text{ mol H}_2 &= 5/\text{kg} \cancel{\text{H}_2} \times \frac{10^3 \text{ g H}_2}{1 \text{ kg} \cancel{\text{H}_2}} \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2/\text{g} \cancel{\text{H}_2}} \\ &= 24.8 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2 \end{aligned}$$

گام دوم: انتخاب واکنش دهنده محدود کننده

$$\begin{array}{c} \text{مول ماده} \quad \xrightarrow{\qquad} \quad \text{N}_2 : \frac{8.93 \times 10^{-2} \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 8.93 \times 10^{-2} \\ \hline \text{ضریب استوکیومتری ماده} \quad \xrightarrow{\qquad} \quad \text{H}_2 : \frac{24.8 \times 10^{-3} \text{ mol}}{3 \text{ mol}} = 8.27 \times 10^{-3} \end{array}$$

بنابراین H_2 محدود کننده است.

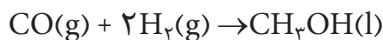
گام سوم: اکنون مقدار آمونیاک را با استفاده از واکنش دهنده محدود کننده یعنی H_2 محاسبه می‌کنیم.

$$\begin{aligned} ? \text{ g NH}_3 &= 24.8 \times 10^{-3} \text{ mol H}_2 \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2} \times \frac{17/\text{g} \cancel{\text{NH}_3}}{1 \text{ mol} \cancel{\text{NH}_3}} \\ &\times \frac{1 \text{ kg NH}_3}{10^3 \text{ g} \cancel{\text{NH}_3}} = 28/2 \text{ kg NH}_3 \end{aligned}$$

خود را بیاز ماید

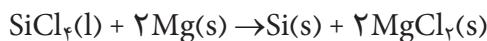
۱- متانول (CH_3OH) به عنوان یک حلال و اکنش دهنده مناسب برای تولید بسیاری

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 g ۳۵۶ با H_2 ۶۵ چند گرم متانول به دست می آید؟

۲- سیلیسیم خالصی را که در تراشه‌های الکترونیکی و نیز در سلول‌های خورشیدی به کار می‌برند، از واکنش سیلیسیم تتراترکلرید مایع و منیزیم خالص، طبق واکنش زیر تهیه می کنند:



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

می آید؟

بازده واکنش‌های شیمیایی

در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی که برای تهیه مواد شیمیایی به کار می‌روند، مقدار فراورده‌های به دست آمده کمتر از مقدار محاسبه شده است. مقدار فراورده‌های مورد انتظار از محاسبه‌های استوکیومتری، مقدار نظری واکنش است، در حالی که مقدار عملی یعنی مقدار فراورده‌ای که در عمل تولید می‌شود، اغلب کمتر از مقدار نظری است.

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

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

شیمی دانها همواره برای افزایش بازده درصدی فرایندهای صنعتی و آزمایشگاهی تلاش می‌کنند، با این حال بازده اغلب واکنش‌ها کمتر از صدرصد است.

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

۱- تعیین واکنش دهنده محدود کننده

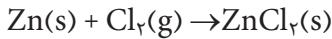
۲- محاسبه مقدار نظری (بیشترین مقدار ممکن فراورده) با استفاده از مقدار

واکنش دهنده محدود کننده

۳- محاسبه بازده درصدی واکنش با استفاده از رابطه بالا

نمونه حل شده

۳۵/۵ g از گردد فلز روی خالص با مقدار اضافی گاز کلر واکنش می‌دهد. پس از پایان واکنش $65/2$ g روی کلرید به دست می‌آید. 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

$$? \text{ mol Zn} = 35/5 \cancel{\text{g Zn}} \times \frac{1 \text{ mol Zn}}{65/38 \cancel{\text{g Zn}}} = 0.543 \text{ mol Zn}$$

$$? \text{ mol ZnCl}_2 = 0.543 \cancel{\text{mol Zn}} \times \frac{1 \text{ mol ZnCl}_2}{1 \cancel{\text{mol Zn}}}$$

$$= 0.543 \text{ mol ZnCl}_2$$

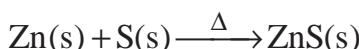
$$0.543 \cancel{\text{mol ZnCl}_2} \times \frac{136/28 \text{ g ZnCl}_2}{1 \cancel{\text{mol ZnCl}_2}}$$
$$= 74/0 \text{ g ZnCl}_2$$

۳- محاسبه بازده درصدی واکنش

$$\frac{\text{مقدار عملی}}{\text{مقدار نظری}} = \frac{65/2 \text{ g ZnCl}_2}{74/0 \text{ g ZnCl}_2} \times 100 = 88/1$$

خود را بیازمایید

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



در یک آزمایش $36/0$ g روی را با $30/0$ گوگرد واکنش داده‌اند و مقدار $42/5$ g روی سولفید به دست آورده‌اند. بازده درصدی واکنش را حساب کنید.

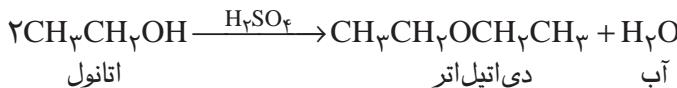
۲- گاز متان را می‌توان از واکنش زغال سنگ با بخار آب بسیار داغ تهیه کرد.



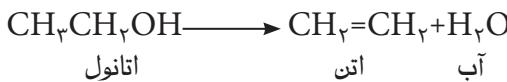
در صورتی که بازده درصدی واکنش $85/0$ % باشد، چند کیلوگرم متان از واکنش $2/00$ kg زغال سنگ با مقدار اضافی بخار آب به وجود می‌آید؟

بیشتر بدانید

در برخی از شاخه‌های شیمی برای مثال شیمی تجزیه، تنها واکنش‌هایی سودمندند که بازده آنها ۱۰۰٪ باشد. در شاخه‌های دیگر، به ندرت می‌توان به بازده ۱۰۰٪ در یک واکنش دست یافت، از این‌رو بهبود بازده درصدی یک واکنش اهمیت زیادی پیدا می‌کند. محاسبه بازده همواره در واکنش‌های سنتزی به‌ویژه در سنتز مواد آلی بسیار مهم است. به عنوان مثال، واکنش تولید دی‌اتیل‌اتر از اتانول را درنظر بگیرید. این واکنش که یک واکنش تراکمی است (چرا؟) در حضور سولفوریک اسید غلیظ به عنوان کاتالیزگر انجام می‌شود.



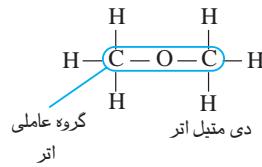
نوشتن این واکنش روی کاغذ آسان، اما انجام آن در آزمایشگاه با تنگناهای زیادی همراست. یکی از مهم‌ترین تنگناها این است که همواره طی واکنش، مقداری اتانول به اتن تبدیل می‌شود.



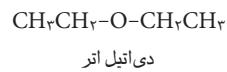
بدیهی است مولکول‌های اتانولی که به اتن تبدیل شده‌اند، دیگر نمی‌توانند به دی‌اتیل‌اتر تبدیل شوند، از این‌رو، بازده تولید دی‌اتیل‌اتر کاهش می‌یابد.

افزون بر مشکلی که به آن اشاره شد، تنگناهای عملی نیز وجود دارد. به عنوان مثال، دی‌اتیل‌اتر خالص را از طریق تقطیر مخلوط واکنش تهیه می‌کنند، اما همواره مقداری دی‌اتیل‌اتر در ظرف تقطیر باقی می‌ماند. همچنین، مقداری اتانول ممکن است همرا به اتن تبخر شود. حتی در بهترین شرایط، دست یافتن به بازده بیشتر از ۸۵ ° درصد دشوار است. اغلب، شیمی‌دان‌ها ناچارند به بازده ۵۰ ° درصد یا حتی کمتر از آن بستره کنند. از این‌رو دانشمندان شیمی‌آلی در صدد یافتن واکنش‌هایی با بازده بالا هستند یا تلاش می‌کنند با بهینه کردن شرایط واکنش، بازده واکنش‌های شناخته شده را افزایش دهند. تلاش در این مسیر زمینه‌ساز تحول‌های چشمگیری در دانش شیمی و کاربردهای آن در صنعت بوده است.

آخر به دسته‌ای از ترکیب‌های آلی کفته می‌شود که در ساختار آنها یک اتم اکسیژن به دو اتم کربن متصل شده‌است.



دی‌اتیل‌اتر شناخته شده‌ترین اتر است. این مایع فرآر و آتش‌گیر در کذشته به عنوان بی‌هوش‌کننده‌کاربرد گسترده‌ای داشت اما به دلیل آثار نامطلوب آن روی مجاری تنفسی و احتمال آتش‌گیری و انفجار امروزه به ندرت از آن استفاده می‌شود.



استوکیومتری و زندگی

در این بخش با برخی کاربردهای استوکیومتری آشنا شدید. در اینجا به چند کاربرد دیگر استوکیومتری به‌ویژه در صنایع خودروسازی اشاره می‌کنیم. طراحان خودرو از استوکیومتری برای افزایش ایمنی و بازده موتورها و کاهش آلودگی محیط زیست استفاده می‌کنند. در واقع افزایش ایمنی ناشی از کاربرد کیسه‌های هوای خودروها و بازده بالای ناشی از بهسوزی سوخت، آن‌هم با کمترین اثرهای تخریبی روی محیط‌زیست، به رعایت اصول استوکیومتری وابسته است.

کیسه‌های هوا



متأسفانه، در یک بروزی که در آن بیش از ۱۰٪ مورد گزارش تصادف ارائه شده بود نه تنها کیسه‌هوا از تلفات جانی جلوگیری نکرده، بلکه علت اصلی مرگ نیز بوده است. بیشتر این قربانیان، نوزادان یا کودکان خردسال بوده‌اند؛ از این‌رو، کارشناسان توصیه می‌کنند که از نشاندن کودکان زیر ۱۲ سال روی صندلی جلوی خودروها به ویژه خودروهایی که مجهز به کیسه‌هوا هستند، خودداری شود. همچنین، باز شدن کیسه‌هوا 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 پایشان 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 بازشدن این کیسه‌ها بر حسب شدت تصادف، قد و وزن راننده و فاصله سر راننده تا فرمان خودرو تعییر می‌کند.



کیسه‌های هوا یکی از تازه‌ترین دستاوردهای صنایع خودروسازی است که در جهت افزایش ایمنی سرنشینان طراحی و تولید شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، هنگام برخورد شدید خودرو، کیسه‌هایی که در قسمت جلوی خودرو تعییه 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 تعییه 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 پرشدن ناگهانی کیسه‌ها شود. به علاوه در این واکنش سدیم فلزی نیز تولید می‌شود که مادهٔ 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 به طور 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 دی اکسید و رطوبت هوا به سدیم هیدروژن کربنات که ماده‌ای بی‌خطر است، تبدیل می‌شود.



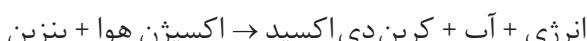
حجم گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه هوا با حجم مشخص، به چگالی گاز وابسته است که آن هم به دما بستگی دارد. برای محاسبه مقدار گاز مورد نیاز برای پر کردن کیسه های هوا، طراحان این کیسه ها باید با استوکیومتری واکنش ها و تغییر انرژی آنها (که باعث تغییر دما و بنابراین تغییر چگالی گازها می شود) به خوبی آشنا باشند.

خود را بیاز ماید

فرض کنید برای پر شدن مناسب یک کیسه هوا به $65/1$ 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 916 g.L^{-1} است.

افزایش کارایی موتورها

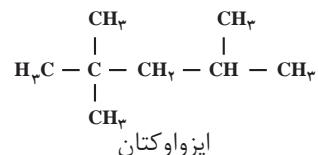
بهسوزی موتور خودرو به رعایت اصول استوکیومتری بستگی دارد. وقتی رانندگان برای افزایش سرعت، پا را بر پدال گاز می فشارند، سرعت جریان سوخت به موتور بیشتر می شود. بنابراین مقدار انرژی آزاد شده از سوختن بنزین افزایش می یابد. معادله نوشتاری زیر تولید انرژی در فرایند سوختن کامل بنزین را نشان می دهد:



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 ایزو اوکتان 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 موازن شده واکنش با هم مخلوط شوند. فراموش نکنید که تنها حدود 20° 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. کار کرد نادرست موتور خودرو که به واسطه سوخت 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.



فکر کنید

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



ابوبکر محمدبنزکریای رازی (۶۰۹-۷۴۲ هجری شمسی) (۹۰-۸۶۴ میلادی) شیمی دان، ریاضی دان، فیلسوف، ستاره‌شناس و پژوهشگر ایرانی، وی ترکیب‌های شیمیابی متعددی را تهیه کرد که از آن میان می‌توان به اثافول اشاره کرد. با مراجعه به شبکه جهانی وب درباره این شخصیت بر جسته ایرانی - اسلامی اطلاعات جمع‌آوری کرده، تنتجه را به صورت روزنامه دیواری در کلاس ارائه دهد.

بیشتر بدانید

جابرین حیان بنیانگذار مسلمان شیمی

ابوموسی جابرین 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. پیشنهاد و مطالعه یادداشت‌های به جای مانده از او نقش مهمی در علاقه‌مند شدن جابر به داروسازی و کیمیاگری داشت. با این حال با شوق فراوان به یادگیری علوم دیگر نیز می‌پرداخت. اشتیاق فراگیری قرآن مجید و بهره‌مند شدن از محضر پروفیض حضرت امام جعفر صادق (ع) سبب شد که به شهر کوفه کوچ کند. هجرتی که بی‌تردید موجبات شکوفایی استعدادهای 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 فعالیت‌های تجربی تأکید داشت و تلاش بسیاری برای خرافه‌زدایی از کیمیاگری و تبدیل آن به یک علم تجربی کرد. نوآوری انواع کوناکونی از وسایل آزمایشگاهی از جمله آلبیق به نام اوی ثبت شده است. کشف مواد شیمیابی 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 می‌کند، سیتریک اسید (جوهر لیمو) و استیک اسید (جوهر سرکه) همچنین معرفی فرایندهای تبلور و تقطیر که هر دو سنگ بنای شیمی امروزی به شمار می‌آیند همگی از نتایج تلاش خستگی ناپذیر این شیمی دان سرشناس است. وی یافته‌های زیادی درباره روش‌های استخراج و خالص‌سازی طلا، جلوگیری از زنگ زدن آهن، حکاکی روی طلا، رنگرزی و نم ناپذیر کردن پارچه‌ها و تجزیه مواد شیمیابی ارائه داد. همچنین بذر دسته‌بندی امروزی عنصرها به فلز و نافلز را می‌توان در دست نوشته‌های وی یافت.



این نقاشی توسط اروپایی‌های سده پانزدهم میلادی کشیده شده است.

جابر کتاب‌ها و رساله‌های بسیاری نوشت که سال‌ها بعد توجه کیمیاگران اروپایی را به خود جلب کرد. اروپایی‌ها تعدادی از این کتاب‌ها را به زبان لاتین ترجمه کردند و سال‌ها از آنها به عنوان منابع علمی معتبر استفاده می‌کردند. به گفته بسیاری از غربی‌ها، محتوا کتاب‌های جابر تأثیر ژرفی بر دیدگاه کیمیاگران اروپایی گذاشت و سال‌ها بعد مبدأ تحولات شکوفایی در دانش شیمی شد. اگرچه

جابرین 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 چهره‌گران سنگ تاریخ تمدن اسلامی هرگز از یادها نرفت.



انبیق، وسیله 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



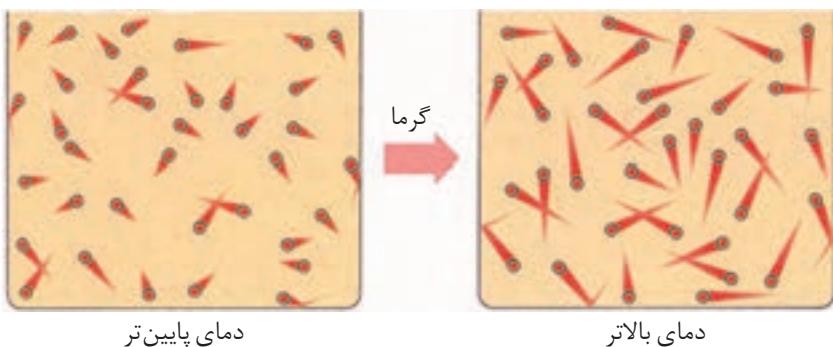
انرژی گرمایی و قابلیت آن برای تبدیل شدن به انرژی مکانیکی، پویایی به ارمغان آورده است.

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 ۱۶۰ متر جابه جا 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. مطالعهٔ 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 سازندهٔ ماده

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

همچنین می‌دانید که گرمای 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 سازندهٔ 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 دهندهٔ ماده، پیوسته و به‌طور نامنظم در حرکت‌اند. در اثر گرم شدن، دمای جسم افزایش می‌یابد و بر سرعت حرکت ذره‌های سازندهٔ آن افزوده می‌شود.

اگر دما را معياری از ميزان گرمی يك جسم تعريف کنيم، در اين صورت با گرم شدن يك جسم دمای آن نيز بالا می‌رود. به بيان ديگر، دانستن دمای يك جسم اطلاعات سودمندی دربارهٔ انرژی جنبشی و سرعت حرکت ذره‌های سازندهٔ آن جسم در اختیار ما می‌گذارد. بنابراین اختلاف دمای میان دو جسم، ما را از اختلاف در انرژی جنبشی ذره‌های تشکیل دهندهٔ آن دو آگاه می‌سازد.

اکنون این پرسش به ذهن خطرور می‌کند که این انرژی جنبشی، در ذره‌های سازندهٔ يك ماده صرف چه می‌شود؟ آیا حرکت از جایی به جای ديگر (حرکت انتقالی) تنها حرکت ممکن برای ذره‌های ماده است؟

اگر دو گلولهٔ آهنی سبک را به فنری متصل کرده، آنها را به سمت بالا پرتاپ کنيد، مجموعهٔ یادشدهٔ حرکت‌های متفاوتی را از خود نشان خواهد داد. اين مجموعه از يك نقطه به نقطهٔ ديگري جابه‌جا می‌شود، يعني داراي حرکت انتقالی است. به دور خود می‌چرخد، پس حرکت چرخشی هم دارد. همچون فنر، کشیده و جمع می‌شود یا به عبارتی به نوسان درمی‌آيد، پس می‌توان گفت که مجموعهٔ داراي حرکت ارتعاشی نيز هست. اين الگو نشان می‌دهد که ذره‌های تشکیل دهندهٔ ماده، می‌توانند حرکت‌های انتقالی، چرخشی و ارتعاشی

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



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

همهٔ این حرکت‌ها به انرژی نیاز دارند. بنابراین با افزایش دمای یک جسم، انرژی جذب شدهٔ 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 100 mL و دیگری دارای 200 mL آب است. دمای آب درون هر دو لیوان برابر با 25°C است. آیا برای افزایش دمای آب هر دو لیوان تا 50°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، گرمایی مورد نیاز برای افزایش دمای آن به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس است. بنابراین هرچه مقدار ماده بیشتر باشد، گرمایی 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.

$$\frac{\text{مقدار گرمایی مبادله شده}}{\text{تغییر دما} \times \text{جرم ماده}} = \frac{\text{ظرفیت گرمایی}}{\text{جرم ماده}}$$

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 گرمایی مبادله شده برابر خواهد بود.

اگر مقدار گرمایی 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 ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$) است.

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

در شیمی بیشتر از ظرفیت گرمایی مولی استفاده می‌شود. ظرفیت گرمایی مولی، مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از ماده به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس ($1^\circ C$) است. یکای ظرفیت گرمایی مولی، ژول بر مول بر درجهٔ سلسیوس ($J \cdot mol^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$) است.

جدول ۱ ظرفیت گرمایی ویژهٔ برخی مواد در دمای اتاق ($25^\circ C$)

ظرفیت گرمایی مولی ($J \cdot mol^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	ظرفیت گرمایی ویژه ($J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	حالت فیزیکی	ماده
۳۷/۴۰	۲۱۰۷۶	جامد	آب (یخ)
۴۹/۷۰	۰/۸۵۰	جامد	سدیم کلرید
۸/۶۵	۰/۷۲۰	جامد	کربن (گرافیت)
۲۵/۱۹	۰/۴۵۱	جامد	آهن
۷۵/۳۸	۴/۱۸۴	مایع	آب
۱۱۳/۳۳	۲/۴۶۰	مایع	اتانول
۳۶/۸۰	۲/۰۴۳	گاز	آب (بخار)
۲۹/۳۴	۰/۹۱۷	گاز	اکسیژن

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

۱ Cal = ۱۰۰۰ cal = 1 kcal
بنابراین وقتی که می‌گوییم ۱۰۰ گرم موز $20^\circ C$ کالری ارزش غذایی دارد به این معنی است که وقتی ۱۰۰ گرم موز مصرف می‌شود ۷۰ Cal یا ۷۰ kcal انرژی برای بدن فراهم می‌کند.

ارزش غذایی ۸۰۰۰ جواز برخی مواد غذایی (Cal)	
۳۶۰	برنج
۱۴۰	تخم مرغ
۲۵۰	نان
۵۰	سیب
۷۰	سیب زمینی

نمونهٔ حل شده

۵۲ گرم آلومینیم به $239 J$ انرژی نیاز دارد تا دمای آن به اندازه $5^\circ C$ افزایش پیدا کند، ظرفیت گرمایی ویژهٔ این فلز را محاسبه کنید.

پاسخ:

می‌دانید که ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که برای افزایش دمای یک گرم از یک جسم به اندازه $1^\circ C$ لازم است. از آنجا که دادن $239 J$ انرژی، دمای $53 g$ آلمینیم

را به اندازه $5^\circ C$ افزایش می‌دهد، مقدار گرمایی معادل $\frac{239 J}{53 g} = 4.51 J \cdot g^{-1}$ لازم است تا دمای $1 g$ آلمینیم را $5^\circ C$ افزایش دهد. به این ترتیب گرمای لازم برای افزایش دمای $1 g$ آلمینیم به اندازه $1^\circ C$ برابر خواهد بود با:

$$\frac{4.51 J \cdot g^{-1}}{5^\circ C} = 0.902 J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$$

به عبارت دیگر:

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

خود را بیاز مایید

- ۱- با توجه به داده‌های جدول ۱، رابطه میان جرم مولی، ظرفیت گرمایی ویژه آلمینیم ظرفیت گرمایی مولی مواد را بیابید.
- ۲- اگر افزایش دمای 75 g سرب به مقدار 1°C به 96 J گرما نیاز داشته باشد، ظرفیت گرمایی ویژه و ظرفیت گرمایی مولی سرب را محاسبه کنید.
- ۳- برای کاهش دمای 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 به طور عمده از آب تشکیل شده است، از این‌رو پوست کف پا ظرفیت گرمایی ویژه نسبتاً بالایی دارد. بنابراین، برای آنکه دمای پاها به طور 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، به طوری که دمای کف پاها آن‌چنان افزایش نمی‌باشد که آسیبی بینند. از سوی دیگر، اگر چه دمای سطح زغال زیاد است، اما لایه گداخته سطح آن بسیار نازک است. از این‌رو، مقدار انرژی موجود برای گرم کردن پاها کمتر از آن است که انتظار می‌رود؛ زیرا اگرچه 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 گداخته 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 ماهی قابله 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 مريطوبی 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 شکفت‌آوری به نظر می‌رسد، اما دلایل علمی محکمی وجود دارد که امکان انجام این کار را توجیه می‌کند. البته، تمرين کافی و بستر مناسب زغال نیز ضروری است. ضمن آن که نباید از تحلیل‌های روان‌شناسانه چنین اقدامی نیز چشم پوشی کرد.



مراسم راه رفتن روی زغال گداخته. هندوهاي جزایر فيجي در حال برگزاری اين مراسم دیده می شوند.

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 ازدست 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 شویم.

سامانه و محیط پیرامون آن

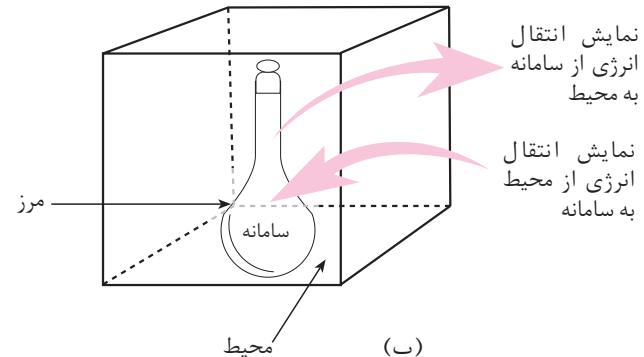
در ترمودینامیک بخشی از جهان را انتخاب و تغییر انرژی آن را مطالعه می‌کنند. به بخشی از جهان که برای مطالعه انتخاب می‌شود، سامانه یا سیستم می‌گویند. هنگامی که سامانه مشخص شد، هر چیز دیگری که در پیرامون آن باشد، **محیط** نامیده می‌شود. در شکل ۲ یک سامانه و محیط پیرامون آن را می‌بینید. در این شکل اگر سامانه، 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 برهم 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.



(آ)



(ب)

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 دقیق‌تر اجزای سامانهٔ یاد شده.

أنواع 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، سامانه‌باز نامیده می‌شود. به سامانه‌ای که در آن امکان مبادله ماده وجود ندارد و تنها به مبادله انرژی با محیط اکتفا می‌شود، سامانه‌بسته می‌گویند. سامانه‌ای که مبادله ماده و انرژی با محیط ندارد، سامانه‌منزوی (ایزوله) نامیده شده است.

فکر کنید

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

آ) دماسنگ



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.

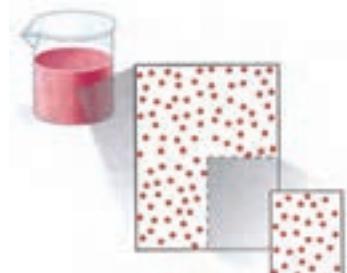
خواص سامانه

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 دستهٔ **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° میلی‌لیتر 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؟



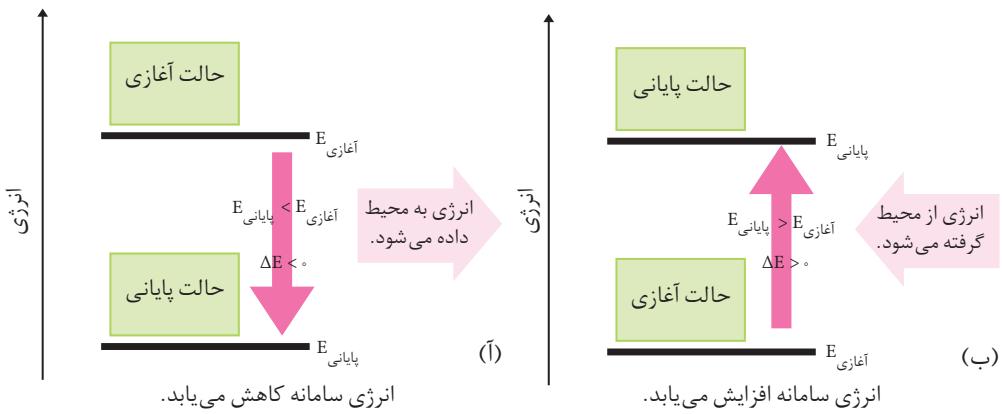
روشی برای نمایش
برخی از خواص شدتی
و مقداری سامانه

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 تشکیل‌دهنده سامانه، انرژی درونی آن سامانه نامیده می‌شود. هنگامی که در یک سامانه شیمیایی واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها 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 اندازه گیری نماییم:

$$\Delta E = E_{\text{پایانی}} - E_{\text{فراءوردها}} = E_{\text{آغازی}} - E_{\text{واکنش‌دهنده‌ها}}$$

نیازی نشان دهنده انرژی سامانه پس از تغییر و آغازی نشان دهنده انرژی سامانه پیش از تغییر است. معمولاً، تغییر انرژی یک سامانه شیمیایی را با نموداری نمایش می‌دهند که در



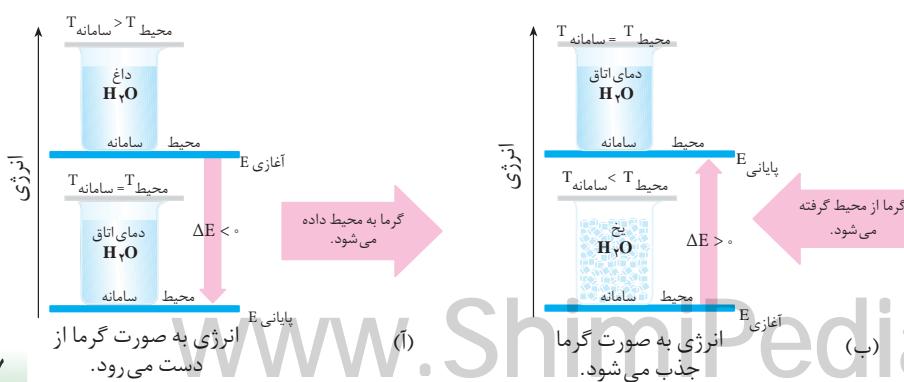
شکل ۳ نمودار تغییر انرژی در یک سامانه. این نمودارها انتقال انرژی را

بین یک سامانه و محیط پیرامون آن نشان می‌دهد.

آن پایانی E_p (انرژی فراورده‌ها) و آغازی E_a (انرژی واکنش‌دهنده‌ها) خطوط افقی هستند و انرژی روی محور عمودی قرار دارد. نمونه‌ای از این نمودارها در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳. آ. سامانه‌ای را نشان می‌دهد که در آن با انتقال انرژی از سامانه به محیط، انرژی درونی سامانه کاهش می‌یابد. در این شرایط ΔE سامانه منفی است. شکل ۳. ب. سامانه‌ای را نشان می‌دهد که انرژی درونی آن در حال افزایش است، یعنی از محیط پیرامون به سامانه انرژی وارد می‌شود و علامت تغییر انرژی درونی سامانه مثبت است. در سامانه‌شیمیایی ۳. آ سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر است. در حالی که در سامانه‌شیمیایی ۳. ب سطح انرژی فراورده‌ها از سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها بالاتر است.

فرض کنید که یک سامانه شامل نمونه‌ای آب داغ درون یک ظرف سربسته باشد، در این صورت گرما از آب به محیط پیرامون منتقل می‌شود و انرژی درونی سامانه کاهش می‌یابد، شکل ۴. آ) در این حالت، تغییر انرژی درونی سامانه فقط ناشی از مبادله گرماست و این مبادله انرژی تا زمانی ادامه می‌یابد که دمای آب با دمای محیط پیرامون آن برابر شود. چون در این مورد، انرژی سامانه کاهش پیدا می‌کند، 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 سامانه‌دیگری نشان می‌دهد. علامت تغییر انرژی درونی را در این سامانه توجیه کنید.



شکل ۴ سامانه‌بسته‌ای که فقط با محیط مبادله گرمایی دارد. آ) آب گرم (سامانه‌بسته) انرژی را به صورت گرمایی به محیط پیرامون منتقل می‌کند تا زمانی که دمای آن با دمای محیط پیرامون یکسان شود. ب) یخ از محیط پیرامون انرژی جذب می‌کند 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.

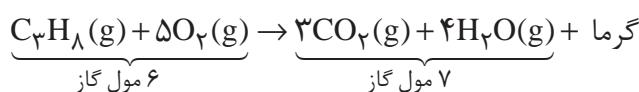
انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

سامانه‌ای مانند یک لیوان محتوی 50 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 35°C به 27°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.

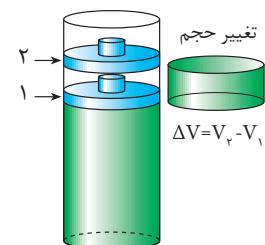
واکنش سوختن کامل پروپان را در نظر بگیرید. فرض کنید که این واکنش در سیلندری با یک پیستون روان انجام می‌شود، شکل ۵. انرژی درونی آغازی رانیز هم ارز با انرژی درونی واکنش دهنده‌ها فرض کنید. با توجه به معادله موازن شده زیر در این واکنش از ۶ مول واکنش دهنده‌های گازی، ۷ مول فراورده‌های گازی به دست می‌آید و مقدار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



همان‌گونه 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.

همان‌طوری که دیدید، در این مثال تغییر انرژی درونی هم ارز 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 گازهای دهنده را در فشار ثابت انجام می‌دهند. به خاطر داشته باشید که این واکنش در فشار ثابت انجام می‌شود.

در این صورت خواهیم داشت:

$$\Delta E = q + w$$

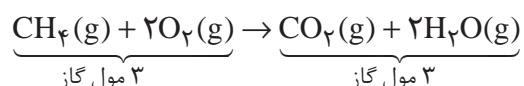
این رابطه قانون اول ترمودینامیک را معرفی می‌کند. این قانون در واقع همان قانون پایستگی انرژی است. طبق این قانون، انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود، بلکه از شکلی به شکل دیگری درمی‌آید.

گاهی ممکن است که طی یک واکنش شیمیایی تغییر حجمی ایجاد نشود، یعنی

$$\Delta V = 0 \text{ است.}$$

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

درنظر بگیرید:



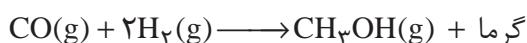
۳ مول از واکنش دهنده‌های گازی، ۳ مول فراورده‌های گازی تولید می‌کند، پس

$$\Delta V = 0 \text{ است. در اینجا کار ناشی از تغییر حجم صفر خواهد بود.}$$

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

فکر کنید

واکنش زیر را درنظر بگیرید.



فرض کنید که این واکنش در سیلندری با پیستون روان (در فشار ثابت) انجام می‌گیرد.

در این صورت علامت تغییر انرژی درونی (ΔE) را برای این واکنش پیش‌بینی کنید.

واکنش‌های شیمیایی به دو روش انجام می‌شود:

واکنش در حجم ثابت و واکنش در فشار ثابت

(آ) واکنش در حجم ثابت ($\Delta V = 0$)؛ در چنین حالتی در اثر تغییر حجم، کاری انجام

نمی‌شود ($w = 0$) و تغییر انرژی درونی سیستم فقط ناشی از مبادله گرما است.

بنابراین می‌توان نوشت:

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

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

انجام می‌شود که با تغییر حجم، فشار را ثابت نگه می‌دارد. در این حالت کار انجام می‌شود

($w \neq 0$). 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:

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

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 شرکت کننده‌ها، جامد و مایع هستند، ΔV بسیار ناچیز است. از این رو برای این واکنش‌ها مقدار ΔE را تقریباً با ΔH برابر درنظر 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 اسکی بازان 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 ۲۰ 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 (هوای آب) و محیط اطراف صورت نمی‌گیرد؛ یعنی، $q = 0$ است. (در ترمودینامیک، چنین فرایندی را فرایند بی‌دررو می‌نامند). از این‌رو، می‌توان نوشت:

$$\Delta E = q + w = 0$$

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.

همان‌طوری 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 بر عکس 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:

$$\text{آنالپی سامانه در آغاز فرایند} - \text{آنالپی سامانه در پایان فرایند} = \Delta H$$

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

قدر مطلق H یک فرایند، بزرگی آن را نشان می‌دهد در حالی که علامت آن نشان‌دهنده گرماده و گرمگیر بودن فرایند است.

اگر سامانه مورد نظر یک واکنش شیمیایی باشد، در آن صورت پایانی H ، آنتالپی فراورده‌ها

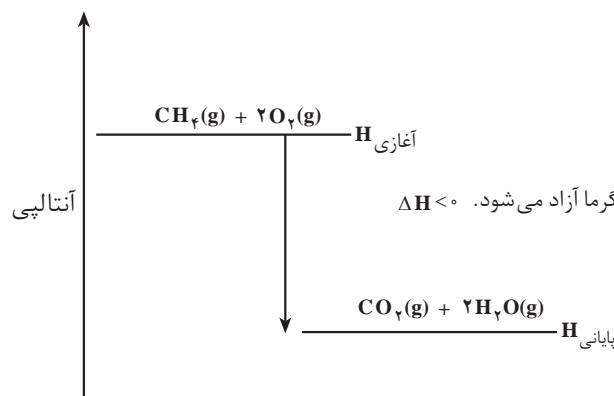
و آغازی H ، آنتالپی واکنش دهنده‌هاست و ΔH ، آنتالپی واکنش نامیده می‌شود؛ یعنی:

$$\Delta H = H_{\text{فراورده‌ها}} - H_{\text{واکنش دهنده‌ها}}$$

به عنوان نمونه واکنش زیر را در نظر بگیرید:



این واکنش، یک واکنش سوختن است و گرما آزاد می‌کند. همان‌طور که می‌دانید به این نوع واکنش‌ها گرماده می‌گویند. ΔH برای چنین واکنش‌هایی منفی است. به عبارت دیگر، آنتالپی فراورده‌ها (پایانی H) از آنتالپی واکنش دهنده‌ها (آغازی H) کمتر است، شکل ۶.



شکل ۶ نمودار تغییر آنتالپی در واکنش سوختن کامل متان

از سوختن یک مول گاز متان، ۸ کیلو ژول گرما آزاد می‌شود. چون گرما آزاد شده است، پس علامت ΔH برای این واکنش منفی است؛ $\Delta H = -8 \text{ kJ.mol}^{-1}$ واکنش در یک واکنش گرماده، گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌یابد.

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

آزمایش کنید

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

وسایل موردنیاز: دماسنچ، یک بشر mL ۱۰۰، میله همزن، قاشقک، ترازو، شیشه

ساعت، گیره و پایه، مقداری نخ

مواد موردنیاز: کلسیم کلرید بی آب، آب مقطر

روش کار

۱- ۵۰ mL آب مقطر در یک بشر mL ۱۰۰ 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 دماسنچ را به گیره متصل شده به پایه آویزان کنید و سپس بشر دارای آب را زیر آن قرار دهید. دماسنچ طوری در آب قرار گیرد که مخزن آن به طور کامل درون آب مقطر باشد. در ضمن دماسنچ نباید هیچ تماسی با بدن بشر داشته باشد.

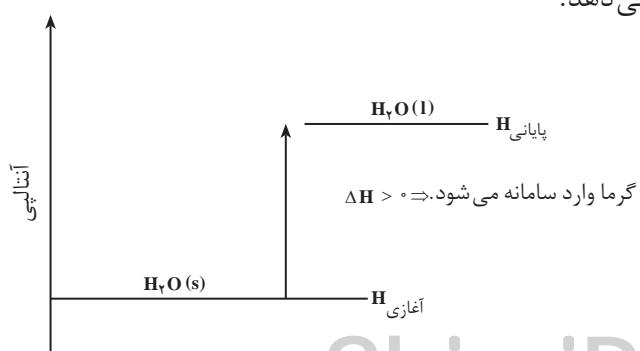
۴- همه کلسیم کلرید را به کمک قاشقک و به آرامی در آب درون بشر بریزید و سپس با کمک همزن شیشه ای آن را به هم بزنید.

۵- مشاهده های 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 خطایجاد کنند؟ چه پیشنهادهایی برای رفع آنها دارید؟

ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب از جمله فرایندهای گرمائی است؛ یعنی برای ذوب کردن یخ به گرمای نیاز است. به عبارت دیگر، برای ذوب کردن یخ باید محیط به سامانه گرمای بدهد. در چنین فرایندهایی، آنتالپی فراوردها ($\Delta H_{\text{پایانی}}$) از آنتالپی واکنش دهنده ها ($\Delta H_{\text{آغازی}}$) بزرگتر است و بنابراین علامت $\Delta H > 0$ 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 گرمائی

برای ذوب کردن یک مول بخ 60°C کیلوژول گرما لازم است. چون این فرایند گرماگیر است پس علامت ΔH باید مثبت باشد:

$$\Delta H_{ذوب} = +60^\circ \text{ kJ.mol}^{-1}$$

در یک فرایند گرماگیر، گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌یابد.

$\Delta H > 0$: در واکنش‌های گرماگیر $H_{پایانی} > H_{آغازی}$

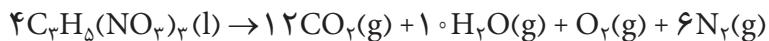
آزمایش کنید

حل شدن آمونیوم نیترات در آب گرماگیر است. آب 20°C را در یک لوله آزمایش بریزید و $1/5\text{ g}$ آمونیوم نیترات خشک را در آن حل کنید. با اندازه‌گیری دمای آب مشاهده‌های خود را یادداشت کنید و نتایج آزمایش را در کلاس ارائه دهید.

فکر کنید

آلفرد نوبل، دانشمند سوئدی (۱۸۹۱-۱۸۲۳) از ترکیب کردن خاک دیاتومه و نیتروگلیسرین، ماده‌منفجره‌ای به نام دینامیت ساخت. جالب است بدانید نیتروگلیسرین افزون بر خاصیت انفجاری کاربرد دارویی نیز دارد. به طوری که پزشکان برای بیماران قلبی، فرص زیرزبانی نیتروگلیسرین تجویز می‌کنند. این ماده سبب کشادشدن رگ‌ها می‌شود.

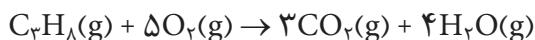
نیتروگلیسرین از جمله مواد منفجره بسیار حساسی است که در اثر اندکی گرما یا وارد شدن ضربه طی واکنشی گرماده تجزیه می‌شود. در این واکنش به ازای هر مول نیتروگلیسرین $5/72 \times 10^3 \text{ kJ.mol}^{-1}$ گرما آزاد می‌شود. تغییر آنتالپی این واکنش چقدر است؟ آیا در اثر انجام شدن این واکنش در فشار ثابت کاری انجام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



حال استاندارد

تغییر آنتالپی (ΔH) برای یک واکنش، مقدار گرمایی است که در تبدیل واکنش دهنده‌ها به فراورده‌ها در فشار ثابت مبادله می‌شود.

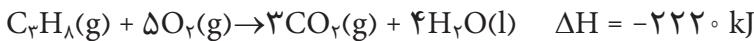
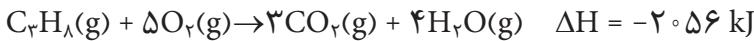
به عنوان نمونه، در واکنش سوختن کامل پروپان، یک مول گاز پروپان با ۵ مول گاز اکسیژن ترکیب می‌شود و ۳ مول گاز CO_2 و ۴ مول بخار آب تولید می‌شود. در این واکنش 20.56 kJ گرما هم آزاد می‌شود. باید توجه داشته باشید که مقدار گرمایی آزاد شده در یک واکنش شیمیایی به مقدار واکنش دهنده‌ها هم بستگی دارد؛ بنابراین واکنش $5/5$ مول گاز پروپان با $2/5$ مول گاز O_2 مقدار $20.56 \text{ kJ.mol}^{-1} = 1.28 \text{ kJ}$ گرما آزاد می‌کند.



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

آنالپی یک واکنش، کمیتی مقداری است.

در صورتی که در واکنش سوختن کامل پروپان، بخار آب تولید شود، آنتالپی واکنش -20.56 kJ است. ولی اگر آب به حالت مایع تولید شود، تغییر آنتالپی واکنش برابر با -222.0 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 مادهٔ خالص در فشار یک اتمسفر و دمایی مشخص (معمولًاً دمای اتاق، 25°C) تعریف می‌شود. برای نمونه حالت استاندارد نیتروژن، اکسیژن و کربن مختلف یک عنصر پایدارترین آنها ملاک اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

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.

حالات استاندارد ترمودینامیکی برای یک ماده در حالت محلول، غلظت‌امول بر لیتر ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) در نظر گرفته می‌شود.

بخی 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 معادلهٔ تشکیل متان توجه کنید:



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

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.

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:

$$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} = (\text{گرافیت، s})_{\text{کربن}} - (\text{الماس، s})_{\text{کربن}}$$

$$\Delta H^\circ = [(\text{الماس، s})_{\text{کربن}}]_{\text{تشکیل}} - [(\text{الماس، s})_{\text{کربن}}]$$

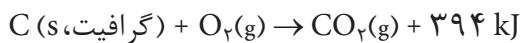
جدول ۲ جدول آنتالپی استاندارد تشکیل برخی مواد در 25°C

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

فکر کنید

چرا آنتالپی استاندارد تشکیل بسیاری از مواد منفی است؟

۲- آنتالپی استاندارد سوختن (سوختن ΔH°): هنگامی که یک مول از ماده‌ای در مقدار کافی گاز اکسیژن خالص بسوزد، گرمای واکنش یاد شده آنتالپی استاندارد سوختن آن ماده نامیده می‌شود. وقتی یک مول کربن یعنی 121° گرم کربن به طور کامل در اکسیژن بسوزد، گاز کربن دی اکسید به همراه 394 kJ گرما تولید می‌شود.



پس می‌توان نوشت:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{سوختن}}[\text{C(s) + O}_2\text{(g)}] = -394 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

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

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

ΔH° سوختن	فرمول مولکولی	ΔH° سوختن	فرمول مولکولی
-۱۲۹۹	$\text{C}_2\text{H}_4(g)$	-۸۹°	$\text{CH}_4(g)$
-۷۱۵	$\text{CH}_3\text{OH(l)}$	-۱۵۶°	$\text{C}_2\text{H}_6(g)$
-۱۳۶۸	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH(l)}$	-۱۴۰۹	$\text{C}_2\text{H}_4(g)$

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 داغ‌تر باشد؟ چرا؟ پاسخ خود را با نوشتمن معادله موازن شده سوختن هر یک از آنها توضیح دهید.

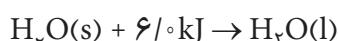
۳- آنتالپی استاندارد تبخیر (تبخیر[°]ΔH[°]): هنگامی که یک مول از ماده‌ای در دمای جوش خود تبخیر شود، تغییر آنتالپی مربوط به این فرایند، آنتالپی استاندارد تبخیر آن ماده گفته می‌شود. به عنوان نمونه در فشار استاندارد برای تبخیر یک مول آب ۴۱/۱ کیلوژول گرمای نیاز است.



بنابراین:

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

۴- آنتالپی استاندارد ذوب (ذوب[°]ΔH[°]): 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 درجه سلسیوس و تبدیل آن به آب صفر درجه سلسیوس، ۶۰ کیلوژول لازم است.

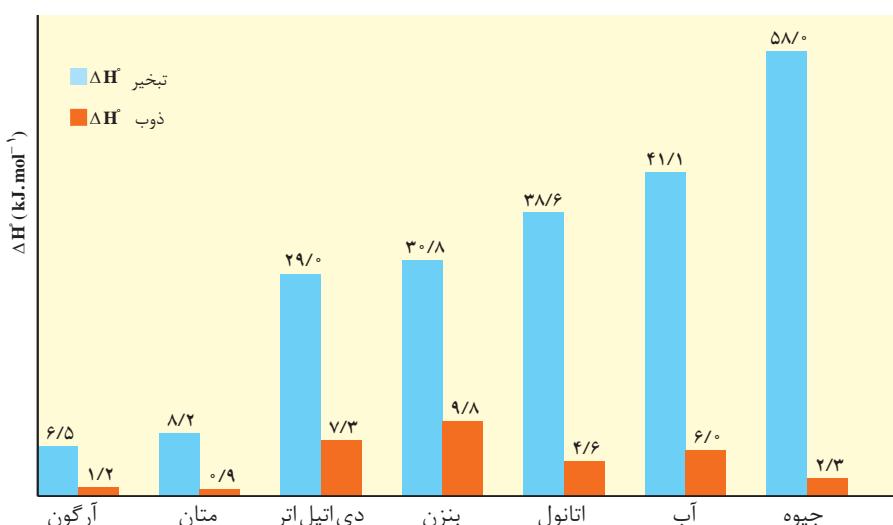


به عبارت دیگر:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{ذوب}} [\text{H}_2\text{O(s)}] = 60 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

فکر کنید

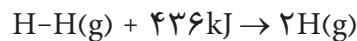
نمودار زیر آنتالپی استاندارد تبخیر و آنتالپی استاندارد ذوب چند ماده را در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد. به نظر شما چرا در این مواد آنتالپی استاندارد تبخیر از آنتالپی استاندارد ذوب بیشتر است؟ آیا این نتیجه گیری به همه مواد قابل تعمیم است؟



۵- آنتالپی استاندارد تصعید (تصعید $^{\circ}\Delta H$): هنگامی که یک مول از ماده‌ای تصعید شود، تغییر آنتالپی این فرایند را آنتالپی استاندارد تصعید آن ماده می‌نامند. یخ خشک (کربن دی اکسید جامد) در فشارهای معمولی به طور 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 $H_2(g)$ و تبدیل آن به دو مول اتم هیدروژن گازی، 436 kJ انرژی لازم است.



به 1 mol^{-1} انرژی گستین پیوند یا آنتالپی پیوند $H-H$ گفته می‌شود. این

کمیت را به صورت زیر نشان می‌دهند:

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

مولکول متان (CH_4) را در نظر بگیرید، آیا انرژی لازم برای شکستن همهٔ پیوندهای $C-H$ در این ترکیب یکسان است؟ بی‌تردید خیر (چرا؟)، از این‌رو واژهٔ میانگین آنتالپی پیوند برای پیوندهایی همچون $C-H$ مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

در جدول ۴ میانگین آنتالپی پیوند برخی از پیوندهای کووالانسی داده شده

است.

جدول ۴ میانگین آنتالپی پیوند برخی از پیوندهای کووالانسی بر حسب kJ.mol^{-1}

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

تعیین گرمای واکنش‌های شیمیایی

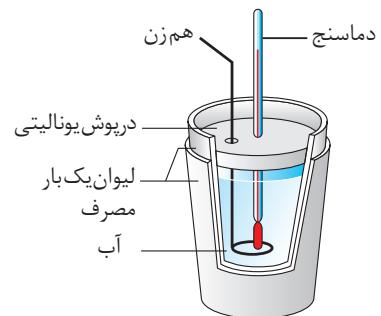
تاکنون با واکنش‌های شیمیایی بسیاری آشنا شده‌اید؛ واکنش‌هایی که گرماده یا گرمگیرند. شاید این پرسش در ذهن شما مطرح شده باشد که گرمای یک واکنش چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟ گرمای یک واکنش را می‌توان به روش مستقیم یا غیرمستقیم تعیین کرد.

گرماسنجی، روش مستقیم اندازه‌گیری گرمای یک واکنش

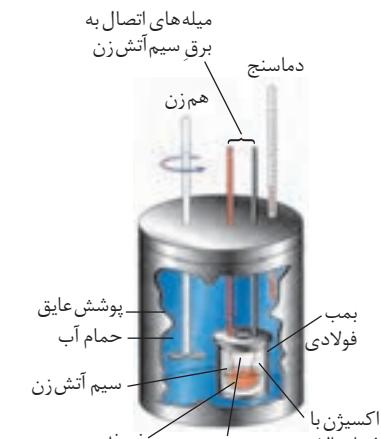
در روش مستقیم باید مقداری از واکنش‌دهنده‌ها را در شرایط مناسب برهم اثر داد و گرمای واکنش را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد. برای این منظور دستگاهی به نام گرماسنج به کار می‌رود. گرماسنج دستگاهی است که برای اندازه‌گیری گرمای گرمای مبادله شده در یک واکنش شیمیایی به کار می‌رود. شما می‌توانید با استفاده از 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 دماسنجد و یک همزن نیز قرار دارد. پیش از انجام واکنش، دمای اولیه آب یا محلول اندازه‌گیری می‌شود. بعد از اضافه کردن ماده 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، محفظه انجام واکنش (بمب فولادی) درون یک حمام آب قرار دارد. آب درون این حمام به منظور همگون شدن دما به طور 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 پیوسته دمای آب درون حمام و با استفاده از ظرفیت گرمایی اجزای سازنده گرماسنج (شامل حمام آب، میله همزن، بدنه، دماسنجد، محفظه 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 دربوشی 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 اندازه‌گیری است؟ ΔE (تغییر انرژی درونی) یا ΔH (تغییر آنتالپی واکنش). برای یک گرماسنج لیوانی چطور؟

روش‌های غیرمستقیم تعیین گرمای واکنش‌های شیمیایی

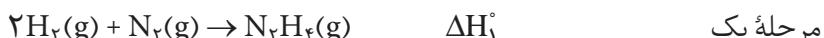
گرمای بسیاری از واکنش‌های شیمیایی را نمی‌توان به طور مستقیم تعیین کرد، چون بسیاری از واکنش‌ها در شرایط بسیار سختی انجام می‌شوند. گاهی یک واکنش ممکن است بخشی از یک فرایند زیست‌شناختی پیچیده باشد و نتوان آن را به صورت یک واکنش جداگانه در آزمایشگاه انجام داد. گرمای چنین واکنش‌هایی از روش‌های غیرمستقیم تعیین می‌شود.

در بخش‌های 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 همهٔ مسیرها یکسان می‌باشد.

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 نمی‌شود بلکه واکنش طی چند مرحله روی می‌دهد. در این واکنش ابتدا هیدرازین (N_2H_4) تولید می‌شود و سپس آمونیاک به وجود می‌آید.



تغییر آنتالپی تبدیل هیدرازین به آمونیاک قابل اندازه‌گیری است و برای آن $\Delta H^\circ = -183 \text{ kJ}$ به دست آمده است. ولی اگر بخواهیم ΔH° را اندازه‌گیری کنیم با مشکل روبرو خواهیم شد. بنابراین به روش غیرمستقیم می‌توان گرمای واکنش تولید هیدرازین را محاسبه کرد. برای این منظور می‌توان از **قانون هس** استفاده کرد. این قانون به صورت زیر بیان می‌شود:

«اگر معادلهٔ یک واکنش را بتوان از جمع معادله‌های دو یا چند واکنش دیگر به دست آورد، ΔH° واکنش یادشده را می‌توان از جمع جبری مقادیر ΔH° همهٔ واکنش‌های تشکیل دهندهٔ آن، به دست آورد.»

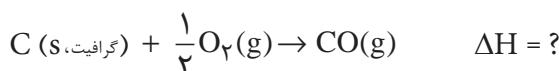
بنابراین مقدار ΔH° به صورت زیر به دست می‌آید:

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

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



می‌دانید که مقادیر آنتالپی استاندارد تشکیل برای تشکیل یک مول از مادهٔ مورد نظر است، بنابراین با تقسیم دو طرف معادله بر عدد ۲ به معادله‌ای دست می‌یابیم که طی آن یک مول کربن مونوکسید تولید می‌شود. نوشتن ضرایب کسری در معادله‌های موازن شده، اگرچه رایج نیست ولی در این مبحث محاسبه‌های عددی را ساده‌تر می‌کند، بنابراین:

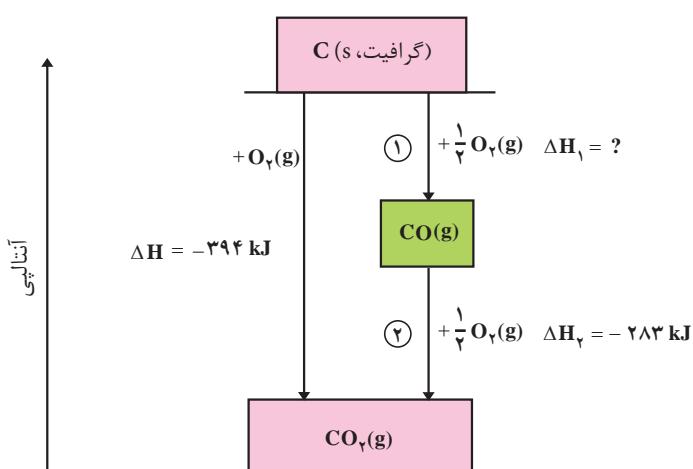


این واکنش را نمی‌توان به روش تجربی انجام داد. (چرا؟) ولی می‌توان تغییر آنتالپی تبدیل کربن به CO₂(g) و همچنین تغییر آنتالپی تبدیل CO(g) به CO₂ را به راحتی به دست آورد.

آنالپی این دو فرایند به شرح زیر است:

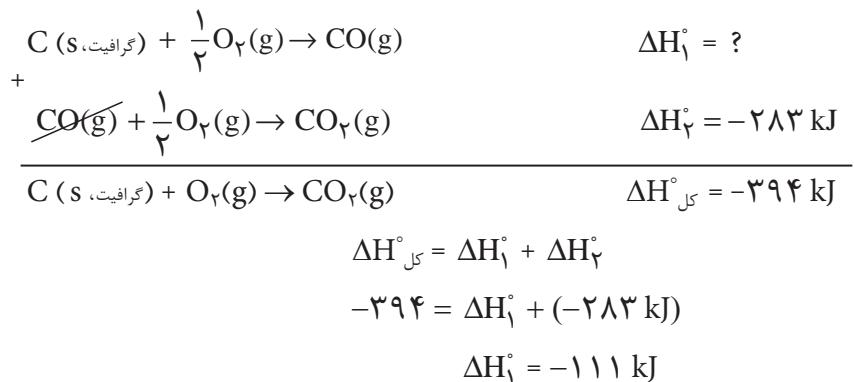


شکل ۱۰ را با دقت نگاه کنید. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، CO₂(g) می‌تواند در دو مرحله تشکیل شود. مرحلهٔ نخست تشکیل CO(g) است. برای این مرحله مقدار تجربی ΔH معلوم نیست. مرحلهٔ دوم تبدیل CO(g) به CO₂(g) است که ΔH این مرحله به طور مستقیم اندازه‌گیری شده است. چون واکنش کلی (تبدیل C به CO₂) از جمع



شکل ۱۰ مراحل تشکیل CO₂ 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.

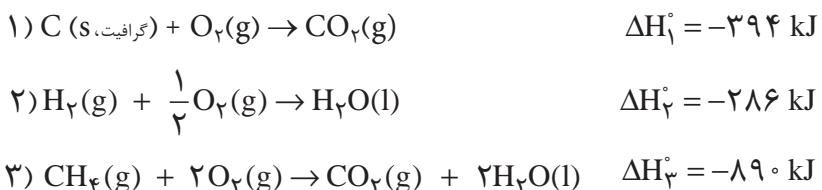


نمونه حل شده

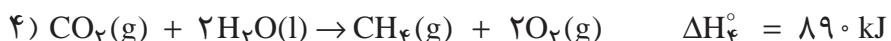
آنالپی استاندارد تشکیل متان، $CH_4(g)$ ، را از کربن جامد (گرافیت) و گاز هیدروژن محاسبه کنید.



برای محاسبه ΔH° این واکنش می‌توانید از واکنش‌های زیر استفاده کنید.



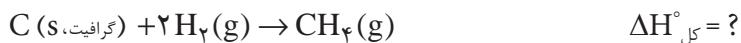
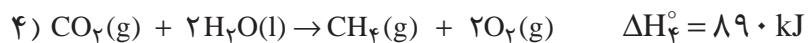
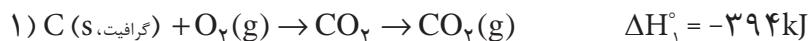
پاسخ: اگر به این واکنش‌ها دقต کنید، متوجه می‌شوید که نمی‌توان واکنش‌های ۱، ۲ و ۳ را باهم جمع کرد و معادله مربوط به تشکیل متان را به دست آورد. براساس معادله موردنظر، متان $CH_4(g)$ باید فراورده واکنش باشد، در حالی که در معادله ۳ متان یک واکنش دهنده است. پس باید معادله ۳ را وارونه کرد. وقتی که معادله واکنشی را وارونه می‌کنید، علامت ΔH° آن واکنش هم تغییر می‌کند (چرا؟). بنابراین واکنش ۳ را وارونه می‌کنیم.



به معادله ۴ دقیق است. می‌بینید که برای انجام این واکنش ۲ مول آب نیاز است، در حالی که واکنش ۲ فقط برای تولید ۱ مول آب نوشته شده است. برای این منظور ضرایب استوکیومتری واکنش ۲ را در دو ضرب می‌کنیم؛ بنابراین، ΔH_2° هم در دو ضرب می‌شود. (چرا؟)



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



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

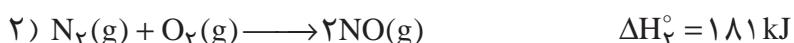
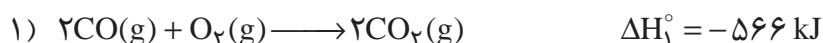
خود را بیازمایید

۱- NO و CO دو گاز آلوده کننده هوا هستند که از اگروز خودروها خارج می‌شوند.

یک شیمی‌دان محیط‌زیست از طریق واکنش زیر راه‌های تبدیل این گازها را به گازهای کم ضررتر بررسی کرده است.

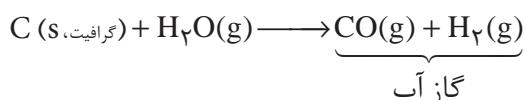


با استفاده از اطلاعات داده شده برای واکنش‌های زیر، ΔH° واکنش یاد شده را محاسبه کنید.

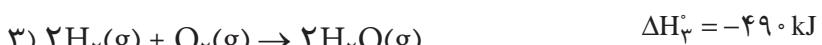


۲- گاز آب نامی است که برای مخلوطی از H_2 و CO به کار برده می‌شود. این مخلوط

با عبور دادن بخار آب از روی زغال چوب در دمای 1000°C به دست می‌آید:



معمولًاً 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.

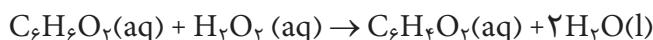


۳- سوسک بمباکن برای دفاع از خود، مخلوطی از چند ماده را به سمت دشمن

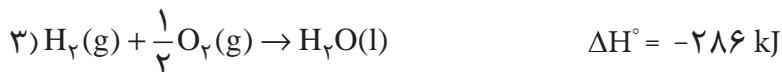
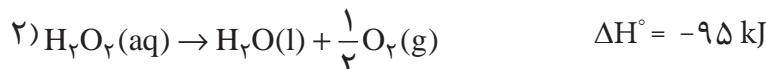
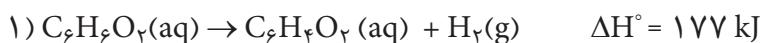
پرتاب می‌کند، شکل ۱۱؛ به طوری که این مواد به سرعت، طبق معادله زیر با هم واکنش می‌دهند و گرمای زیادی آزاد می‌کنند.



شکل ۱۱ سوسک بمب افکن



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



آنالیپی‌های استاندارد تشکیل و محاسبه گرمای واکنش

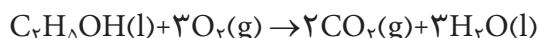
با استفاده از آنالیپی استاندارد تشکیل مواد شرکت کننده در یک واکنش می‌توان گرمای آن واکنش را محاسبه کرد. گرمای یک واکنش شیمیایی در دما و فشار ثابت برابر با تفاضل مجموع آنالیپی استاندارد تشکیل فراورده‌ها و آنالیپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده‌ها است؛ یعنی:

$$\left[\begin{array}{l} \text{مجموع آنالیپی استاندارد} \\ \text{تشکیل واکنش دهنده‌ها} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{مجموع آنالیپی استاندارد} \\ \text{تشکیل فراورده‌ها} \end{array} \right] = \text{گرمای واکنش}$$

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

نمونه حل شده

واکنش سوختن کامل اتانول را در نظر بگیرید:



آنالیپی استاندارد تشکیل واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها به صورت زیر است:

ΔH° (kJ.mol ⁻¹) تشکیل	ماده
-278	$C_2H_5OH(l)$
-394	$CO_2(g)$
-286	$H_2O(l)$

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

پاسخ:

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

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

خود را بیازمایید

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



$\Delta H^\circ_{\text{تشکیل}} (\text{kJ.mol}^{-1})$	ماده
-111	$\text{CO}(g)$
-239	$\text{CH}_\ell\text{OH}(l)$
-120	$\text{CaCO}_\ell(s)$
-635	$\text{CaO}(s)$
-394	$\text{CO}_\ell(g)$
125	$\text{Fe}(l)$
-822	$\text{Fe}_\ell\text{O}_\ell(s)$
-1670	$\text{Al}_\ell\text{O}_\ell(s)$

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 بخ 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 زیست شیمیایی بسیار سریع رخ می‌دهد. برخی از فرایندهای خودبه‌خود کنتر 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 آهنه در مجاورت



سوختن سوخت



زنگ زدن آهن



ریزش آب آبشارها

شکل ۱۲ برخی از تغییرهای خودبه خودی

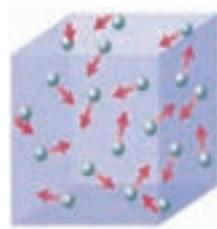
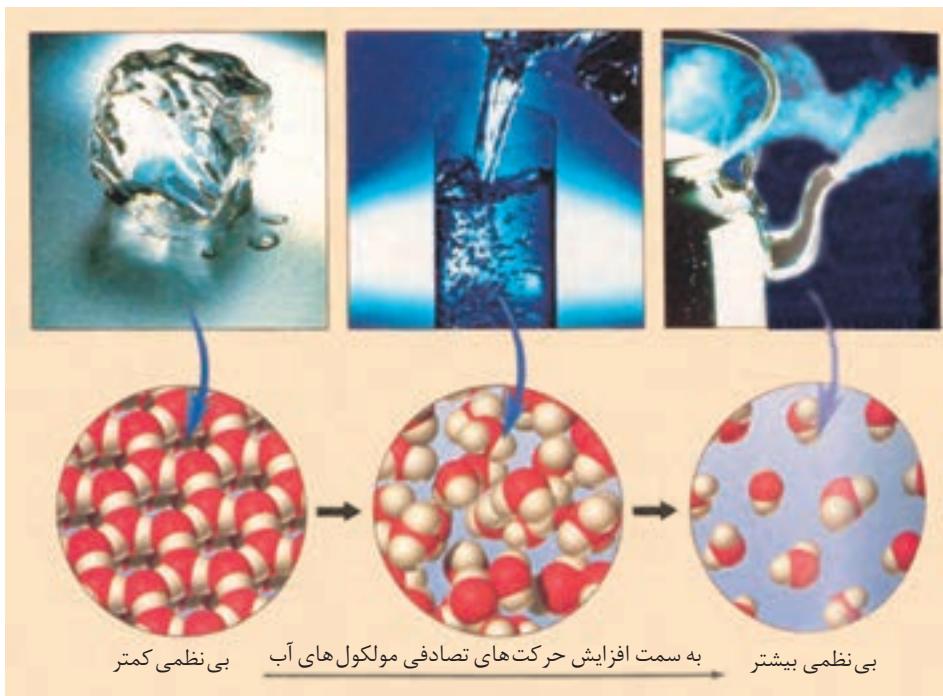
هوا و رطوبت به آهستگی زنگ می‌زنند و سوخت‌ها می‌سوزند. هر یک از این رویدادها با کاهش انرژی سامانه همراه است. هنگامی که آب از آبشار به پایین می‌ریزد، انرژی پتانسیل آن کاهش می‌یابد. وقتی که مخلوط گاز متان و اکسیژن می‌سوزد، یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و انرژی سامانه کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی به صورت گرما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

«اگر در فرایندی انرژی سامانه کاهش یابد، آن فرایند می‌تواند خودبه خود باشد.»

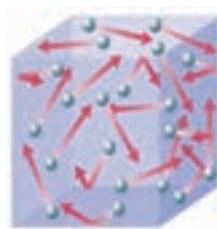
به فرایندی که در آن انرژی سامانه کاهش می‌یابد، گرماده گفته می‌شود؛ بنابراین، می‌توان گفت که فرایندهای گرماده اغلب تمایل دارند که به صورت خودبه خودی انجام شوند. اغلب واکنش‌های شیمیایی که در آنها محتوى انرژی فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها پایین‌تر است، خودبه خودی‌اند. چون بیشتر واکنش‌ها در فشار ثابت انجام می‌شوند، می‌توان گفت:

اغلب واکنش‌هایی که $\Delta H < 0$ می‌باشند، خودبه خود انجام می‌شوند.

آیا هر فرایند گرماده، خودبه خودی و هر فرایند گرمایگر، غیر خودبه خودی است؟ اگر در واکنشی، محتوى انرژی فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها بالاتر باشد، آیا احتمال دارد که این واکنش خودبه خود باشد؟ باید توجه داشت که انرژی سامانه فقط یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ 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.



دماهای پایین‌تر
(بی‌نظمی کمتر)

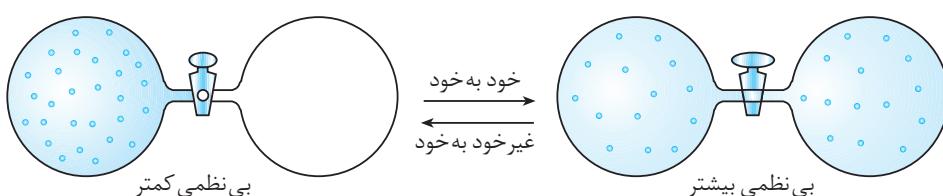


دماهای بالاتر
(بی‌نظمی بیشتر)

ذررهای سازنده یک ماده در دمای بالا دارای انرژی جنبشی بیشتر و بی‌نظمی زیادتری هستند.

شکل ۱۳ ذوب شدن یخ و تبدیل آب به بخار آب. در اینجا میزان بی‌نظمی چه رابطه‌ای با دما دارد؟

دو حباب جدا از هم تشکیل شده، که میان آنها یک شیر تعییه شده است. در حباب سمت چپ، گاز نئون با فشار یک اتمسفر وجود دارد. هنگامی که شیر باز شود، گاز خود به خود در حباب دوم وارد شده، در کل سامانه پخش می‌شود و فشار گاز در مجموع کاهش می‌یابد. علت پخش شدن اتم‌های 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 راه‌هایی که اتم‌های گاز می‌توانند در این فضای جدید پخش شوند، افزایش می‌یابد و بی‌نظمی بیشتری پیدا می‌کنند. از این‌رو، اتم‌های گاز ترجیح می‌دهند که همه حجم سامانه را اشغال کنند.

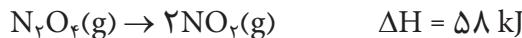


آنتروپی یک سامانه منزوی طی یک فرایند خود به خودی، افزایش می‌یابد.

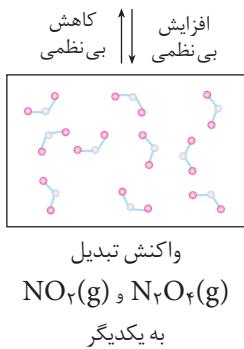
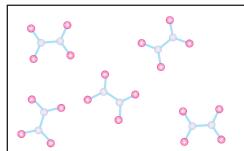
شکل ۱۴ دو حباب متصل به هم که یکی از حباب‌های آن با گاز نئون پر شده است؛
وضعیت دو حباب پیش و پس از بازشدن شیر

گرچه اغلب واکنش‌های گرماده خود به خود هستند ولی واکنش‌های گرمائی‌تر زیادی وجود دارند که خود به خود انجام می‌شوند. برای مثال، تجزیه $\text{NO}_2(g)$ به $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ یک

واکنش گرمایی است ولی خود به خود انجام می‌شود.



فکر کنید



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

بسیاری از واکنش‌های شیمیایی مانند سوختن کاغذ در شرایط معین در یک جهت خاص خود به خود انجام می‌شوند، در حالی که در جهت عکس به طور خود به خود پیشرفتی نمی‌کنند.

علت پیشرفت خود به خودی واکنش تجزیه N₂O₄(g) افزایش بی نظمی است. این افزایش بی نظمی را توجیه کنید.

حل شدن آمونیوم نیترات (NH₄NO₃) در آب را در نظر بگیرید. می‌دانید که آمونیوم نیترات یک جامد یونی است. یون‌های آمونیوم (NH₄⁺) و نیترات (NO₃⁻) در بلورهای آمونیوم نیترات به طور منظم آرایش یافته‌اند. وقتی که آمونیوم نیترات در آب حل می‌شود، نظم یون‌ها در بلور آن از بین می‌رود. این یون‌ها در بین مولکول‌های آب پخش می‌شوند. یعنی بعد از حل شدن آمونیوم نیترات در آب، بی نظمی سامانه افزایش می‌یابد. به طور کلی در واکنش‌ها یا تغییرهای گرمایی که خود به خود انجام می‌شوند، با انجام واکنش یا تغییر، بی نظمی افزایش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان افزایش بی نظمی را به عنوان عامل دیگری برای خود به خود انجام شدن این گونه تغییرهای فیزیکی و شیمیایی در نظر گرفت. آنتروپی کمیتی ترمودینامیکی است که میزان این بی نظمی را بیان می‌کند. آنتروپی را می‌توان معیاری از بی نظمی یک سامانه تعریف کرد.

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

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

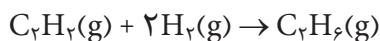
به دیگر سخن تغییر آنتروپی در یک واکنش شیمیایی به آنتروپی فراورده‌ها و واکنش‌دهنده‌ها بستگی دارد. اگر ΔS مثبت باشد؛ یعنی در آن تحول یا تغییر، سامانه نامنظم‌تر شده است (یعنی آغازی $S < \text{پایانی } S$). اگر ΔS منفی باشد، در آن صورت در آن تحول یا تغییر، سامانه منظم‌تر شده است (یعنی آغازی $S > \text{پایانی } S$). بنابراین می‌توان گفت که به طور کلی:

هر تغییر شیمیایی یا فیزیکی به طور طبیعی در جهتی پیشرفت می‌کند که به سطح انرژی پایین‌تر (ΔH کوچک‌تر) و آنتروپی بالاتر (ΔS بزرگ‌تر) برسد.

فکر کنید

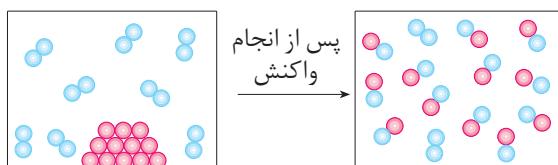
۱- مطابق معادله زیر گاز اتان را می‌توان از واکنش گاز اتین با گاز هیدروژن تهیه

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



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

است؟ توضیح دهید.



بیشتر بدانید

آنتروپی و احتمال

حالی 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.

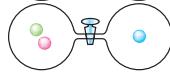
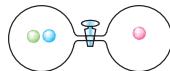
تصور کنید در یک سامانه منزوی با دما و حجم ثابت، دو اتم تمیزپذیر هلیم (ایزوتوپ 3He با نماد ● و ایزوتوپ 4He با نماد ○) وجود دارند. باز شدن شیر بین دو حباب در این ظرف، این دو اتم می‌توانند به شکل‌های گوناگونی در این دو حباب توزیع شوند. هریک از الگوهای توزیع در این سامانه، یک ریزحالت به شمار می‌رود. به جدول زیر دقت کنید.

احتمال توزیع	رااهای توزیع (ریزحالت‌ها)	شكل سامانه منزوی	توزيع (حالت)
$\frac{1}{4}$	۱		2°
$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$	۲		$1\text{ و }1^{\circ}$
$\frac{1}{4}$	۱		2°
جمع احتمال‌ها = ۱	جمع ریزحالت‌ها = ۴		

مطابق جدول هرچه شمار ریزحالت‌ها (رااهای 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 با راه‌های توزیع ذره‌ها در یک سامانه منزوی بیشتر باشد، آنتروپی سامانه بیشتر خواهد بود.

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

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

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

در این سامانه نیز حالت‌های (۰ و ۳) و (۱ و ۲) ریزحالت‌های بیشتری را دربرداشته از این‌رو احتمال توزیع و درنتیجه آنتروپی بیشتری دارند. نخستین بار لودویک بولنزمون، 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

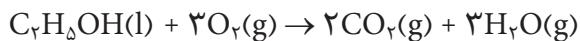
در بیشتر واکنش‌های شیمیایی هم آنتروپی و هم آنتالپی تغییر می‌کنند؛ بنابراین به هنگام اظهارنظر درباره خودبه خودی بودن یا نبودن این واکنش‌ها باید به نقش هر دو عامل (آنتالپی و آنتروپی) توجه کرد. در واقع هر دوی آنها در شرایط معین بر خودبه خود انجام شدن یک واکنش تأثیر می‌گذارند و در حقیقت رقابت بین این دو 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 خودبه خود: ΔH° و ΔS°

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

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

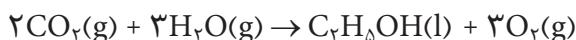
* واکنش سوختن اتانول را در نظر بگیرید:



این واکنش گرماده است و آنتروپی آن هم افزایش می‌یابد (چرا؟). پس برای این

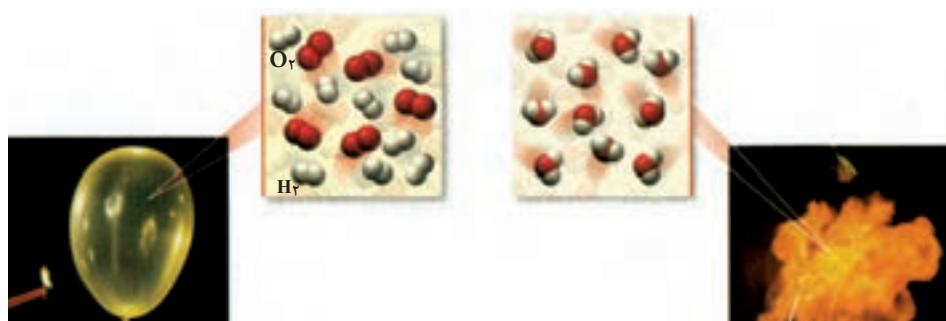
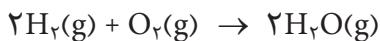
واکنش دو عامل آنتالپی و آنتروپی در یک جهت عمل می‌کنند و واکنش خودبه‌خود انجام

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.

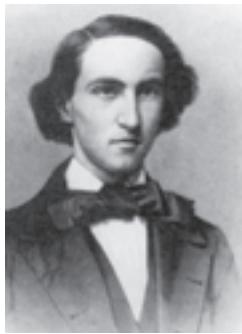
در قانون دوم ترمودینامیک آنتروپی به عنوان ملاکی برای توضیح خودبه‌خود بودن فرایندهای طبیعی معرفی می‌شود.

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

چنان‌که دیدید آنتروپی و آنتالپی، انجام یک فرایند خودبه‌خودی را کنترل می‌کنند،

در ضمن با شیوهٔ رقابت آنها نیز تا حدودی آشنا شدید. از این‌رو 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 تعريف 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 معادله زیر تعريف می‌شود:

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

تغییر	آنتالپی	دما
واکنش	آنرژی	(به کلوین)
آنرژی	آزاد گیبس	

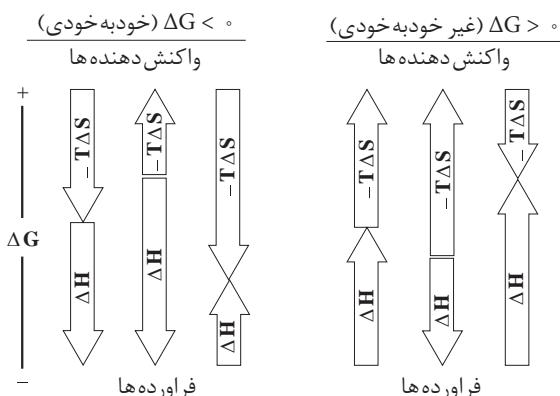
چنان‌که از این معادله برمی‌آید، ΔG به دما بستگی دارد. این که کدامیک، ΔH یا ΔS جهت واکنش را تعیین می‌کند، به مقدار و علامت آنها بستگی دارد. انرژی آزاد گیبس تابع حالت است و تغییر آن فقط به حالت آغازی و پایانی هر تغییر یا تحول بستگی دارد. با توجه به علامت ΔG می‌توان گفت که آیا یک تغییر می‌تواند خود به خود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

آ) برای یک تغییر خود به خودی، $\Delta G < 0$ است.

ب) برای یک تغییر غیر خود به خودی، $\Delta G > 0$ است.

علامت ΔG به علامت و مقدار ΔH و عبارت $T\Delta S$ - بستگی دارد. در شکل ۱۶، ΔH ، $T\Delta S$ - 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 خود به خودی یا غیر خود به خودی باشند. برای مثال، در

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



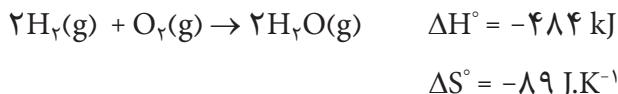
شکل ۱۶ حالت‌های مختلفی که ΔH و عبارت $T\Delta S$ - می‌توانند بر یکدیگر اثر بگذارند.

اگر برآیند دو بزرگ 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 این‌رو یک تغییر گرمگیر 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 $25^\circ C$ ، خودبه‌خود است.



پاسخ: با استفاده از رابطه گیبس، $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ و اکنش را به‌دست می‌آوریم:

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

$$\Delta G^\circ = -484 \text{ kJ} - \left[(273 + 25) \text{ K} \times (-89 \frac{\text{J}}{\text{K}}) \right] \times \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ J}} = -457 / 5 \text{ kJ}$$

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

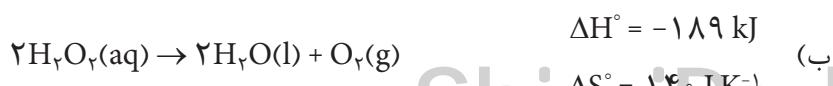
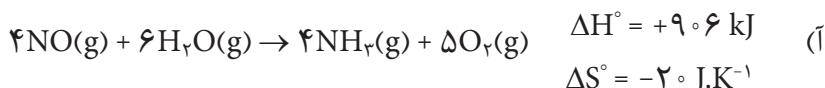
توجه کنید که در رابطه گیبس یکای دما، کلوین (K) و یکای آنتروپی واکنش ژول بر کلوین (J.K^{-1}) است.

خود را بیازمایید

۱- جدول زیر را کامل کنید.

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

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 دارد، مایع‌های پاک کننده‌ای که برای شست‌وشو استفاده می‌کنید، بنزین و گازوئیلی که به عنوان 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. محلول‌های نقش مهمی در زندگی ما دارند. در این بخش با خواص و کاربرد محلول‌ها بیشتر آشنا می‌شوید.

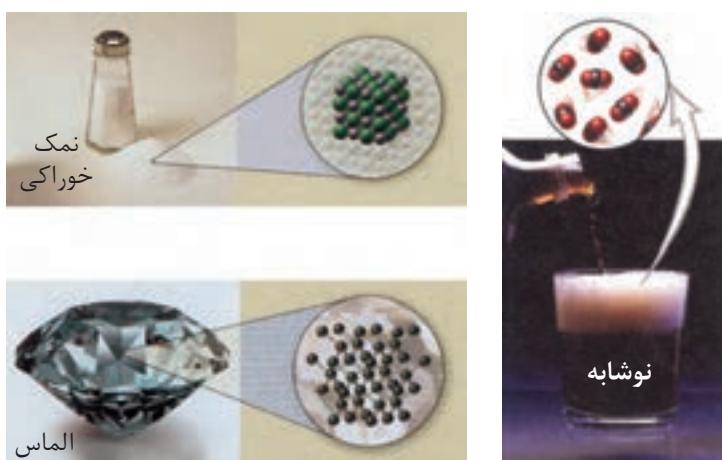
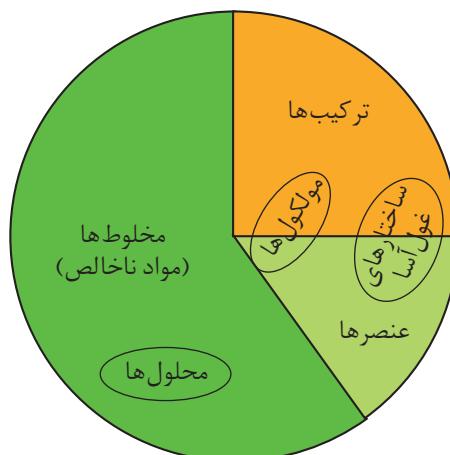
محلول‌ها نمونه‌ای از مواد ناخالص

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

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

فکر کنید

دانش آموزی، نمودار دایره‌ای زیر را برای دسته‌بندی 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 اینجا 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، ضربی شکست نور، ظرفیت گرمایی ویژه و نقطهٔ 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 واژهٔ حالت برای معرفی این ویژگی‌ها یعنی یکسان و یکنواخت بودن ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی مادهٔ تشکیل دهندهٔ این سامانه، کافی نیست. از این‌رو به جای واژهٔ حالت از واژهٔ **فاز** استفاده می‌شود. برای یک مادهٔ 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 فازی 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) محلول اتانول و آب
 - (ب) محلوط روغن با آب و مقداری نمک خواراکی
 - (پ) محلوط آب، روغن و جیوه
 - (ت) محلوط 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

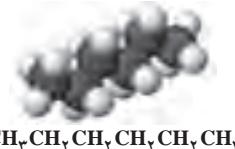
حل‌شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیشتری از محلول را تشکیل می‌دهد،

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

آب فراوان ترین و رایج‌ترین حلال شناخته شده است. این حلال، ترکیب‌های یونی و مولکولی بسیاری را در خود حل می‌کند. محلول‌هایی که حلال آنها آب است، محلول آبی نامیده می‌شوند. آب و محلول‌های آبی نقش مهمی در زندگی روزانه دارند. اغلب فرایندهای زیست شیمیایی از قبیل هضم، جذب و سوخت‌وساز مواد غذایی در محلول آبی انجام می‌شوند. در صنایع شیمیایی تعداد زیادی از واکنش‌ها در محیط آبی صورت می‌گیرد. گرچه آب مهم‌ترین حلال شناخته شده است، اما حلال‌های مهم دیگری نیز وجود دارند. هگزان، اتانول و استون سه نمونه مهم از حلال‌های آلی هستند (جدول ۱). به محلول حاصل از حلال‌های آلی، محلول غیر‌آبی می‌گویند.

جدول ۱ برخی حلال‌های آلی و کاربردهای آنها

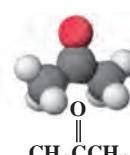
هگزان؛ آلکانی با ۶ اتم کربن است و مولکول‌هایی ناقطبی دارد. این ماده، حلال بسیار مناسبی برای تعداد زیادی از ترکیب‌های ناقطبی است. هگزان مایع بی‌رنگ و فراری است که از نفت خام به دست می‌آید و به عنوان ریقق کننده (تینر) در رنگ‌های پوششی کاربرد دارد.



اتanol؛ پس از آب، اتانول مهم‌ترین حلال صنعتی است. این مایع بی‌رنگ و فرار به هر میزان با آب مخلوط می‌شود. از اتانول برای ضدغوفونی کردن زخم‌ها و تولید مواد دارویی، آرایشی و بهداشتی نیز استفاده می‌شود.



استون؛ حلال مناسبی برای چربی‌ها، رنگ‌ها و انواع لак‌های است. این مایع بی‌رنگ و فرار به هر نسبت در آب حل می‌شود و از جمله حلال‌های پرکاربرد در آزمایشگاه‌های شیمی به شمار می‌آید.



در اثر نشت نفت خام به آب دریا، یک محلول دوفازی تشکیل می‌شود که آثار زیان‌بار زیست محیطی به دنبال دارد.

اطلاعات جمع‌آوری کنید

در زندگی روزانه و در صنعت از حلال‌های آلی دیگری نیز استفاده می‌شود. در یک فعالیت گروهی فهرستی از این حلال‌ها، خواص و کاربردهای آنها همچنین آثار زیان‌باری که بر محیط زیست و سلامت انسان می‌گذارند، تهیه کنید و نتیجه را در قالب یک روزنامه دیواری به کلاس ارائه دهید.

انحلال‌پذیری مواد در آب

در شیمی ۱ با مفهوم انحلال‌پذیری آشنا شدید. می‌دانید 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 می‌شود، انحلال‌پذیری آن ماده را در آب مشخص می‌کند. در جدول ۲ انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های شیمیایی در آب در دمای 20°C داده شده است.

جدول ۲ انحلال‌پذیری برخی ترکیب‌های شیمیایی در آب در 20°C

نام	فرمول شیمیایی	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 می‌شود.
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	به هر نسبتی در آب حل می‌شود.
شکر (ساکارز)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	۲۰۵
۱-هگزانول	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{OH}$	۰/۵۹
نقره کلرید	AgCl	کمتر از 2000°
هیدروژن کلرید	HCl	۶۳
کلسیم سولفات	CaSO_4	۰/۲۱
باریم سولفات	BaSO_4	کمتر از 3000°
پتاسیم نیترات	KNO_3	۳۴

فکر کنید

با توجه به داده‌های جدول ۲ به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

آ) انحلال‌پذیری برای کدام ترکیب‌ها از یک گرم حل شونده در 100°C آب بیشتر است؟

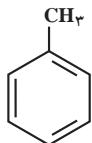
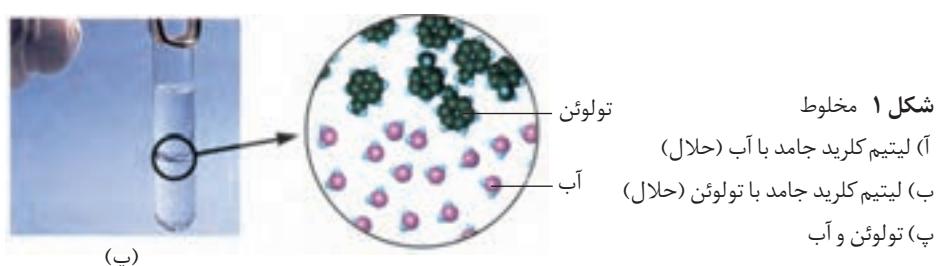
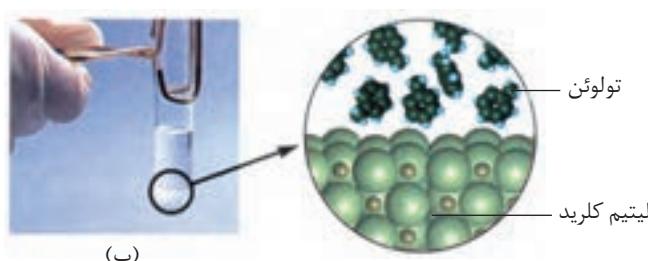
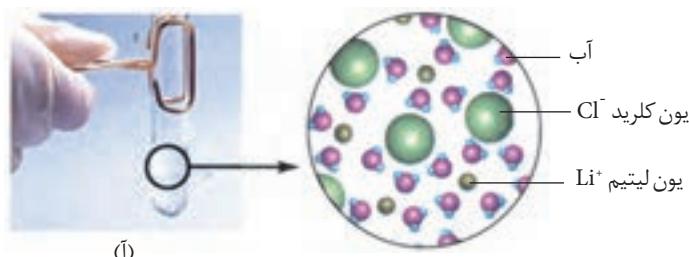
ب) انحلال‌پذیری برای کدام ترکیب‌ها از 100°C گرم حل شونده در 100°C آب کمتر است؟

پ) انحلال‌پذیری کدام ترکیب‌ها بین 10°C تا 10°C گرم حل شونده در 100°C آب است؟

ت) اگر بخواهیم هر یک از موارد آ، ب و پ را با عنوان‌های نامحلول، کم محلول و محلول دسته‌بندی کنیم، در این صورت کدام نام را به کدام مورد آ تا پ نسبت می‌دهید؟

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، اتحال پذیر و در کدام مورد، اتحال ناپذیر هستند؟



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

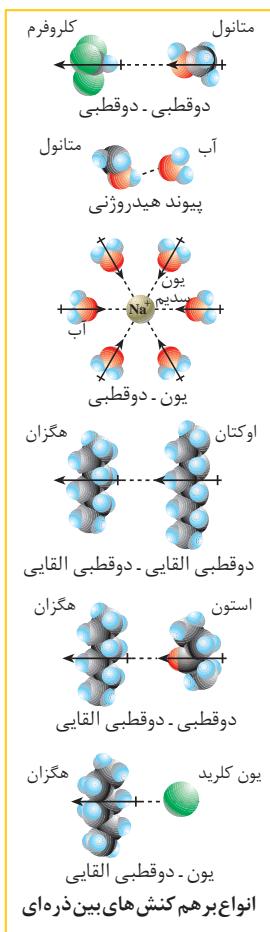
شکل ۱ مخلوط

آ) لیتیم کلرید جامد با آب (حلال)

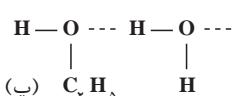
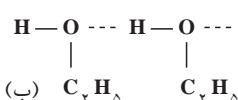
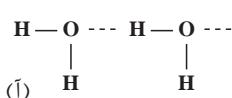
ب) لیتیم کلرید جامد با تولوئن (حلال)

پ) تولوئن و آب

بدون انجام آزمایش نیز می‌توان اتحال پذیری یک ماده در یک حلal و تشکیل محلول‌ها را پیش‌بینی کرد. براساس آگاهی از نوع و میزان نیروهای جاذبه موجود بین ذره‌های تشکیل دهنده حل شونده و حلal، پیش و پس از مجاورت با یکدیگر، پیش‌بینی اتحال پذیر بودن یا نبودن حل شونده در حلal 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 باز مثبت (atomهای H) و در سر دیگر جزئی بار منفی (atom O) دارند. هنگامی که در آب LiCl حل می‌شود، جاذبه‌ای قوی بین یون Cl^- و سر مثبت مولکول‌های آب H_2O و یون Li^+ با سر منفی مولکول‌های آب H_2O ... Li^+ ... H_2O به وجود می‌آید. این جاذبه‌یون-دوقطبی انرژی لازم را برای جدا شدن یون‌های Li^+ و Cl^- از شبکه بلور فراهم می‌کند. به طور کلی ترکیب‌های یونی تمایل دارند در حلal‌های قطبی حل شوند. البته میزان اتحال پذیری ترکیب‌های یونی



نیروی جاذبه بین مولکول آب و یک یون از نوع یون - دوقطبی است. این جاذبه بین ذرهای از جاذبه دوقطبی - دوقطبی و پیوند هیدروژنی قوی تر و از پیوند یونی (جادبه یون - یون) ضعیفتر است.



شکل ۲ پیوند هیدروژنی
 آ) بین مولکول های آب
 ب) بین مولکول های اتانول
 پ) بین مولکول های آب و
 مولکول های اتانول

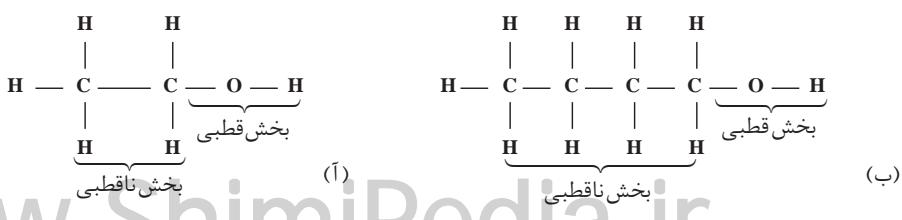
در شرایط یکسان متفاوت است و به نوع یون های سازنده و ساختار بلوری آنها بستگی دارد. به شکل ۱. ب دقت کنید. تولوئن ترکیبی آلی است و مولکول های ناقطبی دارد. بین این مولکول ها، نیروهای جاذبه و ان دروالس وجود دارد که از جمله نیروهای بین مولکولی ضعیف به شمار می رود. درحالی که LiCl ترکیب یونی است. وقتی این دو با هم مخلوط می شوند، نیروی جاذبه بین یون ها و مولکول های تولوئن به اندازه ای نیست که بتواند بر پیوندهای یونی در شبکه بلوری LiCl غلبه کند. مشاهده تجربی نیز درستی این ادعا را ثابت می کند. بنابراین می توان گفت که ترکیب های یونی در مواد ناقطبی حل نمی شوند.

فکر کنید

۱. با توجه به شکل ۱. پ آیا تولوئن در آب حل شده است؟ این مشاهده تجربی را توجیه کنید.
۲. نفتالن در تولوئن حل می شود. آیا از این مشاهده می توان نتیجه گرفت که مولکول های نفتالن ناقطبی اند؟ به عبارت دیگر آیا می توان نتیجه گرفت که «شبیه، شبیه را در خود حل می کند»؟

انحلال اتانول در آب را در نظر بگیرید. در ترکیب هایی مانند اتانول، نیروهای بین مولکولی از نوع پیوند هیدروژنی است. بین مولکول های قطبی آب نیز پیوند هیدروژنی وجود دارد. وقتی اتانول در آب حل می شود، پیوندهای هیدروژنی تازه ای بین مولکول های اتانول و مولکول های آب به وجود می آید. میزان این نیروهای جاذبه بین مولکولی به اندازه ای است که بر پیوندهای هیدروژنی بین مولکول های اتانول و پیوندهای هیدروژنی بین مولکول های آب غلبه کرده، باعث انحلال اتانول در آب می شود. شکل ۲ پیوندهای هیدروژنی بین مولکول های اتانول و آب را نشان می دهد. براساس این یافته تجربی (انحلال اتانول در آب) کدام پیوند هیدروژنی نشان داده شده در این شکل باید قوی تر باشد؟ چرا؟

توجه کنید که برخی از مولکول ها در ساختار خود یک بخش قطبی و یک بخش ناقطبی دارند. ۱- بوتانول و اتانول از این دست ترکیب ها هستند، شکل ۳. اتحلال پذیری چنین ترکیب هایی 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 الکل‌های راست زنجیر را در آب نشان می‌دهد.
با بررسی آن به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

انحلال پذیری $\left(\frac{\text{گرم حل شونده}}{100\text{ g H}_2\text{O}} \right)$	فرمول ساختاری الکل	نام الکل
به هر نسبتی در آب حل می‌شود.	CH_3OH	متanol
به هر نسبتی در آب حل می‌شود.	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	اتanol
به هر نسبتی در آب حل می‌شود.	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	۱-پروپانول
۸/۲۱	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	۱-بوتanol
۲/۷°	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OH}$	۱-پنتanol
۰/۵۹	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{OH}$	۱-هگزانول

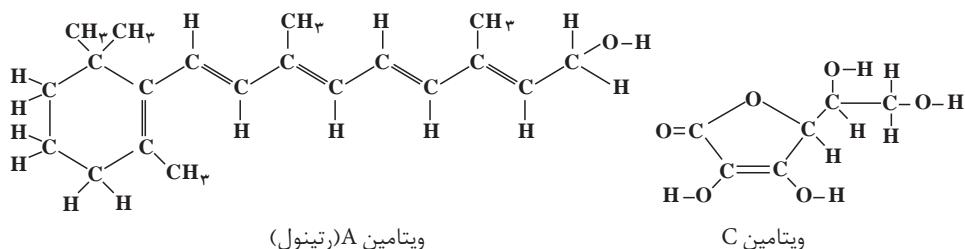
الکل‌ها و اسیدهای آلی
حداکثر با پنج کربن در آب
 محلول هستند.

آ) بخش‌های قطبی و ناقطبی را در هر یک از الکل‌ها مشخص کنید.

ب) انحلال پذیری الکل‌ها با افزایش تعداد کربن چه تغییری می‌کند؟ با دلیل توضیح دهید.

خود را بیازمایید

در شکل زیر ساختار ویتامین A (رتنینول) و ویتامین C (آسکوربیک اسید) نشان داده شده است. به این شکل‌ها با دقت نگاه کنید و سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



آ) بخش‌های قطبی هر مولکول را روی شکل نشان دهید.

ب) به نظر شما کدام یک از این ویتامین‌ها 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 نمی‌کند؟

چرا؟

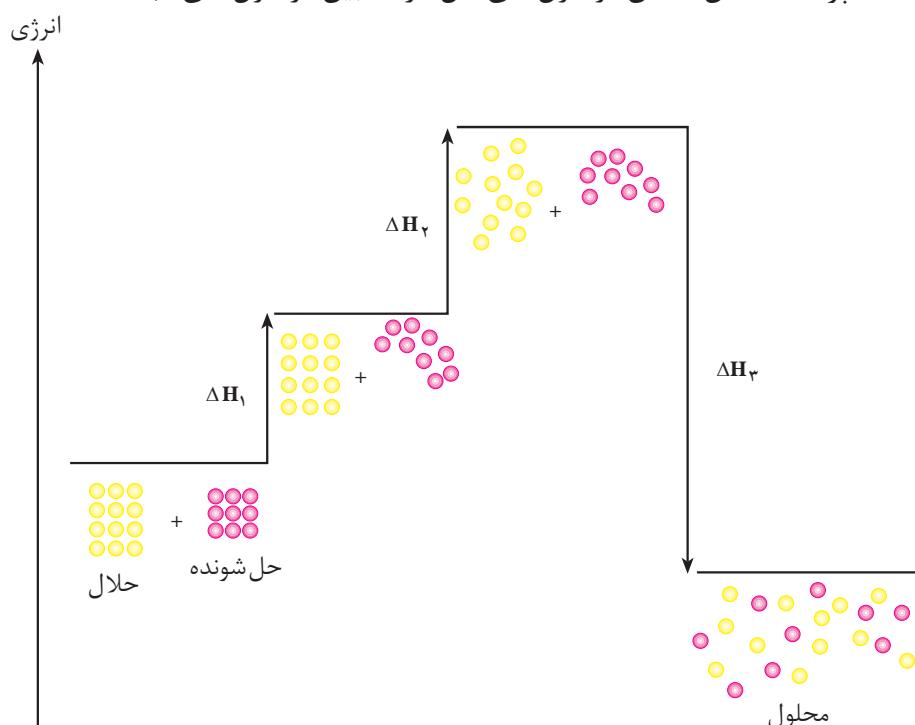
آنالپی انحلال

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

۱. جدا شدن مولکول‌های حل شونده از یکدیگر

۲. جدا شدن مولکول‌های آب از یکدیگر

۳. پراکنده شدن همگن مولکول‌های حل شونده بین مولکول‌های آب



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

فکر کنید

۱- با توجه به شکل ۴ به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

آ) هر یک از مراحل ۱، ۲ و ۳ را روی نمودار مشخص کنید و در هر مورد گرماده یا

گرمگیربودن مرحله یادشده را با بیان علت معلوم کنید.

ب) براساس قانون هس، رابطه‌ای میان ΔH_1 ، ΔH_2 و ΔH_3 با آنتالپی انحلال بنویسید.

پ) این انحلال در مجموع گرماده یا گرمگیر است؟ چرا؟

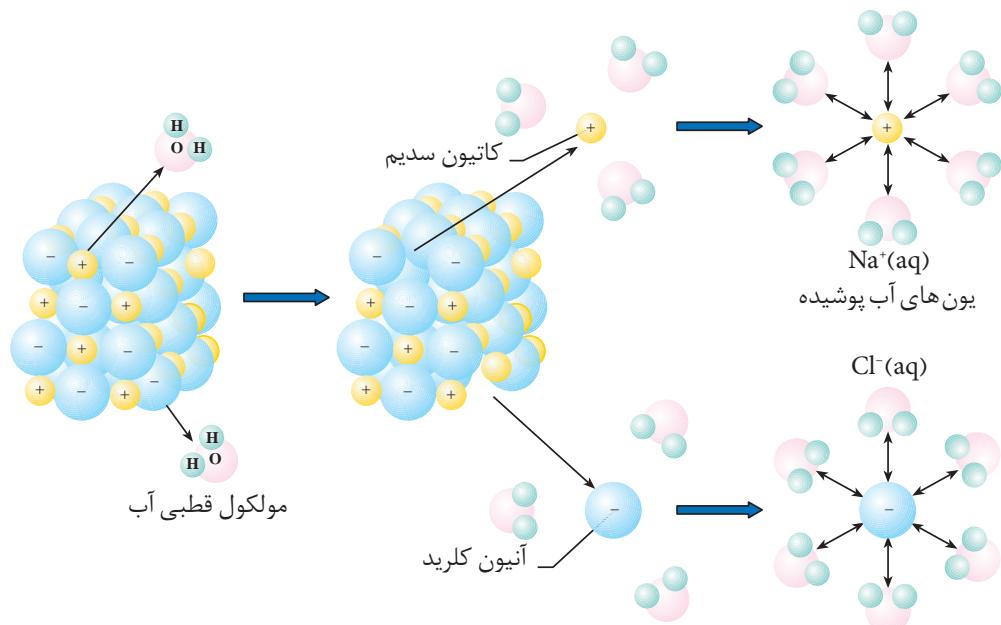
۲- تجربه نشان می‌دهد که انحلال شکر (ساکاراز) به عنوان مثالی از ترکیب‌های

مولکولی در آب، فرایندی گرمگیر است.

- آ) این مشاهده را با توجه به آنتالپی مراحل سه گانهٔ یادشده، توجیه کنید.
- ب) با توجه به گرماگیر بودن فرایند انحلال شکر در آب، چرا این فرایند به طور خود به خودی روی می‌دهد؟
- پ) انتظار دارید که در یک انحلال گرماگیر ($\Delta H_{\text{انحلال}} > 0^\circ$) افزایش دما چه تأثیری بر انحلال پذیری حل شونده در آب داشته باشد؟ چرا؟

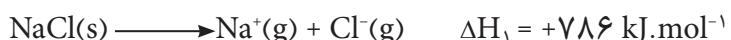
اکنون به فرایند انحلال یک ترکیب یونی مانند NaCl در آب توجه کنید، شکل ۵.

این انحلال نیز شامل سه مرحله است.



شکل ۵ انحلال سدیم کلرید در آب، به برهم‌کنش مولکول‌های آب با یون‌های سدیم و کلرید توجه کنید.

۱. فروپاشی شبکهٔ بلوری NaCl : این مرحله با صرف انرژی همراه است، بنابراین گرماگیر به شمار می‌آید.



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

۳. برقراری جاذبهٔ قوی بین یون‌ها (Cl^-, Na^+) و مولکول‌های آب: این مرحله گرماده است و طی آن انرژی زیادی آزاد می‌شود.

مجموع مراحل ۲ و ۳ را مرحلهٔ آب‌پوشی می‌نامند. در این مرحله یون‌های Na^+ و Cl^- به وسیلهٔ مولکول‌های آب احاطه می‌شوند. مرحلهٔ آب‌پوشی در مجموع گرماده است. مقدار آنتالپی انحلال NaCl در آب، جمع جبری گرمای لازم برای فروپاشی شبکهٔ بلوری NaCl و گرمای آزاد شده در اثر آب‌پوشی یون‌های Na^+ و Cl^- است.

نمونه حل شده

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

پاسخ:

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

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

$$\Delta H = +3 \text{ kJ.mol}^{-1} = \text{آنتالپی اتحال } \text{NaCl}_{\text{آب پوشی}} + \Delta H_{\text{فتح}}_{\text{فتح}}$$

آنتروپی و اتحال

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

تغییر آنتروپی بر فرایند اتحال 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 کاھند.

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 گرم‌گیر است. اگر هنگام این دو انحلال هیچ‌گونه مبادله انرژی با محیط پیرامون وجود نداشته باشد، دمای محلول آنها چه تغییری می‌کند؟ چرا؟

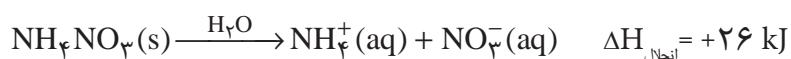
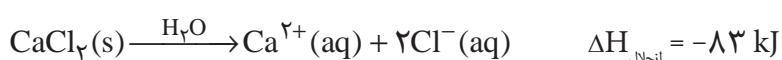


۲. شکل روبه رو محلول یُد در تولوئن را نشان می‌دهد. با اینکه در طی فرایند انحلال، دمای محلول تغییر محسوسی نمی‌کند، توضیح دهید چرا حل شدن یُد در تولوئن، خود به خود انجام می‌شود؟

بیشتر بدانید

اغلب، ورزشکاران برای درمان آسیب‌دیدگی‌های خود از بسته‌هایی استفاده می‌کنند که گرما یا سرما را سریعاً انتقال می‌دهند. این بسته‌ها که از وسایل کمک‌های اولیه به شمار می‌آیند، طرز کار این بسته‌ها بر پایه آنتالپی انحلال استوار است. این بسته‌ها از یک کیسه پلاستیکی تشکیل شده‌اند که درون آن، یک بسته کوچک آب و یک ماده شیمیابی به صورت گرد وجود دارد. ضربه زدن به کیسه پلاستیکی موجب می‌شود که بسته کوچک آب پاره شده، ماده شیمیابی در آن حل شود. اگر انحلال ماده شیمیابی در آب گرماده باشد، دمای بسته افزایش و اگر این انحلال گرم‌گیر باشد، دمای بسته کاهش می‌یابد.

ممکن‌واره در بسته‌های تولیدکننده گرما از کلسیم کلرید و در بسته‌های تولیدکننده سرما از آمونیم نیترات استفاده می‌شود. فرایند انحلالی که در هر مورد رخ می‌دهد، عبارت است از:



آزمایش‌ها نشان می‌دهد که افزودن ۴٪ کرم CaCl_2 (۰.۳۶ مول CaCl_2) به ۱۰۰ میلی‌لیتر



بسته‌های تولیدکننده سرما و گرما که در بازار به فروش می‌رسند. بسته ایجاد کننده سرما دارای آمونیوم نیترات و آب و بسته آزادکننده گرما دارای کلسیم کلرید و آب است.

آب 20°C ، دمای آب را تا 90°C افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، هرگاه 30°C کرم NH_4NO_2 (۳۸٪) را به 100°C میلی‌لیتر آب 20°C بیفزاییم، دمای آب به 0°C کاهش می‌یابد. بسته‌های تولیدکننده سرما یا گرما، در حدود 20°C دقيقه کار می‌کنند.

همچون دانشمندان

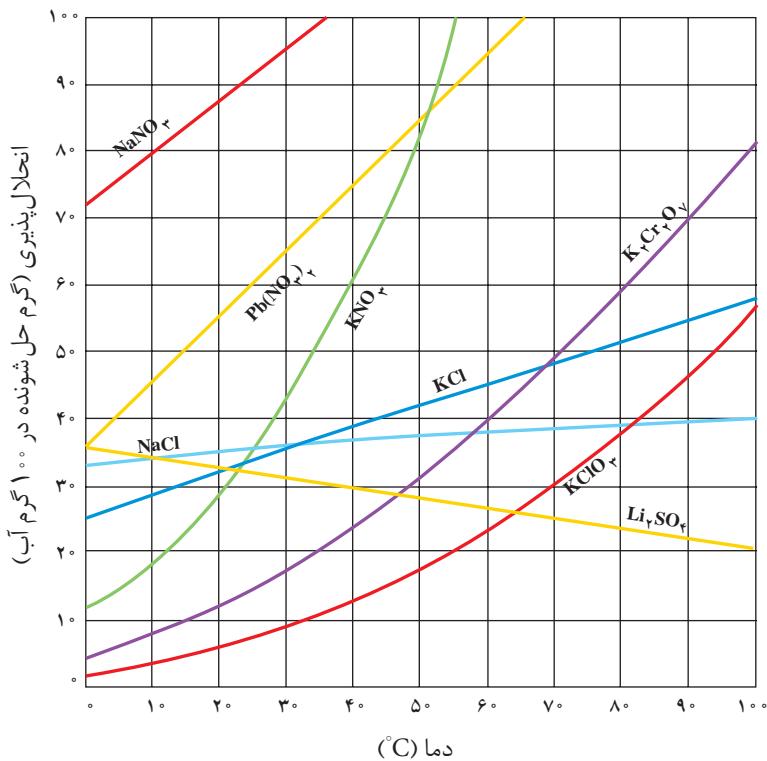
- شکل زیر نمودار انحلال‌پذیری چند ترکیب یونی را نشان می‌دهد. با دقت به این نمودار نگاه کنید و به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.
 - اگر بخواهید محلول‌های سیر شده‌ای از پتاسیم کلرید در دمای 40°C و 80°C تهیه کنید، در هر مورد چند گرم KCl را باید در 100°C گرم آب حل کنید؟
 - جدول زیر را کامل کنید. تأثیر دما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



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.

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



نمودار انحلال‌پذیری برخی از ترکیب‌های یونی در آب

پ) محلول سیر شده ای از پتاسیم کلرات ($KClO_3$) در دمای $8^\circ C$ در اختیار دارد. اگر

این محلول تا دمای C° سرد شود، چه اتفاقی می افتد؟ آیا در C° نیز محلول سیر شده است؟

۲- منحنی انحلال پذیری $AgNO_3$ را با توجه به داده های جدول رو به روی کاغذ میلی متری رسم کنید (گرم $AgNO_3$ در $100^\circ C$ آب را روی محور عمودی و دما را روی محور افقی قرار دهید).

آ) انحلال پذیری $AgNO_3$ را در $30^\circ C$ روی نمودار نشان دهید.

ب) در چه دمایی انحلال پذیری $AgNO_3$ ، 275 گرم در $100^\circ C$ آب است؟

پ) انحلال پذیری $AgNO_3$ در آب گرماده یا گرمگیر است؟ چرا؟

ت) اگر در دمای $10^\circ C$ مقدار $98/5$ گرم $AgNO_3$ به $100^\circ C$ آب افزوده شود،

محلول حاصل سیر شده یا سیر نشده است؟

دما (°C)	مقدار $AgNO_3$ (g/ $100\text{ gH}_2\text{O}$)
۰	۱۲۲
۲۰	۲۱۶
۴۰	۳۱۱
۶۰	۴۴۰
۸۰	۵۸۵

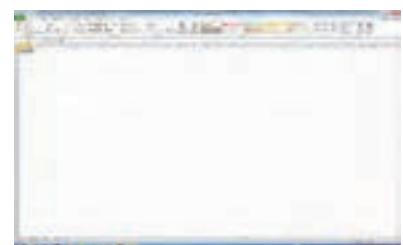
انحلال پذیری گازها در آب

می دانید که گازها در مایع ها حل شده، محلول ایجاد می کنند. در این میان، شناخت ویژگی های 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) نرم افزاری است که با استفاده از آن می توان انواع نمودار هارا رسم کرد. شما هم می توانید برای رسم نمودار انحلال پذیری مواد آن را به کار ببرید.

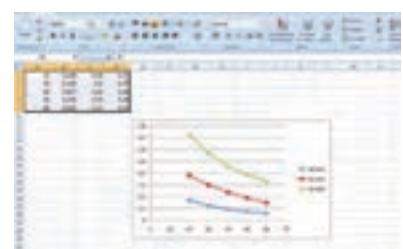
همچون دانشمندان

۱- با استفاده از داده های جدول زیر، روی یک کاغذ میلی متری نمودار انحلال پذیری (گرم حل شونده در $100^\circ C$ آب) سه گاز یاد شده را در برابر دما (°C) رسم کنید. سپس به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.



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

۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	دما (°C)	گاز
۰/۰۵۸	۰/۰۷۶	۰/۰۹۷	۰/۱۲۶	۰/۱۶۹		CO_2
۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۳۸		H_2S
۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۵۷	۰/۷۳		Cl_2



آ) انحلال پذیری هر سه گاز را در $45^\circ C$ تخمین بزنید.

ب) در چه دمایی انحلال پذیری گاز کلر، $g/50$ در $100^\circ C$ آب است؟

پ) محلولی که شامل $g/100^\circ C$ کربن دی اکسید در $100^\circ C$ آب است، در $35^\circ C$ چه

هنگامی که یک غواص در عمق آب از هوا فشرده درون کپسول تنفس می‌کند، به دلیل فشار زیاد، غلظت گاز نیتروژن به میزان قابل توجهی در خون او بالا می‌رود. در این شرایط اگر غواص سریع به سطح آب بیاید، نیتروژن حل شده در خون او آزاد می‌شود. درنتیجه، حباب‌هایی در خون او تشکیل می‌شود که مانع از رسیدن اکسیژن به مغز می‌شود. این پدیده باعث ایجاد یک عارضه دردناک و گاهی کشنده می‌شود. امروزه در غواصی از کپسول محتوی اکسیژن و هلیم استفاده می‌شود.

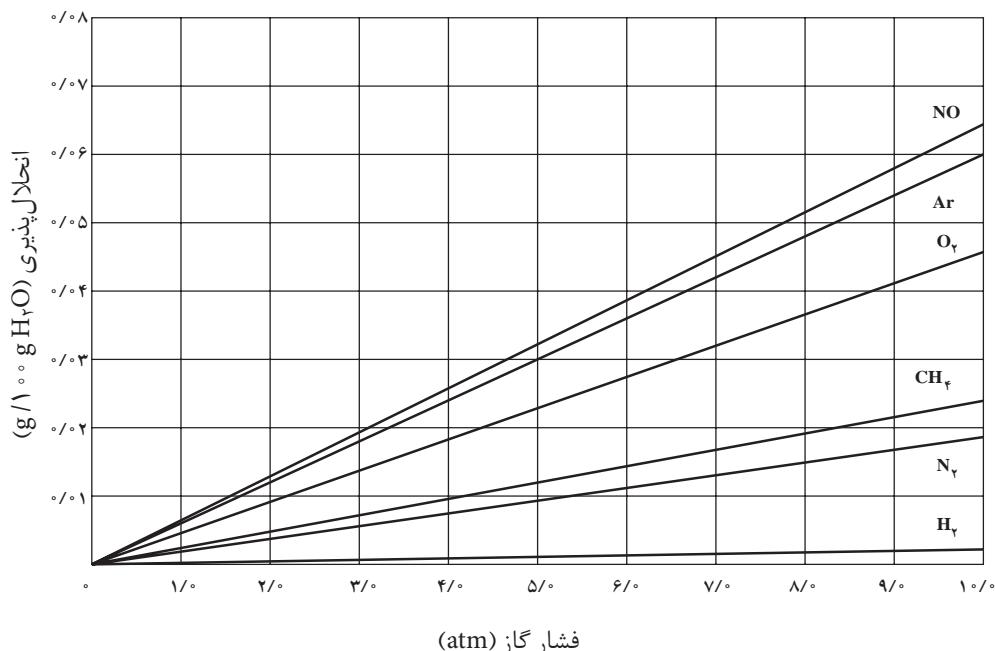


ت) انحلال‌پذیری گاز هیدروژن سولفید را در 7°C پیش‌بینی کنید.
ث) از این نمودارها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۲- انحلال‌پذیری چند گاز در آب در فشار ۱ atm و دمای 25°C در جدول زیر داده شده است. از این داده‌ها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ تفاوت‌های 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	انحلال‌پذیری (g/۱۰۰ g H ₂ O)

۳- نمودار زیر تأثیر فشار گاز بر انحلال‌پذیری آنها را در آب 20°C نشان می‌دهد. ویلیام هنری در سال ۱۸۰۳ از تفسیر چنین داده‌هایی به یک نتیجه‌گیری مهم درباره انحلال‌پذیری گازها در آب دست یافت. این نتیجه‌گیری را که قانون هنری گفته می‌شود، در یک سطر بیان کنید.



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

غلظت محلول و روش‌های بیان آن
بیشتر واکنش‌های شیمیایی مانند واکنش‌های زیست‌شیمیایی که در بدن موجودات زنده رخ می‌دهند، در فاز محلول انجام می‌شوند. در آزمایشگاه و طبیعت نیز اغلب واکنش‌دهنده‌ها را در فاز محلول با یکدیگر وارد واکنش می‌کنند.

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

غلظت یک محلول، مقدار حل شونده 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 شست و شوی دهان توجه کرده‌اید؟

روی ظرف دارای این محلول این عبارت نوشته شده است: «محلول استریل سدیم کلرید

۹٪ درصد برای شست و شو، غیرقابل تزریق»، شکل ۶.

عبارت «سدیم کلرید ۹٪ درصد» نوعی بیان غلظت برای این محلول است؛ یعنی در

هر ۱۰۰ گرم از این محلول ۹ گرم سدیم کلرید وجود دارد و بقیه آب است. این نوع

بیان غلظت را درصد جرمی می‌نامند. درصد جرمی با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

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

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



شکل ۶ محلول سدیم کلرید

٪/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

$$1/7 \text{ g NaCl} = \text{جرم حل شونده}$$

$$6/8 \text{ g H}_2\text{O} = \text{جرم حلال}$$

$$\text{محلول} = ? \text{ g NaCl} = \text{جرم محلول}$$

ب) محاسبه جرم محلول

$$6/8 \text{ g} + 1/7 \text{ g} = 8/5 \text{ g} = \text{جرم حل شونده} + \text{جرم حلال} = \text{جرم محلول}$$

پ) محاسبه درصد جرمی

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

$$\frac{1/7 \text{ g NaCl}}{8/5 \text{ g NaCl}} \times 100 = \% ۲۰ = \text{درصد جرمی}$$

خود را بیازمایید

۱/ ۵ g سدیم هیدروکسید NaOH در ۴۳/۵ g آب حل شده است. درصد جرمی

NaOH را در این محلول حساب کنید.

۲. محلول ۵٪ جرمی سدیم نیترات تهیه شده است. در ۴۰ g از این محلول چند گرم

وجود دارد؟ NaNO₃

قسمت در میلیون (ppm):



نمایشگر آلاینده‌های هوا.
در این نمایشگر غلظت اغلب آلاینده‌ها
با ppm نمایش داده می‌شود.

برای محلول‌های بسیار رقیق، جرم حل شونده، آنقدر کم است که معمولاً غلظت محلول آن به جای درصد، بر حسب قسمت در میلیون (ppm) بیان می‌شود.

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

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

از ppm برای بیان غلظت بسیار کم کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب دریا، بدن جانداران، بافت‌های گیاهی و میزان آلاینده‌های هوا (ذره‌های معلق یا گازهای آلاینده) استفاده می‌شود. در جدول زیر غلظت برخی یون‌ها در یک نمونه آب دریا بر حسب ppm بیان شده است.

K ⁺ (aq)	Ca ^{۲+} (aq)	Na ⁺ (aq)	Cl ⁻ (aq)	یون
۳۸۰	۴۰۰	۱۰۶۰۰	۱۹۰۰۰	غلظت(ppm)

فکر کنید

برای محلول‌های بسیار رقیق از یک حل شونده در آب، می‌توان ppm را هم ارز با میلی‌گرم حل شونده موجود در یک لیتر محلول تعریف کرد؛ چرا؟

غلظت مولی (مولار): رایج‌ترین شیوه برای بیان غلظت یک محلول است. غلظت مولار، تعداد مول‌های حل شونده در یک لیتر از محلول را نشان می‌دهد و با یکای mol.L^{-۱} بیان می‌شود.

برای نمونه، محلولی که دارای ۲۰٪ مول NaCl در ۱۰٪ لیتر محلول است،

$$\text{غلظتی برابر با } \frac{۲/۰ \text{ mol NaCl}}{۱۰/۰ \text{ L محلول}} = \frac{۰/۲ \text{ mol}}{\text{L}} (\text{mol.L}^{-۱})$$

نمونه حل شده

برای تهیه 2 L محلول سدیم کلرید 1 mol در لیتر چند گرم سدیم کلرید خالص نیاز است؟ پاسخ:

$$? \text{ g NaCl} = 2\text{ L NaCl} \times \frac{1\text{ mol NaCl}}{1\text{ L NaCl}} \times \frac{58.44 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}}$$

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



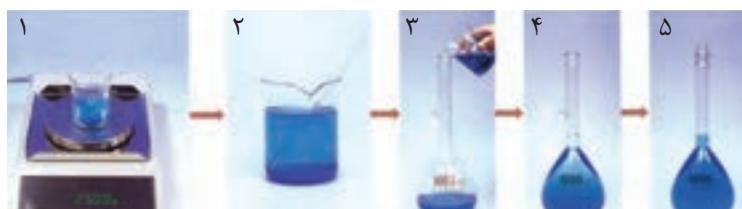
دستگاه اندازه‌گیری قند خون؛ این دستگاه تعداد میلی‌گرم‌های گلوکز را در 100 mL از خون نشان می‌دهد. غلظت گلوکز در این نمونه از خون چند مولار است؟

آزمایش کنید

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

(آ) 100 mL محلول سدیم کلرید 1 mol.L^{-1}

(ب) 25 mL محلول مس (II) سولفات 0.5 mol.L^{-1}



مراحل تهیه محلولی با غلظت معین از حل شونده جامد

۱- اندازه‌گیری 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 همگن‌سازی محلول

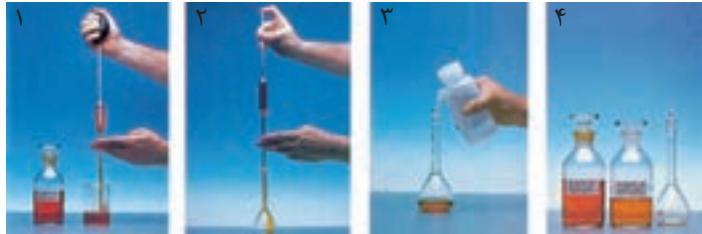
۵- افزودن آب به درون بالون تا رسیدن سطح آب به خط نشانه (به حجم رساندن).

۲- برای تهیه محلول‌های رقیق می‌توان از رقیق کردن محلول‌های غلیظتر استفاده کرد.

با دقت به تصویرهای صفحه بعد نگاه کنید. در هر مورد بر مبنای دستور کار معرفی شده و با محاسبه حجم مورد نیاز از محلول غلیظ داده شده، محلول‌های زیر را در آزمایشگاه تهیه کنید.



(آ) ۲۵° mL⁻¹ mol.L⁻¹ ۴٪ پتاسیم دی کرومات از محلول ۱/۲٪ آن
 ب) ۱۰۰° mL⁻¹ mol.L⁻¹ ۱٪ سدیم کلرید از محلول ۲٪ 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

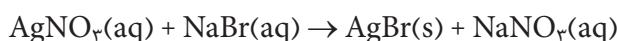
محاسبه های استوکیومتری برای واکنش ها در فاز محلول

وقتی حجم های مشخصی از محلول های دو واکنش دهنده با غلظت معین به هم اضافه می شود، تعداد مول مشخصی از هریک از آنها در مجاورت هم قرار می گیرد. برای محاسبه تعداد مول هر واکنش دهنده می توان 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 دهنده ها محاسبه می شود و با استفاده از نسبت های مولی به دست آمده از معادله موازن شده واکنش، تعداد مول ماده خواسته شده محاسبه می شود.

نمونه حل شده

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 می آید.

نقره برمید یکی از ترکیب های به کار رفته در ساخت فیلم های عکاسی است. این ترکیب شیمیایی را می توان از واکنش محلول های آبی نقره نیترات و سدیم برمید به دست آورد.



چند میلی لیتر محلول NaBr ۱۲۵ mol.L⁻¹ برای واکنش با 25° mL^{-1} از محلول

115 mol.L^{-1} AgNO_3 لازم است؟

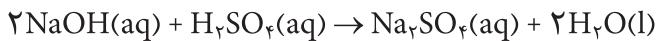
پاسخ:

$$? \text{ mL NaBr (aq)} = 25\% \text{ mL AgNO}_3(\text{aq}) \times \frac{115 \text{ mol AgNO}_3}{1 \text{ L AgNO}_3(\text{aq})}$$

$$\times \frac{1 \text{ mol NaBr}}{1 \text{ mol AgNO}_3} \times \frac{1 \text{ L NaBr(aq)}}{0.125 \text{ mol NaBr}} = 230 \text{ mL NaBr (aq)}$$

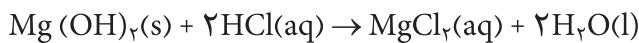
خود را بیازمایید

۱- چند میلی لیتر محلول 12 mol.L^{-1} NaOH برای واکنش کامل با 150 mL از محلول 10 mol.L^{-1} H_2SO_4 طبق واکنش زیر لازم است؟



۲- یکی از راههای کاهش غلظت اسید معده (HCl ، مصرف یک ضد اسید است.

شیرمنیزی متداول ترین ضد اسید است که منیزیم هیدروکسید سازنده اصلی آن است.
براساس واکنش زیر:



برای خنثی کردن 36 mL از محلول 32 mol.L^{-1} HCl ، چند گرم Mg(OH)_2 نیاز است؟



شیر منیزی

۳- براساس واکنش زیر به چند میلی لیتر محلول 12 mol.L^{-1} HCl برای واکنش

کامل با 110 mL از محلول 18 mol.L^{-1} NaClO نیاز است؟



غلظت مولال: اگر یک مول پتابسیم کلرید (KCl) را در یک کیلوگرم آب حل کنید، محلولی با غلظت 1 مولال تهیه کرده اید. غلظت مولال، مول ماده حل شونده در یک کیلوگرم حلال (1000 گرم حلال) را بیان می کند. غلظت مولال در مطالعه خواص کولیگاتیو محلول ها به کار می رود. 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 می دهند. آب خالص به میزان ناچیزی یوننده می شود و رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد. رسانایی الکتریکی محلول آبی ترکیب هایی مانند NaCl , HCl , NH_3 و HF از آب خالص بیشتر است. این مواد را الکترولیت و محلول آبی آنها را محلول الکترولیت می نامند.

یک ماده الکترولیت به طور کامل یا به مقدار کم در آب یوننده می شود. اغلب محلول هایی که از حل کردن ترکیب های یونی یا ترکیب های مولکولی قطبی در آب به دست می آیند، الکترولیت هستند.

محلول هیدروکلریک اسید (HCl(aq)) جوهربنده و محلول سفید کننده (NaClO(aq)) برای از بین بردن جرم و تمیز کردن سطوح در حمام و آشپزخانه به کار برده می شوند. توجه به این نکته ضروری است که هیچ گاه 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 می شود. کلر گازی بسیار سمی است که تنفس آن موجب اختلال در مجرای تنفسی و حتی مرگ می شود.

هنگام استفاده از سفید کننده ها حتماً در پنجه هارا باز کنید.

فکر کنید

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



(آ)

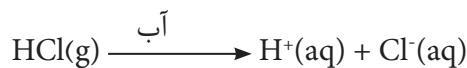
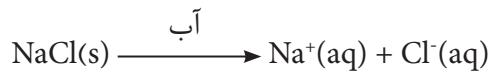
(ب)

(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 غیرالکترولیت و محلول حاصل را محلول غیرالکترولیت می‌نامند. مواد غیرالکترولیت 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 1 Molar HF ، از هر 1000 مولکول تقریباً 72 مولکول آن یونیده می‌شود و بقیه آن یعنی 928 مولکول HF به صورت یونیده نشده در محلول باقی می‌ماند.

خود را بیازمایید

۱. معادله تفکیک یونی هر یک از ترکیب‌های یونی زیر را در آب بنویسید.
- Cr(NO₃)_۳ Na_۲CO_۳ (NH_۴)_۲S KBr (آ)
- ت پ
۲. در میان ترکیب‌های زیر الکترولیت‌ها را مشخص کنید. از میان این الکترولیت‌ها، محلول یک مولار کدامیک، رسانای الکتریکی قوی‌تری است؟ چرا؟
- آ) متانول ب) سدیم نیترات پ) باریم کلرید ت) آمونیاک

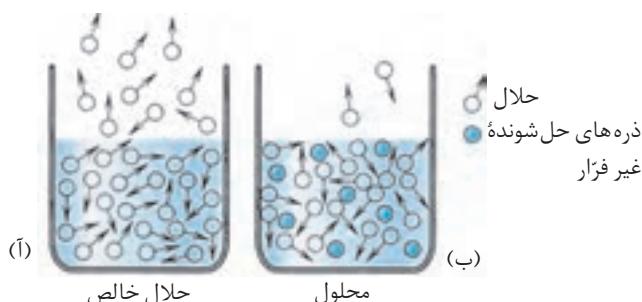
خواص کولیگاتیو محلول‌ها

تجربه نشان می‌دهد که برای یک محلول شامل حلال و یک حل شونده غیر فرّار نقطه‌جوش، نقطه انجاماد و فشار بخار برای حلال در حالت محلول و حلال خالص تفاوت می‌کند. این خواص که به تعداد ذره‌های حل شونده غیر فرّار موجود در محلول رقیق (نه به نوع و خواص شیمیایی ذره‌ها) بستگی دارند، خواص کولیگاتیو نامیده می‌شود.

حل شونده غیر فرّار به ماده‌ای گفته می‌شود که در دمای اتانق فشار بخار بسیار ناچیزی داشته باشد. این گونه مواد می‌توانند جامد مانند انواع نمک‌ها یا مایع‌هایی با نقطه جوش بالا باشند.

فشار بخار

اگر در یک بشر مقداری آب بپریزید و آن را برای مدتی روی میز قرار دهید، مشاهده خواهید کرد که آب به تدریج تبخیر شده، سطح آب درون بشر پایین می‌آید. مایع‌ها در هر دمایی تبخیر می‌شوند. سرعت تبخیر سطحی هر مایع به تعداد مولکول‌های موجود در سطح مایع بستگی دارد. هرچه تعداد این مولکول‌ها 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؟



شکل ۷ تبخیر مولکول‌های مایع

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

مولکول‌های گریخته از سطح مایع با دیواره داخلی بشر، مولکول‌های هوای سطح مایع برخورد می‌کنند و به این ترتیب بخار ایجاد شده فشاری به اطراف خود وارد می‌کند.

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 حل شوندهٔ غیرفرار در یک مایع باعث کاهش فشار بخار محلول در مقایسه با مایع (حلال) خالص می‌شود؟ غلظت حل شونده چه تأثیری بر این فشار خواهد داشت؟

نقطهٔ جوش محلول‌ها



اتیلن گلیکول، مایعی غیرفرار است.

اندازه‌گیری نقطهٔ جوش محلول‌ها و مقایسه آن با نقطهٔ جوش حلال خالص نشان می‌دهد که برای مثال نقطهٔ 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 1 atm می‌رسد. این در حالی است که، فشار بخار محلول شکر در آب کمتر از آب خالص است. از این‌رو برای رساندن فشار بخار این محلول به فشار 1 atm باید مولکول‌های آب از قسمت‌های زیرین محلول به سطح بیایند و سپس به مولکول‌های روی سطح محلول بپیونددند. چون این مولکول‌ها درون محلول از هر سو توسط مولکول‌های دیگر جذب می‌شوند، تحرک کمتری دارند و از این‌رو از انرژی کمتری نیز برخوردارند. در نتیجه برای تبخیر آنها به انرژی بیشتری نیاز است. این موضوع سبب می‌شود که نقطهٔ جوش محلول نسبت به حلال خالص افزایش یابد. به طور کلی نقطهٔ جوش هر محلول دارای مادهٔ حل شوندهٔ غیر فرار از حلال خالص آن بیشتر است.

فکر کنید



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

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

نقطهٔ انجماد محلول‌ها

آب خالص در دمای 0°C یخ می‌زند، در حالی که محلول آب نمک در مقایسه با آب خالص، نقطهٔ 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 انجامد هر محلول آبی که دارای حل شونده غیرفرار است، در دمایی پایین‌تر از ${}^{\circ}\text{C}$ رخ می‌دهد.

فکر کنید

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

$$\text{آب} > \text{یخ} > \text{محلول S}$$

$$\text{یخ} > \text{آب} > \text{محلول S}$$

۲. فرایند انجامد 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.

$$\Delta S \quad \square \quad (\text{یخ} \rightarrow \text{آب})$$

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

همچون دانشمندان

می‌دانید افزودن یک حل شونده غیر فرار به یک مایع موجب افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجامد مایع یاد شده می‌شود. آیا میزان افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجامد برای همه محلول‌ها یکسان است؟

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

مقایسه نقطه جوش و نقطه انجامد چند محلول آبی

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

محاسبه‌های کمی برای خواص کولیگاتیو فقط برای محلول‌های رقیق به کار می‌رود.

آ) ردیف آخر این جدول را کامل کنید.

ب) دو مقایسه زیر را انجام دهید. از این مقایسه‌ها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۱. نقطه جوش محلول $1/1^{\circ}$ مولال و $1/2^{\circ}$ مولال شکر

۲. نقطه جوش محلول $1/1^{\circ}$ مولال سدیم کلرید و محلول $1/2^{\circ}$ مولال شکر

پ) آیا با این اطلاعات می‌توانید نقطه جوش محلول یک مولال پتاسیم نیترات را

پیش‌بینی کنید؟

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

$1/1^{\circ}$ مولال شکر نسبت به آب خالص چگونه است؟ از این مقایسه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

ث) آیا با اطلاعات به دست آمده می‌توانید نقطه انجماد محلول $1/1^{\circ}$ مولال پتاسیم

نیترات را پیش‌بینی کنید؟

کلوییدها

Kolla کلویید از واژه‌یونانی به معنای چسب گرفته شده است.

در سال ۱۸۶۱ توماس گراهام واژه‌ای را معرفی کرد که امروزه از دید علمی و فناوری اهمیت زیادی یافته است. رنگ‌های پوششی، سرامیک‌ها، مواد آرایشی، پاک کننده‌ها، موادغذایی و بسیاری دیگر که زندگی روزانه ما به وجود آنها وابسته شده است، اهمیت این واژه یعنی کلویید را پیوسته به ما یادآور می‌شود، شکل ۹.



شکل ۹ نمونه‌هایی از کلویید؛ سُن مایونز، رنگ‌های پوششی، کف، سنگ‌پا، افسانه‌ها و چسب‌ها

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



جان تیندال
(۱۸۲۰ - ۱۸۹۳)
فیزیک‌دان بریتانیایی



شکل ۱۰ اثر تیندال، آ) مقایسهٔ پخش نور در محلول و کلوبید. ب) نمونه‌ای از مشاهدهٔ اثر تیندال در زندگی روزانه پرتوهای خورشید در هوای مهآلود یا آلوده به غبار

مانند محلول‌ها، ذره‌های سازندهٔ یک کلوبید پس از مدتی ماندگاری تنهشین نمی‌شود. حتی با صافی نیز نمی‌توان آنها را جدا کرد. این ویژگی‌های ظاهری سبب می‌شود که بتوان کلوبید را پلی میان محلول و سوسپانسیون درنظر گرفت، جدول ۲.

جدول ۲ مقایسهٔ برخی ویژگی‌های کلوبیدها با محلول‌ها و سوسپانسیون‌ها

نمونه	اندازهٔ ذره‌ها (nm)	ذره‌های سازنده	تعداد فازها	حداقل اجزای دهندهٔ تشکیل دهنده	نوع مخلوط
حلال: آب آب نمک حل شونده: نمک خوارکی	< ۱	یون‌ها یا مولکول‌ها	۱	حال و حل شونده	محلول
فاز پخش کننده: آب شیر فاز پخش شونده: قطره‌های چربی	۱-۱۰۰	مولکول‌های بزرگ یا توده‌های مولکولی*	≥ ۲	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	کلوبید
فاز پخش کننده: آب خاکشیر فاز پخش شونده: دانه‌های خاکشیر	> ۱۰۰	توده‌های مولکولی بزرگ یا ذره‌های بسیار کوچک ماده	≥ ۲	فاز پخش کننده و فاز پخش شونده	سوسپانسیون

* ذره‌هایی که از گرد همایی چند مولکول پدید می‌آیند.

همانند محلول‌ها، کلریدهای نیز به سه حالت جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند، جدول ۳.

جدول ۳ انواع گوناگون کلرید

نمونه‌ها	نام	فاز پخش کننده	فاز پخش شونده
کف صابون سنگ پا، یونالیت	کف کف جامد	مایع جامد	گاز
مه شیر، کره، مایونز ژله، ژله موی سر	آبروسول مایع امولسیون ژله	گاز مایع جامد	مایع
دود، غبار رنگ‌های روغنی سنگ‌های گران‌بهایی مانند یاقوت، لعل و فیروزه	آبروسول جامد سول سول جامد	گاز مایع جامد	جامد

آزمایش کنید

مایونز یک امولسیون خوراکی

اگر مخلوطی از روغن و سرکه را به هم بزنید، درخواهید یافت که نگهداشت مخلوط این دو مایع در کنار هم، غیرممکن است. ما به این دو مایع، **مخلوط‌نشدنی** می‌گوییم. با توقف همزدن، قطره‌های بسیار کوچک روغن به هم می‌پیوندند و بزرگ می‌شوند و سرانجام به شکل یک لایهٔ جداگانه درمی‌آیند. به هر حال، اگر شما مادهٔ سومی را به این دو مایع اضافه کنید که آنها را پس از به هم خوردن در کنار هم پایدار نگه دارد، می‌توانید از گرده‌هایی قطره‌های روغن جلوگیری کنید. مادهٔ سوم را یک **عامل امولسیون** کننده می‌نامند و مخلوط سه ماده یک **امولسیون** (کلرید مایع در مایع) نامیده می‌شود.

در مایونز، این سه ماده عبارت‌اند از: روغن مایع، سرکه و زردۀ تخم مرغ که نقش عامل امولسیون کننده را دارد. در این آزمایش اثر زردۀ تخم مرغ را در تهیهٔ مایونز بررسی می‌کنید.



مایونز

مواد و وسایل مورد نیاز: دو زردۀ تخم مرغ، سرکه، نمک خوراکی، روغن مایع، فنجان کوچک، کاسهٔ کوچک، مخلوط کن دستی یا الکتریکی و ذره‌بین دستی.

روش کار

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

۱. ۱ mL سرکه در یک فنجان کوچک برشیزید.

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 می‌گیرند.

۵. یک زردۀ 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، محتويات 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 ذره‌بین دستی استفاده کنید.

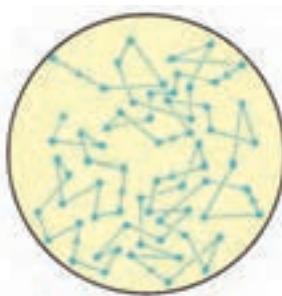
آنچه که روی می‌دهد

لسيتين در زردۀ تخم مرغ به عنوان عامل امولسیون کننده عمل می‌کند. مولکول‌های لسيتين لایه‌ای در اطراف قطره‌های روغن تشکیل می‌دهند که مانع از جمع شدن آنها و تشکیل قطره‌های بزرگ‌تر می‌شود. لسيتين و مولکول‌های امولسیون کننده دیگر، دارای نواحی آب‌گریز هستند که به روغن - که آن هم آب‌گریز است - می‌چسبند. سر دیگر یک مولکول امولسیون کننده، معمولاً آب‌دوست است و با آب برهم کنش می‌کند. به این ترتیب عامل امولسیون کننده پلی بین مولکول‌های آب و روغن تشکیل می‌دهد.

ویژگی‌های دیگر کلویید

ذره‌های کلویید پیوسته در جنب و جوش‌اند

اگر یک قطره شیر را با میکروسکوپ نوری به دقت نگاه کنید، ذره‌های تشکیل دهنده آن را در حال جنب و جوش دائمی می‌بینید. ذره‌های کلوییدی هنگامی که به هم می‌رسند، در برخورد با یکدیگر تغییر جهت می‌دهند. به این حرکت دائمی و نامنظم ذره‌های کلوییدی حرکت براونی می‌گویند، شکل ۱۱.



رابرت براون
(۱۷۷۳-۱۸۲۷)
گیاه‌پزشک انگلیسی

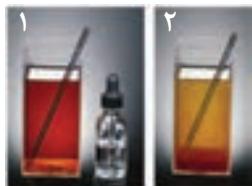
شکل ۱۱ حرکت براونی ذره‌های کلوییدی. به نظر شما عامل ایجاد این حرکت چیست؟

ذره‌های کلوییدی بار الکتریکی دارند!

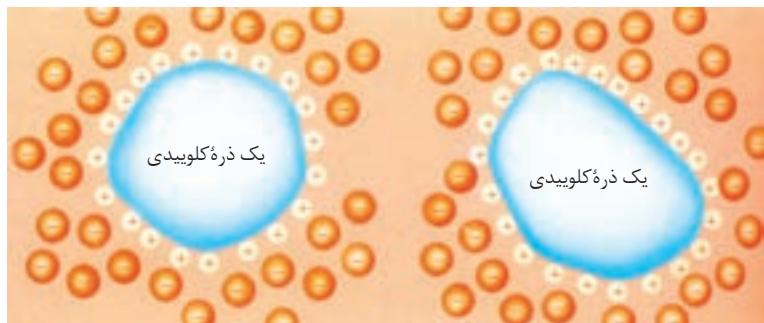
بررسی‌های تجربی نشان داده است که ذره‌های کلوییدی می‌توانند ذره‌های باردار مانند یون‌های را در سطح خود جذب کنند و به نوعی بار الکتریکی دست یابند. این بار الکتریکی می‌تواند مثبت یا منفی باشد. پایداری کلوییدها (ته‌نشین نشدن فاز پخش شونده) را به وجود آین بار الکتریکی نسبت می‌دهند.

فکر کنید

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



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



۱- ذره‌های یک کلویید همگی بار الکتریکی همنام دارند ولی مقدار بار الکتریکی آنها می‌تواند متفاوت باشد. چرا؟

۲- علت پایداری کلوییدها را توضیح دهید.

۳- با افزایش الکتروولیت به یک کلویید، ذره‌های کلوییدی ته‌نشین می‌شوند، این فرایند را لخته شدن می‌گویند. این پدیده را توجیه کنید.

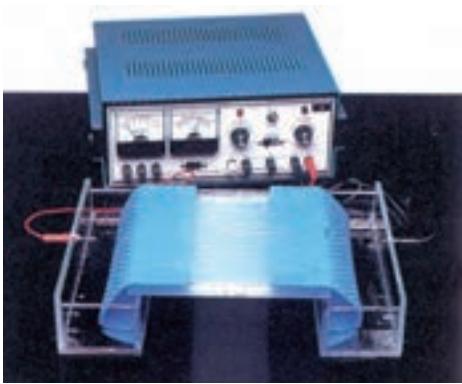
۴- شیر یک کلویید است. افزودن چه موادی به شیر سبب انعقاد آن می‌شود؟ چرا؟

بیشتر بدانید

مطالعه حرکت ذره‌های کلوییدی باردار در میدان الکتریکی زمینه خوبی برای پژوهش‌های زیست‌شناسی روی پروتئین‌هاست. الکتروفورز دستکاهی 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 قرارداد.

یکی از راه‌های پایدار کردن کلوییدها کاهش غلظت یون‌های حاصل از الکتروولیت‌ها در آنهاست.

فرایند جداکردن یون‌ها از یک کلویید، دیالیز نام دارد. این کار معمولاً به کمک غشاهای مناسبی انجام می‌شود. امروزه از روش دیالیز به طور کسترده برای تصفیه خون افراد مبتلا به نارسایی کلیه استفاده می‌شود.



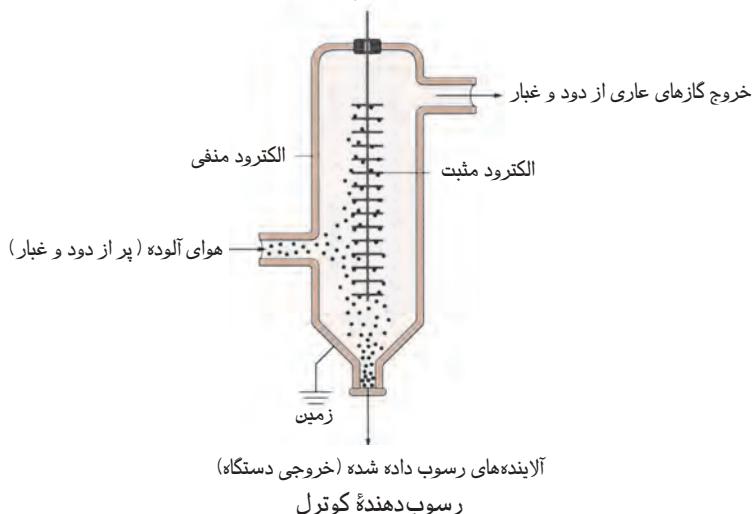
دستگاه الکتروفورز



این بیمار در حال تصفیه خون خود با دستگاه دیالیز است.

برخی آلینده‌های محیط زیست از نوع ذره‌های کلوییدی هستند. برای پالایش هوای آلوده به این ذره‌ها از رسوب‌دهنده‌های کوتول استفاده می‌شود. در این دستگاه آلینده‌هایی 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.

جریان مستقیم با ولتاژ بالا



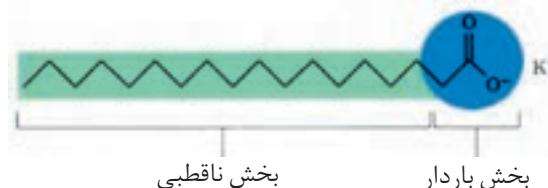
صابون و نقش امولسیون کنندگی آن

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 پاک‌کننده‌های است. صابون

همان طوری که می‌دانید اسیدهای آلی گروه عاملی کربوکسیل $\text{O}=\text{C}-\text{OH}$ دارند.

اسیدهای چرب دسته‌ای از اسیدهای آلی دراز زنجیر هستند که در روغن‌های گیاهی یا در چربی جانوران یافت می‌شوند. این ترکیب‌ها دارای یک زنجیر هیدروکربنی سپر شده یا سپر نشده بزرگ هستند که عموماً ۱۸ تا ۱۴ کربن دارند.

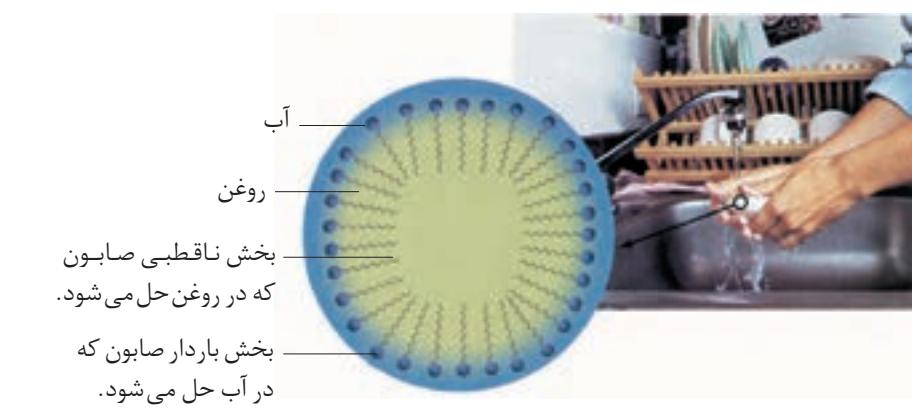
نمک‌سدیم، آمونیوم یا پتاسیم اسیدهای چرب محسوب می‌شوند. جزء آنیونی صابون دو بخش دارد، شکل ۱۲. یک بخش زنجیر هیدروکربنی، آب گریز است و سر ناقطبی صابون را تشکیل می‌دهد. این بخش مولکول در حلال‌های ناقطبی حل می‌شود. بخش دیگر صابون سرقطبی و آب دوست آن است. این بخش مولکول، در حلال‌های قطبی مانند آب حل می‌شود.



شکل ۱۲ ساختار مولکول‌های صابون

صابون جامد، نمک سدیم اسید چرب و صابون مایع، نمک پتاسیم یا آمونیوم اسید چرب است.

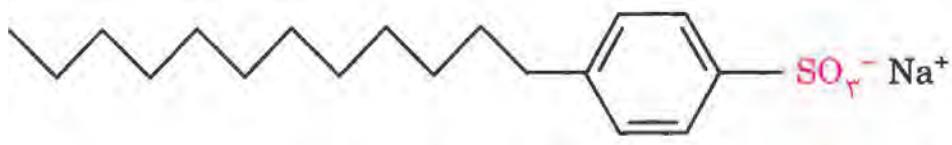
فکر کنید
با دقیق به شکل زیر نگاه کنید. هنگامی که دست‌های خود را با صابون می‌شوییم در واقع یک امولسیون از قطره‌های روغن پخش شده در آب ایجاد می‌کنیم که این امولسیون به کمک صابون پایدار می‌شود. اگر این گفته را بپذیرید، تشکیل گفته را بپذیرید، تشکیل گاز (کلرید گاز در مایع) هنگام شست وشوی دست با صابون را شرح دهید.



پاک‌کننده‌های غیرصابونی

در سال ۱۹۳۰ با پیشرفت علم شیمی پاک‌کننده‌های غیرصابونی به بازار عرضه شدند. در این پاک‌کننده‌ها به جای گروه کربوکسیلات (CO_2^-) در صابون گروه‌های دیگری از جمله گروه سولفونات (SO_3^-) قرار گرفته است. سدیم دو دسیل بنزن سولفونات نمونه‌ای از پاک‌کننده‌های غیرصابونی است، شکل ۱۳. در این پاک‌کننده‌ها چربی‌ها به

زنگیر آلکیل می‌چسبند و گروه سولفونات که انتهای باردار پاک‌کننده را تشکیل می‌دهد، سبب پخش شدن چربی‌ها در آب می‌شود.

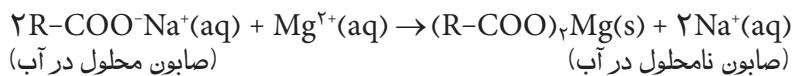


شکل ۱۳ ساختار سدیم دو دسیل بنزن سولفونات بدون شاخه فرعی

بیشتر بدانید

برتری پاک‌کننده‌های غیرصابونی

می‌دانید آب سخت غلظت بالایی از یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} دارد. وقتی صابون به این نوع آب وارد شود، یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} جاذبه قوی با جزء آئینونی صابون برقرار می‌کنند و به این ترتیب صابون نامحلولی تشکیل می‌دهند.



در پاک‌کننده‌های غیرصابونی از گروه سولفونات SO_3^- – صابون استفاده شده است. گروه سولفونات برخلاف گروه کربوکسیلات با یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} ترکیب‌هایی انحلال پذیر می‌دهد. به همین دلیل پاک‌کننده‌های غیرصابونی در آب سخت به خوبی کف می‌کنند.

بیشتر بدانید

شیمی تجزیه علم جمع‌آوری، پردازش و برقراری ارتباط میان داده‌های مربوط به ترکیب و ساختار ماده است. به بیان دیگر، شیمی تجزیه‌آمیزه‌ای از علم و هنر است که نوع و مقدار یک ماده را تعیین می‌کند. کارشناس‌های شیمی تجزیه به کمک شکردهایی نظریه نمونه برداری، جداسازی، غلیظ‌سازی و...، به تجزیه و تحلیل کمی و کیفی مواد می‌پردازند. آنها با استفاده از ابزار و وسائلی که در اختیار دارند و به کمک دانش شیمی، رایانه و آمار، مسائل گوناگونی را حل می‌کنند که به نوعی به علم شیمی مربوط‌اند. برای مثال، فعالیت این افراد در زمینه تأیید سلامتی و کیفیت مواد غذایی، دارویی، بهداشتی و آب و فرایند تولید این مواد، کمک زیادی به تولیدکنندگان می‌کند. همچنین، آنها در تشخیص بیماری‌ها به پزشکان یاری می‌رسانند. کارشناس‌های شیمی تجزیه فرصت‌های شغلی مختلفی در زمینه‌های پژوهشی، صنعت، آموزش، مشاغل دولتی، بازرگانی و نیروی انتظامی دارند.

واژه‌نامه

۲	Chemical Reaction	واکنش شیمیایی
۲	Word Equation	معادله نوشتاری
۲	Symbol Equation	معادله نمادی
۳	Chemical Equation	معادله شیمیایی
۲	Reactant	واکنش‌دهنده
۲	Product	فراورده
۱۱	Stoichiometry	استوکیومتری
۲۸	Limiting Reactant	واکنش‌دهنده محدود کننده
۳	Balancing	موازن کردن
۲	Physical State	حالت فیزیکی
۴	Inspection Method	روش وارسی
	نوبتی اتم‌ها در دو سوی معادله	واکنش ترکیب (سنتر)
۷	Combination (Synthesis) Reaction	واکنشی که در آن چند ماده با هم ترکیب شده و فراورده تازه‌ای تولید می‌شود.
۷	Decomposition Reaction	واکنش تجزیه که در آن یک ماده به مواد ساده‌تری تبدیل می‌شود.

			واکنش سوختن	
۶	Combustion			
		واکنش جابه جایی یگانه		
۹	Single Replacement Reaction			
		واکنش جابه جایی دوگانه		
۱۰	Double Replacement Reaction			
		واکنش اکسایش		
۶	Oxidation Reaction			
۷	Polymerization	پلیمر شدن		
		پلی اتیلن		
۷	Polyethylene			
		مول		
۱۲	Mol			
		کود شیمیایی		
۱۷	Fertilizer			
		متیل سالیسیلات		
۲۲	Methyl Salicylate			
		قانون نسبت های ترکیبی (قانون گی لوساک)		
۲۴	Gay-Lussac's Law			
		قانون آووگادرو		
۲۵	Avogadro's Law			
		غلظت مولی		
۸۹	Molar Concentration			
		محلول		
۷۳	Solution			
		رقیق کردن		
۹۱	Dilution			
		واکنش دهنده اضافی		
۲۹	Excess Reactant			
		مقدار نظری		
۳۲	Theoretical Yield			
		www.ShimiPedia.ir		
		دست می آید.		
		مقدار فراورده مورد انتظار که از محاسبات استوکیومتری به		
		آن باقیمانده است.		
		واکنش دهنده ای است که پس از پایان واکنش هنوز مقداری از		
		فرایند افزایش حلال به یک محلول به جهت کاهش غلظت آن		
		مخلوطی همگن که دارای یک فاز باشد.		
		مولی آن ماده می گویند.		
		به تعداد مول های حل شونده موجود در یک لیتر محلول، غلظت		
		فرایند افزایش حلال به یک محلول به جهت کاهش غلظت آن		
		واکنش دهنده ای است که پس از پایان واکنش هنوز مقداری از		
		در دما و فشار ثابت، گازها با نسبت های ساده حجمی با یکدیگر		
		ترکیب می شوند.		
		حجم های مساوی از همه گازها در شرایط یکسان دما و فشار،		
		تعداد مولکول های مساوی دارند.		
		مولی آن ماده می گویند.		
		مقدار فراورده مورد انتظار که از محاسبات استوکیومتری به		
		دست می آید.		

۳۲	Actual Yield	مقدار عملی
۳۲	Percent Yield	بازدہ درصدی
۳۴	Condensation Reaction	واکنش تراکمی
۳۵	Air Bag	کیسہ هوا
۳۶	Incomplete Combustion	سوختن ناقص
۳۹	Thermochemistry	گرمائیمی
۴۰	Heat	گرما
۴۰	Rotational Motion	حرکت چرخشی
۴۰	Vibrational Motion	حرکت ارتعاشی
۴۱	Heat Capacity	ظرفیت گرمایی
۴۱	Specific Heat Capacity	ظرفیت گرمایی ویژه
۴۲	Molar Heat Capacity	ظرفیت گرمایی مولی
۴۴	System	سامانه یا سیستم
۴۴	Surroundings	محیط
۴۵	Closed System	سامانه بسته
۴۵	Open System	سامانه باز
۴۵	Isolated System	سامانه ایزوله
۴۵	Boundary System	مرز سامانه
خواص ترمودینامیکی		
۴۶	Thermodynamical Properties	خواص قابل اندازه گیری که به کمک آنها می توان یک سامانه را توصیف کرد.
۴۶	Extensive Properties	خواص مقداری که مقدار آنها به مقدار ماده وابسته است.
۴۶	Intensive Properties	خواص شدنی که مقدار آنها به مقدار ماده بستگی ندارد.

۴۶ ارزی درونی Internal Energy به مجموع ارزی جنبشی و پتانسیل همه ذره های تشکیل دهنده یک سامانه گفته می شود.

قانون اول ترمودینامیک

۴۸ First law Thermodynamics طبق این قانون ارزی نه به وجود می آید و نه از بین می رود بلکه از شکلی به شکل دیگر در می آید.

۴۸ تابع حالت State Function تابع که تغییر آن به مسیر انجام فرایند بستگی ندارد و فقط به حالت آغازی و پایانی وابسته است.

۵۰ آنتالپی واکنش Enthalpy change به تغییر ارزی یک سامانه در فشار ثابت، آنتالپی واکنش گفته می شود.

۵۰ دستگاه برف ساز Snowmaking Machine دستگاهی محتوی بخار آب و هوای فشرده که براساس یک فرایند بی دررو برف مصنوعی تولید می کند.

حالت استاندارد ترمودینامیکی

۵۳ Standard State پایدارترین شکل ماده خالص در فشار یک اتمسفر و دمای مشخص (معمولًا ۲۵°C)

آنتالپی استاندارد تشکیل

۵۴ Standard Molar Enthalpy Of Formation به تغییر آنتالپی در هنگام تشکیل یک مول ماده از عنصرهای سازنده آن در حالت استاندارد گفته می شود.

۴۴ Thermodynamics ترمودینامیک دانش مطالعه تبدیل شکل های مختلف ارزی به یکدیگر و راه های انتقال آن

آنتالپی استاندارد سوختن

۵۵ Standard Molar Enthalpy Of Combustion گرمای آزاد شده در هنگام سوختن یک مول از ماده در مقدار کافی اکسیژن

آنتالپی استاندارد تبخیر

۵۶ Standard Molar Enthalpy Of Vaporization گرمای مصرف شده در فشار یک اتمسفر هنگام تبدیل یک مول مایع به بخار در دمای جوش آن ماده

آنتالپی استاندارد ذوب

۵۶ Standard Molar Enthalpy Of Fusion گرمای مصرف شده در فشار یک اتمسفر هنگام تبدیل یک مول جامد به مایع در دمای ذوب آن ماده

آنتالپی استاندارد تصعید

۵۷ Standard Molar Enthalpy Of Sublimation تغییر آنتالپی در هنگام تصعید شدن یک مول ماده

۵۷ میانگین آنتالپی پیوند مقدار ارزی مصرف شده در هنگام شکستن یک مول پیوند بین

دو اتم گازی و تبدیل آنها به اتم های گازی جدا از یکدیگر

Average Bond Energy

۵۸	Calorimetry	گرماسنجی
	فرایندهای فیزیکی یا شیمیایی	
۵۸		گرماسنج لیوانی
	وسیله‌ای که از آن برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در فشار ثابت استفاده می‌شود.	Coffee–Cup Calorimeter
۵۸	Bomb Calorimeter	گرماسنج بمبی
	وسیله‌ای که از آن برای اندازه‌گیری گرمای یک واکنش در حجم ثابت استفاده می‌شود.	
۵۹	Hess's Law	قانون هس
	یک واکنش چندمرحله‌ای از جمع جبری مقادیر ΔH همه واکنش‌های تشکیل دهنده آن به دست می‌آید.	
۶۲	Water – Gas	گاز آب
	به مخلوطی از گازهای H_2 و CO گفته می‌شود.	
۶۳	Bombardier Beetle	سوسک بمب افکن
۵۱	Exothermic Process	فرایند گرماده
	فرایندی که در آن گرما آزاد می‌شود و آنتالپی سامانه کاهش می‌باید.	
۵۲	Endothermic Process	فرایند گرم‌گیر
	فرایندی که در آن گرما جذب می‌شود و آنتالپی سامانه افزایش می‌باید.	
۶۴	Entropy	آنتروپی
	معیاری برای بیان میزان بی‌نظمی یک سامانه است.	
۶۹	Free Energy	انرژی آزاد
	کمیتی ترمودینامیکی که آنتروپی و آنتالپی رابه هم ربطی دهد.	
۶۹	Gibbs Free Energy	انرژی آزاد گیبس
	به مقدار انرژی در دسترس برای انجام یک فرایند گفته می‌شود.	
		مخلوط همگن (محلول)
۷۴	Solution (Homogeneous Mixture)	
	مخلوطی است که تنها یک فاز تشکیل می‌دهد.	
۷۴	Heterogeneous Mixture	مخلوط ناهمگن
	مخلوطی است که بیش از یک فاز داشته باشد.	
۷۵	Phase	فاز
	بخشی از ماده که حالت فیزیکی و ترکیب شیمیایی در همه نقاط آن یکسان است.	
۷۵	Solvent	حلال
	جزئی که حل شونده را در خود حل می‌کند و معمولاً درصد بیشتری از محلول را تشکیل می‌دهد.	
۷۵	Solute	حل شونده
	جزئی که در حلال حل می‌شود.	
۷۶	Aqueous Solution	محلول آبی
	محلولی که حلال آن آب است.	
۷۶	Non-Aqueous Solution	محلول غیر آبی
	محلولی که حلال آن یک حلالی آلی است.	
۷۷	Solubility	انحلال پذیری
	بیشترین مقدار ماده بر حسب گرم که در دمای مشخص در ۱۰۰ گرم آب حل می‌شود.	
۸۰	Ascorbic Acid	آسکوربیک اسید
	ویتامین ث؛ جامد سفیدرنگ و متبلوری که به خوبی در آب حل می‌شود.	

			آنتالپی انحلال
زیادی حلal	۸۱	Enthalpy Solution	
احاطه شدن ذره های حل شونده توسط مولکول های آب را گویند.	۸۲	Hydration	آب پوشی
موادی که ۱٪ تا ۱ گرم در ۱۰۰°C گرم آب در دمای ۲۰°C حل می شود.	۷۷	Slightly Soluble	مواد کم محلول
موادی که کمتر از ۱٪ گرم در ۱۰۰°C گرم آب در دمای ۲۰°C حل می شود.	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 می شود.	۸۸	Weight(Mass)Percent	درصد جرمی
تعداد مول های حل شونده در ۱۰۰۰ گرم حلal	۹۲	Molality	خلظت مولال
ماده ای که در حالت مذاب یا محلول رسانای الکتریکی است.	۹۲	Electrolyte	الکترولیت
محلولی از یک اسید، قلیا یا نمک که دارای بونهای آبپوشیده است.	۹۲	Electrolyte Solution	محلول الکترولیت
ماده ای که در حالت مذاب یا محلول در آب، رسانای جریان برق نیست.	۹۲	Non-Electrolyte	غیرالکترولیت
خواصی از محلول های رقیق که میزان آن تنها به تعداد ذره های موجود در محلول بستگی دارد.	۹۴	Colligative Properties	خواص کولیگاتیو
فشاری که بخار یک مایع روی سطح آن مایع وارد می کند.	۹۴	Vapor Pressure	فشار بخار
دمایی که در آن فشار بخار مایع با فشار هوایکه برابر شود.	۹۵	Bolling Point	نقطه جوش
در فشار معین هر مایع در دمای معینی آغاز به انجماد می کند که آن را دمای انجماد آن مایع می گویند.	۹۵	Freezing Point	نقطه انجماد
حالی از مخلوط است که در آن ذره هایی به قطر ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در یک فاز پیوسته (فاز پخش کننده) پراکنده شده اند.	۹۷	Colloid	کلوبید
پراکنده گی نور به وسیله ذره های کلوبید به هنگام عبور نور از میان آن	۹۸	Tyndall Effect	اثر تیندل
نوعی مخلوط که یکی از اجزای آن پس از مدتی تهشیش می شود.	۹۸	Suspension	سوسپانسیون
کلوبیدی که از پراکنده شدن یک مایع در مایع دیگر ایجاد می شود.	۹۹	Emulsion	امولسیون
حرکت سریع و تصادفی ذره های کلوبیدی که به کمک نور تابانیده شده بر زمینه ای تاریک قابل مشاهده است.	۱۰۰	Brownian Motion	حرکت براونی
تجمع ذره های معلق یک کلوبید و ایجاد ذره هایی درشت تر با جرم بیشتر که موجب تهشیش شدن ذره ها و از بین رفتن کلوبید می شود.	۱۰۱	Flocculation	لخته شدن

۱۰۱ روشهای جداسازی ذرهای کلوبیدی با دارای یک میدان الکتریکی	۱۰۲ دستگاهی صنعتی که با ایجاد یک میدان الکتریکی قوی باعث ته نشین شدن گرد و غبار کلوبیدی موجود در هوای خروجی کارخانه می‌شود.	۱۰۳ به نمک سدیم، پتاسیم و آمونیوم، اسیدهای چرب گفته می‌شود.
الکتروفورز	رسوب دهنده کوتول	صابون
۱۰۱ روشهای جداسازی یون‌ها یا مولکول‌های موجود در یک محلول به کمک غشای نیمه‌تراوا	۱۰۱ Dialysis	۱۰۲ Cottrell Precipitator

جدول تناوبی عنصرها

عنصرهای گروه اصلی

غازهای نجیب
هالوژن‌ها

عدد اتمی	نماد شیمیایی	نام	جرم اتمی	میانگین
1	H	هیدروژن	1.008	1.008
2	D	دی‌هیدروژن	2.016	2.016
3	T	تری‌هیدروژن	3.024	3.024
4	He	هیلیوم	4.003	4.003
5	Li	لیتیوم	6.941	6.941
6	Be	بئریم	9.012	9.012
7	B	بور	10.81	10.81
8	C	کربن	12.01	12.01
9	N	نیتروژن	14.01	14.01
10	O	اکسیژن	16.00	16.00
11	F	فلور	18.99	18.99
12	Ne	نیون	20.18	20.18
13	Na	ناتریوم	22.99	22.99
14	Mg	مگنیزیم	24.31	24.31
15	Al	آلومینیوم	26.98	26.98
16	Si	سیلیکون	28.09	28.09
17	P	فسفور	30.97	30.97
18	S	سولفیو	32.07	32.07
19	Cl	کلر	35.45	35.45
20	Ar	آرگون	39.95	39.95
21	K	کالیوم	39.09	39.09
22	Ca	کلسیم	40.08	40.08
23	Sc	سکاندیم	44.96	44.96
24	V	وولفراوم	50.94	50.94
25	Cr	کروم	51.99	51.99
26	Mn	منگنز	54.94	54.94
27	Fe	آهن	55.85	55.85
28	Co	کوبالت	58.93	58.93
29	Ni	نیکل	58.71	58.71
30	Zn	زنک	65.41	65.41
31	Ga	گالیم	69.72	69.72
32	Ge	جیز	72.61	72.61
33	As	ارسenic	75.47	75.47
34	Se	سیلیس	78.96	78.96
35	Br	بروم	80.00	80.00
36	Kr	کریون	83.80	83.80
37	Rb	ریبیم	85.47	85.47
38	Sr	سیریم	87.62	87.62
39	Y	یوتیلم	88.91	88.91
40	La	لانتانیدها	138.91	138.91
41	Ce	سیانیدها	140.91	140.91
42	Pr	پریمیدها	144.91	144.91
43	Nd	نیدیمیدها	144.91	144.91
44	Pm	پرمیمیدها	147.91	147.91
45	Sm	سمیمیدها	150.91	150.91
46	Eu	یوئیمیدها	151.91	151.91
47	Dy	دیمیدها	157.91	157.91
48	Tb	تیبیدها	158.91	158.91
49	Ho	هوئیدها	164.91	164.91
50	Er	ئریدها	167.91	167.91
51	Tm	تمیدها	169.91	169.91
52	Yb	یوبیدها	173.91	173.91
53	Dy	دیوبیدها	174.91	174.91
54	Sg	سگمیدها	175.91	175.91
55	Bh	بھمیدها	178.91	178.91
56	Hs	هیسیدها	180.91	180.91
57	Mt	متیدها	183.91	183.91
58	Ds	دی‌تی‌سیدها	186.91	186.91
59	Rg	رگیدها	190.91	190.91
60				

عنصرهای گروه اصلی
فلزهای قلایی
فلزهای قلایی خاکی
فلزهای قلایی قلایی

فلزها
شبیه فلزها
نافلزها

عدد اتمی
نماد شیمیایی
نام

جرم اتمی

میانگین

غازهای نجیب

www.ShimiPedia.ir

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.