چگونه مسائل شیمی را حل کنیم

ویرایش هشتم

مؤلف: رابرت بویکس

مترجمان: فروغ فرجود، محبوبه صادقی، فرشاد صیرفی زاده

انتشارات فاطمی

۱۳۹۴

مدیر تولید: فرید مصلحی مصلح‌آبادی
حروفچینی و صفحه‌بندی (LaTeX-پارسی): زهره امینی
نمونه‌خوانی: ابوالفضل بیرامی، مسعود رژدام
طراحی جلد: علی ابوالحسنی

نظارت بر چاپ: علی محمدپور
لیتوگرافی: نقش سبز
چاپ و صحافی: خاشع

چگونه مسائل شیمی را حل کنیم
ویراست هشتم

مؤلف: رابرت س. بویکس
مترجمان: فروغ فرجود، محبوبه صادقی، فرشاد صیرفی‌زاده
ناشر: انتشارات فاطمی
چاپ اول، ۱۳۹۴
شمارگان: ۱۵۰۰ نسخه
قیمت: تومان
شابک ۰_۸۲۹_۳۱۸_۹۶۴_۹۷۸
ISBN 978-964-318-829-0

کلیهٔ حقوق برای انتشارات فاطمی محفوظ است.

نشانی دفتر: میدان فاطمی، خیابان جویبار، خیابان میرهادی،
شمارهٔ ۱۴، کدپستی ۱۴۱۵۸۸۴۷۴۱، تلفن: ۸۸۹۴۵۵۴۵
نمابر: ۸۸۹۴۴۰۵۱ www.fatemi.ir • info@fatemi.ir
نشانی فروشگاه: تهران، خیابان انقلاب، خیابان دانشگاه، تقاطع شهدای ژاندارمری
تلفن: ۶۶۹۷۳۴۷۸ نمابر: ۶۶۹۷۳۷۱۰

به‌نام خدا

فهرست

پیشگفتار هفت

فصل ۱: چگونه مسئله حل کنیم ۱

فصل ۲: واحدهای اندازه‌گیری ۳
سیستم بین‌المللی واحدها، SI ۴
تبدیل واحدها ۵
تبدیل دمای سلسیوس (سانتی‌گراد) به دمای فارنهایت و برعکس ۹
اندازه‌گیری ۱۱
ارقام بامعنی ۱۲
علامت‌گذاری نمایی ۱۲
محاسبه با استفاده از ارقام بامعنی ۱۴

فصل ۳: وزن اتمی، مقدار و مول ۱۶
روابط بین جرم ـ مقدار ۱۸
واحدهای مقدار ۱۸
تبدیل واحدها ۲۰
مروری بر مطالب ۲۲
نماد ۲۲

فصل ۴: روابط جرم ـ مقدار در فرمول‌های شیمیایی ۲۸
کاربرد واژهٔ مول ۲۹

روابط جرمی در فرمول‌های شیمیایی ۳۰
تعیین فرمول یک مادهٔ مرکب ۳۰
محاسبه با استفاده از فرمول یک مادهٔ مرکب ۳۱
محاسبهٔ فرمول یک مادهٔ مرکب ۳۹

فصل ۵: روابط مولی در واکنش‌های شیمیایی (I. استوکیومتری) ۴۵
معادلات شیمیایی ۴۵

فصل ۶: روابط مولی در واکنش‌های شیمیایی (II. مخلوط‌ها) ۵۹

فصل ۷: قوانین گازها ۶۹
قانون بویل ۶۹
فشار استاندارد ۷۰
اثر تغییر دما ۷۱
صفر مطلق ۷۱
قانون شارل ۷۲
شرایط استاندارد ۷۲
تغییر فشار و دما ۷۳
قانون آووگادرو ۷۶
معادلهٔ قانون گاز ایده‌آل $PV = nRT$ ۸۰
چگالی گازها ۸۴
فشار جزئی: قانون فشارهای جزئی دالتون ۸۶
استوکیومتری گازها ۹۱
فشار بخار ۹۷
رطوبت نسبی ۱۰۰
پخش و برون‌پخشی ۱۰۰

فصل ۸: گرماشیمی ۱۰۳

فصل ۹: نظریهٔ کوانتومی و ساختار اتم‌ها ۱۱۵
پیکربندی‌های الکترونی اتم‌ها ۱۱۸

فصل ۱۰: ساختار مولکول‌ها ۱۲۵
رزونانس ۱۳۴
هیبرید شدن ۱۳۶

هندسهٔ مولکولی ۱۳۹

فصل ۱۱: غلظت محلول‌ها ۱۴۳
روابط جرمی ۱۴۳
روابط حجمی ۱۴۴
روابط مولی ۱۴۴
عبارت‌های دیگر در مورد غلظت ۱۴۵
تبدیل روابط غلظت ۱۴۵

فصل ۱۲: خواص محلول‌ها ۱۵۹

فصل ۱۳: سینتیک ۱۷۰

فصل ۱۴: تعادل شیمیایی و ثابت‌های تعادل ۱۸۶
حالت تعادل ۱۸۶
تغییر شیمیایی و تعادل ۱۸۷
ثابت‌های تعادل بر حسب فشار ۱۹۹
روشی کلی برای حل کردن مسائل مربوط به تعادل ۲۰۲

فصل ۱۵: تعادل‌های اسید و باز I ۲۰۸
مفهوم فرمالیته و تعریف دیگر مولاریته ۲۱۳
اسیدها و بازهای مزدوج ۲۱۷
سایر تعادل‌هایی که شامل الکترولیت‌های ضعیف است ۲۲۰
اسیدهای چند پروتونی ۲۲۳

فصل ۱۶: اسیدها و بازها II ۲۳۱
خنثی شدن و هم‌ارزها ۲۳۱
بافرها ۲۳۹
تقریب واکنش اصلی ۲۴۳

فصل ۱۷: حاصل‌ضرب‌های انحلال‌پذیری و یون‌های کمپلکس ۲۵۷
حاصل‌ضرب‌های انحلال‌پذیری و تعادل هیدروژن سولفید ۲۷۳
حاصل‌ضرب‌های انحلال‌پذیری و تعادل آمونیاک ۲۷۶
تعادل‌های حاصل‌ضرب انحلال‌پذیری شامل اسیدهای ضعیف منتخب ۲۷۸
یون‌های کمپلکس و حاصل‌ضرب‌های انحلال‌پذیری ۲۸۰

فصل ۱۸: ترمودینامیک **۲۸۹**
قانون اول ترمودینامیک ۲۸۹
قانون دوم ترمودینامیک ۲۹۸
انرژی آزاد و K ۳۰۲

فصل ۱۹: فرایندهای اکسایش ـ کاهش **۳۰۵**
موازنهٔ معادله‌های اکسایش ـ کاهش ۳۰۵
روش نیم ـ واکنش‌ها ۳۰۶
روش تغییر عدد اکسایش ۳۱۳
هم‌ارزها در فرایندهای اکسایش ـ کاهش ۳۲۲
قانون فاراده و هم‌ارزی الکتروشیمیایی ۳۲۶
پتانسیل‌ها ۳۳۱
اثر تغییر غلظت ۳۳۶
انرژی آزاد و پتانسیل ۳۴۱
محاسبهٔ پتانسیل یک نیم‌ـواکنش با استفاده از پتانسیل‌های سایر نیم‌ـواکنش‌ها ۳۴۲

پیوست **۳۴۹**
پاسخ مسائل **۳۶۳**

پیشگفتار

در ویراست هشتم کتاب «چگونه مسائل شیمی را حل کنیم» سعی بر این بوده است که با حفظ ماهیت خودآموز بودن کتاب، به نظرات خوانندگان ویراست هفتم پاسخ داده شود.

برای وضوح بیشتر، بسیاری از بخش‌ها بازنویسی شده‌اند. مسائل جدیدی آورده شده و مسائل قبلی دوباره مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

برای حل مسائلی که به توضیح بیشتری نیاز داشته‌اند، راهنمایی‌هایی نیز آورده شده است. پاسخ همهٔ مسائل در انتهای کتاب آمده است.

ترتیب فصل‌ها به صورتی تغییر پیدا کرده‌اند که به کتاب‌های درسی شیمی عمومی نزدیک‌تر باشند. بعضی از فصل‌های طولانی تقسیم شده‌اند. ساختار بعضی از فصل‌ها تغییر کرده است. هدف این بوده است که دانشجویان از این کتاب به عنوان کتاب مکملِ کتاب درسی شیمی عمومی استفاده کنند.

بعضی از تغییراتی که در این کتاب صورت گرفته است، عبارت‌اند از:

فصل‌های مربوط به استوکیومتری در کنار هم قرار داده شده‌اند. مطالب مربوط به گرماشیمی در کنار فصل‌های استوکیومتری آورده شده‌اند تا تأکیدی بر شباهت این دو فصل باشد. فصل مربوط به قوانین گازها، بعد از فصل استوکیومتری آورده شده است و مطالب مربوط به اسیدها و بازها در دو فصل جداگانه آمده‌اند.

امروزه دانشجویان سال‌های اول رشتهٔ شیمی باید مهارت زیادی در حل مسائل شیمی پیدا کنند، و بسیاری از آنها به کتابی خودآموز نیاز دارند که به کمک آن بتوانند این مهارت را کسب کنند.

هدف من از ویراست هشتم این کتاب، در دسترس قرار دادن مثال‌ها، مسائل و توضیحاتی است که دانشجویان سال‌های اول رشتهٔ شیمی به آنها نیاز دارند. لازم است دانشجویان سخت‌کوش باشند و از این کتاب استفاده کنند تا موفق شوند.

فصل‌های این کتاب شامل مفاهیمی چون: روش‌های حل مسأله، واحدهای اندازه‌گیری، وزن اتمی و مولی، تعیین فرمول مادهٔ مرکب، قانون گازها، روابط مولی در واکنش‌های شیمیایی، نظریهٔ کوانتومی و ساختار اتم، گرما شیمی و ترمودینامیک، غلظت و خاصیت محلول‌ها، اسید و باز و تعادل محلول‌ها، فرایندهای اکسایش ـ کاهش و سینتیک است.

از همکارانم در کالج روتگر که با پیشنهادات و انتقادات سازندهٔ خود مرا یاری کردند به‌طور ویژه تشکر می‌کنم.

رابرت بویکس

فصل ۱

چگونه مسئله حل کنیم

روش حل هر مسئله در شیمی یا هر رشتهٔ دیگر اساساً یکسان است. اول مسئله را به دقت بخوانید و در مورد آنچه که انتظار می‌رود و آنچه باید انجام دهید، تصمیم بگیرید. دوم در مورد نحوهٔ انجام کار بیندیشید. سوم اینکه پیش بروید و مسئله را بر اساس طرح پیشنهادی حل کنید و سرانجام آنچه را که انجام داده‌اید، مرور کنید. مرحلهٔ اول و دوم، تجزیه و تحلیل مسئله است و مرحلهٔ سوم شامل محاسبات ریاضی است. پاره‌ای از مسائل پیچیده‌تر هستند اما همهٔ آنها بر اساس این سه مرحلهٔ اصولی حل می‌شوند. مرحلهٔ سوم به اندازهٔ دو مرحلهٔ اول و دوم اهمیت دارد و از بروز بسیاری از اشتباهات جلوگیری خواهد کرد.

به بیان دقیق‌تر، وقتی می‌خواهید مسئله‌ای را در این کتاب یا کتاب دیگر یا در امتحان حل کنید باید به نکات زیر توجه کنید:

۱. مسئله را به دقت بخوانید. به آنچه در مسئله داده شده و آنچه از شما خواسته شده است، دقیقاً توجه کنید. مسائل شیمی غالباً اطلاعات بیشتری نسبت به آنچه صریحاً داده شده است، دارند. مثلاً اگر در مسئله‌ای جرم آب معلوم باشد، تعداد مول‌ها، مولکول‌ها و اتم‌های آن نیز معلوم می‌شود. اگر در مسئله شرایط خاصی وجود دارد به آن توجه کنید. مطمئن شوید که مفهوم همهٔ عبارات و واحدها را می‌دانید و با همهٔ اصول شیمیایی مربوط به مسئله آشنا هستید. هر مسئله در این کتاب برای نشان دادن یک اصل، رابطه، قانون، تعریف یا واقعیتی طرح شده است. با فهمیدن آنها در حل مسئله مشکلی نخواهید داشت. یک دلیل اصلی و درواقع تنها دلیلی که دانش‌آموزان در حل مسائل شیمی با مشکل مواجه می‌شوند این است که اصول شیمیایی مربوط به آن مسئله و مفهوم و ارزش همهٔ عبارت‌ها و واحدهای به کار رفته در مسئله را دقیقاً نمی‌دانند.

۲. پیش از حل مسئله به جزئیات راه‌حل بیندیشید. پیش از انجام دادن اولین مرحله سعی کنید تمام

راه‌حل را پیش چشم خود مجسم کنید و دلیل آنچه را که می‌خواهید انجام دهید، بدانید و مسئله را از کارامدترین راه یعنی، از کوتاه‌ترین راه و با کمترین راه‌حل، حل کنید.

۳. دقیقاً مشخص کنید که هر عدد نمایندهٔ چیست و برحسب چه واحدی بیان شده است. مثلاً محاسبات ریاضی را نباید به‌صورت زیر بنویسید

$$\frac{۱۹۲}{۳۲} = ۶$$

بلکه باید به‌صورت زیر نوشته شود

$$\text{مول گوگرد } ۶ = \frac{\text{۱۹۲ گرم گوگرد}}{\text{۳۲ گرم گوگرد در هر مول}}$$

واحدها را مانند اعداد ضرب و تقسیم کنید. این روش تنها راهی است که به روند فکری شما دقت می‌بخشد و کمک می‌کند تا کمتر خطا کنید. در اولین مرحلهٔ راه‌حل، واحد یا واحدهایی را که پاسخ برحسب آن بیان می‌شود، به اختصار بنویسید. مثلاً، اگر می‌خواهید جرم اکسیژن را در ۲۰۰ g نقره اکسید حساب کنید، پاسخ باید به‌صورت «اکسیژن g . . . . . =» نوشته شود. در بسیاری از مسائل عکس این عمل می‌شود، زیرا بیشتر اوقات ابتدا به واحدی که پاسخ برحسب آن است توجه می‌شود و سپس با به‌خاطر سپردن این واحدها راه‌حل طرح‌ریزی می‌شود.

۴. پس از حل مسئله، بررسی کنید که آیا پاسخ شما منطقی و قابل‌قبول است یا نه. دانش‌آموزی که گزارش می‌کند ۲۰۰ g نقره اکسید حاوی ۱۳۸۰ g اکسیژن است، باید بداند که این پاسخ قابل‌قبول نیست. همیشه سعی کنید پاسخ خود را بررسی کنید و ببینید که آیا این پاسخ قابل‌قبول است یا نه.

۵. اگر راه‌حل مسئله‌ای را که به‌تازگی برای شما توضیح داده شده است ندانید، چه باید بکنید. برای اینکه بتوانید مسئله‌ای را حل کنید، باید مسائل مشابه با آن را فهمیده باشید. پس از اینکه مسئله‌ای برای شما توضیح داده شد، بلافاصله یا حداقل در عرض چند ساعت در حالی‌که هنوز آمادگی ذهنی دارید، بر روی مسائل مشابه با آن کار کنید تا مسئله در ذهن شما جا بیفتد. خود را امتحان کنید تا مطمئن شوید مسئله را فهمیده‌اید.

فصل ۲

واحدهای اندازه‌گیری

اندازه‌گیری مبنای هر گونه بررسی کمّی است. علوم، وابسته به داده‌های کمّی است. این داده‌ها از اندازه‌گیری به‌دست می‌آیند. با استفاده از واحد، کمیّت مورد نظر را با کمیّت استاندارد می‌سنجند. برای ایجاد ارتباط مقایسه در یک محاسبه باید در مورد یک واحد به توافق برسیم. سیستم متری نمونه‌ای از هماهنگی دربارهٔ واحدهاست.

در این کتاب فرض بر این است که شما با واحدهای متداول اندازه‌گیری در سیستم متری آشنا هستید و با نمایش حجم به‌صورت ۱ L، ۱۰۰ cm^3 و ۱ cm^3 و نمایش جرم به‌صورت ۱۰ g، ۱۰۰ g و ۱ kg و نمایش طول به‌صورت ۷۶۰ mm، ۱۰ cm و ۱ m آشنایی دارید. همچنین با مقیاس دمای سلسیوس (سانتی‌گراد) آشنا هستید.

به خاطر داشته باشید که در سیستم متری از نمادهای اعشاری استفاده می‌شود که در آن پیشوند میکرو ـ به معنی یک میلیونیم (10^{-6})، میلی ـ به معنی یک هزارم (10^{-3})، سانتی ـ به معنی یک صدم (10^{-2}) و دسی ـ به معنی یک‌دهم (10^{-1}) است. در حالی‌که کیلو ـ به معنی ۱۰۰۰ برابر (10^{3}) و مگا ـ به معنی یک میلیون برابر (10^{6}) است.

این پیشوندها رابطهٔ میان واحدها در سیستم متری را نشان می‌دهند. برای مثال یک سانتی‌متر برابر ۰٫۰۱ متر و یک کیلومتر برابر ۱۰۰۰ متر است.

تبدیل‌کردن واحدهای متری (گرم، لیتر، سانتی‌مترمکعب، سانتی‌متر و غیره) به واحدهای دیگر (پوند، کوارت، اینچ، فوت و غیره) غالباً لازم نیست. در صورت نیاز به این تبدیل‌ها می‌توان از ضریب تبدیل استفاده کرد.

۱ متر (m) = ۳۹٫۳۷ اینچ (in) = ۱٫۰۹ یارد (yd)

۱ کیلوگرم (kg) = ۲٫۲۰۴۶ پوند (lb)

۱ لیتر (L) = ۰٫۲۶۴ گالن (gal) = ۱٫۰۶ کوارت (qt)

سیستم بین‌المللی واحدها، SI

طی سال‌ها، اصلاحات زیادی در سیستم متری انجام شده است و نتیجهٔ کار، سیستم اصلاح شده و جدید واحدهاست که انجمن علمی بین‌المللی آن را پذیرفته است. این سیستم جدید سیستم بین‌المللی واحدها یا SI نام دارد که از حروف اول نام آن در زبان فرانسه گرفته شده است. سیستم متری SI با هفت واحد اصلی شروع می‌شود که با مجموعه‌ای از کمیت‌های فیزیکی مستقل مطابقت دارد. این واحدهای اصلی و نمادهای آنها در جدول ۱.۲ فهرست شده‌اند. پنج نماد اول در هر شاخهٔ شیمی به‌کار می‌روند و دو نماد آخر بیشتر تخصصی هستند.

واحدهای سایر کمیّت‌های فیزیکی واحدهای فرعی نام دارند و ترکیبی از واحدهای اصلی مناسب بدون ضرایب عددی هستند. مثلاً، واحد سطح، مترمربع (m^2) است و از رابطهٔ میان طول و سطح مشتق شده است. واحد حجم، مترمکعب (m^3) است و از رابطهٔ میان طول و حجم مشتق شده است. این سیستم واحدها سیستم همسان نامیده می‌شود و مزیت آن این است که نیازی به یادگیری ضرایب تبدیل ندارد. پاره‌ای از واحدهای فرعی مهم در جدول ۲.۲ فهرست شده‌اند و برخی واحدهای متداول که در سیستم SI نیستند نیز در جدول ۳.۲ آورده شده است.

سیستم SI مجموعه‌ای از پیشوندها را نیز دربر دارد که برای کسرها و مضرب‌های اعشاری واحدهای اصلی و فرعی این سیستم به‌کار می‌رود. پیشوندهای مربوط به همهٔ توان‌های ۱۰ وجود ندارد. پیشوندهای کوچک‌تر از 10^{-2} یا بزرگ‌تر از 10^{2} باید نماهای قابل‌قسمت بر ۳ داشته باشند. پاره‌ای از این پیشوندها در جدول ۴.۲ فهرست شده‌اند. توجه کنید که شیمی‌دان‌ها همهٔ واحدهای SI را نپذیرفته‌اند. در بعضی موارد، سیستم‌های قدیمی مناسب‌ترند. در این کتاب، سعی می‌کنیم که برای سهولت تا حد ممکن از سیستم SI استفاده کنیم.

جدول ۱.۲

کمیّت فیزیکی	واحد	نماد
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
مقدار	مول	mol
دما	کلوین	K
جریان الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	شمع	cd

جدول ۲.۲

کمیّت فیزیکی	واحد	نماد	شرح
انرژی	ژول	J	$kg.m^۲/s^۲$
نیرو	نیوتن	N	$kg.m/s^۲ (J/m)$
فشار	پاسکال	Pa	$kg/m.s^۲ (N/m^۲)$
بار الکتریکی	کولن	C	A.s

جدول ۳.۲

کمیّت فیزیکی	واحد	نماد	شرح
انرژی	کالری	cal	۴٫۱۸۴ J
فشار	اتمسفر	atm	$۱٫۰۱ \times ۱۰^۵$ Pa
فشار	میلی‌متر جیوه	mmHg	$\frac{۱}{۷۶۰}$ atm
فشار	تور	torr	$\frac{۱}{۷۶۰}$ atm
نیرو	دین	dyn	$۱۰^{-۵}$ N

جدول ۴.۲

کسر	پیشوند	نماد	مضرب	پیشوند	نماد
$۱۰^{-۱}$	دسی	d	۱۰	دکا	da
$۱۰^{-۲}$	سانتی	c	$۱۰^۲$	هکتو	h
$۱۰^{-۳}$	میلی	m	$۱۰^۳$	کیلو	k
$۱۰^{-۶}$	میکرو	μ	$۱۰^۶$	مگا	M
$۱۰^{-۹}$	نانو	n	$۱۰^۹$	گیگا	G

تبدیل واحدها

تبدیل کردن مقدار یک کمیّت فیزیکی از یک واحد به واحد دیگر یک نوع محاسبهٔ علمی بسیار متداول است. اولین مرحله در این محاسبات، یافتن رابطهٔ میان این دو واحد است. واحدها ممکن است تنها با توان ۱۰ به یکدیگر مربوط باشند که با پیشوند نشان داده می‌شود. مثلاً،

$$۱\,m = ۱۰۰\,cm$$

$$۱\,m^۳ = (۱۰۰\,cm)^۳ = ۱۰^۶\,cm^۳$$

یا ممکن است با ضریب عددی به یکدیگر مربوط باشند. مثلاً،

$$۱\,\mathrm{kg} = ۲٫۲۰۵\,\mathrm{lb}$$

$$۱\,\mathrm{atm} = ۷۶۰\,\mathrm{mmHg} = ۷۶۰\,\mathrm{torr}$$

ضرایب تبدیلی را که برای تبدیل کردن واحدها به یکدیگر به‌کار می‌رود، می‌توان با نوشتن رابطهٔ کسری میان واحدها به‌دست آورد. مثلاً،

$$\frac{۱\,\mathrm{m}}{۱۰۰\,\mathrm{cm}} = ۱ \qquad \text{یا} \qquad \frac{۱۰۰\,\mathrm{cm}}{۱\,\mathrm{m}} = ۱$$

این دو ضریب برای تبدیل کردن متر به سانتی‌متر یا سانتی‌متر به متر به‌کار می‌رود. انتخاب ضریب تبدیل بر پایهٔ نوع تبدیل یا بر پایهٔ حذف واحدهاست. بنابراین، برای تبدیل $۳٫۲\,\mathrm{m}$ به سانتی‌متر چنین می‌نویسیم:

$$۳٫۲\,\cancel{\mathrm{m}} \times \frac{۱۰۰\,\mathrm{cm}}{۱\,\cancel{\mathrm{m}}} = ۳۲۰\,\mathrm{cm}$$

در حالی‌که برای تبدیل $۵۳٫۷\,\mathrm{cm}$ به متر چنین می‌نویسیم:

$$۵۳٫۷\,\cancel{\mathrm{cm}} \times \frac{۱\,\mathrm{m}}{۱۰۰\,\cancel{\mathrm{cm}}} = ۰٫۵۳۷\,\mathrm{m}$$

در ضریب تبدیل به‌کار رفته، واحد اندازه‌گیری اولیه در مخرج و واحد اندازه‌گیری مورد نظر در صورت است. همان‌گونه که می‌بینید با انتخاب ضریب تبدیل صحیح، واحدهای اولیه حذف می‌شود و واحد مورد نظر باقی می‌ماند.

این تبدیل‌ها را همیشه امتحان کنید و ببینید آیا پاسخ قابل‌قبول است. چون سانتی‌متر از متر کوچک‌تر است، پس مقدار سانتی‌متر در یک طول معین از متر بیشتر است. بنابراین، تبدیل از متر به سانتی‌متر عدد بزرگ‌تری را به‌دست می‌دهد. همان‌گونه که می‌بینید $۳٫۲\,\mathrm{m}$ برابر با $۳۲۰\,\mathrm{cm}$ است و همچنین، عکس این تبدیل پاسخ کوچک‌تری دارد. مثلاً، $۵۳٫۷\,\mathrm{cm}$ برابر با $۰٫۵۳۷\,\mathrm{m}$ است. اگر از ضریب تبدیل نادرستی استفاده کرده باشید مانند ضریب تبدیل

$$۳٫۲\,\mathrm{m} \times \frac{۱\,\mathrm{m}}{۱۰۰\,\mathrm{cm}} = ۰٫۰۳۲\ \frac{\mathrm{m}^۲}{\mathrm{cm}}$$

نه‌تنها پاسخ غیرمنطقی خواهد بود و طول برحسب سانتی‌متر نسبت به طول برحسب متر عدد کوچک‌تری است، واحدها نیز حذف نمی‌شوند و پاسخ به‌دست آمده واحدی بدون معنی خواهد داشت.

مسائل

۱.۲ جرم یک کتاب با جلد کاغذی ۴۱۰ g است. این کتاب چند کیلوگرم و چند پوند جرم دارد؟

حل: ابتدا رابطهٔ میان واحدهای تبدیل را می‌نویسیم.

$$۱\,\mathrm{kg} = ۱۰۰۰\,\mathrm{g}$$

از این رابطه، ضریب تبدیل لازم را به‌دست می‌آوریم. ضریب مورد نظر ضریبی است که واحد پاسخ مسئله در صورت کسر باشد. در این مورد ضریب به‌صورت زیر است:

$$\frac{۱\,\mathrm{kg}}{۱۰۰۰\,\mathrm{g}}$$

پس تبدیل به‌صورت زیر انجام می‌شود

$$۴۱۰\,\cancel{\mathrm{g}} \times \frac{۱\,\mathrm{kg}}{۱۰۰۰\,\cancel{\mathrm{g}}} = ۰٫۴۱۰\,\mathrm{kg}$$

توجه کنید که با حذف واحدها، تنها واحد مورد نظر باقی می‌ماند. تبدیل به واحد پوند نیز با همین روش انجام می‌گیرد.

$$۱\,\mathrm{lb} = ۴۵۴\,\mathrm{g}$$
$$۴۱۰\,\cancel{\mathrm{g}} \times \frac{۱\,\mathrm{lb}}{۴۵۴\,\cancel{\mathrm{g}}} = ۰٫۹۰۳\,\mathrm{lb}$$

۲.۲ قد شخصی ۷۱ اینچ است. آن را برحسب فوت، متر و سانتی‌متر بیان کنید.

۳.۲ حجم یک بطری $۷۵۰\,\mathrm{cm}^۳$ است. این حجم را برحسب اونس، کوارت و لیتر بیان کنید. توجه کنید که یک کوارت معادل ۳۲ اونس است.

۴.۲ یک متر مکعب چند لیتر است؟

۵.۲ حداکثر سرعت مجاز در بزرگراه ۵۵ مایل در ساعت است. این سرعت را برحسب کیلومتر در ساعت و متر در ثانیه بیان کنید. توجه کنید که یک مایل ۵۲۸۰ فوت است.

۶.۲ مساحت یک قطعه زمین مستطیل‌شکل به ابعاد $۴۲\,\mathrm{m} \times ۳۵\,\mathrm{m}$ را برحسب فوت مربع بیان کنید.

۷.۲ $۱\,\mathrm{km}^۳$ چند نانومتر مکعب است؟

حل: هر دو واحد را می‌توان به متر که واحد اصلی است و به متر مکعب که واحد فرعی برای حجم است، ربط داد. برای پیداکردن ارتباط میان واحد فرعی (در این مورد واحد حجم) از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم.

$$۱\,\mathrm{m} = ۱۰^۹\,\mathrm{nm}$$

پس واحد اصلی را به واحد فرعی تبدیل می‌کنیم

$$(۱\,\mathrm{m})^۳ = (۱۰^۹\,\mathrm{nm})^۳$$

همچنین $۱\,\mathrm{m} = ۱۰^{-۳}\,\mathrm{km}$ و $(۱\,\mathrm{m})^۳ = (۱۰^{-۳}\,\mathrm{km})^۳$ است.
با مساوی قراردادن عبارت‌های برابر، خواهیم داشت

$$(۱۰^۹\,\mathrm{nm})^۳ = (۱۰^{-۳}\,\mathrm{km})^۳$$
$$۱۰^{۲۷}\,\mathrm{nm}^۳ = ۱۰^{-۹}\,\mathrm{km}^۳$$
$$۱۰^{۳۶}\,\mathrm{nm}^۳ = ۱\,\mathrm{km}^۳$$

۸.۲ چگالی آب $۱\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^۳}$ است. این چگالی را به واحدهای زیر تبدیل کنید

الف) $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{cm}^۳}$ **ب)** $\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{m}^۳}$ **ج)** $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^۳}$ **د)** $\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{L}}$

۹.۲ جرم قمر بزرگ‌تر سیارهٔ مشتری که فوبوس نام دارد، $۲٫۷ \times ۱۰^{۱۶}\,\mathrm{kg}$ است. این جرم را به سه واحد دیگر در سیستم SI تبدیل کنید.

۱۰.۲ غواصی در عمق ۵۰ متر تحت فشار ۶ اتمسفر است. این مقدار فشار را به سه واحد دیگر فشار در سیستم SI تبدیل کنید.

۱۱.۲ افرادی که رژیم غذایی دارند معمولاً با واحدی به نام «کالری» سروکار دارند. این کالری همان واحد انرژی است. یک «کالری غذایی» معادل ۱۰۰۰ کالری انرژی است. در جدول ترکیبات غذایی، مقدار «کالری موجود» در یک فنجان بادام‌زمینی سرخ شده ۸۰۵ «کالری» است. این مقدار را به ژول تبدیل کنید.

۱۲.۲ داده‌های موجود در گزارش آب و هوای امروز را برحسب واحد SI بیان کنید.

تبدیل دمای سلسیوس (سانتی‌گراد) به دمای فارنهایت و برعکس

دماسنج‌هایی که در آزمایشگاه به‌کار می‌رود برحسب درجهٔ سلسیوس که با حرف C نشان داده می‌شود، درجه‌بندی شده است. توجه کنید که عبارت درجهٔ سلسیوس را به‌کار می‌بریم و نه درجهٔ سانتی‌گراد. این مقیاس به افتخار طراح آن آندره سلسیوس ــ دانشمند سوئدی ــ به این نام خوانده می‌شود. درجهٔ سلسیوس با معادلهٔ زیر به دمای کلوین که واحد دما در سیستم SI است، مربوط می‌شود

$$T = t + ۲۷۳$$

که T دما برحسب کلوین (K) و t دما برحسب درجهٔ سلسیوس ($^\circ$C) است. واحد دما در سیستم SI کلوین است. از عبارت درجه در این سیستم استفاده نمی‌شود. برای تبدیل کردن این دو واحد به یکدیگر فقط باید ۲۷۳ را اضافه یا کم کنیم.

بیشتر دماسنج‌های خانگی در ایالات متحده برحسب درجهٔ فارنهایت مدرج شده‌اند که با حرف F نشان داده می‌شود. نقاط ثابت در دو مقیاس دمای فارنهایت و سلسیوس نقاط جوش و انجماد آب هستند. نقطهٔ انجماد آب در مقیاس سلسیوس ۰ $^\circ$C و نقطهٔ جوش آب ۱۰۰ $^\circ$C است. فاصلهٔ میان این دو نقطهٔ ثابت به صد واحد و فاصلهٔ بالاتر از ۱۰۰ $^\circ$C و پایین‌تر از ۰ $^\circ$C به واحدهای مساوی تقسیم شده است. نقطهٔ انجماد آب در مقیاس فارنهایت ۳۲ $^\circ$F و نقطهٔ جوش آب ۲۱۲ $^\circ$F است. فاصلهٔ میان این دو نقطهٔ ثابت به ۱۸۰ واحد و فاصلهٔ بالاتر از ۲۱۲ $^\circ$F و پایین‌تر از ۳۲ $^\circ$F به واحدهای مساوی تقسیم شده است. چون فاصلهٔ میان نقطهٔ انجماد و جوش آب در مقیاس سلسیوس به ۱۰۰ واحد و در مقیاس فارنهایت به ۱۸۰ واحد تقسیم شده است، پس ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس همان تغییر دمای ۱۸۰ درجهٔ فارنهایت را نشان می‌دهد. بنابراین، یک درجهٔ سلسیوس معادل ۱٫۸ درجهٔ فارنهایت است که می‌توان آن را به‌صورت کسر نیز نشان داد. یک درجهٔ سلسیوس معادل $\frac{۹}{۵}$ درجهٔ فارنهایت است و یک درجهٔ فارنهایت معادل $\frac{۵}{۹}$ درجهٔ سلسیوس است.

با به خاطر سپردن این داده‌ها، اگر بخواهیم دمای خاصی برحسب سلسیوس، C، را به فارنهایت تبدیل کنیم، درجهٔ سلسیوس را در $\frac{۹}{۵}$ ضرب می‌کنیم، عدد حاصل $\frac{۹}{۵}$ C می‌شود. چون دمای مرجع (نقطهٔ انجماد آب) در مقیاس فارنهایت ۳۲ $^\circ$ بالای صفر است، عدد ۳۲ را باید به $\frac{۹}{۵}$ C اضافه کنیم تا عدد واقعی در مقیاس فارنهایت به‌دست آید.

$$\text{دمای فارنهایت} = \frac{۹}{۵} \times \text{دمای سلسیوس} + ۳۲$$

یا

$$\mathrm{F} = \frac{۹}{۵}\,\mathrm{C} + ۳۲ \qquad (۱.۲)$$

معادلهٔ (۱.۲) را می‌توان به شکل زیر نوشت

$$C = \frac{۵}{۹}(F - ۳۲) \qquad (۲.۲)$$

معادلهٔ (۲.۲) بیان می‌کند که برای پیدا کردن درجهٔ فارنهایت برحسب درجهٔ سلسیوس، ابتدا عدد ۳۲ را از دمای فارنهایت کم می‌کنیم (زیرا نقطهٔ انجماد آب در مقیاس فارنهایت $^\circ$۳۲ بالای صفر است) و سپس پاسخ را در $\frac{۵}{۹}$ ضرب می‌کنیم.

کاربرد معادلات (۱.۲) و (۲.۲) در مسائل زیر نشان داده شده است.

الف) $۱۴۴\ ^\circ F$ را به سلسیوس تبدیل کنید.

می‌دانیم که $۱۴۴\ ^\circ F$ به اندازهٔ $۱۱۲\ ^\circ F = (۳۲ - ۱۴۴)$ بالاتر از نقطهٔ انجماد آب است. چون یک درجهٔ فارنهایت معادل $\frac{۵}{۹}$ درجهٔ سلسیوس است، پس ۱۱۲ درجهٔ فارنهایت باید معادل $\frac{۵}{۹} \times ۱۱۲$ یا ۶۲٫۲ درجهٔ سلسیوس باشد. یعنی، $۱۴۴\ ^\circ F$ به اندازهٔ ۶۲٫۲ درجهٔ سلسیوس بالاتر از نقطهٔ انجماد آب است. چون نقطهٔ انجماد آب $۰\ ^\circ C$ است، ۶۲٫۲ درجهٔ سلسیوس بالای نقطهٔ انجماد آب برابر با $۶۲٫۲\ ^\circ C$ است.

ب) $۸۰\ ^\circ C$ را به فارنهایت تبدیل کنید.

می‌دانیم که $۸۰\ ^\circ C$ یعنی ۸۰ درجهٔ سلسیوس بالای نقطهٔ انجماد آب. چون $۱\ ^\circ C$ معادل $\frac{۹}{۵}\ ^\circ F$ است، پس $۸۰\ ^\circ C$ معادل $۸۰ \times \frac{۹}{۵}$ یا $۱۴۴\ ^\circ F$ است. اما نقطهٔ انجماد آب در مقیاس فارنهایت $^\circ$۳۲ است. بنابراین، باید ۳۲ را به ۱۴۴ اضافه کنیم تا دمای فارنهایت واقعی، $۱۷۶\ ^\circ F$، به دست آید.

ج) $۱۰۰\ ^\circ C$ را به کلوین تبدیل کنید.

برای تبدیل کردن سلسیوس به کلوین باید ۲۷۳ را به آن اضافه کنیم. بنابراین، $۱۰۰\ ^\circ C$ برابر با $۳۷۳\ K$ است.

مسائل

۱۳.۲ هر یک از دماهای زیر چند درجهٔ سلسیوس است؟

الف) $۷۲٫۰\ ^\circ F$ **ب)** $-۲۰٫۰\ ^\circ F$

۱۴.۲ هر یک از دماهای زیر چند درجهٔ فارنهایت است؟

الف) $۱۲٫۰\ ^\circ C$ **ب)** $-۵۰٫۰\ ^\circ C$

۱۵.۲ هر یک از دماهای زیر چند درجهٔ سلسیوس و چند درجهٔ فارنهایت است؟

الف) ۲۹۸ K ب) ۰ K

۱۶.۲ در چه درجه‌ای دمای سانتی‌گراد و فارنهایت برابر می‌شود؟

۱۷.۲ فرض کنید دماسنج جدیدی به نام X طراحی کرده‌اید. در مقیاس X، نقطهٔ جوش آب ۱۳۰ °X و نقطهٔ انجماد آب ۱۰ °X است. در چه درجه‌ای دمای فارنهایت و X برابر می‌شود؟

۱۸.۲ در مقیاس جدید دما، به نام مقیاس جِکیل، آب در ۱۷ °J منجمد می‌شود و در ۹۷ °J می‌جوشد. در مقیاس جدید دیگری به نام مقیاس هاید، آب در ۰ °H منجمد می‌شود و در ۱۲۰ °H می‌جوشد. اگر متیل الکل در ۸۴ °H بجوشد، نقطهٔ جوش آن در مقیاس جکیل چقدر خواهد بود؟

اندازه‌گیری

مقدار یک کمیّت فیزیکی از دو بخش تشکیل شده است، عدد و واحد مربوط به آن عدد. تاکنون دربارهٔ واحد صحبت کردیم. حال نگاهی به عدد می‌اندازیم.

بعضی از اعداد صحیح هستند و از شمارش به‌دست می‌آیند. برای مثال می‌گوییم ۱۴ شاگرد در ردیف اول کلاس هستند یا اینکه یک دوجین تخم‌مرغ ۱۲ عدد تخم‌مرغ دارد یا یک دقیقه ۶۰ ثانیه است. بعضی از اعداد صحیح هستند اما نه آن‌گونه که می‌خواهیم. برای مثال عدد پی (π) یا کسر $\frac{۲}{۳}$ را با هر چند رقم که بعد از اعشار دارد، می‌نویسیم.

اما بسیاری از اندازه‌های کمیّت‌های فیزیکی عدد صحیح نیستند. در تعیین فرایند تعداد واحدهای مساوی با آن کمیّت اندازه‌گیری شده، خطایی وجود دارد. در این‌صورت باید نتیجهٔ اندازه‌گیری را که یک عدد است به گونه‌ای بنویسیم که میزان خطا را نشان دهد. دو نوع خطا وجود دارد.

۱. صحت اندازه‌گیری: یعنی مقداری که از اندازه‌گیری به‌دست آمده است، چقدر به مقدار واقعی نزدیک است. معمولاً پاسخ را نمی‌دانیم چون اگر مقدار واقعی را می‌دانستیم آن را به‌کار می‌بردیم.

۲. دقت اندازه‌گیری: یعنی در یک مجموعه اندازه‌گیری هر یک از اندازه‌ها چقدر به میانگین این اعداد نزدیک است. هر قدر عددی به میانگین نزدیک‌تر باشد آن اندازه‌گیری دقیق‌تر است. دقت در یک اندازه‌گیری به آسانی محاسبه می‌شود. دقت بالا معمولاً اما نه همیشه، صحت زیاد را نشان می‌دهد. خطاهای سیستماتیک منجر به دقت زیاد اما صحت کم می‌شود.

بنابراین وقتی نتیجهٔ یک اندازه‌گیری را می‌نویسیم، اعداد را به گونه‌ای می‌نویسیم که نشان‌دهندهٔ دقت آن اندازه‌گیری باشد.

ارقام بامعنی

وقتی عدد حاصل از یک اندازه‌گیری را می‌نویسیم، در رقم آخر عدم قطعیتی وجود دارد. هر چه رقم‌های اعشار سمت راست ممیز بیشتر باشد اندازه‌گیری دقیق‌تر است. به‌طور تقریب، تعداد ارقام در یک عدد حاصل از اندازه‌گیری برابر تعداد ارقام بامعنی است. برای مثال ۱٫۸۵ m یا ۸۲٫۳ kg سه رقم بامعنی دارند، در حالی‌که ۱۶۰۹ چهار رقم بامعنی دارد. در یک محاسبه باید بدانیم چند رقم بامعنی در یک عدد وجود دارد.

استفاده از صفر برای تعیین بزرگی یک عدد کار را پیچیده می‌کند. صفرها همیشه رقم بامعنی نیستند. می‌توانیم چند قاعده بیان کنیم که در مورد همهٔ اعداد به‌کار می‌رود:

الف) هرگاه صفر بین دو رقم باشد آن صفر، بامعنی است. برای مثال ۱۰۰٫۱ K چهار رقم بامعنی دارد و ۰٫۳۰۵ سه رقم بامعنی دارد.

ب) صفری که در آخر یک عدد باشد بامعنی است. اگر این صفر در طرف راست ممیز باشد، بامعنی است. مانند ۹۱٫۱۰ که چهار رقم بامعنی دارد.

ج) صفری که فقط محل ممیز را نشان می‌دهد، بامعنی نیست. برای مثال ۰٫۰۸۲۱ سه رقم بامعنی دارد اما ۱٫۰۸۲ چهار رقم بامعنی دارد.

د) صفرهایی که بعد از یک عدد صحیح می‌آیند مبهم است (در مقایسه با ب). بدین‌ترتیب ۱۰۰۰ m می‌تواند از یک تا ۴ رقم بامعنی داشته باشد.

علامت‌گذاری نمایی

در حل یک مسئله با استفاده از قاعدهٔ (د) در بالا می‌توانیم اعداد را به‌صورت حاصل‌ضرب عددی کوچک (بین ۱ و ۱۰) با توانی از ۱۰ بیان کرد. بنابراین ۴۰۰ چهار برابر ۱۰۰ و ۱۰۰ همان 10^2 است. پس اگر عددی یک رقم بامعنی داشته باشد می‌توانیم بنویسیم 4×10^2. اگر دو رقم بامعنی داشته باشد می‌نویسیم $4{,}0 \times 10^2$ و اگر سه رقم بامعنی داشته باشد می‌نویسیم $4{,}00 \times 10^2$. این روش کارامد است زیرا طبق قاعدهٔ (ب) صفرها در طرف راست ممیز همیشه بامعنی هستند. **نکته:** توان ده اثری بر روی ارقام بامعنی ندارد و عدد کوچک (عددی که بین ۱ و ۱۰ است) همیشه با یک رقم در سمت چپ ممیز نوشته می‌شود.