CHEMISTRY
Sixth Edition
Charles E. Mortimer
Wadsworth Publishing Company, 1986

نشر علوم دانشگاهی

شیمی عمومی ۱ (ویراست ششم)
تألیف چارلز مورتیمر
ترجمهٔ دکتر عیسی یاوری
طرح روی جلد فرزان کرمانی‌نژاد
نشر علوم دانشگاهی، تهران
نوبت چاپ: هشتم
تاریخ انتشار: پاییز ۱۳۸۰
تیراژ: ۱۱۰۰۰ نسخه
حروفچینی: مؤسسه امید
حروفچین: نوشین سلیمانی
لیتوگرافی: امید
چاپ: بازار
صحافی: فرنو
بها: ۳۵۰۰۰ ریال
شابک دوره ۵-۳۳-۶۱۸۶-۹۶۴ ISBN – Vol 1–2 964 - 6186 - 33 - 5
شابک جلد ۱ ۰-۳۰-۶۱۸۶-۹۶۴ ISBN 964 - 6186 - 30 - 0

حقوق چاپ برای نشر علوم دانشگاهی محفوظ است

فهرستنویسی پیش از انتشار

مورتیمر، چارلز Mortimer, Charles E.
شیمی عمومی / چارلز مورتیمر؛ ترجمه عیسی یاوری ـ تهران: نشر علوم دانشگاهی، ۱۳۷۵ـ۱۳۷۷
۲ ج.: مصور (بخش رنگی)، جدول، نمودار.
ISBN – Vol 1–2 . 964-6186-33-5(دوره) ISBN
ISBN 964-6186-30-0 ۳۵۰۰۰ ریال: (ج.۱) ISBN
ISBN 964-6186-31-0(ج.۲) ۳۰۰۰۰ ریال:

فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
Chemistry, 6th ed.
عنوان اصلی:
واژه‌نامه.
ج. ۱ (چاپ پنجم: ۱۳۷۸)
۱. شیمی، الف. یاوری، عیسی، ۱۳۲۶ـ، مترجم. ب. عنوان.

۵۴۰ QC۳۱/۲/م۹ش۹
۱۳۷۵
کتابخانه ملی ایران ۷۵ـ۱۱۹۵۳م

تهران: خیابان انقلاب، خیابان اردیبهشت، بن‌بست بهادر، پلاک ۲۱۳
کدپستی: ۱۳۱۴۶، صندوق پستی ۱۳۱۴۵/۳۳۶ تلفن ۶۶۴۶۸۲۵ نمابر ۶۶۴۹۴۰۸

فهرست عناوین شیمی عمومی

جلد اول

۱- مقدمه
۲- مقدمه‌ای بر نظریهٔ اتمی
۳- استوکیومتری ،بخشI ، فرمول های شیمیایی
۴- استوکیومتری ،بخش II ،معادله‌های شیمیایی
۵- شیمی گرمایی
۶ ـ ساختار الکترونی اتم‌ها
۷ ـ خواص اتم‌ها و پیوند یونی
۸ ـ پیوند کووالانسی
۹ ـ شکل هندسی مولکول، اوربیتال مولکولی
۱۰ ـ گازها
۱۱ ـ مایعات و جامدات
۱۲ ـ محلول‌ها
۱۳ ـ واکنش‌های شیمیایی در محلول آبی
۱۴ ـ سینتیک شیمیایی
۱۵ ـ تعادل شیمیایی

جلد دوم

۱۶ ـ نظریه‌های اسید و باز
۱۷ ـ تعادل یونی، بخش I
۱۸ ـ تعادل یونی، بخش II
۱۹ ـ مبانی ترمودینامیک شیمیایی
۲۰ ـ الکتروشیمی
۲۱ ـ نافلزها، بخش I: هیدروژن و هالوژن‌ها
۲۲ ـ نافلزها، بخش II: عناصر گروه IV A
۲۳ ـ نافلزها، بخش III: عناصر گروه VA
۲۴ ـ نافلزها،بخش IV:کربن، سیلیسیم، بور، وگازهای نجیب
۲۵ ـ فلزات و متالورژی
۲۶ ـ ترکیبات کمپلکسی
۲۷ ـ شیمی هسته‌ای
۲۸ ـ شیمی آلی
۲۹ ـ بیوشیمی

فهرست مطالب

یادداشت مترجم
پیشگفتار مؤلف

۱. مقدمه
۱ ـ ۱ تکوین شیمی جدید
۱ ـ ۲ عناصر، ترکیب‌ها، و مخلوط‌ها
۱ ـ ۳ دستگاه متری
۱ ـ ۴ ارقام با معنی
۱ ـ ۵ محاسبات شیمیایی
چکیدهٔ مطالب
مفاهیم کلیدی
مسائل

۲. مقدمه‌ای بر نظریهٔ اتمی
۲ ـ ۱ نظریهٔ اتمی دالتون
۲ ـ ۲ الکترون
۲ ـ ۳ پروتون
۲ ـ ۴ نوترون
۲ ـ ۵ هستهٔ اتم
۲ ـ ۶ نمادهای اتمی
۲ ـ ۷ عدد اتمی و جدول تناوبی
۲ ـ ۸ ایزوتوپ‌ها
۲ ـ ۹ اوزان اتمی
چکیدهٔ مطالب
مفاهیم کلیدی
مسائل

۳. استوکیومتری، بخش I: فرمول‌های شیمیایی
۳ ـ ۱ مولکول‌ها و یون‌ها
۳ ـ ۲ فرمول تجربی
۳ ـ ۳ وزن فرمولی، وزن مولکولی
۳ ـ ۴ مول
۳ ـ ۵ درصد اجزای ترکیبات
۳ ـ ۶ به دست آوردن فرمول‌ها
چکیدهٔ مطالب
مفاهیم کلیدی
مسائل

۴. استوکیومتری، بخش II: معادله‌های شیمیایی
۴ ـ ۱ معادله‌های شیمیایی
۴ ـ ۲ مسائلی براساس معادله‌های شیمیایی
۴ ـ ۳ واکنش‌دهنده‌های محدودساز
۴ ـ ۴ درصد بازده
۴ ـ ۵ محلول‌های مولار
۴ ـ ۶ استوکیومتری واکنش‌ها در محلول
چکیدهٔ مطالب
مفاهیم کلیدی
مسائل

۵. شیمی گرمایی
۵ ـ ۱ اندازه‌گیری انرژی
۵ ـ ۲ دما و گرما
۵ ـ ۳ گرماسنجی
۵ ـ ۴ معادله‌های گرما شیمیایی
۵ ـ ۵ قانون هس
۵ ـ ۶ آنتالپی تشکیل
۵ ـ ۷ انرژی پیوندهای شیمیایی
چکیدهٔ مطالب
مفاهیم کلیدی
مسائل

۶. ساختار الکترونی اتم‌ها ۶۸

۶-۱ تابش الکترومغناطیسی ۶۸
۶-۲ طیف‌های اتمی ۷۰
۶-۳ عدد اتمی و جدول تناوبی ۷۲
۶-۴ مکانیک موجی ۷۴
۶-۵ اعداد کوانتومی ۷۷
۶-۶ پرشدن اوربیتال‌ها و قاعدهٔ هوند ۸۰
۶-۷ ساختار الکترونی عناصر ۸۲
۶-۸ لایه‌های پر و نیمه پر ۸۷
۶-۹ انواع عناصر ۸۷
چکیدهٔ مطالب ۸۸
مفاهیم کلیدی ۸۹
مسائل ۹۰

۷. خواص اتم‌ها و پیوند یونی ۹۳

۷-۱ اندازهٔ اتم‌ها ۹۳
۷-۲ انرژی یونش ۹۴
۷-۳ الکترون خواهی ۹۵
۷-۴ پیوند یونی ۹۷
۷-۵ انرژی شبکه ۹۸
۷-۶ انواع یون‌ها ۱۰۰
۷-۷ شعاع یونی ۱۰۲
۷-۸ نامگذاری ترکیبات یونی ۱۰۲
چکیدهٔ مطالب ۱۰۴
مفاهیم کلیدی ۱۰۴
مسائل ۱۰۵

۸. پیوند کووالانسی ۱۰۷

۸-۱ تشکیل پیوند کووالانسی ۱۰۷
۸-۲ حالت‌های گذار بین پیوندهای کووالانسی و یونی ۱۰۹
۸-۳ الکترونگاتیوی ۱۱۰
۸-۴ بار قراردادی ۱۱۲
۸-۵ ساختارهای لوویس ۱۱۳
۸-۶ رزونانس ۱۱۶
۸-۷ نامگذاری ترکیبات کووالانسی دوتایی ۱۱۸
چکیدهٔ مطالب ۱۱۸
مفاهیم کلیدی ۱۱۹
مسائل ۱۱۹

۹. شکل هندسی مولکول، اوربیتال مولکولی ۱۲۲

۹-۱ استثناهای قاعدهٔ هشتایی ۱۲۲
۹-۲ دافعهٔ زوج الکترونی و شکل هندسی مولکول ۱۲۲
۹-۳ اوربیتال‌های هیبریدی ۱۲۷
۹-۴ اوربیتال‌های مولکولی ۱۲۹
۹-۵ اوربیتال‌های مولکولی در اجزای چند اتمی ۱۳۳
۹-۶ پیوند $p\pi$-$d\pi$ ۱۳۴
چکیدهٔ مطالب ۱۳۵
مفاهیم کلیدی ۱۳۶
مسائل ۱۳۶

۱۰. گازها ۱۳۹

۱۰-۱ فشار ۱۳۹
۱۰-۲ قانون بویل ۱۴۰
۱۰-۳ قانون شارل ۱۴۱
۱۰-۴ قانون آمونتونس ۱۴۳
۱۰-۵ قانون گاز ایده‌آل ۱۴۳
۱۰-۶ نظریهٔ جنبشی گازها ۱۴۶
۱۰-۷ به دست آوردن قانون گاز ایده‌آل از نظریهٔ جنبشی ۱۴۷
۱۰-۸ قانون ترکیب حجمی گیلوساک و اصل آووگادرو ۱۴۸
۱۰-۹ استوکیومتری و حجم گازها ۱۴۹
۱۰-۱۰ قانون فشارهای جزئی دالتون ۱۵۰
۱۰-۱۱ سرعت‌های مولکولی ۱۵۲
۱۰-۱۲ قانون نفوذ مولکولی گراهام ۱۵۳
۱۰-۱۳ گازهای ایده‌آل ۱۵۵
۱۰-۱۴ مایع شدن گازها ۱۵۷
چکیدهٔ مطالب ۱۵۸
مفاهیم کلیدی ۱۵۸
مسائل ۱۵۹

۱۱. مایعات و جامدات ۱۶۳

۱۱-۱ نیروهای جاذبهٔ بین مولکولی ۱۶۳
۱۱-۲ پیوند هیدروژنی ۱۶۵
۱۱-۳ حالت مایع ۱۶۶
۱۱-۴ تبخیر ۱۶۷
۱۱-۵ فشار بخار ۱۶۸
۱۱-۶ دمای جوش ۱۶۸
۱۱-۷ آنتالپی تبخیر ۱۶۹
۱۱-۸ دمای انجماد ۱۷۰
۱۱-۹ فشار بخار یک جامد ۱۷۱
۱۱-۱۰ نمودارهای فاز ۱۷۱
۱۱-۱۱ انواع جامدات بلوری ۱۷۳
۱۱-۱۲ بلورها ۱۷۴
۱۱-۱۳ تعیین ساختار بلوری با پراش اشعهٔ X ۱۷۶
۱۱-۱۴ ساختار بلوری فلزات ۱۷۸
۱۱-۱۵ بلورهای یونی ۱۷۸
۱۱-۱۶ ساختارهای ناقص ۱۷۹
چکیدهٔ مطالب ۱۸۰
مفاهیم کلیدی ۱۸۱
مسائل ۱۸۲

۱۲. محلول‌ها

۱۲ـ۱ ماهیّت محلول‌ها ۱۸۶
۱۲ـ۲ فرایند انحلال ۱۸۶
۱۲ـ۳ یون‌های آب‌پوشیده ۱۸۶
۱۲ـ۴ آنتالپی انحلال ۱۸۷
۱۲ـ۵ اثر دما و فشار بر انحلال‌پذیری ۱۸۸
۱۲ـ۶ غلظت محلول‌ها ۱۸۹
۱۲ـ۷ فشار بخار محلول‌ها ۱۹۰
۱۲ـ۸ دمای جوش و دمای انجماد محلول‌ها ۱۹۰
۱۲ـ۹ اسمز ۱۹۴
۱۲ـ۱۰ تقطیر ۱۹۶
۱۲ـ۱۱ محلول‌های الکترولیت ۱۹۸
۱۲ـ۱۲ جاذبه‌های بین یونی در محلول ۱۹۹
چکیدهٔ مطالب ۱۹۹
مفاهیم کلیدی ۲۰۰
مسائل ۲۰۱

۱۳. واکنش‌های شیمیایی در محلول آبی

۱۳ـ۱ واکنش‌های تراساختی ۲۰۵
۱۳ـ۲ عدد اکسایش ۲۰۵
۱۳ـ۳ واکنش‌های اکسایشی ـ کاهشی ۲۰۷
۱۳ـ۴ اسیدها و بازهای آرنیوس ۲۰۹
۱۳ـ۵ اکسیدهای اسیدی و بازی ۲۱۳
۱۳ـ۶ نامگذاری اسیدها، هیدروکسیدها، و نمک‌ها ۲۱۴
۱۳ـ۷ سنجش حجمی ۲۱۵
۱۳ـ۸ وزن هم‌ارز و نرمالیته ۲۱۶
چکیدهٔ مطالب ۲۱۸
مفاهیم کلیدی ۲۱۹
مسائل ۲۲۰

۱۴. سینتیک شیمیایی

۱۴ـ۱ سرعت واکنش‌ها ۲۲۴
۱۴ـ۲ غلظت و سرعت واکنش‌ها ۲۲۴
۱۴ـ۳ غلظت و زمان ۲۲۵
۱۴ـ۴ واکنش‌های یک مرحله‌ای ۲۲۷
۱۴ـ۵ معادلات سرعت برای واکنش‌های یک مرحله‌ای ۲۳۲
۱۴ـ۶ مکانیسم واکنش‌ها ۲۳۵
۱۴ـ۷ معادلات سرعت و دما ۲۳۶
۱۴ـ۸ کاتالیزورها ۲۳۸
چکیدهٔ مطالب ۲۴۱
مفاهیم کلیدی ۲۴۴
مسائل ۲۴۴

۱۵. تعادل شیمیایی

۱۵ـ۱ واکنش‌های برگشت‌پذیر و تعادل شیمیایی ۲۴۹
۱۵ـ۲ ثابت تعادل K_c ۲۴۹
۱۵ـ۳ ثابت تعادل K_p ۲۵۱
۱۵ـ۴ اصل لوشاتلیه ۲۵۴
چکیدهٔ مطالب ۲۵۶
مفاهیم کلیدی ۲۵۸
مسائل ۲۵۸

پیوست‌ها ۲۶۳
پاسخ مسائل (مسائل فرد) ۲۷۴
واژه‌نامهٔ انگلیسی ـ فارسی ۲۸۵
واژه‌نامهٔ فارسی ـ انگلیسی ۲۸۸
فهرست راهنما ۲۹۱

یادداشت مترجم

کتاب **شیمی عمومی** تألیف چارلز مورتیمر که اکنون ترجمهٔ ویراست ششم آن را در دست دارید، یکی از کتاب‌های معتبر شیمی است که طی سالیان متمادی در بسیاری از دانشگاه‌های دنیا تدریس شده و به اکثر زبان‌های زنده نیز برگردانده شده است. طی سه دههٔ گذشته، شش ویراست از این کتاب منتشر شده و به طور مستمر مورد تجدید نظر قرار گرفته است. ویراست ششم را می‌توان به سنگ گرانبهایی تشبیه کرد که طی سال‌های متمادی تراش‌خورده و اکنون به صورت گوهری ارزشمند درآمده است. نویسندهٔ دانشمند کتاب، تبیین و ساده‌سازی مفاهیم شیمی را آماج اصلی خویش قرار داده است.

حدود سه دههٔ پیش که به عنوان دانشجوی شیمی وارد مدرسه عالی پارس شدم، برای هر یک از درس‌های شیمی جزوهٔ کم‌حجمی وجود داشت که اغلب از یادداشت‌های دوران دانشجویی اساتید یا از تقریرات ایشان در کلاس درس استخراج شده بود. در دانشگاههای دیگر نیز وضع مشابهی وجود داشت. خواندن آن جزوه‌های کذایی و گذراندن درس با نمرهٔ قبولی کار دشواری نبود، ولی از آن منابع کوچک و کهنه نمی‌شد به قلمرو شیمی جدید راه یافت. سرخوش از نمره‌های بسیار خوب و کسب عنوان «دانشجوی ممتاز»، ولی غافل از اینکه علم شیمی را نیاموخته بودم، در اواخر سومین سال تحصیلی در دورهٔ لیسانس از کلاس پر سر و صدای شیمی عمومی استاد دکتر عبدالجلیل مستشاری که به تازگی از دانشگاه ایالتی میشیگان فارغ‌التحصیل شده و به مدرسه عالی پارس آمده بودند، با خبر شدم. هنگامی که به عنوان «مستمع آزاد» سری به آن کلاس زدم، استادی پرشور با بیانی رسا و جذاب را دیدم که شیمی عمومی را از ویراست دوم مورتیمر تدریس می‌کردند. تمام بحث‌ها برایم تازگی داشتند. اگرچه اندکی دیر شده بود، ولی برای جبران کاستی‌های گذشته به سراغ اصل کتاب رفتم. سال بعد، دکتر مستشاری کتاب شیمی عمومی (ویراست دوم) را به فارسی ترجمه کردند و در اختیار دانشجویان قرار دادند که با استقبال فراوانی روبه‌رو شد.

اگرچه دوران فعالیت آموزشی و پژوهشی استاد در مدرسه عالی پارس به پنج سال نرسید (۱۳۴۹ تا ۱۳۵۳)، تأثیر شگرفی بر جامعهٔ علمی ایران برجای گذاشت. درس او زمزمهٔ محبت بود. کلاس درس را بسیار جدّی می‌گرفت، با آمادگی کامل به کلاس می‌آمد و تمام لحظه‌های درس او پربار و جذاب بود. شمار زیادی از دانشجویانی که علم شیمی را از این استاد فرزانه و دلسوز آموختند به مدارج عالی تحصیلی رسیدند و اکنون در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی و صنعتی ایران و خارج از ایران به تدریس و تحقیق مشغول هستند.

بعد از آن دورهٔ کوتاه فعالیت آموزشی - پژوهشی، برخلاف میل خود که «عشق به تدریس داشت»، به عرصهٔ فعالیت‌های صنعتی و تحقیق در مورد صنایع کشور پا گذاشتند. چون علم شیمی را به خوبی آموخته بودند، در این عرصه نیز خدمات بسیار ارزنده‌ای به صنایع شیمیایی کشور کردند. به پاس این خدمات، انجمن شیمی و مهندسی شیمی ایران در دهمین کنگرهٔ خود (شهریور ۱۳۷۴)، با معرفی استاد دکتر عبدالجلیل مستشاری به عنوان شیمیدان برجسته و نمونهٔ صنایع کشور، تجلیل شایسته‌ای از این دانشمند و آموزگار علم شیمی به عمل آورد. گرچه خدمات استاد در صنعت بسیار حائز اهمیت است، امّا مترجم ارزش نوآوری‌ها و خدمات آموزشی ایشان را بالاتر می‌داند و امیدوار است جامعهٔ علمی ایران این خدمات بزرگ را روزی به شایستگی ارج بگذارد.

عیسیٰ یاوری

مهر ۱۳۷۴

پیشگفتار مؤلف

اکنون، ویراست ششم کتاب شیمی عمومی را پیش رو دارید. این کتاب طی سال‌های متمادی نه فقط به این دلیل که شیمی قلمروی بزرگ و در حال رشد دارد، بلکه به این دلیل که نیازها، علایق، و توانایی‌های دانشجویان به طور مستمر در حال تغییر و دگرگونی است. به هر حال ریشهٔ کار در فلسفه‌ای ثابت استوار بوده است. این کتاب برای تبیین شیمی نوشته شده است و نه فقط عرضهٔ واقعیت‌های تجربی شیمی. در نتیجه، هر مفهوم جدید تا حد لازم برای درک آن، به صورت کامل نوشته شده است. در صورت لزوم ساده شده، ولی هیچگاه تحریف نشده است.

در این ویراست، فصل ۱ که شامل مروری بر تاریخ شیمی، بیان اصطلاحات معین شیمی، دستگاه متری، ارقام با معنی، و روش محاسبات می‌باشد، زمینه‌ساز فصل‌های بعدی کتاب است. برای حل مسائل، مثال‌های ساده و غیرشیمیایی بیان شده است.

فصل ۲ جدید است و مقدمه‌ای بر *نظریهٔ اتمی* به دست می‌دهد. اگرچه جزئیات ساختار الکترونی اتم‌ها و شیمی هسته‌ای در فصل‌های بعدی (۶ و ۲۷) آمده است، در فصل ۲ مطالب کافی دربارهٔ نظریهٔ اتمی برای ایجاد بنیاتی استوار در جهت ورود به استوکیومتری وجود دارد.

استوکیومتری، اساس درک تمام مفاهیم شیمیایی به شمار می‌رود. آوردن استوکیومتری در ابتدای کتاب، نه فقط امکان استفاده از این مفهوم در سرتاسر درس را می‌دهد (که منجر به تقویت مهارت‌های دانشجو می‌شود)، بلکه امکان گسترش تدریجی موضوع را نیز فراهم می‌سازد. علاوه براین، زود رفتن به سراغ استوکیومتری امکان طراحی و برنامه‌ریزی حساب شده برای آزمایشگاه را فراهم می‌سازد (*استوکیومتری محلول* به همین منظور گنجانده شده است). چون استوکیومتری، معمولاً، برای نوآموزان شیمی دشوار است، گسترش و تکوین آن به آرامی صورت گرفته است. برای سهولت کار، موضوع استوکیومتری را در دو بخش آورده‌ایم ــ یک بخش به *فرمول‌ها* و ترکیبات (فصل ۳) می‌پردازد، بخش دیگر به واکنش شیمیایی (فصل ۴) اختصاص یافته است.

شیمی گرمایی (فصل ۵) که بعد از استوکیومتری قرار دارد، بیانگر ارتباط شیمی با انرژی و مادّه است و هر دو آنها قابل سنجش کمّی هستند. بحث زودهنگام شیمی گرمایی، راه را برای استفاده از مفاهیم انرژی (مانند انرژی یونش، انرژی شبکه، و انرژی پیوند) در تکوین موضوع‌های بعدی بازمی‌کند.

در هفت فصل بعد، ساختار و خواص فیزیکی مادّه، به ترتیب افزایش پیچیدگی، آمده است. *ساختار الکترونی اتم‌ها* (فصل ۶)، مفهوم پیوند شیمیایی را مطرح می‌کند. *پیوند یونی* (فصل ۷)، توصیف بنیادی *پیوند کووالانسی و رزونانس* (فصل ۸) و *شکل هندسی مولکول‌ها*، هیبرید شدن، و اوربیتال‌های مولکولی (فصل ۹)، به بیان ساختار مولکولی اختصاص یافته است. *گازها* (فصل ۱۰) و *مایعات و جامدات* (فصل ۱۱)، به حالت‌های مادّه می‌پردازد. بحث خواص فیزیکی *محلول‌ها* در فصل ۱۲ آمده است.

واکنش‌ها در محلول آبی، فصل ۱۳، که اولین بار در ویراست قبلی آمده بود، مورد استقبال قرار گرفت، این فصل بعد از فصل مربوط به محلول‌ها آمده است و منطقی هم به‌نظر می‌رسد. بحث مربوط به این نوع واکنش‌ها که بخش

مهمی از تمام واکنش‌های شیمیایی شناخته شده را دربر می‌گیرد، شالودهٔ مباحث بعدی است (به ویژه تعادل یونی، اسیدها و بازها، الکتروشیمی، و شیمی توصیفی). علاوه براین، فصل ۱۳ زمینه‌ساز بیان واکنش‌های اکسایش ـ کاهش تا حدی قبل از الکتروشیمی (فصل ۲۰) است.

در فصل‌های بعدی نیز این روند مطالعهٔ تفصیلی واکنش‌های شیمیایی ادامه می‌یابد. سرعت واکنش‌های شیمیایی (سینتیک شیمیایی) موضوع فصل ۱۴ است. چهار فصل بعدی (۱۵ تا ۱۸) بیانگر *تعادل شیمیایی* هستند که موضوعی گسترده و مهم است. در نگارش ترمودینامیک شیمیایی (فصل ۱۹)، به واکنش‌های شیمیایی و سیستم‌های تعادلی توجه ویژه‌ای شده است.

الکتروشیمی بعد از ترمودینامیک و تعادل آمده است تا اصول ترمودینامیک (به ویژه انرژی آزاد گیبس) و تعادل (به طور مشخص، معادله‌های مربوط به ثابت‌های تعادل) در تکوین مفاهیم الکتروشیمیایی (نیروی محرکه الکتریکی، پتانسیل الکترودها، معادلهٔ نرنست) مورد استفاده قرار گیرند.

شیمی توصیفی بخش عمده‌ای از بقیهٔ کتاب را تشکیل می‌دهد: *نافلزات* (فصل‌های ۲۱ تا ۲۴)، *فلزات* و *ترکیبات کمپلکسی* (فصل‌های ۲۵ و ۲۶)، شیمی *آلی* (فصل ۲۸)، و بیوشیمی (فصل ۲۹). در این ویراست شیمی هسته‌ای (فصل ۲۷) به طور کامل از نو نگاشته شده است.

سازماندهی موضوع‌های این کتاب، بازدارنده و دست و پاگیر نیست. چارچوب کتاب به گونه‌ای طراحی شده است که برای درس‌های مختلف شیمی عمومی مناسب باشد. طی سالیان متمادی بسیاری از فصل‌ها تقسیم شده‌اند تا انعطاف‌پذیری کتاب افزایش یابد و استخراج چکیدهٔ درس آسان‌تر شود (فصل‌های مربوط به پیوند شیمیایی، تعادل یونی، و شیمی توصیفی نافلزات، نمونه‌هایی از این تقسیم‌بندی هستند). در این ویراست *ساختار اتمی* و *استوکیومتری* تقسیم شده‌اند.

برای کمک به دانشجو، بخش‌ها و نکته‌های مهمی در این کتاب گنجانده شده است.

مثال‌ها که برای نمایش شیوهٔ حل‌کردن مسائل شیمیایی طراحی شده است، به طور گسترده‌ای در کتاب آمده‌اند.

روش حل گام به گام مسائل بنیادی در داخل کادر آمده است. مطالب داخل این کادرها برای دستیابی به راه حل مسائل و ارجاع در کارهای بعدی مفید است.

چکیدهٔ مطالب که در پایان هر فصل آمده، برای این ویراست تنظیم شده است. این چکیده‌ها، بازنگری پی‌درپی فصل، ایجاد ارتباط بین مفاهیم و عرضهٔ مطالب در یک قالب متفاوت را امکان‌پذیر می‌سازند.

مفاهیم کلیدی به همراه شمارهٔ بخش مربوطه در پایان هر فصل تعریف شده است. این مفاهیم کارآیی فراوانی در مطالعهٔ مطالب و حل مسائل آن فصل دارد. اصطلاحات جدید، در جاهایی که برای اولین بار آمده است، با حروف سیاه مشخص شده‌اند.

مسائل پایان فصل براساس نوع، به صورت «طبقه‌بندی شده» و همچنین به صورت «طبقه‌بندی نشده»، تنظیم شده است. مسائل هر قسمت از فصل، بجز مسائل طبقه‌بندی نشده، به صورت زوج‌های مشابه طراحی شده‌اند. ضمناً پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

پیوست آخر کتاب گسترش یافته و شامل پاسخ *مسائل فرد*، *نکاتی دربارهٔ عملیات ریاضی*، و تعداد زیادی جدول‌های مربوط به ثابت‌ها و ضرایب تبدیل است. این جدول‌ها اکنون شامل *پتانسیل الکترودها*، *ثابت‌های تعادل*، *داده‌های ترمودینامیکی* (آنتالپی استاندارد تشکیل، انرژی آزاد تشکیل گیبس، و آنتروپی مطلق استاندارد) و *میانگین انرژی پیوندها*ست.

چارلز مورتیمر

۱

مقدمه

شیمی را می‌توان به صورت علمی که با شناسایی، ترکیب اجزاء و تبدیل‌های مادّه سر و کار دارد تعریف کرد. امّا این تعریف نارساست، زیرا جوهر شیمی را که مانند سایر شاخه‌های علم، موجودیتی زنده و در حال رشد است و نه انبانی از دانستنی‌ها، بیان نمی‌کند. علوم، زایا هستند؛ هر مفهوم جدید علمی، محرک مشاهدات و تجربه‌های جدیدی است که منجر به پالایش بیش از پیش آن مفهوم و تکوین مفاهیم دیگر می‌شود. به علت تداخل و همپوشانی موضوع قلمروهای علمی مختلف، مرز بین آنها مشخص نیست و مفاهیم و روش‌های علمی کاربرد همگانی پیدا می‌کنند. در پرتو پیشرفت علمی، جای شگفتی نیست که یک پژوهش علمی معیّن بارها از مرزهای مصنوعی و ساخته و پرداختهٔ ذهن بشر می‌گذرد.

با وجود این، قلمرو علم شیمی، هر چند نامشخص باشد، مفهومی متعارف دارد و باید به تعریفی که در آغاز آوردیم باز گردیم. امید است با مطالعه این کتاب به درک ژرف‌تری از این مفهوم برسیم. شیمی با ترکیب و ساختار مواد و با نیروهای بر پا دارندهٔ این ساختارها سروکار دارد. خواص فیزیکی مواد از این رو مورد مطالعه قرار می‌گیرند که سرشته‌ای از ویژگی‌های ساختاری را به دست می‌دهند. به عنوان مبنای شناسایی و طبقه‌بندی به کار می‌روند و بیانگر کاربردهای ممکن برای مواد مشخص هستند. امّا، شاید بتوانیم *واکنش‌های شیمیایی* را کانون علمی شیمی بدانیم. توجه علم شیمی به تمام جنبه‌های این تبدیلات کشیده می‌شود و شامل شرح تفصیلی دربارهٔ چگونگی این واکنش‌ها و سرعت پیشرفت آنها، شرایط لازم برای انجام تغییرات مطلوب و جلوگیری از تغییرات ناخواسته، آثار انرژی که با این واکنش‌های شیمیایی همراه است، سنتز موادی که در طبیعت یافت می‌شوند و آنهایی که مشابه طبیعی ندارند و بالاخره روابط کمّی جرمی بین مواد درگیر در این تغییرات شیمیایی است.

۱ ـ ۱ تکوین شیمی جدید

شیمی جدید که در اواخر سدهٔ هیجدهم میلادی پیدا شد، طی صدها سال تکوین یافت. داستان تکوین شیمی جدید را به پنج دورهٔ تقریبی می‌توان تقسیم کرد:

۱ ـ دورهٔ هنرهای تجربی (از روزگار باستان تا سال ۶۰۰ پیش از میلاد). استخراج فلزات از کانه‌ها، ساختن اشیای سفالی، شراب‌سازی، پختن نان، تهیهٔ رنگینه‌ها و داروها از هنرهای باستانی به شمار می‌روند. شواهد باستان‌شناسی نشان می‌دهد که ساکنان باستانی سرزمین مصر و بین‌النهرین، مهارت فراوانی در این هنرها کسب کرده بودند، امّا از چگونگی و زمان تکوین آنها اطلاعی در دست نیست.

این هنرها که فرایندهای شیمیایی به شمار می‌روند، طی این دوره، پیشرفت قابل توجهی یافتند. امّا، این پیشرفت تجربی بود، یعنی بر تجربه محض، بدون اشاره به اصول شیمیایی، استوار بود. فلزکاران مصری، چگونگی استخراج مس با گرم کردن کانهٔ مالاشیت به وسیلهٔ زغال را می‌دانستند. آنها از چگونگی فرایند و از آنچه که در آتش رخ می‌داد چیزی نمی‌دانستند و در جستجوی دانستن آن نیز برنمی‌آمدند.

۲ ـ نظریهٔ یونانی (۶۰۰ تا ۳۰۰ پیش از میلاد). جنبهٔ فلسفی (یا جنبهٔ نظری) شیمی در حدود ۶۰۰ پیش از میلاد در یونان باستان آغاز شد. اساس علم یونانی بر جستجوی اصولی استوار بود که به درک طبیعت کمک برسانند. طی سده‌های بعدی، دو نظریه یونانی اهمیت فراوانی یافتند:

الف ـ مفهومی که براساس آن، تمام موّاد موجود بر روی زمین از **چهار عنصر** (خاک، باد، آتش، و آب) **با نسبت‌های متفاوت تشکیل** شده‌اند، توسط فلاسفه یونانی این دوره بیان شد.

ب ـ نظریه‌ای که براساس آن، مادّه شامل واحدهای جداگانه و مشخصی به‌نام اتم است توسط لیوکیپوس[1] بیان‌گردید و در سدهٔ پیش از میلاد، توسط دموکریتوس[2] گسترش یافت.

افلاطون[3]، به متفاوت‌بودن شکل اتم‌های عناصر مختلف باور داشت. همین‌طور، او معتقد بود که با تغییر شکل اتم‌های یک عنصر می‌توان آن را به عنصر دیگری تبدیل (یا **استحاله**[4]) کرد.

مفهوم استحاله، در نظریه‌های ارسطو[5] نیز هست. ارسطو که به وجود اتم‌ها باور نداشت، عناصر و در نتیجه تمام موّاد را متشکل از یک مادّه آغازین می‌دانست که تفاوت آنها فقط ناشی از تفاوت شکل آن مادّه بود. از نظر ارسطو، شکل نه فقط بیانگر فرم، بلکه بیانگر کیفیتهای دیگری (مانند رنگ و سختی) که وجه تمایز یک ماده از موّاد دیگر هستند، نیز بود. او پیشنهاد کرد که تغییر شکل به طور مستمر در طبیعت صورت می‌گیرد و تمام اشیای مادّی (اعم از جاندار و بیجان) رشد می‌کنند و از شکل‌های ناکامل به شکل‌های کامل‌تر تکوین

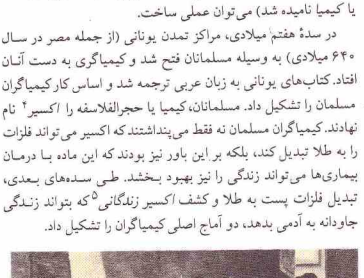
1. Leucippus
2. Democritus
3. Plato
4. Transmutation
5. Aristotle

می‌یابند. (در سده‌های میانی یا قرون وسطیٰ، بر این باور بودند که کانه‌ها می‌توانند رشد کنند و پس از استخراج آنها، معدن می‌تواند دوباره آنها را به وجود آورد.)

۳ ـ کیمیاگری (۳۰۰ پیش از میلاد تا ۱۶۵۰ میلادی). سنّت فلسفی یونان باستان و سنّت صنایع دستی مصر باستان در شهر اسکندریه[1] مصر به هم رسیدند و **کیمیاگری**[2] نتیجهٔ این اتحاد بود. نخستین کیمیاگران، فنون مصری را برای دستکاری مواد و بررسی نظریه‌های مربوط به ماهیت مادّه به کار می‌گرفتند. کتاب‌های نوشته‌شده در اسکندریه (کهن‌ترین متون شناخته شدهٔ شیمی)، شامل نمودارهایی از دستگاه‌های شیمیایی و شرح بسیاری از عملیات آزمایشگاهی (برای نمونه، تقطیر، تبلور، و تصعید) هستند.

مضمون فلسفی کیمیاگری، عناصری از نجوم و عرفان را در نظریه‌های یونانیان باستان وارد ساخت. یکی از قلمروهای مورد علاقهٔ کیمیاگران تبدیل (یا استحالهٔ) فلزات پست، مانند آهن و سرب، به فلز گرانبهایی مانند طلا بود. آنها بر این باور بودند که یک فلز را با تغییر دادن کیفیت‌های آن (به ویژه رنگ آن) می‌توان تغییر داد و این تغییرات در طبیعت نیز رُخ می‌دهند؛ یعنی فلزات برای رسیدن به درجهٔ کمال طلا در تلاش هستند. کیمیاگران معتقد بودند که این تغییرات را با استفاده از مقدار بسیار ناچیزی از یک عامل استحالهٔ قوی (که بعداً حجرالفلاسفه[3] یا کیمیا نامیده شد) می‌توان عملی ساخت.

در سدهٔ هفتم میلادی، مراکز تمدن یونانی (از جمله مصر در سال ۶۴۰ میلادی) به وسیله مسلمانان فتح شد و کیمیاگری به دست آنان افتاد. کتاب‌های یونانی به زبان عربی ترجمه شد و اساس کار کیمیاگران مسلمان را تشکیل داد. مسلمانان، کیمیا یا حجرالفلاسفه را اکسیر[4] نام نهادند. کیمیاگران مسلمان نه فقط می‌پنداشتند که اکسیر می‌تواند فلزات را به طلا تبدیل کند، بلکه بر این باور نیز بودند که این ماده با درمان بیماری‌ها می‌تواند زندگی را نیز بهبود بخشد. طی سده‌های بعدی، تبدیل فلزات پست به طلا و کشف *اکسیر زندگانی*[5] که بتواند زندگی جاودانه به آدمی بدهد، دو آماج اصلی کیمیاگران را تشکیل داد.



کیمیاگر، نقاشی دیوید تنیرس، نقاش فلاندری در ۱۶۴۸ میلادی

آنتوان لاوازیه (۱۷۹۴ ـ ۱۷۴۳)

در سده‌های دوازدهم و سیزدهم میلادی، با ترجمه آثار کیمیاگران مسلمان به زبان لاتین، کیمیاگری به اروپا راه یافت. بیشتر این آثار در اسپانیا ترجمه شدند زیرا پس از فتح اندلس در سدهٔ هشتم میلادی به دست مسلمانان، فرهنگ غنی مورها در آنجا شکوفا شده بود.

مکتب **یاتروشیمی**[6]، شاخه‌ای از کیمیاگری که با پزشکی سر و کار داشت، در سده‌های شانزدهم و هفدهم میلادی شکوفا شد. امّا، در مجموع، اروپاییان مطلب جدیدی به نظریهٔ کیمیاگری اضافه نکردند. اهمیت کار آنها در این بود که مجموعهٔ عظیمی از اطلاعات و داده‌های شیمیایی را که به آنان رسیده بود، نگهداری کردند، مطالبی بر آن افزودند، و به شیمیدانان بعدی منتقل ساختند.

کیمیاگری تا سدهٔ هفدهم ادامه یافت. به تدریج، نظریه‌ها و گرایش‌های کیمیاگران مورد تردید قرار گرفت. خدمات رابرت بویل[7] و انتشار کتاب او به نام کیمیاگر شکاک[8] در ۱۶۶۱ میلادی به ویژه قابل توجه است. گرچه بویل امکان تبدیل فلزات پست به طلا را مردود نمی‌دانست، امّا تفکّر کیمیاگری را به شدت مورد انتقاد قرار داد. بویل بر استنتاج نظریهٔ شیمیایی از شواهد تجربی تأکید داشت.

۴ ـ دورهٔ فلوژیستون (۱۷۹۰ ـ ۱۶۵۰ میلادی). سدهٔ هجدهم میلادی، دوران رواج نظریهٔ فلوژیستون[9] در شیمی بود. این نظریه که بعداً رد شد، عمدتاً بر اندیشه‌های گئورگ ارنست اشتال[10] استوار بود. **فلوژیستون** (یک «جزء آتش») به عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهندهٔ هر مادهٔ قابل سوختن فرض شد.

تصور می‌رفت که با سوختن یک ماده، فلوژیستون از آن جدا می‌شود و به فرم ساده‌تری کاهش می‌یابد. نقش هوا در سوختن مواد را به خارج ساختن فلوژیستون آزاد شده خلاصه می‌کردند. در حالی که سوختن چوب را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

گازهای اکسیژن‌دار + خاکستر ⟵ گاز اکسیژن (از هوا) + چوب

۱. این شهر در سال ۳۳۱ پیش از میلاد توسط اسکندر کبیر بنیاد گذاشته شد.

2. Alchemy
3. *Philosopher's stone*
4. *alikisir (elixir)*
5. *elixir of life*
6. *Iatrochemistry*
7. Robert Boyle
8. The Sceptical Chymist
9. Phlogiston
10. Georg Ernst Stahl

براساس نظریهٔ فلوژیستون، چنین بود

فلوژیستون (خارج شده با هوا) + خاکستر ⟵ چوب

در نتیجه، چوب را ترکیبی از خاکستر و فلوژیستون می‌دانستند. موادی که به آسانی می‌سوختند، غنی از فلوژیستون قلمداد می‌شدند.

نظریه فلوژیستون، تکلیس[1] را نیز به شیوهٔ مشابه تفسیر می‌کرد. تشکیل اکسید یک فلز (که کالکس[2] نامیده می‌شد) در اثر گرم کردن فلز در هوا را تکلیس می‌نامیدند.

کالکس (اکسید فلز) ⟵ گاز اکسیژن (از هوا) + فلز

بر اساس نظریهٔ فلوژیستون، فلز ترکیبی از یک کالکس و فلوژیستون است. در نتیجه، تکلیس را حذف فلوژیستون از یک فلز می‌دانستند:

فلوژیستون (خارج شده با هوا) + کالکس ⟵ فلز

نظریهٔ فلوژیستون برای تبیین دیگر پدیده‌های شیمیایی نیز به کار گرفته شد. برای مثال، فلزات معیّنی را می‌توان با گرم کردن اکسید فلز با کربن به‌دست آورد:

گاز کربن مونوکسید + فلز ⟵ کربن + (یک اکسید فلزی) کالکس

تصور می‌شد که در چنین فرایندی، کربن (غنی از فلوژیستون) می‌تواند فلوژیستون از دست رفته در اثر تکلیس را جایگزین کند:

فلز ⟵ فلوژیستون (از کربن) + کالکس

یکی از دشواری‌های نهفته در نظریهٔ فلوژیستون، هیچگاه به درستی تبیین‌نشد. سوختن چوب، با کاهش وزن همراه است، زیرا فلوژیستون از دست می‌دهد. ازسوی دیگر،در تکلیس،ازدست‌رفتن‌فلوژیستون‌باافزایش وزن‌همراه‌است، زیراوزن‌کالکس (یک‌اکسیدفلزی) بیشتراز وزن فلز اولیه است. هواداران نظریهٔ فلوژیستون از این مسئله آگاه بودند، امّا در بیشتر سال‌های سدهٔ هیجدهم، به توزین و اندازه‌گیری اهمیتی داده نمی‌شد.

۵ ـ شیمی جدید (از ۱۷۹۰ تا ...). خدمات آنتوان لاوازیه[3] در سال‌های پایانی سدهٔ هیجدهم را معمولاً سرآغاز شیمی جدید می‌دانند. لاوازیه، نظریه فلوژیستون را به آرامی برانداخت و انقلابی در شیمی پدید آورد. او برای تبیین تعدادی از پدیده‌های شیمیایی به نتایج آزمایش‌های کمّی تکیه کرد. (در این کار، به صورت گسترده‌ای از ترازوی شیمیایی بهره گرفت.)

قانون بقای جرم می‌گوید که طی یک واکنش شیمیایی، تغییر قابل سنجشی در جرم رخ نمی‌دهد. به‌سخن دیگر، جرم‌کل تمام موادوارد‌شده در یک واکنش شیمیایی برابر با جرم کل فراورده‌های آن واکنش است. این قانون در کارهای پژوهشی قبلی به صورت ضمنی بیان شده‌بود، امّا لاوازیه آن را به طور صریح و روشن بیان کرد و سنگ بنای علم خود قرار داد. به این ترتیب، نظریه فلوژیستون برای لاوازیه بی‌معنی بود.

نقش گازها در واکنش‌های شیمیایی، سدّ راه تکوین نظریه شیمیایی گردید. هنگام اعمال قانون بقای جرم به سوختن یا تکلیس، باید جرم گازهای به کار رفته و تولید شده در این واکنش‌ها را به حساب آورد. به این ترتیب، تفسیر صحیح این فرایندها درگرو شناسایی این گازها و تکوین روش‌هایی برای اندازه‌گیری آنها بود. لاوازیه برای تبیین این واکنش‌ها، نتایج به دست آمده توسط سایر دانشمندان را مورد استفاده قرار داد. لاوازیه برای تفسیر پدیده‌های شیمیایی، به تعریف‌های جدیدی که از عنصر و ترکیب (بخش ۱ ـ ۲ را ببینید) شده بود روی آورد. نظریهٔ فلوژیستون، فلز را ترکیبی از یک کالکس و فلوژیستون می‌دانست. لاوازیه نشان داد که فلز یک عنصر است و کالکس مربوطه نیز ترکیبی شامل فلز و اکسیژن هواست.

لاوازیه در کتاب خود به نام *رسالهٔ مقدماتی شیمی*[4] که در ۱۷۸۹ منتشر شد، از اصطلاحات جدید استفاده کرد. زبان امروزی شیمی بر سیستم نامگذاری استوار است که لاوازیه نقش مهمی درتنظیم آن‌داشت.

دستاوردهای دانشمندان پس از سال‌های ۱۷۹۰ میلادی در این کتاب آمده است. اطلاعات به دست آمده طی دو سدهٔ بعد از لاوازیه بیشتر از اطلاعات مربوط به ۲۰ قرن پیش از اوست. شیمی، به تدریج به صورت پنج شاخهٔ اصلی تکوین یافت (البته این تقسیم‌بندی اختیاری است و همواره مورد نقد قرار می‌گیرد):

الف ـ شیمی آلی. شیمی ترکیبات کربن (بجز شمار اندکی از آنها که به صورت ترکیبات معدنی طبقه‌بندی می‌شوند). واژهٔ *آلی*، یادگار دورانی است که تصور می‌شد این ترکیبات را فقط می‌توان از منابع گیاهی یا جانوری به دست آورد.

ب ـ شیمی معدنی. شیمی تمام عناصر بجز کربن. برخی از ترکیبات سادهٔ کربن (برای مثال، کربنات‌ها و کربن دیوکسید) معمولاً، به عنوان ترکیبات معدنی طبقه‌بندی می‌شوند، زیرا از منابع معدنی قابل استخراج هستند.

ج ـ شیمی تجزیه. شناسایی جزء به جزء ترکیب مواد به صورت کیفی و کمّی.

د ـ شیمی فیزیک. مطالعهٔ اصول فیزیکی مربوط به ساختار مادّه و تبدیل‌های شیمیایی.

هـ ـ بیوشیمی. شیمی سیستم‌های زندهٔ گیاهی و جانوری.

۱ ـ ۳ عناصر، ترکیب‌ها، و مخلوط‌ها

مادّه که تشکیل دهندهٔ جهان است، به صورت هر چیزی که فضا را اشغال کند و جرم داشته باشد، تعریف می‌شود. **جرم**، اندازهٔ مقدار مادّه است. جسمی که تحت تأثیر نیروی بیرونی نباشد، میل به حفظ وضع موجود خود دارد؛ یعنی اگر ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حال حرکت، به حرکت یکنواخت خود در همان جهت ادامه می‌دهد. این خاصیت را **اینرسی**[5] نامند. جرم هر جسم با اینرسی آن متناسب است.

جرم یک جسم، نامتغیر است؛ امّا وزن یک جسم چنین نیست. **وزن** نیروی گرانشی جذب اعمال شده بر یک جسم به وسیلهٔ زمین است؛

1. Calcination
2. Calx
3. Antoine Lavoisier
4. *Traité Elémentaire de Chimie*
5. Inertia

وزن یک جسم به فاصله آن تا مرکز زمین بستگی دارد. وزن یک جسم یا جرم آن و جاذبه گرانشیِ زمین نسبت مستقیم دارد. به این ترتیب، دو شیِ یا جرم یکسان، در هر نقطه‌ای وزن یکسان دارند.

یونانیان باستان، آغازگر این مفهوم بودند که تمام مادّه از شمار معدودی جسم ساده به نام **عنصر** تشکیل شده است. یونانیان می‌پنداشتند که تمام مادّه موجود بر روی زمین از چهار عنصر خاک، هوا، آتش، و آب تشکیل شده است. چون اجسام بهشتی و آسمانی را کامل و تغییرناپذیر می‌پنداشتند، تصور می‌کردند که مادّهٔ زمینی شامل عنصر متفاوتی به نام *اتر*[1] نیز هست که به عنصر پنجم[2] مشهور گردید. نظریهٔ یونانی، قرن‌های متمادی بر تفکر علمی حاکم بود.

رابرت بویل، در سال ۱۶۶۱، تعریف نوین عنصر را در کتاب خود به نام *کیمیاگر شکاک* آورد: «اکنون، منظور من از عناصر ... اجسام ابتدایی و ساده، یا کاملاً خالصی است که از اجسام دیگری، یا از همدیگر، تشکیل نشده‌اند، اجزای تشکیل‌دهندهٔ تمام اجسام مرکب‌اند و در نهایت، از همین مواد مرکب قابل تفکیک هستند». بویل، مواد مشخصی را به عنوان عنصر معرفی نکرد. امّا اثبات وجود عناصر و همچنین، شناسایی آنها را نتیجهٔ آزمایش‌های شیمیایی می‌دانست.

مفهوم بویل از عنصر شیمیایی، در سدهٔ بعد، توسط آنتوان لاوازیه به درستی اثبات شد. لاوازیهٔ ماده‌ای را عنصر می‌دانست که قابل تجزیه به مواد ساده‌تر نبود. همچنین، نشان داد که یک ترکیب از اتحاد عناصر تولید می‌شود. لاوازیه ۲۳ عنصر را به درستی شناسایی کرد (گرچه نور، گرما، و چند ترکیب ساده نیز به غلط در فهرست او آمده بودند).

اکنون ۱۰۸ عنصر شناخته شده است. از این تعداد، ۸۵ عنصر از منابع طبیعی استخراج شده و بقیه نیز با واکنش‌های هسته‌ای (بخش ۲۷ ـ ۷) تهیه شده‌اند.

هر عنصر با یک نماد شیمیایی[3] که مورد توافق جهانی است، مشخص می‌شود. اغلب این نمادها شامل یک یا دو حرف هستند. نمادهای سه حرفی، برای مشخص کردن برخی از عناصر جدید که در واکنش‌های هسته‌ای تولید شده‌اند به کار برده شده است. گرچه نام یک عنصر در زبان‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد، امّا نماد آن یکسان است. برای مثال، نیتروژن در زبان فرانسوی، *ازت*[4] و در زبان آلمانی، اشتیک اشتوف[5] خوانده می‌شود، امّا نماد نیتروژن در تمام زبان‌ها N است. این نمادها در جدول تناوبی عناصر آمده‌اند.

اغلب نمادها به نام انگلیسی عناصر نزدیک است. امّا، برخی از آنها چنین نیستند. نماد برخی از عناصر از نام لاتین آنها گرفته شده است؛ این عناصر در جدول ۱ ـ ۱ آمده است. نماد تنگستن، W، از نام آلمانی این عنصر، یعنی ولفرام[6] گرفته شده است.

۱۵ عنصر اصلی پوستهٔ زمین، آب، و جوّ را در جدول ۱ ـ ۲ می‌بینید. این طبقه‌بندی مربوط به آن بخش از جهان است که می‌توانیم عناصر را از آن به دست آوریم. زمین، شامل مغزه‌ای (احتمالاً متشکل از آهن و نیکل) است که پوشش و پوسته‌ای، به ترتیب، آن را فراگرفته‌اند. ضخامت پوستهٔ زمین حدود ۳۵ تا ۷۰ کیلومتر است و فقط ۰٫۱٪ جرم زمین را تشکیل می‌دهد.

جدول ۱ ـ ۱ نمادهای عناصر که از زبان لاتین استخراج شده‌اند.

نماد	نام لاتین	نام فارسی
Sb	Stibium	آنتیموان
Cu	Cuprum	مس
Au	Aurum	طلا
Fe	Ferrum	آهن
Pb	Plumbum	سرب (پلمب)
Hg	Hydrargyrum	جیوه
K	Kalium	پتاسیم (کالیم)
Ag	Argentum	نقره
Na	Natrium	سدیم (ناتریم)
Sn	Stannum	قلع (استانیم)

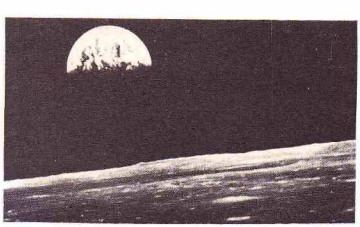
جدول ۱ ـ ۲ فراوانی عناصر (پوستهٔ زمین، آب اقیانوس‌ها، و جوّ)

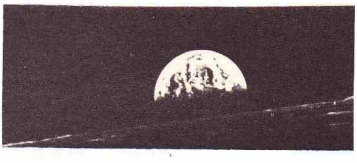
مرتبه	عنصر	نماد	درصد جرمی
۱	اکسیژن	O	۴۹٫۲
۲	سیلیسیم	Si	۲۵٫۷
۳	آلومینیم	Al	۷٫۵
۴	آهن	Fe	۴٫۷
۵	کلسیم	Ca	۳٫۴
۶	سدیم	Na	۲٫۶
۷	پتاسیم	K	۲٫۴
۸	منیزیم	Mg	۱٫۹
۹	هیدروژن	H	۰٫۹
۱۰	تیتانیم	Ti	۰٫۶
۱۱	کلر	Cl	۰٫۲
۱۲	فسفر	P	۰٫۱
۱۳	منگنز	Mn	۰٫۱
۱۴	کربن	C	۰٫۰۹
۱۵	گوگرد	S	۰٫۰۵
	بقیه عناصر		۰٫۵۶

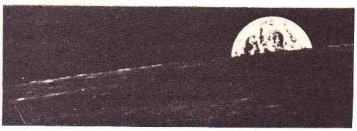
اگر تمام زمین را در نظر می‌گرفتیم، فهرستی متفاوت با جدول ۱ ـ ۲ به دست می‌آمد و در آن صورت، فراوان‌ترین عنصر آهن بود. از سوی دیگر، فراوان‌ترین عنصر در جهان، هیدروژن است که حدود ۷۵٪ جرم کل جهان را تشکیل می‌دهد.

کاربرد تجاری گستردهٔ یک فلز نه فقط به فراوانی آن، بلکه به قابل دسترس بودنش نیز بستگی دارد. برخی از عناصر آشنا (مانند مس، قلع، و سرب)، چندان فراوان نیستند، امّا در ذخایر طبیعی وجود دارند و به آسانی قابل استخراج هستند. عناصر دیگری که فراوان‌ترند (مانند

1. Ether
2. Quintessence
3. Chemical Symbol
4. Azote
5. Stickstoff
6. Wolfram







طلوع زمین در افق ماه. عکس از سفینهٔ مه‌نورد آپولو ۱۰. هیدروژن، فراوان‌ترین عنصر در جهان است، فراوان‌ترین عنصر در زمین، آهن و در پوستهٔ زمین، آب اقیانوس‌ها و جوّ، اکسیژن است.

تیتانیم، رویدیم، و زیرکونیم)، کاربرد زیادی ندارند که علت آن پراکندگی ذخایر آنها در طبیعت یا دشواری و گرانی استخراج این عناصر از کانه‌هایشان است.

ترکیب‌ها، موادی هستند که از دو یا چند عنصر یا نسبت‌های ثابت، تشکیل شده‌اند. **قانون نسبت‌های معین**[1] که نخستین بار توسط ژوزف پروست[2] در ۱۷۹۹ پیشنهاد شد، می‌گوید: یک ترکیب خالص همیشه شامل عناصر معینی با نسبت جرمی ثابت است. برای مثال، مادهٔ مرکب آب، همیشه از عناصر هیدروژن و اکسیژن با نسبت ۱۹٫۱۱٪ هیدروژن و ۸۸٫۸۱٪ اکسیژن تشکیل می‌شود. بیش از ۲۰۰ هزار ترکیب معدنی شناخته شده است، و تعداد ترکیبات آلی سنتز شده یا استخراج شده از منابع طبیعی از ۱۰ میلیون فراتر رفته است. خواص ترکیبات با خواص عناصر تشکیل‌دهندهٔ آنها تفاوت دارد.

یک عنصر یا یک ترکیب را **جسم خالص**[3] می‌نامند. سایر انواع ماده را **مخلوط**[4] گویند. مخلوط‌ها از دو یا چند مادهٔ خالص تهیه می‌شوند و ترکیب اجزای آنها متفاوت است. خواص یک مخلوط به ترکیب اجزای آن و نسبت مواد خالص تشکیل‌دهندهٔ مخلوط بستگی دارد. مخلوط‌ها بر دو گونه‌اند: **مخلوط ناهمگن**[5]، یکنواخت نیست و بخش‌های مختلف آن از لحاظ فیزیکی متمایزند. نمونه‌ای شامل برادهٔ آهن و ماسه، یک مخلوط ناهمگن است. **مخلوط همگن**[6]، یکنواخت است و **محلول**[7] نامیده می‌شود. هوا، نمک حل شده در آب، و آلیاژ طلا ـ نقره، به ترتیب نمونه‌هایی از محلول گازی، مایع، و جامدند.

طبقه‌بندی ماده در شکل ۱ ـ ۱ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، تنها مادهٔ ناهمگن، مخلوط ناهمگن است. امّا، مادهٔ همگن، مخلوط‌های همگن و اجسام خالص (عناصر و ترکیب‌ها) را دربرمی‌گیرد.

بخشی از ماده که از لحاظ فیزیکی قابل تشخیص باشد و از نظر ترکیب اجزاء و خواص نیز یکنواخت باشد، **فاز**[8] نامیده می‌شود. مواد همگن فقط یک فاز دارند. امّا، مواد ناهمگن، بیشتر از یک فاز دارند. فازهای موجود در مخلوط‌های ناهمگن دارای مرزهای مشخص‌اند و به آسانی قابل تشخیص هستند.

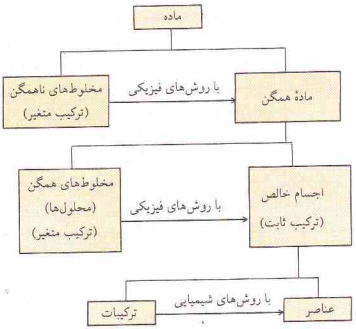
برای مثال، در مخلوط ناهمگن **گرانیت**، می‌توان بلورهای صورتی فلدسپار، بلورهای بی‌رنگ کوارتز، و بلورهای سیاه و درخشان میکا را تشخیص داد. هنگام تعیین تعداد فازهای یک مخلوط ناهمگن، تمام بخش‌های یکسان را یک فاز به حساب می‌آوریم. به این ترتیب، گرانیت شامل سه فاز است. نسبت فازهای سه گانه گرانیت ممکن است در نمونه‌های گوناگون یکسان نباشد.

شکل ۱ ـ ۱ نشان می‌دهد که هر دو نوع مخلوط را می‌توان با روش‌های فیزیکی به اجزایشان تفکیک کرد، امّا تفکیک ترکیب‌ها به عناصر تشکیل‌دهندهٔ آنها فقط با روش‌های شیمیایی امکان‌پذیر است. تغییر حالت (مانند ذوب کردن یک جامد و تبخیر یک مایع)، همچنین تغییر در شکل یا حالت اجزاء، نمونه‌هایی از **تغییرات فیزیکی** هستند. تغییراتی که مستلزم تولید اجزای جدیدی نیستند. روش‌های فیزیکی (مانند صاف کردن و تقطیر) را می‌توان برای جداسازی اجزای یک مخلوط به کار گرفت، امّا ترکیبی که در مخلوط اولیه وجود نداشته است، هیچگاه با این روش‌ها به دست نخواهد آمد. **تغییرات شیمیایی**، شامل تبدیل‌هایی هستند که طی آنها موّادی به موّاد دیگر تبدیل می‌شوند.

۱ ـ ۳ دستگاه متری

در تمام بررسی‌های علمی از دستگاه متری برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. پس از امضای معاهده‌ای در ۱۸۷۵ میلادی، دستگاه متری پذیرفته شد که در صورت لزوم با توافق بین‌المللی اصلاحاتی در آن به عمل خواهد آمد. گاهی، بر حسب ضرورت، یک گروه بین‌المللی، یعنی مجمع عمومی اوزان و اندازه‌ها، برای بررسی بهینه‌سازی دستگاه متری تشکیل جلسه می‌دهد. دستگاه بین‌المللی واحدها که به صورت SI[9]

1. Law of Definite proportions
2. Joseph Proust
3. Pure Substance
4. Mixture
5. Heterogeneus mixture
6. Homogeneous mixture
7. solution
8. phase
9. SI مخفف Le Système International d' Unités است.



شکل ۱ - ۱ طبقه‌بندی ماده

سنگ گرانیت (عکس ۱۰ بار بزرگ شده است).
بلورهای کوارتز، فلدسپار و میکا قابل مشاهده هستند.

خلاصه می‌شود، دستگاه جدید و ساده شدهٔ سیستم قدیمی‌تری است که در ۱۷۹۰ به وسیله آکادمی علوم فرانسه پیشنهاد شده بود. لاوازیه، یکی از اعضای کمیتهٔ تدوین دستگاه اولیه بود.

دستگاه بین‌المللی بر ۷ **واحد اصلی** و ۲ **واحد تکمیلی** (جدول ۱ - ۳ و پیوست آخر کتاب را ببینید) استوار است. انتخاب استانداردهای اولیه برای واحدهای اصلی، اختیاری است. برای مثال، استاندارد اولیهٔ جرم، یعنی کیلوگرم، به صورت وزن استوانه‌ای از آلیاژ پلاتین - ایریدیم تعریف می‌شود که در مرکز بین‌المللی اوزان و اندازه‌ها در شهرک سور[1]، جنوب غربی پاریس، در کشور فرانسه نگهداری می‌شود. طی سال‌های گذشته، استاندارد اولیهٔ برخی از واحدهای اصلی تغییر کرده است و استانداردهای برتری نسبت به استانداردهای قبلی به کار گرفته شده‌اند.

اضعاف یا اجزای واحدهای اصلی را با استفاده از پیشوندهایی مشخص می‌کنند (جدول ۱ - ۴ را ببینید). واحد اصلی طول، یعنی متر (m)، اغلب برای بیان فاصله بین شهرها به کار نمی‌رود. بلکه واحد بزرگ‌تری، یعنی کیلومتر (km)، برای این کار مناسب است. هر کیلومتر برابر با ۱۰۰۰ متر است و این نام با افزودن *کیلو* (به معنی × ۱۰۰۰) به

جدول ۱ - ۳ واحدهای اصلی و واحدهای تکمیلی دستگاه بین‌المللی واحدها

	اندازه‌گیری	واحد	نماد
واحدهای اصلی	طول	متر	m
	جرم	کیلوگرم	kg
	زمان	ثانیه	s
	جریان برق	آمپر	A
	دما	کلوین	K
	مقدار جسم	مول	mole
	شدت نور	کاندلا	cd
واحدهای تکمیلی	زاویهٔ مسطح	رادیان	rad
	زاویهٔ جسمی	استرادیان	sr

نام واحد اصلی به دست آمده است:

$$۱km = ۱۰۰۰m \qquad (۱ - ۱)$$

سانتی‌متر (cm)، واحدی کوچک‌تر از متر است. پیشوند سانتی به معنی × ۰٫۰۱ است، و سانتی‌متر برابر با ۰٫۰۱ متر است.

$$۱cm = ۰٫۰۱m \qquad (۱ - ۲)$$

توجه کنید که نام واحد اصلی جرم، یعنی کیلوگرم، شامل یک پیشوند است. نام بقیّه واحدهای جرم، با جایگزین کردن *کیلو* با سایر پیشوندها به دست می‌آید. نام سایر واحدهای اصلی با پیشوند همراه نیست.

سایر واحدهای SI را **واحدهای فرعی** می‌نامند، زیرا به کمک روابط جبری از واحدهای اصلی به دست می‌آیند. برای نمونه می‌توان به واحد SI برای حجم که متر مکعب (m^3)، و واحد SI برای سرعت که متر بر ثانیه (m/s یا $m.s^{-1}$) است، اشاره کرد.

برخی از واحدهای فرعی دارای نام‌های ویژه هستند. برای مثال، واحد SI برای نیرو، نیوتن است. این واحد از واحدهای اصلی جرم (kg، کیلوگرم)، طول (m، متر)، و زمان (s، ثانیه) گرفته شده است. **نیوتن** نیرویی است که به جرم ۱kg شتابی برابر با $۱m/s^2$ می‌دهد (بخش ۳ - ۱) را ببینید):

$$۱N = ۱kg.m/s^2 \qquad (۱ - ۳)$$

اصطلاحات جدید دستگاه متری از ۱۹۶۰ به بعد تدوین شده است. بعضی از واحدهای قدیمی که پیش از این تاریخ تعریف شده‌اند با قواعد دستگاه متری سازگاری ندارند و واحد SI به شمار نمی‌روند. امّا، استعمال برخی از این واحدها مجاز است. برای مثال، لیتر که به صورت یک دسی‌متر مکعب (یعنی $۱۰۰۰cm^3$) تعریف می‌شود، ممکن است در کنار واحد رسمی SI برای حجم، یعنی متر مکعب به کار رود. **واحدهای معین دیگری که بخشی از SI نیستند نیز ممکن است برای مدت محدودی حفظ شوند.** جوّ استاندارد (atm، واحد فشار) در این

1. Sévres

جدول ۱ ـ ۴ پیشوندهای مربوط به واحدها در دستگاه متری

پیشوند	نماد	ضریب
ترا ـ tera -	T-	10^{12} یا ۱٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰ ×
گیگا ـ giga -	G-	10^{9} یا ۱٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰ ×
مگا ـ mega -	M-	10^{6} یا ۱٬۰۰۰٬۰۰۰ ×
کیلو ـ kilo -	k-	10^{3} یا ۱۰۰۰ ×
هکتو ـ hecto -	h-	10^{2} یا ۱۰۰ ×
دکا ـ deka -	da-	10 یا ۱۰ ×
دسی ـ deci -	d-	10^{-1} یا ۰٫۱ ×
سانتی ـ centi -	c-	10^{-2} یا ۰٫۰۱ ×
میلی ـ milli -	m-	10^{-3} یا ۰٫۰۰۱ ×
میکرو ـ micro -	μ	10^{-6} یا ۰٫۰۰۰٬۰۰۱ ×
نانو ـ nano -	n-	10^{-9} یا ۰٫۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۱ ×
پیکو ـ pico -	p-	10^{-12} یا ۰٫۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۱ ×
فمتو ـ femto -	f-	10^{-15} یا ۰٫۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۱ ×
آتو ـ atto -	a-	10^{-18} یا ۰٫۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰٬۰۰۱ ×

گروه قرار دارد. کاربرد واحدهای دیگری که خارج از دستگاه متری قرار دارند توصیه نمی‌شود. برای مثال، مجمع بین‌المللی اوزان و اندازه‌ها، استفاده از کالری به عنوان واحد انرژی را درست نمی‌داند.

اگرچه تمامی دانشمندان، دستگاه متری را نپذیرفته‌اند امّا شمار کسانی که واحدهای SI را به کار می‌گیرند رو به فزونی است. به هر حال تأکید شدید بر استعمال SI، مسائلی را در بر دارد، زیرا مستلزم کنار گذاشتن برخی از واحدهای رایج است. همچنین بخش بزرگی از اطلاعات و داده‌های موجود در متون شیمی بر حسب واحدهای غیر از SI ثبت شده است، بنابراین آشنایی با هر دو دستگاه جدید و قدیم ضرورت دارد.

۱ ـ ۳ ارقام بامعنی

هر سنجشی، تا حدودی با عدم قطعیت همراه است. برای مثال، فرض کنید می‌خواهیم جرم شیئی را اندازه‌گیری کنیم. اگر از یک ترازوی کفه‌ای استفاده کنیم، می‌توانیم جرم را تا ۰٫۱g اندازه‌گیری کنیم. امّا ترازوی دقیقی که معمولاً در شیمی به کار می‌رود، می‌تواند جرم یک جسم را تا ۰٫۰۰۰۱g اندازه‌گیری کند. بنابراین درستی و دقت اندازه‌گیری به محدودیت ابزار مورد استفاده و مهارت آزمایشگر بستگی دارد.

دقت یک اندازه‌گیری را با شمار ارقام به کار رفته برای ثبت آن نشان می‌دهند. ارقام مربوط به یک اندازه‌گیری صحیح را ارقام بامعنی[1] می‌نامند. این ارقام شامل تمام ارقامی است که با قطعیت معلوم‌اند، به اضافه یک رقم تخمینی.

فرض کنید که جرم جسمی با ترازوی کفه‌ای ۱۲٫۳g شده است. شائس این که جرم جسم دقیقاً ۱۲٫۳ g، نه کمتر و نه بیشتر باشد، زیاد نیست. در مورد دو رقم اوّل (یعنی ۱ و ۲) اطمینان داریم؛ می‌دانیم که جرم جسم از ۱۲g بیشتر است. امّا رقم سوم (یعنی ۳)، زیاد دقیق نیست. در بهترین حالت، به ما می‌گوید که جرم جسم به ۱۲٫۳g نزدیک‌تر است تا به ۱۲٫۲g و ۱۲٫۴g. برای مثال، اگر جرم واقعی ۱۲٫۲۸...g یا ۱۲٫۳۳...g باشد، مقدار به دست آمده در هر حال به‌صورت ۱۲٫۳g و تا سه رقم با معنی خواهد بود.

اگر یک صفر به نتیجه اندازه‌گیری اضافه کنیم، به این معنی خواهد بود که مقدار مورد نظر دارای چهار رقم با معنی (۱۲٫۳۰g) خواهد بود، که این نادرست و گمراه‌کننده است. از مقدار ۱۲٫۳۰g این نتیجه گرفته می‌شود که مقدار درست جرم جسم بین ۱۲٫۲۹g و ۱۲٫۳۱g است. در حالی که ما در مورد رقم دوم اعشاری اطلاعی نداریم زیرا مقدار جرم را تا ۰٫۱g اندازه‌گیری کرده‌ایم. گذاشتن صفر بیانگر نامعلوم بودن دومین رقم اعشاری یا عدم تعیین آن نیست؛ بلکه صفر نشانهٔ آن است که خود مانند دیگر ارقام عدد مذکور با معنی است (به قاعده ۱ که بعداً می‌آید توجه کنید). چون عدم قطعیت این اندازه‌گیری به ۳ مربوط است، این رقم باید آخرین رقم با معنی گزارش شده باشد.

از سوی دیگر، حذف صفر در صورتی که با معنی باشد، کار درستی نیست. مقدار تعیین شدهٔ ۱۲٫۰g که با دقت یاد شده تعیین شده، باید به همین شیوه ثبت شود. ثبت ۱۲g برای این سنجش، درست نیست زیرا ۱۲g بیانگر دقتی یا دو رقم بامعنی به جای سه رقم بامعنی در اندازه‌گیری ماست.

برای تعیین تعداد ارقام بامعنی در یک اندازه‌گیری، می‌توان قواعد زیر را به‌کار برد.

۱ ـ *صفرهایی که برای تعیین محل اعشاری به کار می‌روند بامعنی نیستند.* فرض کنید که فاصله بین دو نقطه برابر با ۳cm به دست آمده است. این مقدار را به صورت ۰٫۰۳m نیز می‌توان نمایش داد زیرا ۱cm برابر با ۰٫۰۱m است:

$$3\ cm = 0.03\ m$$

هر دو مقدار دارای یک رقم بامعنی هستند. صفرهای مربوط به مقدار دوم، فقط برای مشخص کردن محل ممیز به کار می‌روند و بامعنی نیستند. دقت یک اندازه‌گیری با تغییر واحدها افزایش نمی‌یابد.

صفرهایی که نتیجهٔ اندازه‌گیری باشند بامعنی هستند. عدد ۰٫۰۰۵۰۳۰ دارای چهار رقم با معنی است. صفرهایی که بعد از ۵ قرار دارند، با معنی هستند. امّا، صفرهای پیش از ۵ با معنی نیستند، زیرا فقط برای مشخص کردن محل ممیز اضافه شده‌اند.

گاهی در تعیین شمار ارقام بامعنی در عددی مانند ۶۰۰ با اشکال روبه‌رو می‌شویم. راستی، آیا صفرها ارقامی بامعنی هستند یا فقط محل ممیز را تعیین می‌کنند؟ این گونه مسائل را با استفاده از روش نمادهای علمی (پیوست ج ـ ۲ را ببینید) می‌توان حل کرد. برای مشخص کردن محل ممیز از توان ۱۰ استفاده می‌کنیم؛ بخش اوّل ارقام، بامعنی هستند. در نتیجه مقدار ۶۰۰ را بر حسب دقت اندازه‌گیری انجام شده، می‌توان به یکی از صورت‌های زیر نمایش داد:

1. Significant Figures

ترازوهای جدیدی که وزن اجسام را با دقت mg۱ر۰ به دست می‌دهند. سمت چپ: ترازوی یک کفه‌ای شیمی تجزیه. سمت راست: ترازوی برقی قابل اتصال به سایر دستگاه‌ها.

۶×۱۰^{۲}
$۶ر۰ \times ۱۰^{۲}$ (دو رقم با معنی)
$۶ر۰۰ \times ۱۰^{۲}$ (سه رقم با معنی)

راه دیگری برای نمایش اعدادی که پیش از ممیز دارای صفر هستند وجود دارد. اگر محل ممیز در عددی مانند ۲۰۰ مشخص شده باشد، در آن صورت تمام ارقام پیش از ممیز بامعنی هستند. اگر از ممیز استفاده نشده باشد، ارقام صفرها بی‌معنی خواهند بود. در نتیجه:

۲۷۵ °C دارای سه رقم با معنی است،
۲۵۰ °C دارای دو رقم با معنی است،
۲۰۰ °C دارای یک رقم با معنی است،
۲۵۰ر۰ °C دارای سه رقم با معنی است،
۲۰۰ر۰ °C دارای سه رقم با معنی است.

گرچه این روش، کاربرد همگانی ندارد، اما به دلیل مناسب‌بودنش در این کتاب به کار می‌رود (به ویژه برای ثبت دما).

۲ ـ *مقادیر معینی، مانند آنچه که از تعریف عبارت‌ها حاصل می‌شوند، دقیق‌اند.* برای مثال، طبق تعریف، یک لیتر (۱ L) برابر با ۱۰۰۰mL است. مقدار ۱۰۰۰ را می‌توان همراه با تعداد بی‌نهایت رقم بامعنی (صفر) پس از ممیز دانست.

مقادیر به دست‌آمده از راه شمارش نیز ممکن است دقیق باشند. برای مثال مولکول H_2 شامل ۲ اتم و نه ۱ر۲ یا ۳ر۲ اتم است. امّا شمارش‌های دیگر غیر دقیق‌اند، برای مثال، جمعیت جهان با شمارش واقعی افراد به دست نمی‌آید، بلکه یک رقم تخمینی است.

۳ ـ *گاهی شمار ارقام حاصل از یک محاسبه بیش از شمار ارقام بامعنی است.* در این موارد، با استفاده از قواعد زیر می‌توان نتیجهٔ محاسبه را تا شمارهٔ صحیح ارقام بامعنی، گرد کرد.

الف ـ اگر رقم بعد از آخرین عددی که باید حفظ شود کوچک‌تر از ۵ باشد، تمام ارقام ناخواسته را حذف می‌کنیم و در آخرین عدد تغییری نمی‌دهیم:
۳ر۶۲۴۷ به ۳ر۶۲ یا سه رقم بامعنی تبدیل می‌شود.

ب ـ اگر رقم بعد از آخرین عددی که باید حفظ شود بزرگ‌تر از ۵، یا ۵ همراه با ارقامی بعد از آن باشد، آخرین عدد را با ۱ جمع می‌کنیم و تمام ارقام ناخواسته را کنار می‌گذاریم:

۷ر۵۶۴۷ به ۷ر۵۶۵ به چهار رقم بامعنی تبدیل می‌شود.
۶ر۲۵۰۱ به ۶ر۳ به دو رقم بامعنی تبدیل می‌شود.

ج ـ اگر رقم بعد از آخرین رقمی که قرار است حفظ شود ۵ باشد و پس از آن رقمی نباشد یا فقط صفر باشد، ۵ را حذف می‌کنیم و آخرین رقم را، در صورتی که فرد باشد، با ۱ جمع می‌زنیم و اگر زوج باشد، بدون تغییر می‌گذاریم. در چنین مواردی، آخرین رقم گرد شده، زوج خواهد بود. صفر را یک عدد زوج به حساب می‌آوریم.

۳ر۲۵۰ به ۳ر۲ یا دو رقم بامعنی گرد می‌شود.
۷ر۶۳۵ به ۷ر۶۴ یا سه رقم بامعنی گرد می‌شود.
۸ر۱۰۵ به ۸ر۱۰ یا سه رقم بامعنی گرد می‌شود.

دلیل این روش اختیاری این است که به طور میانگین، مقادیر افزوده شده و مقادیر حذف شده برابر شوند.

تعداد ارقام بامعنی در پاسخ یک محاسبه، به دقت مقادیر به کار رفته در آن محاسبه بستگی دارد. مسئله زیر را در نظر بگیرید. اگر ۲٫۳۸ گرم نمک را در ظرفی به جرم ۵۲ر۲ قرار دهیم، جرم ظرف به اضافه نمک چقدر خواهد بود؟ جمع سادهٔ این ارقام، ۵۴ر۵۸g است. امّا جرم نمک و ظرف را نمی‌توان دقیق‌تر از جرم تک‌تک آنها به دست آورد. در نتیجه، عدد حاصل باید تا ۱gر۰ گرد شود تا ۵۴ر۶g به دست آید.

۴ ـ *نتیجه یک عمل جمع یا پاسخ تفریق باید با همان تعداد ارقام اعشاری موجود در عدد دارای کمترین رقم اعشاری گزارش شود.* پاسخ عمل جمع زیر

۱۶ر۰۳۲
۵ر۶
۲۴ر۵۳۲
۹۹ر۰۸۴

باید به صورت ۱۹۹ر۱ گزارش شود، زیرا عدد ۵ر۶ فقط یک رقم بعد از ممیز دارد.

۵ ـ *پاسخ یک عمل ضرب یا تقسیم را برابر تعداد ارقام بامعنی مربوط به نادقیق‌ترین عبارت به کار رفته در محاسبه گرد می‌کنیم.* نتیجهٔ عمل ضرب زیر

۳۶ر۴۹۴۴ = ۲۴ر۰ × ۶ر۰ر۱۵۲

باید به صورت ۳۶ گزارش شود، زیرا نادقیق‌ترین عبارت محاسبه ۲۴ر۰

(با دو رقم بامعنی) است.

۱ ـ ۵ محاسبات شیمیایی

در هر اندازه‌گیری باید واحدها را به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر سنجش، ذکر کرد. اگر بگوییم طول یک شئ ۵٫۰ است، منظور ما روشن نخواهد بود. منظور از این مقدار چیست: ۵٫۰cm، ۵m، ۵٫۰ یا؟ کاربرد دقیق واحدها، مسئله را ساده می‌کند و از احتمال خطا می‌کاهد.

تمام واحدهای مربوط به ارقام به کار رفته در محاسبات نیز باید مانند اعداد، دست‌خوش عملیات ریاضی مشابه شوند. در هر محاسبه‌ای، واحدهای یکسان در صورت، و مخرج باید حذف شوند و واحدهای باقیمانده به صورت بخشی از پاسخ نشان داده شوند. اگر پاسخ مسئله دارای واحدهای مورد نظر نباشد، خطایی در محاسبه رخ داده است.

بسیاری از مسائل را با استفاده از یک یا چند «**ضریب تبدیل**»[1] می‌توان حل کرد. این ضرایب از یک تساوی استخراج می‌شوند و برای تغییر واحد یک سنجش به کار می‌روند. برای مثال، فرض کنید می‌خواهیم ۵٫۰ اینچ را به سانتی‌متر تبدیل کنیم. طبق تعریف، یک اینچ (in) دقیقاً برابر با ۲٫۵۴cm است. ضریب تبدیل مورد نیاز برای حل این مسئله از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$۲٫۵۴\text{cm} = ۱٫۰۰\,\text{in} \qquad (۴-۱)$$

اگر دو طرف این تساوی را بر ۱٫۰۰ in تقسیم کنیم، خواهیم داشت

$$\frac{۲٫۵۴\text{cm}}{۱٫۰۰\text{in}} = ۱ \qquad (۵-۱)$$

ضریب (۱٫۰۰in / ۲٫۵۴cm) برابربا ۱ است زیرا صورت و مخرج کسر برابرند.

مسئله مورد نظر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$?\,\text{cm} = ۵٫۰\,\text{in}$$

با ضرب کردن در ضریب تبدیل به دست آمده می‌توان مسئله را حل کرد:

$$?\,\text{cm} = ۵٫۰\,\text{in}\left(\frac{۲٫۵۴\text{cm}}{۱٫۰۰\,\text{in}}\right) = ۱۲٫۷\text{cm} \qquad (۶-۱)$$

چون ضریب تبدیل برابر ۱ است، این عمل تغییری در مقدار کمیت داده شده نمی‌دهد. توجه داشته باشید که نشانه‌های اینچ حذف شده‌اند و پاسخ مسئله با واحد دلخواه، یعنی سانتی‌متر، بیان شده است. ضریب تبدیل دیگری نیز می‌توان از رابطه به دست آورد.

$$۲٫۵۴\text{ cm} = ۱٫۰۰\text{ in} \qquad (۴-۱)$$

با تقسیم کردن دو طرف معادله بر ۲٫۵۴ cm:

$$۱ = \frac{۱٫۰۰\text{ in}}{۲٫۵۴\text{cm}} \qquad (۷-۱)$$

این ضریب که با ۱ برابر است، عکس ضریب قبلی می‌باشد و برای تبدیل سانتی‌متر به‌اینچ به کار می‌رود. برای مثال، ۲۰٫۰ سانتی‌متر برابر با چند اینچ است را به صورت زیر حل می‌کنیم:

$$?\,\text{in} = ۲۰٫۰\,\text{cm}\left(\frac{۱٫۰۰\,\text{in}}{۲٫۵۴\,\text{cm}}\right) = ۷٫۸۷\,\text{in} \qquad (۸-۱)$$

به این ترتیب یک معادلهٔ تساوی بین دو واحد، می‌تواند برای استخراج دو ضریب تبدیل به کار رود. این ضرایب عکس یکدیگرند. برای حل یک مسئله، ضریب تبدیل درست آن است که منجر به حذف واحدی شود که قرار است کنار گذاشته شود. توجه کنید که در این مورد، واحد حذف شونده در مخرج ضریب تبدیل است.

اگر ضریب تبدیل نادرستی برای حلّ یک مسئله به کار رود، واحد مربوط به پاسخ مسئله، همان واحد مورد نظر نخواهد بود. برای مثال، اگر ضریب به کار رفته در حلّ معادلهٔ ۱ ـ ۸ عکس ضریب درست بود، نتیجه چنین می‌شد:

$$?\,\text{in} = ۲۰٫۰\left(\frac{۲٫۵۴\text{ cm}}{۱٫۰۰\text{ in}}\right) = ۵۰٫۸\,\text{cm}^۲/\text{in} \qquad (۹-۱)$$

این پاسخ اگرچه از نظر ریاضی درست است، نه مفید است و نه به پرسش مورد نظر پاسخ می‌دهد. چون این پاسخ فاقد واحدهای دلخواه است، فوراً می‌توان به وقوع اشتباه پی برد.

حل برخی از مسائل، مستلزم به کارگیری چندین ضریب تبدیل است. اگر بخواهیم ۰٫۷۵۰ فوت را به سانتی‌متر تبدیل کنیم، می‌توان مسئله را به صورت زیر در آورد.

$$?\,\text{cm} = ۰٫۷۵۰\,\text{ft}$$

چون ۱۲٫۰in = ۱٫۰۰ft، می‌توان ضریب تبدیل (۱۲٫۰in / ۱٫۰۰ft) را به دست آورد که برابر با ۱ است. ضرب کردن مقدار داده شده در این ضریب تبدیل، فوت را با اینچ تبدیل می‌کند امّا حل مسئله کامل نمی‌شود:

$$?\,\text{in} = ۰٫۷۵۰\,\text{ft}\left(\frac{۱۲٫۰\,\text{in}}{۱٫۰۰\,\text{ft}}\right)$$

ضریب لازم برای تبدیل اینچ به سانتی‌متر برابر با (۲٫۵۴cm/۱٫۰in) است، درنتیجه:

$$?\,\text{cm} = ۰٫۷۵۰\,\text{ft}\left(\frac{۱۲٫۰\,\text{in}}{۱٫۰۰\,\text{ft}}\right)\left(\frac{۲٫۵۴\text{cm}}{۱٫۰\,\text{in}}\right) = ۲۲٫۹\text{cm} \qquad (۱۰-۱)$$

رابطهٔ بین برخی از واحدهای دستگاه متری و دستگاه انگلیسی در جدول ۱ ـ ۵ آمده است.

مثال ۱ ـ ۱

اگر ژول‌ورن از واحدهای SI استفاده می‌کرد، عنوان کتابش، بیست هزار فرسنگ زیر دریا، به چه صورتی در می‌آمد؟ پاسخ را با سه رقم بامعنی با واحد SI که کوچک‌ترین عدد آن بزرگ‌تر از ۱ باشد بیان کنید. یک فرسنگ برابر با ۳٫۴۵ میل؛ ۱ میل برابر با ۱۶۰۹ متر است.

1. Conversion factor

جدول ۱ ـ ۵ رابطهٔ بین برخی واحدهای انگلیسی و متری

طول	
۱ اینچ	= ۲٫۵۴ سانتی‌متر (دقیق)
۰٫۶۲۱۳۷ میل	= ۱ کیلومتر
حجم	
۱ کوارت (مایع آمریکا)	= ۰٫۹۴۶۳۳ لیتر
۰٫۰۲۴ ۶۱ اینچ مکعب	= ۱ لیتر
جرم	
۱ پوند	= ۴۵۳٫۵۹ گرم
۲٫۲۰۴۶ پوند	= ۱ کیلوگرم

حل

ابتدا فرسنگ را به متر تبدیل می‌کنیم. این تبدیل با استفاده از دو ضریب حاصل از داده‌های مسئله صورت می‌گیرد:

$$?\ m = ۲۰,۰۰۰\ \text{فرسنگ} \left(\frac{۳٫۴۵\ \text{میل}}{۱\ \text{فرسنگ}}\right)\left(\frac{۱۶۰۹\ m}{۱\ \text{میل}}\right) = ۱۱۱,۰۰۰,۰۰۰\ m = ۱٫۱۱ \times ۱۰^{۸}\ m$$

توجه کنید که ضرایب بالا ابتدا فرسنگ را به میل و سپس میل را به متر تبدیل می‌کنند. هر ضریبی، واحد مخرج را به واحد صورت در ضریب تبدیل برمی‌گرداند.

سپس، واحد پاسخ را از واحد اصلی متر به واحد SI خواسته شده در مسئله تبدیل می‌کنیم. از جدول ۱ ـ ۴ نتیجه می‌گیریم که یک مگامتر (Mm) برابر $۱۰^{۶}$ متر و یک گیگامتر (Gm) برابر $۱۰^{۹}$ متر است. مرتبهٔ پاسخ ما (یعنی $۱۰^{۸}$ متر) بین این دو قرار دارد. برای دستیابی به پاسخی بزرگ‌تر از ۱، آن را به مگامتر تبدیل می‌کنیم:

$$?\ Mm = ۱٫۱۱ \times ۱۰^{۲}\ Mm = ۱۱۱\ Mm^{*} \qquad ۱٫۱۱ \times ۱۰^{۸}\ m \left(\frac{۱\ Mm}{۱۰^{۶}\ m}\right) = ۱٫۱۱ \times ۱۰^{۲}\ Mm$$

یعنی، عنوان کتاب باید ۱۱۱ مگامتر زیر دریا باشد. چون محیط زمین تقریباً ۴۰ Mm است، زیردریایی «ناخدا نمو»[1] فقط می‌تواند فاصله‌ای حدود دو و سه چهارم محیط زمین را پیمماید، بدون آنکه به سطح آب بیاید.

درصد

ضرایب تبدیل را از درصدها نیز می‌توان به دست آورد. برای مثال، درصدهای به کار رفته برای بیان ترکیب آلیاژ به کار رفته در ساخت سکه‌های «نیکلی» را در نظر بگیرید. این سکه‌های نیکلی، در واقع شامل ۷۵٪ جرمی مس و ۲۵٪ جرمی نیکل هستند. با استفاده از این داده‌ها، در مجموع شش ضریب تبدیل، با احتساب ضرایب عکس، می‌توان به دست آورد.

چون درصد به معنی بخش در صد بخش است، می‌توان دقیقاً صد واحد جرم از آلیاژ را برای استخراج ضرایب تبدیل در نظر گرفت. به این ترتیب، در ۱۰۰٫۰ g آلیاژ، ۷۵٫۰ g مس و ۲۵٫۰ g نیکل وجود دارد. اگر نماد ⇔ را برای نمایش «هم ارز است با» به کار گیریم، می‌توان سه رابطهٔ زیر را برای این آلیاژ مس ـ نیکل به دست آورد:

$$۱۰۰٫۰\ g\ \text{آلیاژ} \Leftrightarrow ۷۵٫۰\ g\ Cu \qquad (۱ - ۱۱)$$

$$۱۰۰٫۰\ g\ \text{آلیاژ} \Leftrightarrow ۲۵٫۰\ g\ Ni \qquad (۱ - ۱۲)$$

$$۷۵٫۰\ g\ \text{مس} \Leftrightarrow ۲۵٫۰\ g\ Ni \qquad (۱ - ۱۳)$$

در استخراج این ضرایب، علامت ⇔ را مانند علامت تساوی در نظر می‌گیریم. در نتیجه، هر یک از این رابطه‌ها، دو ضریب به دست خواهد داد که عکس یکدیگرند. ضریب لازم برای حل مسئله را می‌توان از رابطه‌ای به دست آورد که واحدهای مناسب را داراست. برای مثال، می‌توان ضرایب زیر را از رابطهٔ اوّل (معادله ۱ ـ ۱۱) به دست آورد.

$$\frac{۷۵٫۰\ g\ Cu}{۱۰۰٫۰\ g\ \text{آلیاژ}} \quad \text{و} \quad \frac{۱۰۰٫۰\ g\ \text{آلیاژ}}{۷۵٫۰\ g\ Cu}$$

مثال ۱ ـ ۲

چند گرم نیکل باید به ۵۰٫۰ گرم مس اضافه شود تا آلیاژ بیان شده در مثال ۱ ـ ۱۱ به دست آید؟

حل

برای پیداکردن مقدار نیکل لازم، باید عبارت ۵۰٫۰ g Cu را در ضریبی ضرب کنیم. برای این کار به ضریب تبدیلی نیاز داریم که Ni g (در صورت) را به g Cu (در مخرج) مربوط سازد. رابطهٔ ۳ که قبلاً آمده بود (معادلهٔ ۱ ـ ۱۳) می‌تواند این فاکتور را به دست دهد؛ فاکتور مورد نظر (۲۵٫۰ g Ni / ۷۵٫۰ g Cu) است. حلّ مسئله چنین است:

$$?\ g\ Ni = ۵۰٫۰\ g\ Cu \left(\frac{۲۵٫۰\ g\ Ni}{۷۵٫۰\ g\ Cu}\right) = ۱۶٫۷\ g\ Ni$$

مثال ۱ ـ ۳

نقرهٔ استرلینگ، آلیاژی شامل ۹۲٫۵٪ Ag و ۷٫۵٪ Cu است. با استفاده از ۳٫۰۰ kg نقرهٔ خالص، چند کیلوگرم نقرهٔ استرلینگ می‌توان ساخت؟

حل

برای اصلاح عبارت ۳٫۰۰ kg Ag باید یک ضریب تبدیل به کار ببریم. برای این کار به ضریبی نیاز داریم که kg Ag را به kg استرلینگ تبدیل کند. ضریب لازم را از درصد نقره در نقره استرلینگ می‌توان

---

* توجه کنید که نماد m نشانهٔ واحد اصلی یعنی متر است. نمادهای $-m$ و $-M$، به ترتیب، بیانگر پیشوندهای میلی ـ و مگا ـ هستند. در نتیجه،

m نماد متر است،
mm نماد میلی متر است،
Mm نماد مگامتر است.

1. Captain Nemo

به‌دست آورد. چون نقره استرلینگ شامل ۹۲٫۵٪ جرمی نقره است،

$$۹۲٫۵\ \text{kg Ag} \Leftrightarrow \text{استرلینگ } ۱۰۰\text{kg}$$

به این ترتیب، ضریب مورد نیاز (۹۲٫۵kg Ag / استرلینگ ۱۰۰kg) است. توجه کنید که نشانهٔ $kg\,Ag$ در مخرج این ضریب ظاهر شده است و با واحد داده شده در مقدار اولیه حذف خواهد شد:

$$\text{؟ kg استرلینگ} = ۳٫۰۰\text{kg Ag} \frac{\text{استرلینگ } ۱۰۰٫۰\text{kg}}{۹۲٫۵\text{kg Ag}}$$

$$\text{استرلینگ } ۳٫۲۴\text{kg} =$$

نسبت

گاهی، اطلاعات به صورت یک نسبت داده می‌شود، یا پاسخ یک مسئله به صورت یک نسبت است. برای نمونه، می‌توان بهای یک واحد، فاصلهٔ طی شده در واحد زمان، و تعداد اجزای در واحد جرم را ذکر کرد. واژهٔ در در اینجا به معنی تقسیم است، و عدد مخرج نیز (دقیقاً) برابر ۱ است، مگر اینکه توضیح دیگری داده شده باشد. سرعت ۵۰کیلومتر در ساعت عبارتست از ۵۰km/۱hr.

صورت و مخرج این نسبت هم ارزند:

$$۵۰\text{km} \Leftrightarrow ۱\text{hr} \qquad (۱-۱۴)$$

در نتیجه، این نسبت‌ها را می‌توان به عنوان ضریب تبدیل ـ به صورت داده شده، یعنی (۵۰km / ۱hr) یا به صورت معکوس، یعنی (۱hr/۵۰km)ـ به کار گرفت.

در مواردی، پاسخ مسئله به صورت یک نسبت در می‌آید. برای حل این مسائل از داده‌های مسئله برای رسیدن به نسبت خواسته شده (برای مثال، فاصله در زمان) استفاده می‌کنیم. سپس، واحدهای این نسبت را با استفاده از ضرایب تبدیل تغییر می‌دهیم تا نسبت به فرم دلخواه در آید.

مثال ۱ ـ ۴

سرعت (km/hr) اتومبیلی که ۱۶ km را در ۱۳ دقیقه طی می‌کند، چقدر است؟

حل

چون نسبت دلخواه ما عبارت‌های *فاصله در واحد زمان* است، چنین نسبتی را از داده‌های مسئله استخراج می‌کنیم. گفته شده است که اتومبیل فاصله ۱۶km را در ۱۳min طی کرده است، در نتیجه می‌توان محاسبات خود را بر نسبت (۱۳min / ۱۶km) استوار کنیم:

$$\frac{\text{؟ km}}{۱\text{ hr}} = \left(\frac{۱۶\text{ km}}{۱۳\text{ min}}\right)$$

توجه کنید که واحدهای موجود در مخرج این ضریب را باید از *دقیقه* به ساعت تبدیل کنیم. ضریب مورد نیاز ما از:

$$۶۰\text{ min} = ۱\text{ hr}$$

به دست خواهد آمد و برابر با (۶۰min/۱ hr) است. مسئله به صورت زیر حل خواهد شد.

$$\frac{\text{؟ km}}{۱\text{hr}} = \left(\frac{۱۶\text{km}}{۱۳\text{ min}}\right)\left(\frac{۶۰\text{min}}{۱\text{ hr}}\right) = \left(\frac{۷۴\text{ km}}{۱\text{hr}}\right) = ۷۴\text{km/hr}$$

چگالی

چگالی، از نسبت‌هایی است که به صورت گسترده‌ای در شیمی به کار می‌رود. چگالی یک ماده، جرم آن ماده در واحد حجم است:

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}} \qquad (۱-۱۵)$$

چگالی را می‌توان بر حسب گرم در سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) بیان کرد. حجم به کار رفته در اینجا، یعنی سانتی‌متر مکعب (cm^3)، حجم مکعبی که هر یال آن یک سانتی‌متر است. در مواردی، از کیلوگرم در مترمکعب (kg/m^3) نیز استفاده می‌شود. حجم مشخص شده در اینجا، یعنی مترمکعب (m^3)، حجم مکعبی که هر یال آن یک متر است.

برای مایعات یا محلول‌های مایع، واحد به کار رفته معمولاً گرم در میلی‌لیتر (g/mL) است. روابط زیر در مورد لیتر، طبق تعریف، دقیق هستند:

$$\begin{cases} ۱\text{ L} = ۱۰۰۰٫۰\text{ cm}^3 \\ ۱\text{ L} = ۱۰۰۰٫۰\text{ mL} \end{cases}$$

در نتیجه،

$$۱\text{mL} = ۱\text{cm}^3 \quad \text{(دقیق)}$$

و g/cm^3 برابر g/mL است.

برای گازها، چگالی را اغلب به صورت گرم در لیتر (g/L) بیان می‌کنند. در جدول ۱ ـ ۶ چگالی برخی مواد آمده است.

مثال ۱ ـ ۵

هنگامی که ارشمیدس[1] روش تعیین عیار تاج زرین پادشاه هیرو، بدون صدمه‌زدن به آن راکشف کرد، فریاد زد «یافتم، یافتم»[2]. او تاج را در ظرف پر آبی فرو برد. حجم آب سرازیر شده از ظرف برابر با حجم تاج بود. سپس با تعیین جرم تاج، چگالی آن را به دست آورد. چگالی تاج ساخته شده از زر ناب، برابر چگالی طلاست (جدول ۱ ـ ۶ را ببینید).

فرض کنید که وزن تاج ۱۳۲۵٫۰g و حجم آن ۱۲۴٫۰cm^3 بوده است. (الف) چگالی تاج چقدر است؟ (ب) آیا تاج از زر ناب است؟

1. Archimedes
2. Eureka, Eureka

جدول ۱ ـ ۶ چگالی برخی از مواد جامد و مایع بر حسب g/cm^3

مس	۸٫۹۳
آهن	۷٫۸۶
طلا	۱۹٫۳۲
سرب	۱۱٫۳۴
نقره	۱۰٫۵۰
روی	۷٫۱۴
آب	۱٫۰۰
اتیل‌الکل	۰٫۷۹۱
شیر	۱٫۰۳
یخ	۰٫۹۱۷
سنگ آهک	۲٫۷۰
الماس	۳٫۵۱

حل

(الف) چگالی تاج را با استفاده از معادلهٔ زیر به دست می‌آوریم.

$$\text{چگالی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}} \qquad (۱-۱۵)$$

$$= \frac{۱۳۲۵٫۰\ g}{۱۲۴٫۰\ cm^3}$$

$$= ۱۰٫۶\ g/cm^3$$

(ب) چگالی محاسبه‌شده، یعنی ۱۰٫۶۹ بسیار کمتر از چگالی طلای ناب (g/mc^3 ۱۹٫۳۲) (جدول ۱ ـ ۶ را ببینید) است. در نتیجه، طلای به‌کار رفته در ساختن تاج با فلزهای دیگر مخلوط شده بود.

مثال ۱ ـ ۶

جرم زمین $۵٫۹۷۶ \times ۱۰^{۲۴} kg$ و حجم زمین $۱٫۰۸۳ \times ۱۰^{۲۱} m^3$ است. چگالی میانگین زمین را برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب محاسبه کنید.

حل

مسئله را بر اساس نسبت جرم در حجم، با استفاده از داده‌های مسئله حل می‌کنیم:

$$\frac{?\ g}{۱\ cm^3} = \left(\frac{۵٫۹۷۶ \times ۱۰^{۲۴} kg}{۱٫۰۸۳ \times ۱۰^{۲۱} m^3}\right)$$

چون حجم داده شده در مسئله m^3 است باید رابطه‌ای بین cm^3 و m^3 برقرار کنیم. با حذف توان سوم هر دو طرف معادله، داریم.

$$۱۰۰\ cm = ۱\ m$$

در نتیجه،

$$(۱۰^۲ cm)^3 = (۱m)^3$$

$$۱۰^۶ cm^3 = ۱m^3$$

ضریب به دست‌آمده از این معادله برابر ($۱m^3 / ۱۰^۶ cm^3$) است. برای تبدیل kg به g باید از رابطهٔ زیر استفاده کنیم:

$$۱۰^۳ g = ۱kg$$

و ضریب ($۱۰^۳ g/۱kg$) را به دست آوریم. حل مسئله به صورت زیر در می‌آید:

روش ضریب تبدیل در حل مسئله

اگر مقدار مورد نظر یک نسبت نباشد:

۱ ـ واحدبیان پاسخ مسئله، یک علامت تساوی، و کمیتی که در مسئله داده شده و حل مسئله بر آن استوار است را بنویسید.

۲ ـ ضریب تبدیلی به دست آورید که واحد مخرج آن با واحد کمیت داده‌شده یکسان باشد. این ضریب را می‌توان از اطلاعات داده شده در مسئله یا از تعریف یک واحد به دست آورد.

۳ ـ ضریب تبدیل را بعد از کمیت داده شده (نوشته شده در مرحلهٔ ۱)، برای انجام عمل ضرب بنویسید. واحدها را حذف کنید. پس از انجام این عمل ضرب پاسخ مسئله بر حسب واحد موجود در صورت ضریب تبدیل بیان خواهد شد.

۴ ـ اگر واحد به‌دست‌آمده، واحد موردنظر نبود، ضریب تبدیل‌های دیگری باید به کار گرفت. واحد مربوط به مخرج هر ضریب باید باواحد مربوط به صورت ضریب قبل از آن حذف شود.

۵ ـ این عمل را تا جایی ادامه دهید که تنها واحد باقیمانده همان واحد مورد نظر باشد.

۶ـ با انجام عملیات ریاضی مشخص شده، پاسخ مسئله را به‌دست آورید. اگر مقدار مورد نظر یک نسبت باشد:

۱ ـ واحدهای بیان پاسخ مسئله (به صورت نسبت خواهند بود)، یک علامت تساوی، و نسبتی با همان صورت کلی خواسته شده (برای مثال، زمان / فاصله) و قابل استخراج از داده‌های مسئله را بنویسید.

۲ ـ یک یا چند ضریب تبدیل برای تبدیل واحدهای مربوط به نسبت داده شده به واحدهای دلخواه به دست آورید.

۳ ـ ضرایب تبدیل را بعد از نسبت داده‌شده در مسئله بنویسید. در برخی موارد، واحد مربوط به صورت نسبت با واحدهای مخرج کمیت داده شده حذف خواهد شد. در موارد دیگر، واحدهای مربوط به مخرج ضریب با واحدهای موجود در صورت کمیّت داده‌شده حذف خواهند شد.

۴ ـ عملیات ریاضی مشخص‌شده را انجام دهید و پاسخ مسئله را با واحدهای خواسته‌شده به دست آورید.

$$\frac{? \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} = \left(\frac{۵٫۹۷۶ \times ۱۰^{۲۴} \text{ kg}}{۱٫۰۸۳ \times ۱۰^{۲۱} \text{m}^3}\right)\left(\frac{۱۰^{۳} \text{ g}}{1 \text{ kg}}\right)\left(\frac{۱۰^{-۶} \text{m}^3}{1 \text{ cm}^3}\right)$$

$$= \left(\frac{۵٫۵۱۸ \text{ g}}{1 \text{ cm}^3}\right) = ۵٫۵۱۸ \text{ g/cm}^3$$

به این ترتیب، چگالی میانگین زمین $۵٫۱۸ \text{g/cm}^3$ است. (چگالی آب که $۱٫۰۰ \text{g/cm}^3$ است مقایسه کنید.)

مثال ۱ ـ ۷

چگالی متوسط ماه $۳٫۳۴۱ \text{g/cm}^3$ و جرم ماه $۷٫۳۵۰ \times ۱۰^{۲۵} \text{g}$ است. حجم ماه چقدر است؟

حل

چگالی، بیانگر رابطهٔ جرم و حجم است. جرم ماه داده شده است و باید حجم ماه را به دست آوریم. جرم $۷٫۳۵۰ \times ۱۰^{۲۵} \text{g}$ را در ضریب تبدیل ضرب می‌کنیم. ضریب مورد نیاز برای حل مسئله، عکس چگالی $(۱\text{cm}^3 / ۳٫۳۴۱\text{g})$ است. به این ترتیب واحدهای g حذف می‌شوند:

$$? \text{ cm}^3 = ۷٫۳۵۰ \times ۱۰^{۲۵} \text{g}\left(\frac{۱\text{cm}^3}{۳٫۳۴۱ \text{ g}}\right) = ۲٫۲۰۰ \times ۱۰^{۲۵} \text{ cm}^3 *$$

چکیدهٔ مطالب

شیمی علم شناسایی، ترکیب اجزاء، و تبدیل‌های مادّه است. تکوین علم شیمی جدید، طی چندین سده، از ریشه‌های آن در هنرهای تجربی تمدن‌های باستانی و نظریه‌های یونانیان باستان تا کیمیاگری و شیمی فلوژیستون، صورت گرفته است. دوران جدید با خدمات آنتوان لاوازیه که قانون بقای جرم را اساس کار خود قرار داد، آغاز شد.

طبقه‌بندی مادّه بر شناسایی عناصر، موادی که قابل تجزیه به مواد ساده‌تر نیستند و سایر انواع مادّه از آنها ساخته شده است، استوار می‌باشد. هر عنصر با یک نماد شیمیایی یک، دو، یا سه حرفی مشخص می‌شود. ترکیب‌ها از دو یا چند عنصر با نسبت‌های ثابت تشکیل شده‌اند. ترکیب‌ها، طی واکنش‌های شیمیایی تولید می‌شوند و فقط با روش‌های شیمیایی قابل تجزیه هستند. عناصر و ترکیب‌ها را اجسام خالص می‌نامند.

مخلوط‌ها از دو یا چند جسم خالص یا نسبت‌های متغیر تشکیل شده‌اند و با روش‌های فیزیکی قابل تفکیک هستند. مخلوط‌هایی که یکنواخت باشند، همگن نامیده می‌شوند؛ مخلوط‌های غیریکنواخت را ناهمگن گویند.

دستگاه متری اندازه‌گیری (دستگاه اعشاری) در تمام مطالعات علمی به کار می‌رود.

دستگاه بین‌المللی واحدها (به صورت SI خلاصه می‌شود) که امروزه متداول شده است، صورت جدید و ساده‌شدهٔ یک دستگاه قدیمی است. دستگاه بین‌المللی، بر هفت واحد اصلی و سه واحد تکمیلی استوار است. سایر واحدهای SI که به واحدهای فرعی مشهورند، از جمع جبری واحدهای اصلی به دست می‌آیند. جمع یا تفریق واحدهای اصلی یا واحدهای فرعی را با افزودن پیشوندهایی به نام آن واحدها نمایش می‌دهند.

دقت یک اندازه‌گیری فقط به وسیلهٔ ارقام با معنی بیان می‌شود. همین‌طور، پاسخ یک محاسبه باید با تعداد درست ارقام بامعنی (این تعداد به دقت مقادیر به‌کار رفته در محاسبات بستگی دارد) بیان شود. بسیاری از محاسبات شیمیایی را می‌توان با استفاده از ضرایب تبدیل انجام داد.

مفاهیم کلیدی

برخی از واژگان مهّم این فصل در فهرست زیر آمده است. واژه‌هایی که تعریف آنها در این فهرست نیامده‌است را می‌توان با استفاده از نمایه پایان کتاب پیدا کرد.

Chemical symbol نماد شیمیایی (بخش ۱ ـ ۲). مخففی یک، دو، یا سه حرفی که با توافق بین‌المللی به هر عنصر نسبت داده می‌شود.

Chemistry شیمی (مقدمه). علمی که با شناسایی، ترکیب اجزاء، و تبدیل‌های مادّه سر و کار دارد.

Compound ترکیب (بخش ۱ ـ ۲). جسم خالصی که از دو یا چند عنصر با نسبت‌های ثابت تشکیل شده و با استفاده از روش‌های شیمیایی، قابل تجزیه به این عناصر است.

Conversion factor ضریب تبدیل (بخش ۱ ـ ۵). نسبتی که در آن، صورت و مخرج، مقادیر هم ارز با واحدهای متفاوت‌اند. در محاسبات شیمیایی، ضریب تبدیل را برای تبدیل واحدهای مربوط به یک اندازه‌گیری به واحدهای دیگر به کار می‌برند.

Density چگالی (بخش ۱ ـ ۵). جرم در واحد حجم.

Element عنصر (بخش ۱ ـ ۲). جسم خالصی که قابل تبدیل به اجسام ساده‌تر باشد.

Law of conservation of mass قانون بقای جرم (بخش ۱ ـ ۱). طی یک واکنش شیمیایی، تغییر قابل سنجشی در جرم صورت نمی‌گیرد.

Law of definite proportions قانون نسبت‌های معین (بخش ۱ ـ ۲). یک جسم خالص، همیشه شامل عناصر مشخصی است که با نسبت جرمی مشخص با یکدیگر ترکیب شده‌اند.

Mass جرم (بخش ۱ ـ ۲). اندازهٔ مقدار مادّه.

Matter مادّه (بخش ۱ ـ ۲). هرچیزی‌که فضارا اشغال‌کندو دارای جرم باشد.

Metric system دستگاه متری (بخش ۱ ـ ۳). دستگاه اندازه‌گیری اعشاری که در تمام مطالعات علمی به کار می‌رود.

Mixture مخلوط (بخش ۱ ـ ۲). نمونه‌ای از ماده‌که شامل دو یا چند جسم خالص باشد، ترکیب ثابتی از اجزاء نداشته باشد، و با روش‌های فیزیکی قابل جداسازی باشد.

Phase فاز (بخش ۱ ـ ۲). بخشی از ماده‌که از لحاظ فیزیکی قابل تشخیص بوده و از نظر ترکیب از اجزاء و خواص یکنواختی برخوردار باشد.

SI unit واحد SI (بخش ۱ ـ ۳). واحدی‌که در دستگاه بین‌المللی واحدها (*Le système International d' Unités*) به کار می‌رود.

Significant figures ارقام بامعنی (بخش ۱ ـ ۴). ارقامی در یک سنجش که بیانگر دقت اندازه‌گیری هستند. این ارقام شامل تمام ارقامی است که با قطعیت مشخص می‌باشند به اضافه یک رقم اضافی که تخمینی است.[۱]

Solution محلول (بخش ۱ ـ ۲). مخلوطی از دو یا چند جسم خالص که یکنواخت (همگن) باشد.

* در مثال‌های بعدی حذف واحدها نشان داده نخواهد شد.

Substance جسم (بخش ۱ ـ ۲). یک عنصر یا یک ترکیب. اجسام دارای خواص و ترکیب ثابت‌اند.

Weight وزن (بخش ۱ ـ ۲). نیروی گرانشی جاذبه که به وسیله زمین بر یک جسم وارد می‌شود.

مسائل*

۱ ـ ۱ مفاهیم زیر را با یکدیگر مقایسه و مقابله کنید: (الف) قانون پیقای جرم، قانون نسبت‌های معین؛ (ب) ترکیب، عنصر؛ (ج) وزن، جرم؛ (د) شیمی آلی، بیوشیمی؛ (هـ) مگامتر، میلی‌متر.

۱ ـ ۲ مفاهیم زیر را با یکدیگر مقایسه و مقابله کنید: (الف) مخلوط، ترکیب؛ (ب) مخلوط ناهمگن، مخلوط همگن؛ (ج) تغییر فیزیکی، تغییر شیمیایی؛ (د) جرم یک شئ، چگالی یک شئ؛ (هـ) ۱۰۰۰L، ۱۰۰۰cm^3.

۱ ـ ۳ نام عناصری که نشانه‌های آنها در زیر آمده است را به دست آورید:
(الف) Fe؛ (ب) P؛ (ج) K؛ (د) Cu؛ (هـ) Ca؛ (و) Cl.

۱ ـ ۴ نام عناصری که نشانه‌های آنها در زیر آمده است را به دست آورید:
(الف) Cl؛ (ب) Cr؛ (ج) Mg؛ (د) Mn؛ (هـ) Li؛ (و) Pb.

۱ ـ ۵ نشانه‌های عناصر زیر را به دست آورید: (الف) آلومینیم؛ (ب) آنتیموان؛ (ج) نقره؛ (د) سیلیسیم؛ (هـ) سدیم؛ (و) نئون.

۱ ـ ۶ نشانه‌های عناصر زیر را به دست آورید: (الف) جیوه؛ (ب) هیدروژن؛ (ج) هلیوم؛ (د) استرانسیم؛ (هـ) قلع؛ (و) تنگستن.

۱ ـ ۷ تعداد رقم‌های بامعنی در هر یک از اعداد زیر را مشخص کنید: (الف) ۶۰۰؛ (ب) ۶۰۶؛ (ج) ۶۰۰٫۰؛ (د) ۶۰۶٫۰؛ (هـ) ۶۰۰٫۰.

۱ ـ ۸ تعداد رقم‌های بامعنی در هر یک از اعداد زیر را مشخص کنید: (الف) ۱۲۹٫۰؛ (ب) ۴۰۰٫۰؛ (ج) ۳٫۲۵۰؛ (د) ۱٫۳۲۰؛ (هـ) ۱۰٫۰۰۰.

۱ ـ ۹ محاسبات زیر را انجام دهید و پاسخ‌های خود را با تعداد صحیح ارقام بامعنی بیان کنید:
(الف) ۱٫۶۲۵ / ۱۲٫۳۶؛ (ب) ۷۵٫۰ × ۱٫۶۲؛
(ج) ۱٫۶۲۳ + ۲۳٫۰ + ۱٫۶۰۲؛ (د) ۱٫۰ − ۱۳۲۵؛
(هـ) ۳۷۲٫۰ / (۶۲٫۰ × ۲۷۳).

۱ ـ ۱۰ محاسبات زیر را انجام دهید و پاسخ‌های خود را با تعداد صحیحی از ارقام بامعنی بیان کنید:
(الف) ۲۳٫۰ + ۵٫۰ + ۱۲٫۲۶۵؛ (ب) ۲۹٫۶۵ − ۱۳٫۲۰؛ (ج) ۳۲۷٫۰ × ۱٫۶۰۷؛
(د) ۳۲۷٫۵ / (۶۲٫۰ × ۷۶)؛ (هـ) ۷۶٫۰ × (۶۲۵٫۰ − ۱۳۷٫۰).

۱ ـ ۱۱ محاسبات زیر را انجام دهید و پاسخ‌های خود را با تعداد صحیحی از ارقام بامعنی بیان کنید:
(الف) $(۱٫۲۷۳ \times ۱۰^{۵}) + (۲٫۵ \times ۱۰^{۶})$؛ (ب) $(۶٫۰ \times ۱۰^{-۳}) - (۳٫۰ \times ۱۰^{-۴})$؛
(ج) $(۱٫۹۶ \times ۱۰^{۳}) / (۵۵۲ \times ۱۰^{-۲})$؛ (د) $(۵٫۰ \times ۱۰^{۶}) \times (۱٫۳۲ \times ۱۰^{-۲})$؛
(هـ) $(۱٫۳۲ \times ۱۰^{-۲}) / (۷٫۶۱۳ \times ۱۰^{۸})$.

۱ ـ ۱۲ محاسبات زیر را انجام دهید و پاسخ‌های خود را با تعداد صحیحی از ارقام بامعنی بیان کنید:
(الف) $(۱٫۲۵ \times ۱۰^{۲}) + (۳۳۳٫۱ \times ۱۰^{۰})$؛ (ب) $(۲۲۵٫۰ \times ۱۰^{۳}) - (۶٫۲۵ \times ۱۰^{۲})$؛
(ج) $(۹٫۲۵ \times ۱۰^{-۳}) - (۵٫۰ \times ۱۰^{-۴})$؛ (د) $(۳٫۲۷۶ \times ۱۰^{-۵}) / (۶٫۵ \times ۱۰^{-۵})$؛
(هـ) $(۶٫۷ \times ۱۰^{۲}) + (۶٫۵ \times ۱۰^{۲})$.

۱ ـ ۱۳ (الف) یک کیلومتر چند سانتی‌متر است؟ (ب) یک میلی‌گرم چند کیلوگرم است؟ (ج) یک دکامتر چند دسی‌متر است؟ (د) ۱۰ میلی ثانیه چند ثانیه است؟ (هـ) ۱۰۰ میکرومتر چند نانومتر است؟

۱ ـ ۱۴ (الف) یک گیگاگرم چند کیلوگرم است؟ (ب) ۱۰۰ پیکومتر چند آنومتر است؟ (ج) ۱۶ لیتر چند دکامتر مکعب است؟ (د) ۱ هکتوگرم چند نانوگرم است؟ (هـ) ۶۵ میکرومتر چند میلی‌متر است؟

۱ ـ ۱۵ هر یک از مقادیر زیر را در واحد SI بیان کنید به طوری که کوچک‌ترین عدد به دست آمده از آن، بزرگتر از ۱ باشد: (الف) ۲۰ g؛ (ب) ۱۵۰ m؛ (ج) ۱٫۵۰۰٫۰۰۰ m؛ (د) $۱٫۲ \times ۱۰^{-۱۰}$ m؛ (هـ) $۳٫۷ \times ۱۰^{-۶}$ g؛ (و) ۶۳۰٫۰۰۰٫۰۰۰ kg؛ (ز) ۶۳۰٫۰۰۰٫۰۰۰ mm.

۱ ـ ۱۶ هر یک از مقادیر زیر را در دستگاه SI بیان کنید به طوری که کوچک‌ترین عدد به دست آمده از آن بزرگتر از ۱ باشد.
(الف) ۳۶٫۰۰۰ kg؛ (ب) $۱۰^{-۹} \times ۲۰$ m؛ (ج) $۱۰^{۷} \times ۶٫۰$ m؛ (د) ۳۰۰ kg؛
(هـ) ۳۶٫۵۰۰ pm؛ (و) ۶۵Mg؛ (ز) $۱۰^{-۳} \times ۷٫۰$ g.

۱ ـ ۱۷ لیتر عبارتست از یک دسی متر مکعب. (الف) متر مکعب چند لیتر است؟ (ب) ۱ لیتر چند متر مکعب است؟

۱ ـ ۱۸ واحد آنگستروم (Å) که به صورت $۱۰^{-۱۰}$m تعریف می‌شود یک واحد SI نیست. (الف) چند نانومتر مساوی ۱ Å است؟ (ب) چند پیکومتر مساوی ۱ Å است؟ (ج) شعاع اتم کلر ۹۹ Å است. مقدار آن بر حسب نانومتر و پیکومتر چقدر است؟

۱ ـ ۱۹ عمیق‌ترین قسمت اقیانوس آرام ۵۹۶۸ فاتوم (واحد اندازه‌گیری عمق آب) عمق دارد. مقدار آن بر حسب متر چقدراست؟ یک فاتوم دقیقاً برابر ۶ فوت است.

۱ ـ ۲۰ در اندازه‌گیری‌های عطاری، ۱ اسکوریل برابر ۲۰ گندم، یک اُونس برابر ۴۸۰ گندم، و یک گرم ۳۲۱۵٫۰ اُونس است. جرم ۱ اسکوریل مساوی چند گرم است؟

۱ ـ ۲۱ یک فرلانگ به صورت یک هشتم میل تعریف می‌شود. یک مسیر شش فرلانگی چند کیلومتر است؟ روابط زیر به صورت دقیق وجود دارند:
۱ میل = ۵۲۸۰ فوت، ۱۲ اینچ = ۱ فوت، ۱ اینچ = ۲٫۵۴ سانتی‌متر. پاسخ خود را با سه رقم بامعنی به دست آورید.

۱ ـ ۲۲ یک تن شامل چهار بشکهٔ بزرگ است، یک بشکهٔ بزرگ ۵۰٫۰ بشکه، یک بشکه ۴۲ گالن، یک گالن ۳٫۷۸۵L، و یک لیتر $۱۰٫۰۰۰ dm^3$. تن چند متر مکعب است؟

۱ ـ ۲۳ یک‌روز درکره‌مریخ $۸٫۸۴۶۴ \times ۱۰^{۴}$ ثانیه‌ویک سال $۵٫۹۳۵ \times ۱۰^{۷}$ ثانیه است. (الف) یک روز کرهٔ مریخ معادل چند روز زمینی است؟ (ب) یک سال در مریخ معادل چند روز در زمین است؟ (ج) یک سال مریخی چند روز است؟

۱ ـ ۲۴ یک روز در سیارهٔ مشتری $۳٫۵۴۳ \times ۱۰^{۴}$ ثانیه و یک سال $۳٫۷۲۳ \times ۱۰^{۸}$ ثانیه است. (الف) یک روز مشتری معادل چند روز کرهٔ زمین است؟ (ب) یک سال مشتری معادل چند روز کرهٔ زمین است؟ (ج) یک سال مشتری چند روز است؟

۱ ـ ۲۵ فاصلهٔ متوسط زمین از خورشید $۱٫۴۹۶ \times ۱۰^{۸}$ km است که به صورت یک واحد نجومی (au) تعریف می‌شود. شعاع متوسط مدار ماه در اطراف زمین ۳۸۴٬۴۰۰ km است. شعاع متوسط زمین در اعتشوا ۶۳۷۸km است. فاصلهٔ زمین از ماه معادل چند گردش در پیرامون محیط کرهٔ زمین در استوا است؟

۱ ـ ۲۶ اگر دستگاه متری برای استفاده‌های روزمره استخراج شود، پارچه بر حسب متر فروخته خواهد شد (نه یارد)، شیر بر حسب لیتر (نه کنوارت)، و گوشت بر حسب کیلوگرم (نه پوند). در صورتی که ۱ اینچ = ۲٫۵۴cm، ۱ پایت = ۴۷۳٫۲mL، ۱ پوند = ۴۵۳٫۶g، هر یک از موارد زیر چند درصد افزایش پیدا می‌کند؟ (الف) پارچه: ۱٫۰ متر به جای ۱ یارد؛ (ب) شیر: ۱٫۰ لیتر به جای ۱٫۰۰ کوارت؛ (ج) گوشت: ۱٫۰۰ کیلوگرم به جای ۲٫۰۰ پوند.

۱ ـ ۲۷ یک بسته چوب (یک پشته به ارتفاع ۴ فوت و طول ۸ فوت و ضخامت ۴ فوت) حجم دارد. حجم یک تخ بز حسب m^3 چقدر است؟

* مسائل مشکل تر با * مشخص شده‌اند. پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

یک اینچ دقیقاً برابر ۲٫۵۴cm است.

۱ ـ ۲۸ یک گالن $231in^3$ است. حجم یک گالن بر حسب cm^3 چقدر است؟ یک اینچ دقیقاً برابر ۲٫۵۴cm است.

۱ ـ ۲۹ طلای خالص ۲۴ عیار است (به اختصار K). (الف) حلقه‌ای از طلای ۱۸K ساخته شده است. چند درصد این فلز طلاست؟ (ب) آلیاژ طلا شامل ۸۷٫۵٪ Au است، چگونه این آلیاژ بر حسب عیار طلا ارزیابی می‌شود؟

۱ ـ ۳۰ طلای ناب ۲۴ عیار است. (الف) آلیاژی به نام طلای آبی از ۳۶٫۰ گرم Au و ۱۲٫۰ گرم Fe ساخته شده است. چگونه این آلیاژ بر حسب عیار طلا ارزیابی می‌شود؟ (ب) چه مقدار مس باید همراه ۳۵۰ gr طلا مصرف شود تا آلیاژی ۱۴K از طلا ساخته شود؟

۱ ـ ۳۱ چند گرم پلاتین باید همراه با ۱۲۵g طلا مصرف شود تا نوعی طلای سفید به نام پلاتین ساخته شود که شامل Au ۶۰٫۰٪ و Pt ۴۰٫۰٪ باشد؟

۱ ـ ۳۲ چند گرم روی باید همراه با ۳۵kg آب مس مصرف شود تا نوعی آلیاژ برنج شامل Zn ۳۵٫۰٪ و Cu ۶۵٫۰٪ ساخته می‌شود؟

۱ ـ ۳۳ یک نوع برنز شامل Cu ۹۰٫۰٪ و Sn ۱۰٫۰٪ است. (الف) برای تهیهٔ ۱٫۷۵kg از این آلیاژ چند گرم Sn باید مصرف شود؟ (ب) با ۱٫۷۵kg از مس چند گرم از این آلیاژ می‌توان تهیه کرد؟

۱ ـ ۳۴ یک نوع سیم‌لحیم نقره شامل Ag ۶۳٫۰٪، Cu ۳۰٫۰٪ و Zn ۷٫۰٪ است. (الف) برای تهیهٔ ۵۰۰gr از این لحیم چند گرم مس باید مصرف شود؟ (ب) با ۶۳۵gr نقره چند گرم از این سیم لحیم می‌توان تهیه کرد؟

۱ ـ ۳۵ به صورت تخمینی، ۱٫۰g به طور متوسط شامل Pg Au ۴٫۰ است. اگر جرم کل تمام اقیانوس‌ها 1.6×10^{12} Tg باشد، چند گرم طلا در اقیانوس‌های روی زمین وجود دارد؟

۱ ـ ۳۶ بدن انسان دارای ۰٫۰۰۴٪ آهن است. بدن یک شخص ۱۶۵ پوندی چقدر آهن دارد؟ یک پوند برابر ۴۵۳٫۶g است.

*** ۱ ـ ۳۷** آلیاژبرنج‌سفید شامل Cu ۶۰٫۰٪، Zn ۲۵٫۰٪، و Ni ۱۵٫۰٪است. (الف) با ۱kg Cu، ۱٫۰ Zn و ۳۵۰ g Ni چند گرم از این آلیاژ می‌توان تهیه کرد؟ (ب) چند گرم از هر یک از این فلزات خالص بر جای می‌ماند؟

*** ۱ ـ ۳۸** نوعی از یک فلز شامل Pb ۸۲٫۰٪، Sb ۱۵٫۰٪، و Sn ۳٫۰٪ است. (الف) با Pb ۱٫۲۳kg، Sb ۲۵۰ g و Sn ۱۰۰ g چند گرم از این آلیاژ می‌توان تهیه کرد، (ب) چند گرم از هر یک از این فلزات خالص بر جای می‌ماند؟

۱ ـ ۳۹ شناگری دریک مسابقه ۱۶۵۰ یاردرادر ۱۲ دقیقه و ۴۸ ثانیه طی کرد. سرعت متوسط شناگر (الف) برحسب میل بر ساعت؛ (ب) برحسب متر بر ثانیه چقدر است؟

۱ ـ ۴۰ دونده‌ای یک ماراتون (۲۶ میل و ۳۸۵ یارد) را در ۲ ساعت و ۲۵ دقیقه طی کرد. سرعت متوسط این دونده (الف) بر حسب میل بر ساعت؛ (ب) متر به ثانیه چقدر است؟

۱ ـ ۴۱ سرعت مجاز در بزرگراه‌ها ۵۵ میل بر ساعت است. این مقدار را به کیلومتر بر ساعت تبدیل کنید. روابط زیر به صورت دقیق وجود دارند:

۱ میل = ۵۲۸۰ فوت، ۱ فوت = ۱۲ اینچ، ۱ اینچ = ۲٫۵۴ سانتی‌متر.

۱ ـ ۴۲ یک گره دریایی برابر با ۱٫۵۰۸ میل در ساعت است. این سرعت را برحسب cm/s حساب کنید. رابطه‌های زیر، دقیق هستند:

۱ میل = ۵۲۸۰ پا، ۱ پا = ۱۲ اینچ، ۱ اینچ = ۲٫۵۴cm

۱ ـ ۴۳ در شرایط معین، یک مولکول هیدروژن در اثر برخورد با سایر مولکول‌ها مسافت ۱۳۱٫۰μm را طی می‌کند و دست‌خوش 1.40×10^{10} برخورد در یک ثانیه می‌شود. سرعت متوسط مولکول هیدروژن در این شرایط بر حسب m/s چقدر است؟

۱ ـ ۴۴ سال نوری واحدی است که درانداز‌ه‌گیری مسافت‌های نجومی به کار می‌رود و به صورت مسافت طی شده به وسیلهٔ نور در یک سال تعریف می‌شود. سرعت‌نور برابر با 2.9979×10^8 m/s است. یک سال نوری چند کیلومتر است؟

۱ ـ ۴۵ (الف) شعاع زمین در استوا 6.378×10^3 km است. چرخش کامل زمین در حول محور خودش ۲۴٫۰۰ ساعت به طول می‌انجامد. سرعت چرخش نقطه‌ای بر روی خط استوا در حول محور زمین را بر حسب متر در ثانیه و میل بر ساعت حساب کنید. (ب) شعاع متوسط مدار زمین در حول خورشید (اندازه‌گیری شده از مرکز خورشید) 1.496×10^8 km است. ۲۵ر۳۶۵ روز (یک سال) طول می‌کشد تا زمین مدار خود را به دور خورشید کامل کند. سرعت چرخش زمین به‌دورخورشید بر حسب میل بر ساعت و متر بر ثانیه چقدر است؟

۱ ـ ۴۶ (الف) شعاع استوایی عطارد 2.436×10^3 km است. ۵۸٫۶۴ روز زمینی طول می‌کشد تا عطارد یک چرخش کامل در حول محور خود داشته باشد. سرعت چرخش استوایی عطارد به دور محور خودش بر حسب میل بر ساعت و متر بر ثانیه چقدر است؟ (ب) شعاع متوسط مدار عطارد در اطراف خورشید (اندازه‌گیری شده از مرکز خورشید) 57.96×10^6 km است. ۸۷٫۹۹ روز زمینی (یک سال در عطارد) طول می‌کشد تا عطارد مدار خود را به دور خورشید کامل کند. سرعت حرکت عطارد در حول خورشید بر حسب میل بر ساعت و متر بر ثانیه چقدر است؟

۱ ـ ۴۷ وزن یک مکعب ۱۵٫۰ سانتی‌متری سدیم ۳٫۲۸kg است. چگالی سدیم بر حسب g/cm^3 چقدر است؟

۱ ـ ۴۸ وزن یک مکعب ۲٫۵۰۰ سانتی‌متر پلاتین ۳۳۵۲٫۰kg است. چگالی پلاتین بر حسب g/cm^3 چقدر است؟

۱ ـ ۴۹ چگالی الماس $3.51 g/cm^3$ است. حجم یک قطعه الماس ۱٫۰۰ قیراطی چقدر رقم؟ یک قیراط برابر ۲۰۰mg است.

۱ ـ ۵۰ چگالی الماس $3.51 g/cm^3$ و گرافیت $2.22 g/cm^3$ است. هر دو ترکیب کربن خالص‌اند. ۱۰٫۰g کربن (الف) به صورت الماس، (ب) به صورت گرافیت چه حجمی را اشغال می‌کند؟

۱ ـ ۵۱ جرم خورشید 1.991×10^{24} kg و چگالی آن $1.41 g/cm^3$ است. حجم خورشید بر حسب m^3 چقدر است؟

۱ ـ ۵۲ جرم زمین 5.979×10^{24} kg و چگالی آن $5.519 g/cm^3$ است. حجم زمین برحسب m^3 چقدر است؟

۱ ـ ۵۳ چگالی هوای خشک در شرایط معین 1.205 g/L است. جرم هوای موجود در یک اتاق به عرض ۳٫۶۵m، طول ۴٫۵۷۲m، و ارتفاع ۲٫۴۳m چقدر است؟

۱ ـ ۵۴ عمق متوسط یک استخر شنا به عرض ۳٫۰۵m و طول ۶٫۱۰m برابر ۲٫۷۵m است. چگالی آب $1.00 g/cm^3$ است. جرم آب این استخر هنگامی که پر باشد چقدر است؟

۱ ـ ۵۵ یک پشکه نفت خام ۱۳۶٫۰ تن متری وزن دارد. تن متری دقیقاً ۱۰۰۰kg است. یک پشکه ۱۵۸٫۹۸L حجم دارد. چگالی نفت‌خام برحسب g/mL چقدر است؟

۱ ـ ۵۲ چگالی روغن نارگیل $57.7 lb/ft^3$ پوند است. حجم آن برحسب g/cm^3 چقدر است؟ روابط زیر حقیقی‌اند:

$1 ft = 12 in$ ، $1 in = 2.54 cm$ ، $1 lb = 453.6 g$

*** ۱ ـ ۵۷** جرم‌سیارهٔ نپتون 102.4×10^{24} kg و چگالی‌آن $5.256 g/cm^3$ است. شعاع این سیاره چقدر است؟ پاسخ خود را در دستگاه SI بیان کنید که کوچک‌ترین رقم آن بزرگ‌تر از ۱ است.

*** ۱ ـ ۵۸** چگالی سیارهٔ کیوان‌کمتراز تمام سیارات دیگر (حتی کمتر از آب) ۰٫۱۲۴ر است. برای چگالی زمین است. ازسوی دیگرجرم کیوان ۹۵٫۰ برابر جرم زمین است. با استفاده از این داده‌ها حجم سیارهٔ کیوان را با زمین مقایسه کنید.

۱ ـ ۵۹ لولهٔ خیلی بلندی به مساحت سطح مقطع $1.00 cm^2$ تا ارتفاع ۷۶٫۰cm با جیوه پر شده است. درصورتی که در این لوله هم‌وزن جیوه آب بریزیم ارتفاع آن چقدر خواهد شد؟ چگالی جیوه $13.6 g/cm^3$ و آب $1.00 g/cm^3$ است.

*** ۱ ـ ۶۰** مکعبی به خوبی با ساچمه‌های کوچک آهنی پر شده است. وزن تقریبی این مکعب، وقتی با آب پر می‌شود، ۱۰۹۱٫۸g و وقتی با اتیل‌الکل پر می‌شود ۱۰۷۷٫۱۷g می‌شود. طول یال این مکعب چقدر است؟ چگالی‌های مربوطه را می‌توانید در جدول ۱ ـ ۶ پیدا کنید.

۲

مقدمه‌ای بر نظریهٔ اتمی

نظریهٔ اتمی، سنگ بنای شیمی جدید است. درک ساختار اتمی و راه‌های بر هم کنش اتم‌ها، محور درک شیمی است. در این فصل، نگاهی به نظریهٔ اتمی می‌اندازیم. در فصل ۶ *(ساختار الکترونی اتم‌ها)* و فصل ۲۷ *(شیمی هسته‌ای)*، این مبحث را گسترش خواهیم داد.

۲ ـ ۱ نظریهٔ اتمی دالتون

بیان نخستین نظریهٔ اتمی را معمولاً به یونانیان باستان نسبت می‌دهند، امّا ریشهٔ این مفهوم حتی ممکن است در تمدن‌های کهن‌تر باشد. براساس نظریهٔ اتمی لیوکیپوس و دموکریتوس (سدهٔ پنجم پیش از میلاد)، تقسیم مستمر ماده، در نهایت، اتم‌ها را به دست می‌داد که قابلیت تجزیه شدن آنها ممکن نبود. واژهٔ *اتم* از واژهٔ یونانی آتوموس[1] به معنی «برش ناپذیر» یا «تقسیم‌ناپذیر» گرفته شده است. ارسطو (سدهٔ چهارم پیش از میلاد) نظریهٔ اتمی را نپذیرفت. او بر این باور بود که ماده را می‌توان به دفعات بی‌پایانی به ذرّات کوچک‌تر و کوچک‌تر تقسیم کرد.

نظریه‌های دانشمندان یونان باستان بر پایهٔ تفکر محض استوار بود، نه بر آزمایش‌های طراحی شده. نظریهٔ اتمی، به مدت دو هزار سال، به صورت گمان محض باقی ماند. رابرت بویل در کتاب خود به نام کیمیاگر شکاک (۱۶۶۱ میلادی) و ایزاک نیوتون در کتاب‌هایش به نام پرینکیپیا[2] (۱۶۸۷) و اوپتیکس[3] (۱۷۰۴)، وجود اتم را پذیرفتند. ولی آن نظریهٔ اتمی که رویداد برجسته‌ای در پیشرفت علم شیمی به شمار می‌رود، طی سال‌های ۱۸۰۸ ـ ۱۸۰۳ توسط جان دالتون[4] بیان شد. بسیاری از دانشمندان آن روزگار معتقد بودند که تمام اجسام از اتم تشکیل شده‌اند، امّا دالتون گامی فراتر نهاد. نظریهٔ اتمی دالتون، قوانین تغییر شیمیایی را تبیین می‌کرد. دالتون با گماردن جرم نسبی به اتم‌های عناصر مختلف، این مفهوم را به صورت کمّی در آورد. مهم‌ترین اصول پیشنهادی دالتون عبارتند از:

۱ ـ عناصر از ذرات بسیار ریزی به نام اتم تشکیل شده‌اند. تمام اتم‌های یک عنصر، یکسان‌اند، و اتم‌های عناصر مختلف، متفاوت‌اند.

۲ ـ تفکیک و اتحاد اتم‌ها، طی واکنش‌های شیمیایی رخ می‌دهد. در این واکنش‌ها، هیچ اتمی به وجود نمی‌آید یا از بین نمی‌رود، و هیچ یک از اتم‌های یک عنصر به اتمی از عنصر دیگر تبدیل نمی‌شود.

۳ ـ یک ترکیب شیمیایی، نتیجهٔ ترکیب اتم‌های دو یا چند عنصر است. نوع اتم‌های موجود در یک ترکیب و نسبت آنها همیشه ثابت است.

نظریهٔ دالتون، در مفهوم کلی خود، هنوز هم معتبر است، امّا نخستین اصل و باید اصلاح شود. دالتون بر این باور بود که تمام اتم‌های یک عنصر دارای جرم اتمی یکسان هستند. امروزه می‌دانیم که بسیاری از عناصر شامل چندین نوع اتم هستند که از لحاظ جرم متفاوت‌اند (بحث ایزوتوپ‌ها را در بخش ۲ ـ ۸ ببینید). ولی می‌توان گفت که تمام اتم‌های یک عنصر از لحاظ شیمیایی یکسان‌اند و اتم‌های یک عنصر با اتم‌های عنصر دیگر تفاوت دارند. به علاوه، برای اتم‌های هر عنصر می‌توان جرم میانگین به کار برد. در اغلب محاسبات، می‌توان یک عنصر را دارای فقط یک نوع اتم با جرم میانگین در نظر گرفت.

دالتون جنبه‌های کمّی نظریهٔ خود را از دو قانون مربوط به تغییر شیمیایی استخراج کرد:

۱ ـ قانون بقای جرم که می‌گوید طی یک واکنش شیمیایی تغییر قابل سنجشی در جرم صورت نمی‌گیرد. به بیان دیگر، جرم کلّ تمام مواد درگیر در یک واکنش شیمیایی با جرم کل تمام فراورده‌های واکنش برابر است. اصل دوم نظریهٔ دالتون، این موضوع را تبیین می‌کند، زیرا در این فرایندها، اتم‌ها نه به وجود می‌آیند و نه از بین می‌روند، و جرم کل تمام اتم‌های وارد شده در یک واکنش شیمیایی، صرف‌نظر از شیوهٔ گروه‌بندی اتم‌ها، ثابت است.

۲ ـ قانون نسبت‌های معین می‌گوید که یک ترکیب خالص همیشه شامل عناصر یکسان با نسبت جرمی یکسان است. اصل سوم نظریهٔ دالتون بیانگر این قانون است. چون یک جسم معیّن، نتیجهٔ ترکیب اتم‌های دو یا چند عنصر با نسبت‌های ثابت است، نسبت جرمی عناصر موجود در آن جسم ثابت است.

براساس این نظریه، دالتون توانست قانون سوم ترکیب شیمیایی، یعنی **قانون نسبت‌های چندگانه**[5] را بیان کند. بر مبنای این قانون، هنگامی که دو عنصر A و B بیش از یک جسم تشکیل دهند، نسبت مقادیری از A که در این اجسام با مقدار ثابتی از B ترکیب شده است، عددهای صحیح و کوچکی خواهد بود. برای مثال، کربن و اکسیژن دو ترکیب شیمیایی تشکیل می‌دهند: کربن دیوکسید و کربن مونوکسید. در کربن دیوکسید، دو اتم اکسیژن با یک اتم کربن ترکیب شده‌اند. بنابراین، هنگام مقایسهٔ این دو ترکیب می‌بینیم که جرم اکسیژن ترکیب شده با

1. *Atomos*
2. *Principia*
3. *Optiks*
4. John Dalton
5. Law of multiple proportions

جان دالتون (۱۸۴۴ ـ ۱۷۶۶)

جرم ثابتی از کربن دارای نسبت ۲ به ۱ است. بررسی تجربی قانون نسبت‌های چندگانه، تأیید نیرومندی بر نظریهٔ دالتون بود.

۲ ـ ۲ الکترون

در نظریهٔ دالتون و در نظریه‌های یونانیان، اتم را به عنوان کوچک‌ترین جزء ممکن مادّه در نظر می‌گرفتند. در اواخر سدهٔ نوزدهم، معلوم شد که خود اتم نیز ممکن است از ذرات کوچک‌تری تشکیل شده باشد. آزمایش‌های انجام شده با الکتریسیته، موجب پیدایش این تغییر دیدگاه شده بود.

در سال‌های ۱۸۰۸ ـ ۱۸۰۷، همفری داوی[1] پنج عنصر (پتاسیم، سدیم، کلسیم، استرانسیم، و باریم) را با استفاده از جریان الکتریسیته برای تجزیهٔ اجسام، کشف کرد. این کشف بزرگ باعث شد که داوی تصور کند نیروی جاذبهٔ نگهدارندهٔ عناصر در اجسام دارای ماهیت الکتریکی است.

در سال‌های ۱۸۳۳ ـ ۱۸۳۲، مایکل فاراده[2] دست به انجام آزمایش‌های مهمّی در الکترولیز شیمیایی فرایندهایی که در آنها ترکیبات به وسیلهٔ جریان الکتریسیته تجزیه می‌شوند، زد. فاراده رابطهٔ بین مقدار الکتریسیته مصرف شده با مقدار ترکیب تجزیه شده را مطالعه کرد و قوانین الکترولیز شیمیایی (بخش ۲۰ ـ ۴) را به دست آورد. جورج ج. استونی[3] در ۱۸۷۴ بر مبنای قوانین فاراده پیشنهاد کرد که واحدهایی از بار الکتریکی به اتم‌ها وابسته‌اند و در ۱۸۹۱ پیشنهاد کرد که این واحدها الکترون نامیده شوند.

تلاش برای عبور جریان الکتریسیته از خلأ، یولیوس پلوکر[4] را به کشف **اشعهٔ کاتدی** در ۱۸۵۹ هدایت کرد. اگر بین دو الکترود در یک محفظهٔ شیشه‌ای که تا حد ممکن از هوا تخلیه شده است، یک ولتاژ قوی برقرار شود، از الکترود منفی که کاتد نامیده می‌شود، اشعه جریان پیدا می‌کند. این پرتوها دارای بار منفی هستند، در خط مستقیم سیر می‌کنند و دیواره شیشه‌ای مقابل کاتد، در اثر برخورد آنها، به تلألؤ در می‌آید. لامپ تصویر تلویزیون و مونیتورهای کامپیوتر، لوله‌های اشعه کاتدی جدیدی هستند که در آنها پرتوها بر صفحهٔ پوشیده از مواد متمرکز می‌شوند که در اثر برخورد تابش، نورافشانی می‌کنند.

در اواخر سدهٔ نوزدهم، اشعه کاتدی به تفصیل مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های علمی، دانشمندان را به این نتیجه رساند که این پرتوها جریانی از ذرات سریع‌السیر دارای بار منفی هستند. این ذرات، همان‌طور که استونی پیشنهاد کرده بود الکترون نامیده شدند. الکترون‌های به دست آمده از کاتُد، صرف‌نظر از نوع فلز به کار رفته به عنوان کاتد، یکسان‌اند.

چون بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند، جریان الکترونی تشکیل دهندهٔ اشعهٔ کاتدی، هنگامی که دو صفحه دارای بار مخالف در دو طرف مسیر آنها قرار داده شود، به سمت صفحه دارای بار مخالف جذب می‌شوند (شکل ۲ ـ ۱، ج). به این ترتیب، این پرتوها از مسیر مستقیم خود در یک میدان الکتریکی، منحرف می‌شوند. درجهٔ انحراف، تابع دو عامل است:

۱ـ یا اندازهٔ بار ذره، یعنی q، نسبت مستقیم دارد. ذره‌ای با بار قوی، بیشتر از ذره‌ای با بار ضعیف منحرف می‌شود. در نتیجه میزان انحراف با افزایش q افزایش می‌یابد.

۲ـ یا جرم ذره، یعنی m نسبت معکوس دارد. ذره‌ای که جرم سنگین‌تری داشته باشد، کمتر از ذره‌ای با جرم سبک‌تر منحرف می‌شود. به این ترتیب، درجه انحراف از مسیر مستقیم، با $1/m$ متناسب است.

بنابراین، ترکیب این عوامل، یعنی نسبت بار به جرم، q/m، تعیین‌کنندهٔ میزان انحراف الکترون‌ها از مسیر مستقیم در یک میدان الکتریکی است. الکترون‌ها در میدان مغناطیسی نیز منحرف می‌شوند. امّا در این حالت انحراف به صورت عمود بر میدان اعمال شده صورت می‌گیرد (شکل ۲ ـ ۱، الف). توجه کنید که در شکل، میدان مغناطیسی اعمال شده بر میدان الکتریکی عمود است، در نتیجه هر دو مسیر الکترون در یک صفحه قرار می‌گیرند.

در سال ۱۸۹۷، **جوزف تامسون**[5] مقدار q/m را با **مطالعهٔ انحراف اشعه کاتدی** در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تعیین کرد. تامسون شعاع انحنای انحراف ناشی از یک میدان مغناطیسی با قدرت معلوم را اندازه‌گیری کرد (شکل ۲ ـ ۱، الف). سپس او توانست قدرت میدان الکتریکی لازم برای توازن میدان مغناطیسی به گونه‌ای که انحرافی مشاهده نشود را محاسبه کند (شکل ۲ ـ ۱، ب). بر مبنای این آزمایش‌ها مقدار q/m را به دست آورد. مقدار جدید این نسبت به قرار زیر است:

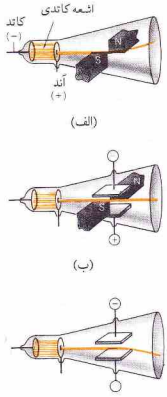
$$q/m = -1.7588 \times 10^8\ \text{C/g}$$

کولن[6] (C)، واحد SI برای بار الکتریکی است. یک کولن مقدار باری است که از یک نقطه در مدار الکتریکی در یک ثانیه عبور می‌کند، هنگامی که جریان یک آمپر باشد.

بار الکترون

نخستین اندازه‌گیری دقیق بار الکترون، توسط رابرت آ.میلیکان[7] در ۱۹۰۹ انجام گرفت. در آزمایش میلیکان (شکل ۲ ـ ۲)، در اثر برخورد

1. Humphry Davy
2. Michael Faraday
3. George J. Stoney
4. Julius Plücker
5. Joseph J. Thomson
6. Coulomb
7. Robert A. Millikan

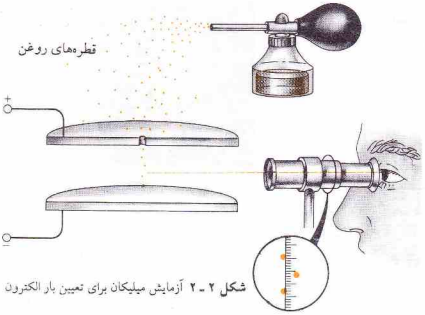


شکل ۲ ـ ۱ انحراف اشعهٔ کاتدی. (الف) در یک میدان مغناطیسی. (ب) در حالی که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی متوازن شده باشند. (ج) در یک میدان الکتریکی.

پرتوهای X یا مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ هوا، الکترون‌ها تولید می‌شوند. قطره‌های بسیار ریز روغن، با گرفتن الکترون، بار منفی به دست می‌آورند. این قطره‌ها بین دو صفحهٔ افقی جای می‌گیرند و جرم یک قطره با اندازه‌گیری سرعت سقوط آن معین می‌شود.

وقتی که صفحه‌ها باردار شوند، سرعت سقوط قطرهٔ باردار تغییر می‌کند، زیرا قطرهٔ دارای بار منفی به وسیلهٔ صفحه فوقانی که دارای بار مثبت است جذب می‌شود. مقدار بار صفحه‌ها را می‌توان طوری تنظیم کرد که قطرهٔ روغن به صورت معلق باقی بماند و سقوط نکند. بار روی قطرهٔ روغن را از روی جرم قطره و بار صفحه‌ها پس از انجام تنظیم بار،

جوزف تامسون (۱۹۴۰ ـ ۱۸۵۶)



شکل ۲ ـ ۲ آزمایش میلیکان برای تعیین بار الکترون

می‌توان محاسبه کرد.

چون یک قطره می‌تواند یک یا چند الکترون بگیرد، بارهای محاسبه شده با این روش، یکسان نیستند و مضرب‌های ساده از مقدار واحدی هستند که بار یک الکترون فرض می‌شود:

$$q = -e = -1.6022 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$$

مقدار e را **واحد بار الکتریکی** می‌نامند. الکترون دارای بار منفی واحد، یعنی $-e$ است. جرم الکترون را می‌توان از مقدار q/m و مقدار q محاسبه کرد.

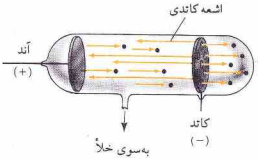
$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{-1.6022 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}}{-1.7588 \times 10^{8}\ \mathrm{C/g}} = 9.1096 \times 10^{-28}\ \mathrm{g}$$

۲ ـ ۳ پروتون

اگر یک یا چند الکترون از یک اتم یا مولکول خنثی جدا شود، باقیمانده دارای بار مثبت برابر با مجموع بار الکترون‌های جدا شده از آن اتم یا مولکول خواهد بود. اگر یک الکترون از یک اتم نئون (نماد، Ne) جدا شود، یک یون Ne^{+} به دست می‌آید؛ اگر دو الکترون جدا شود، یک یون Ne^{2+} تولید خواهد شد، و همین‌طور این ذرات مثبت (یون‌های مثبت)، در اثر جدا شدن الکترون از اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در گاز داخل لولهٔ تخلیه الکتریکی، به علت برخورد با اشعه کاتدی تشکیل می‌شوند. این ذرات مثبت به سوی الکترود منفی می‌روند. اگر در الکترود سوراخ‌هایی ایجاد شود یون‌های مثبت از آنها می‌گذرند (شکل ۲ ـ ۳ را ببینید). **الکترون‌های اشعه کاتدی، به علت دارا بودن بار منفی، در جهت عکس (یعنی به سوی الکترود مثبت) می‌روند.**

جریان یون‌های مثبت که نخستین بار توسط گلدشتاین[1] در ۱۸۸۶ مشاهده شد، **به اشعه مثبت** مشهور است. انحراف پرتوهای مثبت در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی توسط ویلهلم وین[2] (۱۸۹۸) و

1. Eugen Goldstein
2. Wilhelm Wien



شکل ۲ ـ ۳ اشعهٔ مثبت

تامسون (۱۹۰۶) مطالعه شد. مقادیر q/m با استفاده از همان روش به‌کارگرفته شده در مطالعه اشعه کاتدی تعیین شدند.

هنگام استفاده از گازهای مختلف در لولهٔ تخلیه، یون‌های مثبت متفاوتی به دست آمدند. در صورت استفاده از گاز هیدروژن، ذره مثبت به دست آمده، کوچک‌ترین جرم (یعنی بالاترین نسبت q/m) را خواهد داشت.

$$q/m = +9.5791 \times 10^{4}\ C/g$$

این ذرات را اکنون **پروتون** می‌نامیم و جزء اصلی ساختار تمام اتمها هستند. پروتون دارای واحد بار مثبت (e+) است که مقدار آن برابر با بار الکترون اما با علامت مخالف است:

$$q = +e = +1.6022 \times 10^{-19}\ C$$

جرم پروتون که ۱۸۳۶ برابر جرم الکترون است، از داده‌های بالا به دست می‌آید:

$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{+1.6022 \times 10^{-19} C}{+9.5791 \times 10^{4} C/g} = 1.6726 \times 10^{-24}$$

۲ ـ ۴ نوترون

از آنجا که اتم‌ها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها در هر اتم باید برابر باشد. ارنست رادرفورد[1] در ۱۹۲۰، برای توضیح جرم کل اتم‌ها وجود یک ذرهٔ بدون بار را در هستهٔ اتم پیشنهاد کرد.

ارنست رادرفورد (۱۹۳۷ ـ ۱۸۷۱)

جدول ۲ ـ ۱ ذرات کوچک‌تر از اتم

ذره	جرم: گرم	جرم: واحد جرم اتمی*	بار**
الکترون	9.1095×10^{-28}	۰٫۰۰۰۵۴۸۵۸۰۳	۱−
پروتون	1.6726×10^{-24}	۱٫۰۰۷۲۷۶	۱+
نوترون	1.6749×10^{-24}	۱٫۰۰۸۶۶۵	۰

* واحد اتمی (U) برابر با ۱/۱۲ جرم اتم ^{12}C است (بخش ۲ ـ ۹).

** واحد بار C 1.6021×10^{-19} است.

چون این ذرات بدون بار هستند، تشخیص و تعیین ویژگی‌های آنها دشوار است. ولی جیمز چادویک[2] در ۱۹۳۲ نتیجه تحقیقات خود را دربارهٔ وجود **نوترون** منتشر ساخت. او توانست با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از واکنش‌های هسته‌ای معین (فصل ۲۷ را ببینید) که در آنها نوترون تولید می‌شد، جرم نوترون را حساب کند. چادویک با در نظر گرفتن جرم و انرژی تمام ذراتی که در این واکنش‌ها تولید و مصرف می‌شوند، جرم نوترون را که اندکی بیش از جرم پروتون است به دست آورد. جرم نوترون برابر با 1.6754×10^{-24} g، و جرم پروتون 1.6726×10^{-24} g است.

خواص الکترون، پروتون، و نوترون در جدول ۲ ـ ۱ آمده است. ذرات بنیادی دیگری نیز شناسایی شده‌اند. ولی برای مطالعهٔ شیمی، ساختار اتمی را بر مبنای الکترون، پروتون، و نوترون می‌توان به خوبی توضیح داد.

۲ ـ ۵ هستهٔ اتم

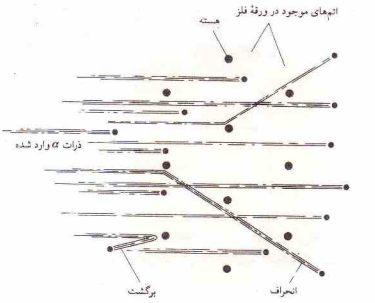
رادیواکتیویتهٔ طبیعی

بعضی اتم‌ها مجموعهٔ ناپایداری از ذرات بنیادی هستند. این اتم‌ها خود به خود اشعه منتشر می‌کنند و به این ترتیب به اتم‌هایی با هویت شیمیایی متفاوت تبدیل می‌شوند. این فرایند که **رادیواکتیویته** یا **پرتوزایی** نامیده می‌شود، توسط هانری بکرل[3] در ۱۸۹۶ کشف شد. در سال‌های بعد، ارنست رادرفورد ماهیت سه نوع اشعهٔ حاصل از اجسام رادیواکتیو طبیعی (جدول ۲ ـ ۲ را ببینید) را تبیین کرد. این سه نوع اشعه با سه حرف اول الفبای یونانی، یعنی آلفا (α)، بتا (β)، و گاما (γ) مشخص می‌شوند.

۱ ـ تابش آلفا مرکب از ذراتی است که هر یک بار ۲+ و جرمی در حدود چهار برابر جرم پروتون دارند. این ذرات با سرعت ۱۶۰۰۰km/s (تقریباً ۰٫۰۵ سرعت سیر نور) از اجسام رادیواکتیو خارج می‌شوند. هنگامی که ذرات α برای نخستین بار مطالعه شدند، هنوز نوترون کشف نشده بود. اکنون می‌دانیم که یک ذرهٔ α شامل ۲ پروتون و ۲ نوترون است.

۲ ـ تابش بتا مرکب از جریانی از الکترون است که با سرعت

1. Ernest Rutherford
2. James Chadwick
3. Henri Becquerel



شکل ۲ ـ ۴ انحراف و برگشت ذرات α در اثر هستهٔ اتم‌های موجود در ورقهٔ فلزی در آزمایش رادرفورد (بدون توجه به مقیاس نمایش داده شده است).

جدول ۲ ـ ۲ انواع انتشار رادیواکتیو*

پرتو	نماد	ترکیب اجزاء	بار یک جزء
آلفا	α	ذرات دارای ۲ پروتون و ۲ نوترون	+۲
بتا	β	الکترون	−۱
گاما	γ	تابش الکترومغناطیسی با طول موج بسیار کوتاه	۰

* امروزه انواع دیگری از تابش نیز شناخته شده‌اند، ولی این تابش‌ها از فروپاشی اتم‌های ساخته شده یا واکنش‌های هسته‌ای سرچشمه گرفته‌اند نه از اتم‌های موجود در طبیعت.

تقریبی $1.30,000 km/s$ (تقریباً ۰٫۴ سرعت نور) سیر می‌کنند.

۳ ـ تابش گاما اصولاً نوعی نور پرانرژی است. اشعهٔ گاما بدون بار الکتریکی و شبیه به اشعه X است.

الگوی اتمی رادرفورد

در سال ۱۹۱۱ رادرفورد نتیجهٔ آزمایش‌هایی را منتشر ساخت که در آنها از ذرات α برای مطالعهٔ ساختار اتم استفاده شده بود. باریکه‌ای از ذرات آلفا به ورقهٔ بسیار نازکی (با ضخامت تقریبی $4000cm$ یا ۰٫۰۰۰۴ از طلا، نقره، یا مس تابانید. بخش اعظم ذرات α مستقیماً از ورقه گذشتند. ولی برخی از آنها از مسیر مستقیم خود منحرف شدند و تعدادی نیز به سوی منبع تولید خود بازگشتند (شکل ۲ ـ ۴).

۱ ـ بخش هسته در مرکز اتم. بخش اعظم جرم و تمام بار مثبت اتم در هسته متمرکز است. به این ترتیب، هسته اتم مرکب از پروتون‌ها و نوترون‌هاست که روی هم جرم هسته را تشکیل می‌دهند. بار مثبت هسته از وجود پروتون‌ها سرچشمه می‌گیرد.

۲ ـ الکترون‌ها که بخش اعظم حجم اتم را اشغال می‌کنند، در خارج از هسته قرار دارند (برون هسته‌ای) و به سرعت به دور آن می‌چرخند. چون اتم از لحاظ بار الکتریکی خنثی است، بار مثبت کل هسته (از پروتون‌های موجود در آن) برابر با بار منفی تمام الکترون‌هاست. به این ترتیب شمار الکترون‌ها برابر با شمار پروتون‌هاست.

درک مقیاس و ابعاد این الگو اهمیت دارد. اگر هستهٔ یک اتم را به اندازه یک توپ تنیس تصور کنیم، در آن صورت حجم اتم بیش از ۱ میل خواهد بود. چون بخش اعظم حجم اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد، بیشتر ذرات α مستقیماً از ورقه آماج می‌گذرند. الکترون‌ها که نسبتاً سبک هستند، نمی‌توانند ذرات سریع‌السیر و سنگین‌تر از α را منحرف کنند. نزدیک‌شدن ذره مثبت α به هستهٔ اتم که مرکز بار مثبت است، منجربه‌دفع‌ذرهٔ‌آلفا وکج‌شدن مسیر مستقیم آن می‌شود. در مواردی نیز که یک‌ذرهٔ α به هسته‌اتم‌اصابت‌کند، آن ذرّه‌به‌سوی منبع تولیدش برمی‌گردد. ترکیب اجزاء و پایداری هسته را در فصل ۲۷ مطالعه خواهیم کرد.

۲ ـ ۶ نمادهای اتمی

هر اتم به وسیلهٔ دو عدد مشخص می‌شود، عدد اتمی و عدد جرمی:

۱ ـ عدد اتمی، Z، نشان‌دهندهٔ شمار واحدهای بار مثبت بر روی هسته است. چون پروتون بار +۱ دارد، عدد اتمی برابر با تعداد پروتون‌های هستهٔ اتم است:

$$Z = \text{شمار پروتون‌ها} \qquad (۲ - ۱)$$

چون اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است، در نتیجه عدد اتمی بیانگر تعداد الکترون‌های برون هسته‌ای در یک اتم ترکیب نشده است.

۲ ـ عدد جرمی، A، یک اتم برابر با تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌های (که روی‌هم، **نوکلئون** نامیده می‌شوند) هستهٔ اتم است:

$$\begin{aligned} A &= \text{شمار پروتون‌ها} + \text{شمار نوترون‌ها} \\ A &= Z + \text{شمار نوترون‌ها} \end{aligned} \qquad (۲ - ۲)$$

به‌این‌ترتیب‌شمارنوترون‌هارامی‌توان‌باکم‌کردن‌عدداتمی(شمارپروتون‌ها) از عدد جرمی (شمار پروتون‌ها و نوترون‌ها با هم) به‌دست آورد:

$$\text{شمار نوترون‌ها} = A - Z \qquad (۲ - ۳)$$

عدد جرمی برابر با *تعداد* نوکلئون‌های یک هسته و نه جرم هسته است. با وجود این، عدد جرمی، عددی صحیح تقریبی جرم اتمی بر حسب واحد جرم اتمی (u) است، زیرا جرم پروتون و جرم نوترون، هر یک تقریباً برابر ۱u و جرم الکترون در مقایسه با آنها قابل چشم‌پوشی است.

اتم هر عنصر با نماد شیمیایی آن عنصر مشخص می‌شود و عدد اتمی آن عنصر در قسمت پایین سمت چپ و عدد جرمی در قسمت بالای سمت چپ آن قرار داده می‌شود[۱]:

۱. گوشه‌های دیگر نماد شیمیایی به ارقام دیگر تعلق دارد: قسمت بالای سمت راست برای بار الکتریکی در صورتی که اتم با گرفتن یا از دست‌دادن الکترون به صورت یون در آمده باشد، قسمت پایین سمت راست برای مشخص کردن تعداد اتم‌های موجود در یک مولکول یا در یک فرمول واحد به کار می‌رود.

$$\text{نماد } {}^{A}_{Z}$$

نماد $^{35}_{17}Cl$، نشان‌دهندهٔ یک اتم کلر مرکب از ۱۷ پروتون (Z) و ۱۸ نوترون (A − Z) در هسته و ۱۷ الکترون (Z) است. اتم سدیم با نماد $^{23}_{11}Na$، دارای ۱۱ پروتون و ۱۲ نوترون در هسته و ۱۱ الکترون در گردش پیرامون هسته است.

مثال ۲ ـ ۱

در اتم $^{63}_{29}Cu$، چند پروتون، نوترون، و الکترون وجود دارد؟

حل

عدد اتمی (Z = ۲۹) نشان‌دهندهٔ ۲۹ پروتون در هستهٔ اتم مس (نماد، Cu) و ۲۹ الکترون در بیرون هسته است. تعداد نوترون‌ها را می‌توان از عدد جرمی (A = ۶۳) و عدد اتمی (Z = ۲۹) به دست آورد:

$$\text{تعداد نوترون‌ها} = A - Z \qquad (۲ - ۳)$$
$$= ۶۳ - ۲۹ = ۳۴$$

به این ترتیب، اتم مس مرکب از ۲۹ پروتون و ۳۴ نوترون است. تعداد ۲۹ الکترون نیز در بیرون هسته وجود دارند.

مثال ۲ ـ ۲

نماد عنصر پتاسیم (K) دارای ۱۹ پروتون، ۲۲ نوترون ، و ۱۹ الکترون را بنویسید.

حل

چون اتم پتاسیم دارای ۱۹ پروتون و ۱۹ الکترون است، عدد اتمی، Z برابر با ۱۹ می‌باشد. عدد جرمی اتم پتاسیم برابر با مجموع تعداد پروتون‌ها و تعداد نوترون‌هاست:

$$A = \text{تعداد پروتون‌ها} + \text{تعداد نوترون‌ها}$$
$$= ۱۹ + ۲۲ = ۴۱$$

به این ترتیب نماد عنصر پتاسیم $^{41}_{19}K$ است.

ذرهٔ بارداری که دارای یک یا چند اتم باشد، یون نامیده می‌شود. یون یک اتمی، در اثر اضافه‌شدن یا کم‌شدن یک یا چند الکترون از یک اتم به دست می‌آید. هنگام نمایش یک یون، بار الکتریکی آن را در قسمت بالای سمت راست نماد یون می‌آورند.

معادله‌های زیر در تفسیر بار یک یون یک اتمی اهمیت دارند:

$$\text{بار منفی کل} + \text{بار مثبت کل} = \text{بار یون} \qquad (۲ - ۴)$$

$$\text{بار کل الکترون‌ها} + \text{بار کل پروتون‌ها} = \text{بار یون} \qquad (۲ - ۵)$$

چون بار پروتون، ۱+ و بار الکترون ۱ − است،

$$\text{تعداد الکترون‌ها} - \text{تعداد پروتون‌ها} = \text{بار یون} \qquad (۲ - ۶)$$

توجه کنید که شمار پروتون‌ها برابر با عدد اتمی Z است.

مثال ۲ ـ ۳

ترکیب اجزای (الف) یون $^{27}_{13}Al^{3+}$ و (ب) یون $^{32}_{16}S^{2-}$ را مشخص کنید.

حل

(الف)

$$\text{شمار پروتون‌ها} = Z \qquad (۲ - ۱)$$
$$= ۱۳$$

$$\text{شمار نوترون‌ها} = A - Z \qquad (۲ - ۳)$$
$$= ۲۷ - ۱۳ = ۱۴$$

تعداد الکترون‌ها در یک اتم خنثی برابر با تعداد پروتون‌ها (در این مورد، ۱۳) است. چون، یون آلومینیم دارای بار مثبت ۳ است، اتم آلومینیم باید ۳ الکترون از دست داده باشد. در نتیجه، یون حاصل دارای ۱۰ الکترون است. توجه داشته باشید که:

$$\text{تعداد الکترون‌ها} - \text{تعداد پروتون‌ها} = \text{بار یون} \qquad (۲ - ۶)$$
$$\text{بار یون} - \text{تعداد پروتون‌ها} = \text{تعداد الکترون‌ها} \qquad (۲ - ۷)$$

در نتیجه،

$$\text{تعداد الکترون‌ها} = ۱۳ - ۳ = ۱۰$$

این یون دارای ۱۳ پروتون و ۱۴ نوترون در هسته و ۱۰ الکترون در بیرون هسته است.

(ب)

$$\text{شمار پروتون‌ها} = Z \qquad (۲ - ۱)$$
$$= ۱۶$$

$$\text{تعداد نوترون‌ها} = A - Z \qquad (۲ - ۳)$$
$$= ۳۲ - ۱۶ = ۱۶$$

در این مورد یون دارای بار منفی ۲ است، یعنی باید دو الکترون گرفته باشد. چون اتم خنثی دارای ۱۶ الکترون (برابر تعداد پروتون‌ها) است، یون دارای ۱۸ الکترون می‌باشد. با استفاده از رابطهٔ ۲ ـ ۷ می‌توان شمار الکترون‌ها را نیز به دست آورد:

$$\text{بار یون} - \text{تعداد پروتون‌ها} = \text{تعداد الکترون‌ها} \qquad (۲ - ۷)$$
$$= ۱۶ - (-۲) = ۱۶ + ۲ = ۱۸$$

در نتیجه یون داده شده، مرکب از ۱۶ نوترون، ۱۶ پروتون در هسته و ۱۸ الکترون در خارج از آن است.

مثال ۲ ـ ۴

نماد (الف) یک یون فلوئور (نماد F) که مرکب از ۹ پروتون و ۱۰ نوترون در هسته و ۱۰ الکترون در خارج از هسته باشد، و (ب) یک یون آهن (نماد Fe) که شامل ۲۶ پروتون، ۳۰ نوترون در هسته و ۲۴ الکترون در خارج از هسته باشد را بنویسید.

حل

(الف)

$$Z = \text{تعداد پروتون‌ها} \quad (۲ ـ ۱)$$
$$= ۹$$

$$A = \text{تعداد نوترون‌ها} + \text{تعداد پروتون‌ها} \quad (۲ ـ ۲)$$
$$= ۹ + ۱۰ = ۱۹$$

چون تعداد الکترون‌های این یون بیش از تعداد پروتون‌های آن است (۱۰ را با ۹ مقایسه کنید)، بار آن ۱- است، یا:

$$\text{بار یون} = \text{بار کل پروتون‌ها} + \text{بار کل الکترون‌ها} \quad (۲ ـ ۵)$$

به این ترتیب، نماد این یون $^{19}_{9}F^{-}$ است.

(ب)

$$Z = \text{تعداد پروتون‌ها} \quad (۲ ـ ۱)$$
$$= ۲۶$$

$$A = \text{تعداد نوترون‌ها} + \text{تعداد پروتون‌ها} \quad (۲ ـ ۲)$$
$$= ۲۶ + ۳۰ = ۵۶$$

تعداد پروتون‌های این یون، ۲۶ و تعداد الکترون‌هایش ۲۴ است. در نتیجه بار آن، ۲+ است. یا،

$$\text{بار یون} = \text{بار کل پروتون‌ها} + \text{بار کل الکترون‌ها} \quad (۲ ـ ۵)$$
$$= (۲۶+) + (۲۴-) = ۲+$$

نماد این یون $^{56}_{26}Fe^{2+}$ است.

۲ ـ ۷ عدد اتمی و جدول تناوبی

جدول تناوبی وسیلهٔ بسیار مفیدی برای مطالعهٔ همبستگی خواص عناصر است. در فصل‌های آینده با تاریخچه، مبانی نظری و بسیاری از کاربردهای جدول تناوبی آشنا خواهیم شد. در این بخش ویژگی‌های عمدهٔ جدول را برای آشنایی با آن مطرح می‌کنیم.

گروه‌های مشخصی از عناصر دارای خواص شیمیایی و فیزیکی **مشابهی هستند. یکی از این گروه‌ها شامل هلیم (He)، نئون (Ne)،** آرگون (Ar)، کریپتون (Kr)، گزنون (Xe)، و رادون (Rn) است که گازهای بی‌رنگ با واکنش‌پذیری ناچیزند. این عناصر به **گازهای نجیب مشهورند** و عدد اتمی آنها به ترتیب، ۲، ۱۰، ۱۸، ۳۶، ۵۴، و ۸۶ است.

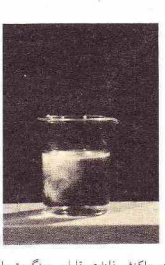
گروه دیگری از عناصر شامل فلزات نرم و واکنش‌پذیری مانند لیتیم (Li)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، روبیدیم (Rb)، سزیم (Cs)، و فرانسیم (Fr) است. این عناصر که به **فلزات قلیایی** مشهورند، دارای عددهای اتمی ۳، ۱۱، ۱۹، ۳۷، ۵۵، و ۸۷ هستند.

مقایسه اعداد اتمی عناصر این دو گروه نشان می‌دهد که در فهرستی از عناصر که بر مبنای افزایش عدد اتمی عناصر تنظیم شده باشد، در پی هر گاز نجیب، یک فلز قلیایی خواهد آمد. به‌طور کلّی مطالعهٔ سایر گروه‌های عناصر نشان می‌دهد که خواص عناصری که بر حسب عدد اتمی تنظیم شده باشند، بیانگر یک الگوی تکرارپذیر است. براساس **قانون تناوبی**، وقتی عناصر بر مبنای ترتیب افزایش عدد اتمی مطالعه شوند شباهت خواص آنها به صورت تناوبی آشکار می‌شود.

جدول تناوبی بر این قانون استوار است. این جدول چنان تنظیم شده است که عناصر مشابه در یک گروه قرار گرفته‌اند و خواص عناصر را از موقعیت‌شان در جدول می‌توان پیش‌بینی کرد. سه ویژگی جدول تناوبی به قرار زیر است:

۱ ـ عناصری که در یک سطر افقی در جدول قرار دارند، یک پریود یا تناوب را تشکیل می‌دهند. تناوب اول فقط شامل دو عنصر هیدروژن (H، $Z = ۱$) و هلیم (He، $Z = ۲$) است. تناوب دوم، مرکب از ۸ عنصر، از لیتیم (Li، $Z = ۳$) تا نئون (Ne، $Z = ۱۰$) است. تناوب‌های دیگر جدول، دارای ۸، ۱۸، ۱۸، و ۳۲ عنصر هستند.

عناصری با عددهای اتمی ۵۸ تا ۷۱، و عناصری که در پایین جدول قرار دارند، **لانتانیدها** یا **لانتانوئیدها** نام دارند. این عناصر به تناوب ششم (که شامل ۳۲ عنصر است) تعلق دارند، و در واقع باید پس از لانتانیم



واکنش بین فلزات قلیایی و آب شدید است. واکنش فلزات قلیایی سنگین‌تر با انفجار همراه است. در این آزمایش، فلز سدیم با آب واکنش داده و گاز هیدروژن و محلول سدیم هیدروکسید تولید می‌کند.

($Z = 57$ ، La) در جدول جای گیرند. جدول تناوبی، باید به صورت عمودی برش بخورد، بخش‌های مختلف جدا شوند، و لانتانیدها در موقعیت مناسب خود جای داده شوند. از چنین جدول برش خورده‌ای استفاده نمی‌شود، زیرا ترسیم آن دشوار است.

در مورد عناصری با عددهای اتمی ۹۰ تا ۱۰۳ که به آکتینیدها یا آکتینویدها مشهورند و پایین‌تر از لانتانیدها در ته جدول قرار دارند، نیز همین ملاحظات صادق است. این عناصر به تناوب هفتم تعلق دارند و باید بعد از آکتینیم ($Z = 89$ ، Ac) جای گیرند.

همهٔ تناوب‌ها، بجز تناوب اوّل، با یک فلز قلیایی شروع و به یک گاز نجیب ختم می‌شوند. عنصر پیش از گاز نجیب در هر تناوب کامل (بجز تناوب اوّل)، یک نافلز بسیار واکنش‌پذیر، یعنی هالوژن است. هالوژن‌ها شامل فلوئور (F)، کلر (Cl)، برم (Br)، ید (I)، و استاتین (At) هستند.

۲ ـ عناصری که در یک ستون عمودی در جدول قرار دارند، یک گروه یا خانواده را تشکیل می‌دهند. عناصر یک گروه، خواص شیمیایی مشابهی دارند. تاکنون از سه گروه گازهای نجیب، فلزات قلیایی، و هالوژن‌ها یاد کرده‌ایم. هر گروه با نشانه‌ای مشخص می‌شود که شامل یک عدد رومی و حرف A یا B است. با وجود این، برای مشخص کردن گروه‌ها از چند نوع نشانه گذاری استفاده می‌شود.

۳ ـ فلز، عنصری با جلای مشخص است که گرما و الکتریسته را به خوبی هدایت می‌کند و بدون شکسته‌شدن، آن را می‌توان به شکل‌های مختلف در آورد. ولی یک نافلز، عنصری بی‌جلاست که رسانای خوبی برای گرما و الکتریسته نیست، و در حالت جامد، شکننده است. خواص شیمیایی فلزات با خواص شیمیایی نافلزات تفاوت دارد.

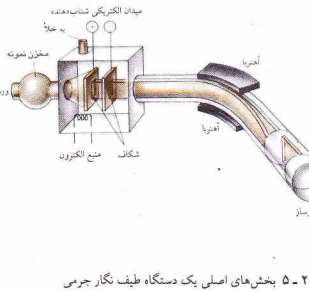
جدود ۸۰٪ عناصر شناخته شده، فلز هستند. خط قطری پله‌ای جدول تناوبی نمایشگر مرز تقریبی بین فلزات و نافلزات است. نافلزات در سمت راست این خط قرار دارند. اما، این تقسیم‌بندی چندان دقیق نیست. خواص عناصر نزدیک به این خط که گاهی شبه فلز یا نیمه فلز نامیده می‌شوند، حد واسط بین خواص فلزها و نافلزهاست.

توجه کنید که عناصر یک تناوب دارای خواص گوناگونی هستند. هر تناوب، بجز تناوب اول، با یک فلز بسیار واکنش‌پذیر ــ یعنی یک فلز قلیایی ــ شروع می‌شود. این خواص، از عنصری به عنصر دیگر تغییر می‌کند. خواص فلزی؛ به تدریج کم رنگ می‌شوند و جای خود را به خواص نافلزی می‌دهند. تمام تناوب‌های بعد از تناوب اوّل، به یک نافلز بسیار فعال، یعنی یک هالوژن، و سپس به یک گاز نجیب ختم می‌شوند.

۲ ـ ۸ ایزوتوپ‌ها

تمام اتم‌های یک عنصر، عدد اتمی یکسان دارند. ولی برخی عناصر مرکب از چند نوع اتم هستند که از لحاظ عدد جرمی با یکدیگر متفاوت‌اند. اتم‌هایی که دارای عدد اتمی یکسان ولی عدد جرمی متفاوت باشند، **ایزوتوپ** نامیده می‌شوند.

دو ایزوتوپ کلر در طبیعت وجود دارند: $^{35}_{17}Cl$ و $^{37}_{17}Cl$ ترکیب اتمی این ایزوتوپ‌ها به قرار زیر است،



شکل ۲ ـ ۵ بخش‌های اصلی یک دستگاه طیف نگار جرمی

$^{35}_{17}Cl$	۱۷ پروتون	۱۸ نوترون	۱۷ الکترون
$^{37}_{17}Cl$	۱۷ پروتون	۲۰ نوترون	۱۷ الکترون

این اتم‌ها، هر دو، دارای ۱۷ پروتون و ۱۷ الکترون هستند، ولی $^{35}_{17}Cl$ دارای ۱۸ نوترون و $^{37}_{17}Cl$ دارای ۲۰ نوترون است. به این ترتیب، **ایزوتوپ‌ها از نظر تعداد نوترون‌های هسته، و درنتیجه جرم اتمی متفاوت‌اند. خواص شیمیایی یک اتم عمدتاً به تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن اتم (که با عدد اتمی مشخص شده‌اند) بستگی دارد.** بنابراین ایزوتوپ‌های یک عنصر دارای خواص شیمیایی بسیار مشابه (در اغلب موارد، غیر قابل تشخیص) هستند. برخی از عناصر فقط به صورت یک ایزوتوپ طبیعی وجود دارند (برای مثال، سدیم، بریلیم، و فلوئور). ولی اغلب عناصر دارای بیش از یک ایزوتوپ هستند (قلع، ۱۰ ایزوتوپ دارد).

برای تعیین نوع ایزوتوپ‌های یک عنصر، جرم دقیق ایزوتوپ‌ها، و مقدار نسبی هر ایزوتوپ از «طیف نگار جرمی»[1] استفاده می‌شود. در شکل ۲ ـ ۵، بخش‌های اصلی این دستگاه نمایش داده شده است. با بمباران بخار مادّه به وسیلهٔ الکترون، یون‌های مثبت تولید می‌شوند. این یون‌ها به یک شکاف دارای بار منفی جذب می‌شوند. این ذرات، در اثر نیروی جاذبه شتاب می‌گیرند و با سرعت زیاد از شکاف می‌گذرند. سپس، باریکهٔ یون‌ها از یک میدان مغناطیسی عبور می‌کنند. ذرات باردار، ضمن گذشتن از میدان مغناطیسی، از مسیر مستقیم خود منحرف می‌شوند و مسیری دایره‌ای را طی می‌کنند همان‌طور که در مورد الکترون‌های اشعهٔ کاتدی دیدیم، میزان انحراف هر ذره به نسبت بار به جرم آن، یعنی q/m، بستگی دارد (بخش ۲ ـ ۲).

تمام یون‌هایی که از آخرین شکاف می‌گذرند، مقدار q/m یکسان دارند، یون‌هایی که مقدار q/m آنها متفاوت است، با تنظیم میدان مغناطیسی یا ولتاژ به کار گرفته شده برای شتاب‌دهی به یون‌ها، وادار

1. Mass spectrometer

به گذشتن ازاین شکاف می‌شوند. به این ترتیب، انواع یون‌های موجود را به‌صورت جداگانه‌ای می‌توان از شکاف عبور داد. آشکارساز (دتکتور) دستگاه طیف نگار جرمی، شدت هریک‌ازباریکه‌های یونی راکه‌به‌مقدار نسبی هر یک از ایزوتوپ‌های موجود بستگی دارد، اندازه‌گیری می‌کند.

مثال ۲ ـ ۵

نماد دو ایزوتوپ نقره (Ag، $Z = ۴۷$) را بنویسید که یکی از آنها ۶۰ نوترون و دیگری ۶۲ نوترون دارد.

حل

هر دو ایزوتوپ ۴۷ پروتون دارند، زیرا عدد اتمی ۴۷ است. عدد جرمی هر یک از ایزوتوپ‌ها را با جمع تعداد پروتون‌ها و تعداد نوترون‌ها می‌توان به دست آورد:

$$A = \text{تعداد نوترون‌ها} + \text{تعداد پروتون‌ها}$$
$$= ۴۷ + ۶۰ = ۱۰۷$$
$$= ۴۷ + ۶۲ = ۱۰۹$$

در نتیجه نماد ایزوتوپ‌ها، $^{۱۰۷}_{۴۷}Ag$ و $^{۱۰۹}_{۴۷}Ag$ است.

۲ ـ ۹ اوزان اتمی

اتم‌ها، ذرات بسیار کوچکی هستند که توزین یک‌یک آنها غیرممکن است. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های کار دالتون، تلاش او برای تعیین جرم نسبی اتم‌ها بود. دالتون، سیستم خود را بر اتم هیدروژن بنا نهاد و جرم سایر اتم‌ها را با جرم اتم هیدروژن مقایسه کرد. برای مثال به بیان شیوهٔ کار دالتون برای تعیین جرم اتمی اکسیژن می‌پردازیم.

آب، شامل ۸۸٫۸٪ جرمی اکسیژن و ۱۱٫۲٪ هیدروژن است. دالتون، به غلط فرض کرد که مولکول آب از یک اتم اکسیژن و یک اتم هیدروژن تشکیل شده است. به این ترتیب، جرم یک اتم اکسیژن و یک اتم هیدروژن به نسبت ۸۸٫۸ به ۱۱٫۲ که تقریباً ۸ به ۱ است، نزدیک می‌باشد. با گماردن اختیاری جرم ۱ به هیدروژن، جرم اکسیژن تقریباً برابر ۸ می‌شود.[1]

فرمول پیشنهادی دالتون‌برای آب، درست‌نبود. درواقع، یک‌اتم‌اکسیژن با دو اتم هیدروژن ترکیب می‌شود. بنابراین، جرم یک اتم اکسیژن، تقریباً ۸ برابر جرم دو اتم هیدروژن است. اگر جرم یک اتم هیدروژن را ۱ اختیارکنیم، جرم دو اتم هیدروژن برابر با ۲ خواهد بود. به‌این‌ترتیب، در این مقیاس، جرم نسبی یک اتم اکسیژن حدود ۸ برابر ۲، یعنی ۱۶ است.

اگرچه دالتون درگماردن جرم اتمی نسبی دچار خطا شد، امّا، ارزش کار او در تشخیص اهمیت آن بود. جرم نسبی اتم‌ها، مبنای حل کمّی مسائل شیمیایی است. این مقادیر را اوزان اتمی نامند. گرچه این اصطلاح از لحاظ ادبی درست نیست (زیرا به جرم اشاره دارد نه به وزن) اما به دلیل کاربرد طولانی، جای خود را در متون شیمی باز کرده است.

هر مقیاس جرم اتمی نسبی باید مبتنی بر گماردن اختیاری مقداری به یک اتم باشد که به عنوان استاندارد انتخاب می‌شود. دالتون اتم هیدروژن را به عنوان استاندارد خود برگزید و مقدار ۱ را به آن نسبت داد. در سال‌های بعد، شیمیدانان اکسیژن طبیعی را به عنوان استاندارد انتخاب کردند و وزن اتمی آن را دقیقاً ۱۶ اختیار کردند. استانداردی که امروزه به کار می‌رود، اتم $^{۱۲}_{۶}C$ است. واحد جرم اتمی (که نماد u در SI دارد) به صورت یک دوازدهم جرم اتم $^{۱۲}_{۶}C$ تعریف می‌شود. در نتیجه، جرم اتم $^{۱۲}_{۶}C$ در این مقیاس دقیقاً ۱۲u است.

جرم پروتون، نوترون، و الکترون بر مبنای مقیاس $^{۱۲}_{۶}C$ در جدول ۲ ـ ۱ آمده است. با وجود این، جرم یک اتم را نمی‌توان از این مقادیر محاسبه کرد، بجز $^{۱}_{۱}H$ (که هستهٔ آن شامل یک پروتون است)، مجموع جرم ذرات تشکیل‌دهندهٔ یک هسته همیشه بزرگ‌تر از جرم واقعی آن هسته است.

اینشتین، هم‌ارزی ماده و انرژی را نشان داد. این تفاوت جرم برحسب انرژی، بیانگر آن چیزی است که انرژی بستگی[2] هسته نامیده‌می‌شود. اگر امکان گسستن هسته وجود می‌داشت، انرژی بستگی، انرژی‌لازم برای انجام این کار می‌بود. فرآیند معکوس، یعنی متراکم کردن نوکلئون‌ها در هسته، باعث آزادشدن انرژی بستگی و در نتیجه، کاهش‌جرم خواهد شد. (انرژی بستگی، در بخش ۲۷ ـ ۸ مورد بحث قرارمی‌گیرد).

برای تعیین جرم اتمی از طیف نگار جرمی استفاده می‌شود. اغلب عناصر، در طبیعت به صورت مخلوط ایزوتوپ‌ها یافت می‌شوند. در این موارد از طیف نگار جرمی برای تعیین مقدار نسبی ایزوتوپ‌های موجود در عنصر و، همچنین، جرم اتمی هر ایزوتوپ استفاده می‌شود. داده‌های به دست آمده برای کلر نشان می‌دهد که شامل ۷۵٫۷۷٪ اتم‌های $^{۳۵}_{۱۷}Cl$ (با جرم ۳۴٫۹۶۹u) و ۲۴٫۲۳٪ اتم‌های $^{۳۷}_{۱۷}Cl$ (با جرم ۳۶٫۹۶۶u) است. هر نمونهٔ کلر طبیعی مرکب از این دو ایزوتوپ با همین نسبت است.

وزن اتمی عنصر کلر، میانگین وزنی جرم اتمی ایزوتوپ‌های طبیعی است. با جمع زدن جرم ایزوتوپ‌ها و تقسیم آن بر ۲ نمی‌توان میانگین را به دست آورد. مقدار به دست آمده به این روش، در صورتی درست خواهد بود که تعداد اتم‌های هر دو ایزوتوپ برابر باشد. امّا، میانگین وزنی را با ضرب کردن جرم اتمی هر ایزوتوپ در فراوانی جزئی آن و افزودن مقادیر به دست آمده، می‌توان محاسبه کرد. فراوانی جزئی عبارتست از هم‌ارز اعشاری این درصدهای فراوانی:

	(جرم)	(فراوانی)	
$^{۳۵}_{۱۷}Cl$	۳۴٫۹۶۹ u	(۰٫۷۵۷۷)	= ۲۶٫۴۹۶ u
$^{۳۷}_{۱۷}Cl$	۳۶٫۹۶۶u	(۰٫۲۴۲۳)	= ۸٫۹۵۷ u
			۳۵٫۴۵۳u

۱. چون ارقام به کار رفته توسط دالتون برای محاسبهٔ درصد اجزای تشکیل‌دهندهٔ آب، بسیار نادقیق بودند، دالتون در واقع، جرم نسبی ۷ را برای اتم اکسیژن پیشنهاد کرد.

2. Binding energy

محلول: نوعی مخلوط همگن (یکنواخت) است

مقدار پذیرفته شده برای کلر، ۰ر۰۰۱u ± ۳۵ر۴۵۳ است.

جرم هیچ‌کدام ازاتم‌های‌کلر، ۳۵ر۴۵۳u نیست، امّا تصور چنین اتمی راحت است. در اغلب محاسبات، بدون آنکه دچار خطا شویم، می‌توانیم فرض کنیم که نمونه‌ای از یک عنصر مرکب از فقط یک نوع اتم باجرم میانگین، یعنی وزن اتمی است. این فرض معتبر است، زیرا در یک نمونه بسیار کوچک از مادّه، تعداد بسیار زیادی اتم وجود دارد. برای مثال، تعداد اتم‌های موجود در یک قطرهٔ کوچک آب، بیشتر از جمعیت جهان است.

بجز چند مورد استثنا، این گونه مخلوط‌ها دارای ترکیب ثابتی هستند. وزن اتمی چنین عناصری، یک مقدار میانگین است که بیانگر جرم تمام اتم‌ها و فراوانی طبیعی آنهاست.

در طبیعت، چند نوع اتم کربن وجود دارد. اتم کربن - ۱۲ که به‌عنوان استاندارد وزن اتمی به کار رفته است، فراوان‌ترین اتم کربن است. هنگامی که درصد و جرم تمام انواع اتم‌های کربن را به‌حساب آوریم، جرم نسبی میانگین کربن طبیعی برابر با ۱۲ر۰۱۱ خواهد بود که مقدار ثبت شدهٔ وزن اتمی کربن است. وزن اتمی حدود سه چهارم عناصر، مقادیر میانگین است که بیانگر تنوع اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ هر عنصر می‌باشد. جرم یقیه عناصر، جرم نسبی یک نوع اتم است. در جدول تناوبی داخل جلد کتاب، *عدد اتمی* یک عنصر در بالای *نماد آن عنصر* و *وزن اتمی* در پایین نام عنصر مشاهده می‌شود. اوزان اتمی، در یک جدول الفبایی عناصر در داخل جلد کتاب نمایش داده شده است.

مثال ۲ - ۶

وزن اتمی منیزیم را تا چهار رقم بامعنی به دست آورید؟ این عنصر شامل ۹۹ر۷۸٪ اتم‌های $^{24}_{12}Mg$ (جرم، ۲۳ر۹۹u)، ۱۰ر۰۰٪ اتم‌های $^{25}_{12}Mg$ (جرم، ۲۵ر۹۸ u) و ۱۱ر۰۱٪ اتم‌های $^{26}_{12}Mg$ (جرم ۲۵ر۹۸u) است.

حل

$$^{24}_{12}Mg \quad (۰ر۷۸۹۹)(۲۳ر۹۹u) = ۱۸ر۹۵ \text{ u}$$

$$^{25}_{12}Mg \quad (۰ر۱۰۰۰)(۲۴ر۹۹u) = ۲ر۵۰ \text{ u}$$

$$^{26}_{12}Mg \quad (۰ر۱۱۰۱)(۲۵ر۹۸u) = ۲ر۸۶ \text{ u}$$

$$۲۴ر۳۱ \text{ u}$$

مثال ۲ - ۷

کربن طبیعی، مخلوطی از $^{12}_{6}C$ و $^{13}_{6}C$ است. جرم اتمی $^{12}_{6}C$، دقیقاً ۱۲u تعریف می‌شود، و جرم اتمی $^{13}_{6}C$ نیز ۱۳ر۰۰۳u است. وزن اتمی کربن ۱۲ر۰۱۱u است. درصد اتم $^{12}_{6}C$ در کربن طبیعی چقدر است؟

حل

معادلهٔ تعیین وزن اتمی کربن به صورت زیر است:

$$\text{وزن اتمی C} = (\text{جرم } ^{13}_{6}C)(\text{فراوانی } ^{13}_{6}C) + (\text{جرم } ^{12}_{6}C)(\text{فراوانی } ^{12}_{6}C)$$

اگر فراوانی $^{12}_{6}C$ را x اختیار کنیم، در آن صورت، فراوانی $^{13}_{6}C$ برابر $(1-x)$ خواهد بود. در نتیجه،

$$۱۲ر۰۱۱ = (x)۱۲ر۰۰۰ + (1-x)(۱۳ر۰۰۳)$$

$$۱۲ر۰۱۱x = ۱۲ر۰۰۰x + ۱۳ر۰۰۳ - ۱۳ر۰۰۳x$$

$$-۱ر۰۰۳ = -۰ر۹۹۲$$

$$x = ۰ر۹۸۹$$

اتم‌های $^{12}_{6}C$ حدود ۹۸ر۹٪ تعداد کل اتم‌های کربن را تشکیل می‌دهند.

مقدار بسیار کمی از $^{14}_{6}C$ نیز در طبیعت وجود دارد. ولی مقدار آن به حدّی ناچیز است که در محاسبه وزن اتمی کربن می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

چکیده مطالب

نظریهٔ اتمی جدید، ریشه در کارهای جان دالتون دارد که نظریهٔ خود را بر *قانون بقای جرم*، و *قانون نسبت‌های معین* استوار کرد. دالتون سوم ترکیب شیمیایی، یعنی *قانون نسبت‌های چندگانه* را نیز پیشنهاد کرد.

یک *اتم* که کوچک‌ترین ذره یک عنصر برای ترکیب با اتم‌های سایر عناصر و تشکیل ترکیبات شیمیایی است، از ذرات ریزتری به نام ذرات بنیادی تشکیل شده است. ذرات بنیادی، یعنی الکترون، پروتون، و نوترون، با استفاده از چند آزمایش کلاسیک شناسایی شدند و موقعیت آنها در اتم مشخص گردید.

الکترون، بار منفی، $e-$ دارد، و *پروتون* دارای بار مثبت برابر با بار الکترون اما با علامت مخالف $e+$ است. نوترون، بار ندارد. جرم الکترون بسیار کوچک‌تر از جرم پروتون یا نوترون است.

پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته قرار دارند که مرکز اتم به شمار می‌رود. اندازه هسته، در مقایسه با اندازهٔ کلّی اتم بسیار کوچک است، امّا بخش اعظم جرم اتم را تشکیل می‌دهد و (به دلیل پروتون‌هایش) بار مثبت دارد. الکترون‌ها که بخش اعظم حجم اتم را اشغال کرده‌اند، در پیرامون هسته قرار دارند. شمار الکترون‌ها و پروتون‌های هسته یک اتم خنثی برابر است، در نتیجه کلّ بار منفی برابر با کلّ بار مثبت است. تعداد الکترون‌های پیرامون یک اتمی (اتم‌های باردار) بیشتر از تعداد پروتون‌ها(یون‌های منفی)، یا کمتر از تعداد پروتون‌ها (یون‌های مثبت) است.

تعداد پروتون‌های موجود در هستهٔ یک اتم با *عدد اتمی* مشخص می‌شود. تمام اتم‌های یک عنصر، عدد اتمی یکسان دارند. موقعیت عناصر در *جدول تناوبی*، یا عدد اتمی‌شان مشخص می‌شود. عناصری که در یک سطر افقی جدول قرار دارند، جمعاً، یک تناوب یا پریود نامیده می‌شوند. عناصر مربوط به یک ستون عمودی جدول دارای خواص شیمیایی مشابه‌اند و یک گروه تشکیل می‌دهند. عناصر شیمیایی، به صورت *فلز*، *نافلز*، یا شبه *فلز* نیز در جدول تناوبی طبقه‌بندی می‌شوند.

عدد جرمی یک اتم برابر با تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در هسته آن

اتم‌است. اتم‌های یک عنصر که دارای جرم‌های متفاوت باشند، یعنی تعداد نوترون‌هایشان متفاوت باشد، *ایزوتوپ* نامیده می‌شوند. جرم یک اتم در مقیاس مبتنی بر جرم اتم $^{12}_{6}C$ که دقیقاً ۱۲ *u* اختیار شده است، بیان می‌شود. *وزن اتمی* یک عنصر شامل جرم تمام ایزوتوپ‌های آن عنصر با توجه به فراوانی طبیعی آنهاست.

مفاهیم کلیدی

Actinides, actinoids آکتینیدها، آکتینوییدها (بخش ۲ ـ ۷). عناصر با عدد اتمی ۹۰ (توریم، Th) تا ۱۰۳ (لورنسیم، Lr) که بعد از عنصر آکتینیم (Ac، $Z = 89$) می‌آیند و معمولاً در پایین جدول تناوبی قرار می‌گیرند.

Alkali metals فلزات قلیایی (بخش ۲ ـ ۷). گروهی از فلزهای نرم و بسیار واکنش‌پذیر شامل لیتیم (Li)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، روبیدیم (Rb)، سزیم (Cs)، و فرانسیم (Fr).

Alpha particle, α ذرهٔ آلفا، α (بخش ۲ ـ ۵). ذره‌ای که مرکب از دو پروتون و دو نوترون است و به‌وسیله برخی از هسته‌های رادیواکتیو پرتوزا منتشر می‌شود.

Atom اتم (بخش ۲ ـ ۱). کوچک‌ترین ذرّهٔ یک عنصر که با اتم‌های سایر عناصر ترکیب می‌شود و اجسام مختلف به وجود می‌آورد.

Atomic mass unit, u واحد جرم اتمی، u (بخش ۲ ـ ۶). یک واحد جرم که برابر با یک‌دوازدهم جرم یک اتم $^{12}_{6}C$ است.

Atomic number Z عدد اتمی Z(بخش ۲ ـ ۶). تعداد پروتون‌های موجود در هستهٔ یک اتم از یک عنصر. عدد اتمی یک اتم بدون بار، با تعداد الکترون‌ها نیز برابر است.

Atomic weight وزن اتمی (بخش ۲ ـ ۹). جرم میانگین اتم‌های یک عنصر نسبت به جرم یک اتم $^{12}_{6}C$ که برابر با ۱۲ اختیار شده است.

Beta particle, β ذرهٔ بتا، β (الکترون ساطع شده به وسیلهٔ هسته‌های رادیواکتیو معین.

Binding energy انرژی بستگی (بخش ۲ ـ ۹). انرژی لازم برای یک فرایند فرضی که در آن هسته به نوکلئون‌ها تجزیه شود؛ این انرژی برابر با تفاوت بین مجموع جرم نوکلئون‌های یک هسته و جرم واقعی هسته است.

Cathode rays اشعهٔ کاتدی (بخش ۲ ـ ۲). جریان الکترونی ساطع شده از کاتد (الکترود منفی) در اثر عبور الکتریسیته از یک لوله حاوی گاز در فشار بسیار پایین.

Electron الکترون (بخش ۲ ـ ۲). یک ذرّه بنیادی با جرم تقریبی ۰٫۰۰۰۵۵ *u* که حامل یک بار منفی است و در خارج از هستهٔ یک اتم قرار دارد.

Gamma radiation, γ تابش گاما، γ (بخش ۲ ـ ۵). یک‌فرم بسیار پرانرژی از تابش که مشابه اشعهٔ X است و از هسته‌های رادیواکتیو معینی ساطع می‌شود.

Group, family گروه، خانواده (بخش ۲ ـ ۷). مجموعه‌ای از عناصر که در یک ستون عمودی در جدول تناوبی قرار دارند.

Halogens هالوژن‌ها (بخش ۲ ـ ۷). گروهی از نافلزهای بسیار واکنش‌پذیر که شامل فلوئور (F)، کلر (Cl)، برم (Br)، ید (I)، و استاتین (At) است.

Ion یون (بخش ۶ ـ ۲). ذرّه‌ای مرکب از یک اتم یا یک گروه از اتم‌ها که دارای بار الکتریکی باشد. یک یون، ممکن است دارای بار مثبت (به علت از دست‌دادن یک یا چند الکترون) یا بار منفی (به علت گرفتن یک یا چند الکترون) باشد.

Isotopes ایزوتوپ‌ها (بخش ۲ ـ ۸). اتم‌های یک عنصر که دارای عدد اتمی یکسان امّا عدد جرمی متفاوت باشند؛ ایزوتوپ‌ها از لحاظ تعداد نوترون‌های موجود در هسته با هم تفاوت دارند.

Lanthanoids, lanthanides لانتانیدها، لانتانوییدها (بخش ۲ ـ ۷). عناصری با عدد اتمی ۵۸ (سریم، Ce) تا ۷۱ (لوتسیم، Lu) که در جدول تناوبی، پس از لانتانم (La، $Z = 57$) قرار دارند و معمولاً در پایین جدول آمده‌اند.

Law of conservation of mass قانون بقای جرم (بخش ۲ ـ ۱). طی یک واکنش شیمیایی، تغییر قابل مشاهده‌ای در جرم صورت نمی‌گیرد.

Law of definite proportions قانون نسبت‌های معین (بخش ۲ ـ ۱). یک جسم خالص، همیشه شامل عناصر معین با نسبت جرمی معین است.

Law of multiple proportions قانون نسبت‌های چندگانه (بخش ۲ ـ ۱). هنگامی که دو عنصر A و B بیش از یک ترکیب تولید کنند، بین مقداری از عنصر A که با مقدار ثابتی از عنصر B ترکیب می‌شود نسبت ساده و صحیحی برقرار است.

Mass number, A عدد جرمی، A (بخش ۲ ـ ۶). تعداد پروتون‌ها به اضافه تعداد نوترون‌های موجود در هستهٔ یک اتم.

Mass spectrometer طیف‌نگار جرمی (بخش ۲ ـ ۹). دستگاهی که برای تعیین نوع ایزوتوپ‌های یک عنصر، تعیین جرم دقیق این ایزوتوپ‌ها و مقدار نسبی هر یک از آنها به کار می‌رود.

Metal فلز (بخش ۲ ـ ۷). عنصری که دارای جلا باشد، گرما و الکتریسیته را به خوبی هدایت کند، و در اثر کوبیده‌شدن شکنند. فلزات، در سمت چپ خط قطری پله‌ای در جدول تناوبی قرار دارند.

Metalloid, semimetal شبه فلز، نیمه فلز (بخش ۲ ـ ۷). عنصری که فلز یا نافلز بودن آن روشن نیست امّا خواص هر دو را داراست؛ این عناصر در نزدیکی خط قطری پله‌ای در جدول تناوبی قرار دارند.

Neutron نوترون (بخش ۲ ـ ۴). یک ذرّه بنیادی با جرم تقریبی ۱٫۰۰۸۷ *u* و بدون بار که در هستهٔ اتم وجود دارد.

Noble gases گازهای نجیب (بخش ۲ ـ ۷). گروهی از گازهای بی‌رنگ که عناصر نافلزی به شمار می‌روند و واکنش‌پذیری چندانی ندارند. این گازها شامل هلیم (He)، نئون (Ne)، آرگون (Ar)، کریپتون (Kr)، گزنون (Xe)، و رادون (Rn) هستند.

Nonmetal نافلز (بخش ۲ ـ ۷). عنصری که جلای فلزی نداره، رسانای خوبی برای گرما و الکتریسیته نیست، و در حالت جامد شکننده است. نافلزات، در سمت راست خط قطری پله‌ای در جدول تناوبی قرار دارند.

Nucleon نوکلئون (بخش ۲ ـ ۶). پروتون یا نوترون که هر دو در هستهٔ اتم یافت می‌شوند.

Nucleus هسته (بخش ۲ ـ ۵). مرکز اتم که کوچک، فشرده (چگال)، و دارای بار مثبت است. هستهٔ اتم مرکب از پروتون و نوترون است.

Period تناوب (بخش ۲ ـ ۷). مجموعه‌ای از عناصر که در یک سطر افقی جدول تناوبی قرار دارند.

Periodic law قانون تناوبی (بخش ۲ ـ ۷). خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر، تابع تناوبی آنهاست.

Positive rays اشعهٔ مثبت (بخش ۲ ـ ۳). اشعهٔ ذرّات مثبت؛ در اثر کنده شدن الکترون از اتم‌ها در لولهٔ اشعه کاتد، یون تشکیل می‌شود.

Proton پروتون (بخش ۲ ـ ۳). یک ذرّه بنیادی با جرم تقریبی ۱٫۰۰۷۳ *u* که حامل یک واحد بار مثبت است و در هستهٔ اتم قرار دارد.

Radioactivity رادیواکتیویته (پرتوزایی) (بخش ۲ ـ ۵). نشر خود به خودی اشعه رادیواکتیو (پرتوزا) به وسیلهٔ هسته‌های اتمی ناپایدار که طی این فرایند به هسته‌های متفاوت تبدیل می‌شوند؛ عناصر رادیواکتیو طبیعی اشعهٔ آلفا، بتا، و گاما منتشر می‌کنند.

Unit electrical charge, e واحد بار الکتریکی، e (بخش ۲ ـ ۲). 1.6022×10^{-19} C، مقدار بار پروتون و الکترون؛ پروتون دارای یک واحد بار مثبت و الکترون دارای یک واحد بار منفی است.

مسائل*

نظریهٔ دالتون، قوانین ترکیب شیمیایی

۲ ـ ۱ قانون بقای جرم و قانون نسبت‌های معین را بیان کنید. تفاوت آنها در چیست؟ نظریهٔ دالتون چه توضیحی برای این قوانین دارد؟

۲ ـ ۲ قانون نسبت‌های معین و قانون نسبت‌های چندگانه را با هم مقایسه کنید. در توضیح خود از ترکیبات NO و NO_2 استفاده کنید.

۲ ـ ۳ در ترکیب I، ۵۰٫۰g اکسیژن با ۹۰٫۰g گوگرد و در ترکیب II، ۵۰٫۰g اکسیژن با ۷۵٫۰g گوگرد ترکیب شده است. نشان دهید با استفاده از این داده‌ها چگونه می‌توان قانون نسبت‌های چندگانه را شرح داد؟ نظریهٔ دالتون چگونه این واقعیت‌های تجربی را توضیح می‌دهد؟

۲ ـ ۴ در متان، ۱۵g هیدروژن با ۴۵ گرم کربن ترکیب شده است؛ در اتیلن، ۳۰ g هیدروژن با ۱۸۰g کربن ترکیب شده است. نشان دهید با استفاده از این داده‌ها چگونه می‌توان قانون نسبت‌های چندگانه را شرح داد؟

۲ ـ ۵ به عقیدهٔ دالتون تمام اتم‌های یک عنصر معین از هر نظر شبیه یکدیگرند. چرا این بخش از نظریهٔ دالتون باید تعدیل شود؟ این بخش باید چگونه تغییر کند؟

۲ ـ ۶ اتم کلر دارای دو ایزوتوپ طبیعی است: $^{37}_{17}Cl$ و $^{35}_{17}Cl$. هیدروژن با کلر ترکیب می‌شود و هیدروژن کلرید، HCl تشکیل می‌دهد. آیا مقدار معینی هیدروژن با جرم‌های متفاوتی از این دو ایزوتوپ کلر ترکیب می‌شود؟ در آن صورت می‌توانید اعتبار قانون نسبت‌های معین را توضیح دهید.

ذرات بنیادی

۲ ـ ۷ کدامیک از یون‌های مثبت زیر بیشتر در میدان الکتریکی منحرف می‌شوند؟ چرا؟ (H^+ یا Ne^+، (ب) Ne^{2+} یا Ne^{3+}.

۲ ـ ۸ ج. ج. تامسون نسبت بار به جرم *(q/m)* را برای الکترون تعیین کرد. چرا روش مورد استفادهٔ او نمی‌توانست هر یک ازاین مقادیر را جداگانه به‌دست دهد؟

۲ ـ ۹ در مطالعهٔ پرتوهای مثبت، معلوم شده که نسبت *q/m* پروتون نسبت به هر یون مثبت دیگری بزرگ‌تر است. مقدار *q/m* را برای هر یک از یون‌های مثبت زیر محاسبه کنید: (الف) H^+ با جرم 1.67×10^{-24}g؛ (ب) $^4_2He^+$ با جرم 6.64×10^{-24}g؛ (ج) $^{22}_{10}Ne^+$ با جرم 3.37×10^{-23}g.

۲ ـ ۱۰ در آزمایش قطرهٔ روغن میلیکان، مقادیر زیر برای بارهای روی سه قطرهٔ روغن به دست آمده است: -1.6×10^{-19}C، -3.2×10^{-19}C، -4.8×10^{-19}C. (الف) چرا این مقادیر با هم متفاوت‌اند؟ (ب) چگونه می‌توان واحد بار، e، را از این سه مقدار به دست آورد؟

هستهٔ اتم

۲ ـ ۱۱ سه نوع پرتو نشر شده از مواد رادیواکتیو را که در طبیعت صورت می‌گیرد توضیح دهید.

۲ ـ ۱۲ رادرفورد در آزمایش‌های مربوط به پراش ذرهٔ آلفا از چندین ورقهٔ نازک فلزی استفاده کرد. تعداد انحراف‌های بزرگ زاویهٔ مشاهده شده برای ورقهٔ مس را با تعداد مشاهده شده برای ورقهٔ طلا با همان ضخامت مقایسه کنید.

۲ ـ ۱۳ شعاع تقریبی یک هسته، *r*، ازفرمول $r = A^{1/3}(1.0 \times 10^{-13}\text{cm})$ به‌دست می‌آید که در آن A عدد جرمی هسته است. شعاع هستهٔ $^{27}_{13}Al$ چقدر است؟ شعاع اتمی اتم $^{27}_{13}Al$ تقریباً ۱۴۳pm است. اگر قطر ایمن اتم ۱٫۰۰km (۰٫۶۲ مایل) باشد، قطر هستهٔ آن بر حسب سانتی‌متر چقدر است؟

۲ ـ ۱۴* با استفاده از داده‌های مسئلهٔ ۲ ـ ۱۳ درصد حجم کل اشغال‌شده به وسیلهٔ هستهٔ اتم آلومینیم را محاسبه کنید. حجم یک کره، *V*، از فرمول $V = 4/3\,\pi\, r^3$ به دست می‌آید که در آن *r* شعاع کره است.

نمادهای اتمی

۲ ـ ۱۵ (الف) ترکیب اجزای اتم $^{75}_{33}As$ را تعیین کنید. (ب) نشانهٔ اتمی که دارای ۸۰ پروتون و ۱۲۲ نوترون است را به دست آورید.

۲ ـ ۱۶ (الف) ترکیب اجزای اتم $^{107}_{47}Ag$ را تعیین کنید. (ب) نشانهٔ اتمی که دارای ۷۹ پروتون و ۱۱۸ نوترون است را به دست آورید.

۲ ـ ۱۷ جدول زیر را کامل کنید:

نماد	Z	A	پروتون	نوترون	الکترون
Cs	۵۵	۱۳۳	—	—	—
Bi	—	۲۰۹	—	—	—
—	۵۶	۱۳۸	—	—	۵۶
Sn	—	—	—	۷۰	۵۰
Kr	—	۸۴	—	۴۸	—
Se^{2-}	—	—	—	۴۲	—
—	۸	—	—	۸	۱۰

۲ ـ ۱۸ جدول زیر را کامل کنید:

نماد	Z	A	پروتون	نوترون	الکترون
Ca	۲۰	۴۰	—	—	—
Ge	—	۷۴	—	—	—
—	۲۴	۵۲	—	—	۲۴
Te	—	—	—	۷۸	۵۲
La	—	۱۳۹	—	۸۲	—
Zn^{2+}	—	—	—	۳۴	—
—	۷	—	—	۷	۱۰

۲ ـ ۱۹ (الف) یون Ag^+ دارای چند پروتون و الکترون است؟ (ب) یون Se^{2-} چطور؟

۲ ـ ۲۰ (الف) یون Ga^{3+} دارای چند پروتون و الکترون است؟ (ب) یون I^- چطور؟

جدول تناوبی

۲ ـ ۲۱ اصطلاح *تناوب* و گروه را با هم مقایسه کنید.

۲ ـ ۲۲ چند عنصر در (الف) تناوب سوم، (ب) تناوب چهارم وجود دارد؟

۲ ـ ۲۳ هر یک از عناصر زیر را به صورت فلز و نافلز دسته‌بندی کنید: (الف) Kr؛ (ب) K؛ (ج) P؛ (د) Pt.

۲ ـ ۲۴ هر یک از عناصر زیر را به صورت فلز و نافلز دسته‌بندی کنید: (الف) B؛ (ب) Ba؛ (ج) Bi؛ (د) Br.

ایزوتوپ، وزن اتمی

۲ ـ ۲۵ نقره در طبیعت به صورت مخلوطی از دو ایزوتوپ وجود دارد: $^{107}_{47}Ag$ باجرم اتمی ۱۰۶٫۹۰۶ u و $^{109}_{47}Ag$ با جرم اتمی ۱۰۸٫۹۰۵u. وزن اتمی نقره ۱۰۷٫۸۶۸ است. درصد فراوانی هر یک از این دو ایزوتوپ چقدر است؟

۲ ـ ۲۶ رنیم در طبیعت به صورت مخلوطی از دو ایزوتوپ وجود دارد: $^{185}_{75}Re$ باجرم اتمی ۱۸۴٫۹۵۳u و $^{187}_{75}Re$ با جرم اتمی ۱۸۶٫۹۵۶u. وزن اتمی رنیم ۱۸۶٫۲۰۷ است. درصد فراوانی هر یک از این دو ایزوتوپ چقدر است؟

۲ ـ ۲۷ وانادیم در طبیعت به صورت مخلوطی از دو ایزوتوپ وجود دارد: $^{51}_{23}V$ باجرم اتمی ۵۰٫۹۴۴u و $^{50}_{23}V$ با جرم اتمی ۴۹٫۹۴۷u. وزن اتمی

---

* مسائل مشکل‌تر با ستاره مشخص شده‌اند. پاسخ مسائلی که شمارهٔ آنها فرد است در پیوست آخر کتاب آمده است.

واناديم ۹۴۱۵۰u است. درصد فراوانی هر یک از این دو ایزوتوپ چقدر است؟

۲ ـ ۲۸ لیتیم در طبیعت به صورت مخلوطی از دو ایزوتوپ وجود دارد: ${}^{6}_{3}Li$ با جرم اتمی ۶٫۰۱۵u و ${}^{7}_{3}Li$ با جرم اتمی ۷٫۰۱۶u. وزن اتمی لیتیم ۶٫۹۴۱u است.

درصد فراوانی هر یک از این دو ایزوتوپ چقدر است؟

۲ ـ ۲۹ عنصری شامل ۱۰٫۶۰٪ از ایزوتوپی با جرم اتمی ۶۸٫۹۲۶u و ۸۹٫۹۰٪ از ایزوتوپی به جرم اتمی ۷۰٫۹۲۵u است. وزن اتمی این عنصر چقدر است؟

۲ ـ ۳۰ عنصری شامل ۵۱٫۹۰٪ از ایزوتوپی با جرم اتمی ۱۹٫۹۹۲u، ۲۷٫۰٪ از ایزوتوپی با جرم اتمی ۲۰٫۹۹۴۵u و ۲۲٫۹۰٪ از ایزوتوپی با جرم اتمی ۲۱٫۹۹۰u است. وزن اتمی این عنصر چقدر است؟

مسائل طبقه‌بندی‌نشده

۲ ـ ۳۱ در مطالعات مربوط به پرتوهای مثبت، معلوم شده که مقدار q/m پروتون (H^{+}) نسبت به هر یون مثبت دیگری بیشتر است. (الف) مقدار q/m پروتون چقدر است؟ (ب) بار اتم هلیم (جرم تقریبی، 6.6×10^{-24} g) باید چقدر باشد تا یونی تولید شود که مقدار q/m آن مساوی یا بزرگ‌تر از مقدار q/m پروتون باشد؟ (ج) چرا به دست‌آوردن این بار الکتریکی غیرممکن است؟

۲ ـ ۳۲ مس دارای دو ایزوتوپ است: ${}^{63}_{29}Cu$ با جرم اتمی ۶۲٫۹۳۰u و ${}^{65}_{29}Cu$ با جرم اتمی ۶۴٫۹۲۷۸u. وزن اتمی مس ۶۳٫۵۴۶u است. درصد فراوانی هر یک از این دو ایزوتوپ چقدر است؟

۲ ـ ۳۳ با استفاده از جدول تناوبی تعیین کنید (الف) Cu در کدام تناوب جدول است، (ب) Cu فلز است یا نافلز، (ج) انتظار دارید کدام دو عنصر از نظر شیمیایی مشابه Cu باشند؟

۲ ـ ۳۴ (الف) ترکیب اجزای اتم ${}^{63}_{29}Cu$ را تعیین کنید. (ب) مس دو یون تولید می‌کند: Cu^{+} و Cu^{2+}. هر یک از این یون‌ها چند الکترون دارند؟

۲ ـ ۳۵ ایزوتوپ‌های نئون نخستین ایزوتوپ‌های شناخته شده هستند. مقادیر q/m زیر به دست آمده‌اند: 4.238×10^{7} C/g، 4.076×10^{7} C/g، 4.820×10^{7} C/g، 8.976×10^{7} C/g، و 9.640×10^{7} C/g. واحد بار، e، 1.60×10^{-19} C، و 1u برابر 1.660×10^{-24} g است. برای هر یک از مقادیر q/m، جرم مربوط به هر واحد بار، e، را بر حسب واحد جرم اتمی (u) محاسبه کنید. عدد جرمی و بار مربوط به مقادیر q/m چقدر است؟

یون = رونده ○ کاتیون: یونی که بسمت کاتدی رود

۳

استوکیومتری، بخش I : فرمول‌های شیمیایی

آلفرد نورث وایتهد[1]، فیلسوف و ریاضیدان، نوشت، «تمام علوم، در سیر تکاملی خود، به صورت ریاضی درمی‌آیند». شیمی جدید، زمانی شروع شد که لاوازیه و شیمیدانان عصر او به اهمیت اندازه‌گیری دقیق پی بردند و پرسش‌هایی مطرح کردند که به صورت کمّی قابل پاسخگویی بودند. **استوکیومتری**[2] (از واژهٔ یونانی *استویخیون*[3] به معنی «عنصر»، و *مترون*[4] به معنی «اندازه‌گیری»)، شاخه‌ای از شیمی است که با رابطه‌های کمّی بین عناصر در تشکیل ترکیبات و، همچنین، روابط بین عناصر و ترکیبات درگیر در واکنش‌های شیمیایی سر و کار دارد. نظریهٔ اتمی مادّه، مبنای این مطالعه را تشکیل می‌دهد.

۳ ـ ۱ مولکول‌ها و یون‌ها

گازهای نجیب (هلیم، نئون، آرگون، کریپتون، گزنون، و رادون)، تنها عناصری هستند که به صورت اتمی وجود دارند. سایر عناصر و همچنین، ترکیبات شیمیایی به صورت ترکیب‌های گوناگونی از اتم‌ها هستند. مولکول‌ها و یون‌ها، دو نوع ذرّه شیمیایی مهم‌اند که از اتم‌ها تشکیل شده‌اند. در فصل‌های بعدی، توضیحات بیشتری دربارهٔ این ذرات شیمیایی داده خواهد شد (فصل ۷، *خواص اتم‌ها و پیوند یونی*؛ فصل ۸، *پیوند کووالانسی*؛ و فصل ۹، *وضعیت هندسی مولکول*).

مولکول‌ها

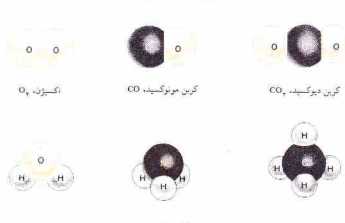
مولکول، ذرّه‌ای متشکل از دو یا چند اتم است که محکم به یکدیگر متصل شده‌اند. در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، مولکول‌ها به‌صورت واحدهای مستقل عمل می‌کنند. برخی عناصر و بسیاری از ترکیبات به‌صورت مولکول‌اند. در شکل ۳ ـ ۱، نمونه‌هایی ازمولکول‌ها نشان داده شده است.

ترکیب اتمی یک جسم با **فرمول شیمیایی** مشخص می‌شود. در یک فرمول، برای نمایش نوع عناصر موجود در جسم از نمادهای شیمیایی، و برای نشان دادن تعداد نسبی اتم‌های هر عنصر، از زیرنوشت (اندیس)ها استفاده می‌شود. اگر یک نماد فاقد زیرنوشت باشد، عدد ۱ استنباط خواهد شد. فرمول یک جسم مولکولی بیانگر ترکیب اجزای یک مولکول است و گاهی **فرمول مولکولی** نامیده می‌شود. برای مثال، فرمول H_2O، بیانگر وجود دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن در آب است.

در عناصر مولکولی، تمام اتم‌ها یکسان‌اند. شماری از اتم‌ها در **طبیعت به صورت مولکول‌های دو اتمی** وجود دارند که از اتصال دو اتم به وجود می‌آیند. عناصری که به صورت مولکول‌های دو اتمی وجود دارند، در جدول ۳ ـ ۱ نمایش داده شده‌اند. باید یادآور شد که علت وجود این عناصر به این صورت آن است که خواص فیزیکی و شیمیایی آنها بازتاب ساختار مولکولی‌شان است.

برخی از عناصر، مولکول‌هایی با دو یا چند اتم تشکیل می‌دهند. برای مثال، مولکول‌های گوگرد شامل ۸ اتم هستند و فرمول مولکولی آنها S_8 است. فرمول مولکولی یک مولکول فسفر، P_4 می‌باشد.

مولکول‌های هر ترکیب، شامل دو یا چند عنصر است. برخی از این مولکول‌ها دو اتمی‌اند؛ HCl، CO، NO مثال‌هایی از این دسته‌اند. مولکول‌های سایر ترکیبات، پیچیده‌ترند. فرمول مولکولی یک ترکیب، فقط بیانگر تعداد و نوع اتم‌های موجود در یک مولکول از آن ترکیب است و چیزی در مورد چگونگی اتصال اتم‌ها به یکدیگر به ما نمی‌گوید. برای مثال، فرمول NH_3 فقط نشان می‌دهد که مولکول آمونیاک مرکب از سه اتم هیدروژن و یک اتم نیتروژن است. فرمول ساختاری مولکول آمونیاک، نشان‌دهندهٔ شیوهٔ اتصال این اتم‌هاست:



شکل ۳ ـ ۱ الگوی برخی از مولکول‌های ساده

1. Alfred North Whitehead
2. Stoichiometry
3. *Stoicheion*
4. *Metron*

جدول ۳ ـ ۱ عناصری که در طبیعت به صورت مولکول‌های دو اتمی وجود دارند.

عنصر	فرمول
هیدروژن	H_2
نیتروژن	N_2
اکسیژن	O_2
فلوئور	F_2
کلر	Cl_2
برم	Br_2
ید	I_2

در یک **فرمول ساختاری**، نماد دیگری برای نمایش هر اتم به کار می‌رود و از خط‌های تیرهٔ کوتاه نیز برای نشان‌دادن چگونگی اتصال اتم‌ها به یکدیگر استفاده می‌شود. توجه کنید که حتی یک فرمول ساختاری نیز، کاستی‌هایی دارد. آرایش فضایی اتم‌های یک مولکول نمایش داده نشده است. برای مثال، مولکول آمونیاک، آرایش هرمی دارد که در شکل ۳ ـ ۱ نشان داده شده است.

یون‌ها

یون، ذرّه‌ای متشکل از یک اتم یا گروهی از اتم‌هاست که بار الکتریکی دارد. دو نوع یون وجود دارد:

۱ ـ **کاتیون**، دارای بار مثبت (زیرا یک یا چند الکترون از دست داده است).

۲ ـ **آنیون**، دارای بار منفی (زیرا یک یا چند الکترون گرفته است).

یون‌های یک‌اتمی (یون‌های تشکیل شده از یک اتم) در بخش ۲ ـ ۶ مورد بحث قرار گرفتند و مثال‌های ۲ ـ ۳ و ۲ ـ ۴ را نیز به یون‌های Al^{3+}، S^{2-}، Fe^{2+}، و F^- اختصاص دادیم. به طور کلّی، کاتیون‌های یک‌اتمی از اتم‌های فلزات، و آنیون‌های یک‌اتمی از اتم‌های نافلزات به وجود می‌آیند. **یون‌های پلی اتمی** (بس اتمی)، ذرات باردار یا بیش از یک اتم هستند. برای نمونه می‌توان یون آمونیوم، NH_4^+، یون سولفات، SO_4^{2-}، و یون هیدروکسید، OH^- را نام برد. در فصل ۷، به طور مفصل دربارهٔ یون‌ها گفتگو خواهیم کرد.

ترکیبات یونی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها تشکیل شده‌اند که با الگوی هندسی مشخصی به صورت بلور در آمده‌اند. برای مثال، سدیم کلرید، از یون‌های سدیم، Na^+، و یون‌های کلرید، Cl^- تشکیل شده است که با یکدیگر بلور سدیم کلرید (شکل ۳ ـ ۲) را تشکیل داده‌اند. یک بلور سدیم کلرید، شامل تعداد زیادی از این یون‌هاست که به وسیلهٔ نیروی جاذبهٔ مثبت ـ منفی به یکدیگر چسبیده‌اند.

در بلور سدیم کلرید، به ازای هر یون Na^+، یک یون Cl^- وجود دارد و فرمول این ترکیب NaCl است. این فرمول بیانگر یک مولکول نیست و درباره شیوه زوج‌شدن یون‌ها نیز اطلاعاتی به دست نمی‌دهد، زیرا در ساختار بلوری این ترکیب نمی‌توان هیچ یونی را منحصراً به یون دیگر متعلق دانست. بلکه این فرمول فقط ساده‌ترین نسبت یون‌های لازم برای تولید این بلور است.

به این ترتیب، فرمول ترکیبات یونی را از فرمول یون‌های تشکیل‌دهندهٔ آنها می‌توان به دست آورد. برای مثال، فرمول باریم کلرید از فرمول یون باریم، Ba^{2+}، و فرمول یون کلرید، Cl^-، به دست می‌آید. چون بلور از نظر بار الکتریکی خنثی است، بار کل تمام یون‌های مثبت باید برابر با بار کلّ تمام یون‌های منفی باشد. در نتیجه، باید دو یون کلرید به ازای هر یون باریم باشد. به این ترتیب،

Ba^{2+} و $2Cl^-$، $BaCl_2$ تشکیل می‌دهند.

در فرمول یک ترکیب یونی، ابتدا فرمول کاتیون نوشته می‌شود. آرایش یون‌ها در بلور $BaCl_2$، با آرایش یون‌ها در بلور NaCl تفاوت دارد. در بلورهای $BaCl_2$ باید نسبت کاتیون به آنیون ۱ به ۲ باشد. نسبت کاتیون به آنیون در بلور NaCl ۱ به ۱ است.

شکل ۳ ـ ۲ ساختار بلوری سدیم کلرید

مثال ۳ ـ ۱

فرمول ترکیباتی که یون O^{2-} همراه با (الف) یون Na^+، (ب) یون Ca^{2+}، و (ج) یون Fe^{3+} دارند را بنویسید.

حل

(الف) بار کل کاتیون‌ها باید برابر با بار کل آنیون‌ها باشد. در نتیجه، به ازای هر یک یون O^{2-} (بار کل، -2)، باید دو یون Na^+ (بار کل، $+2$) باشد. فرمول Na_2O است.

(ب) چون بار کاتیون $+2$ و بار آنیون -2 است، با نسبت ۱ به ۱ کاتیون به آنیون می‌توان به یک مجموعه خنثی رسید. فرمول CaO است.

(ج) بار کاتیون، $+3$ و بار آنیون -2 است. ساده‌ترین حاصل ضرب ۳ و ۲ برابر با ۶ است. دو یون Fe^{3+} (بار کلّ، $+6$) و سه یون O^{2-} (بار کل، -6) را باید در نظر گرفت. فرمول Fe_2O_3 است.

کمترین عناصر سازنده یک مولکول فرمول تجربی نام دارد

سایر فرم‌ها

برخی از عناصر و ترکیب‌ها به فرم‌هایی وجود دارند که نه مولکولی هستند و نه یونی. در الماس، تعداد زیادی از اتم‌های کربن به وسیله شبکه‌ای از پیوندهای مشابه با آنچه که در مولکول‌ها وجود دارد، به یکدیگر متصل شده‌اند. در واقع، کلّ بلور الماس را می‌توان یک مولکول بسیار بزرگ به حساب آورد. ترکیبات دیگری نیز (برای مثال، سیلیسیم دیوکسید، SiO_2) نیز فرم‌های مشابهی دارند. ساختار فلزها به گونه‌ای است که در آن تعداد زیادی از اتم‌های فلز با چیزی موسوم به پیوند فلزی به یکدیگر متصل شده‌اند. این فرم‌ها را در فصل‌های بعدی مورد بحث قرار خواهیم داد. فرمول‌های به کار رفته برای نمایش این ترکیب‌ها شامل زیرنوشت‌های ساده‌ای است که بیانگر نسبت صحیح اتم‌های موجود در جسم است.

۳ـ۲ فرمول تجربی

فرمول مولکولی هیدروژن پروکسید (آب اکسیژنه)، H_2O_2، بیانگر وجود دو اتم هیدروژن و دو اتم اکسیژن در یک مولکول از این مادّه است. توجه داشته باشید که نسبت اتم‌های هیدروژن به اکسیژن (۲ به ۲)، ساده‌ترین نسبت اعداد صحیح (که ۱ به ۱ است) نیست. فرمولی که با استفاده از ساده‌ترین اعداد صحیح نوشته شود **فرمول تجربی** یا **فرمول ساده** نام دارد. فرمول مولکولی هیدروژن پروکسید، H_2O_2 است؛ فرمول تجربی آن HO.

فرمول مولکولی، ترکیب اتمی واقعی مولکول را به دست می‌دهد. فرمول تجربی فقط ساده‌ترین نسبت صحیح اتم‌ها در ترکیب را بیان می‌کند. برای به دست‌آوردن فرمول مولکولی یک ترکیب مولکولی به اطلاعات بیشتری نیاز داریم.

برای بعضی ترکیبات مولکولی، فرمول مولکولی و فرمول تجربی یکسان‌اند، برای مثال:

$$H_2O \quad H_2SO_4 \quad CO_2 \quad NH_3$$

اعداد زیرنوشت این فرمول‌ها را نمی‌توان به صورت نسبت‌های ساده‌تری در آورد. امّا، برای بسیاری از ترکیب‌های مولکولی، فرمول مولکولی و فرمول تجربی متفاوت‌اند. فرمول مولکولی

$$N_2H_4 \quad B_3N_3H_6 \quad C_6H_6$$

به فرمول‌های تجربی زیر مربوط است.

$$NH_2 \quad BNH_2 \quad CH$$

توجه کنید که نسبت اتمی در یک فرمول تجربی را با کاهش نسبت اتمی مربوط به فرمول مولکولی به کوچک‌ترین اعداد صحیح ممکن می‌توان به دست آورد.

مثال ۳ـ۲

فرمول تجربی ترکیب‌های زیر را از فرمول مولکولی آنها به دست آورید:
(الف) اتان، C_2H_6، (ب) گلوکز، $C_6H_{12}O_6$، (ج) پروپان، C_3H_8، و (د) سیکلو بوتان، C_4H_8.

حل

در هر یک از فرمول‌های مولکولی به سراغ بزرگ‌ترین عدد صحیحی می‌رویم که بتوان زیرنوشت‌ها را بر آن تقسیم کرد.

(الف) برای C_2H_6، زیرنوشت‌های ۲ و ۶ بر ۲ قابل تقسیم‌اند. فرمول تجربی، CH_3 است.

(ب) برای $C_6H_{12}O_6$، زیرنوشت‌های ۶، ۱۲، و ۶ بر ۶ بخش‌پذیرند. فرمول تجربی، CH_2O است.

(ج) برای C_3H_8، عدد دیگری بجز ۱ نمی‌توان یافت که زیرنوشت‌ها بر آن بخش‌پذیر باشند. در نتیجه، فرمول مولکولی و فرمول تجربی یکسان‌اند، C_3H_8.

(د) برای C_4H_8، زیرنوشت‌های ۴، ۸ بر ۴ بخش‌پذیرند. فرمول تجربی، CH_2 است.

فرمول یک ترکیب یونی (مانند $BaCl_2$ یا NaCl)، ساده‌ترین نسبت یون‌های موجود در یک بلور از ترکیب را به دست می‌دهد. فرمول اغلب ترکیبات یونی، همان فرمول تجربی است.

امّا بسرخی ترکیبات یونی دارای فرمول‌های قابل کاهش به عبارت‌های ساده‌تری هستند. سدیم پروکسید، یکی از این ترکیبات است. در سدیم پروکسید دو یون سدیم (Na^+) به ازای یک یون پروکسید (O_2^{2-}) وجود دارد:

از $2Na^+$ و O_2^{2-}، Na_2O_2 به دست می‌آید

این فرمول قابل کاهش به NaO، یعنی فرمول تجربی سدیم پروکسید است. مشکل مربوط به سدیم پروکسید عمومیت ندارد. فرمول اغلب ترکیبات یونی، فرمول تجربی است و نسبت اتم‌ها را نمی‌توان کاهش داد.

۳ـ۳ وزن فرمولی، وزن مولکولی

وزن فرمولی یک جسم، مجموع اوزان اتمی تمام اتم‌های مربوط به فرمول آن جسم است. برای مثال، فرمول وزنی آب، H_2O، به صورت زیر قابل محاسبه است:

۲ (وزن اتمی H) = ۲ (۱٫۰۰) = ۲٫۰۰
وزن اتمی O = ۱۶٫۰۰
وزن فرمولی H_2O = ۱۸٫۰۰

وزن فرمولی $BaCl_2$ را به صورت زیر می‌توان به دست آورد:

$$\text{وزن فرمولی } BaCl_2 = \text{وزن اتمی Ba} + 2 \times (\text{وزن اتمی Cl}) = ۱۳۷٫۳ + ۲(۳۵٫۵) = ۲۰۸٫۳$$

اگر فرمول مورد نظر به یک جسم مولکولی مربوط باشد، فرمول مولکولی به شمار خواهد رفت، وزن فرمولی را می‌توان وزن مولکولی نیز نامید. **وزن مولکولی**، مجموع اوزان اتمی اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ یک مولکول است. وزن مولکولی H_2O نیز وزن فرمولی جسم است، زیرا فرمول بیانگر ترکیب اجزای سازندهٔ آب می‌باشد. ولی در مورد $BaCl_2$، وزن فرمولی، وزن مولکولی نیست، زیرا $BaCl_2$ یک ترکیب یونی است و مولکول $BaCl_2$ وجود خارجی ندارد. در فصل‌های بعدی، راه‌های تشخیص بین اجسام مولکولی و یونی را مورد بحث قرار خواهیم داد.

مثال ۳ـ۳

وزن فرمولی آلومینیم سولفات، $Al_2(SO_4)_3$ را حساب کنید. اوزان اتمی را با یک رقم اعشاری به کار ببرید.

حل

در یک فرمول شیمیایی، زیرنوشتی که بعد از پرانتز می‌آید، در تمام عبارت‌های داخل پرانتز ضرب می‌شود. در این مورد وزن فرمولی به قرار زیر است:

$$\text{وزن فرمولی } Al_2(SO_4)_3 = ۲(\text{وزن اتمی Al}) + ۳(\text{وزن اتمی S}) + ۱۲(\text{وزن اتمی O})$$
$$= ۲(۲۷٫۰) + ۳(۳۲٫۱) + ۱۲(۱۶٫۰) = ۳۴۲٫۳$$

روش دیگر برای حل این مسئله، جمع زدن وزن فرمولی یون‌های موجود در ترکیب است. وزن فرمولی یک یون را از اوزان اتمی اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن می‌توان به دست آورد. چون جرم الکترون بسیار کوچک است (۰٫۰۰۰۵۵ amu)، به خاطر الکترون‌های حذف شده و گرفته شده، تغییری در محاسبات نمی‌دهیم. به علاوه، هنگام بررسی یک ترکیب، شمار الکترون‌های حذف شده (به وسیله کاتیون‌ها) با شمار الکترون‌های گرفته شده (به وسیلهٔ آنیون‌ها) برابر است.

در این مثال، وزن فرمولی یون Al^{3+}، همان وزن اتمی Al، یعنی ۲۷٫۰ است. وزن فرمولی یون SO_4^{2-} نیز به قرار زیر است:

$$\text{وزن فرمولی } SO_4^{2-} = \text{وزن اتمی S} + ۴(\text{وزن اتمی O}) = ۳۲٫۱ + ۴(۱۶٫۰) = ۹۶٫۱$$

۳ـ۴ مول

چون وزن اتمی فلوئور ۱۹٫۰ و هیدروژن ۱٫۰ است، یک اتم فلوئور ۱۹ بار سنگین‌تر از یک اتم هیدروژن است.[1] اگر ۱۰۰ اتم فلوئور و ۱۰۰ اتم هیدروژن اختیار کنیم، جرم مجموعهٔ اتم‌های فلوئور ۱۹ برابر جرم مجموعهٔ اتم‌های هیدروژن خواهد بود. جرم نمونه‌هایی از فلوئور و هیدروژن که تعداد اتم‌هایشان مساوی باشد همین نسبت ۱۹٫۰ به ۱٫۰ را که نسبت اوزان اتمی دو عنصر است، به دست می‌آید.

اکنون فرض کنید که ۱۹٫۰ گرم فلوئور و ۱٫۰ گرم هیدروژن را که مقادیر عددی برابر با اوزان اتمی این عناصر است، داشته باشیم. چون نسبت جرم نمونه‌ها ۱۹٫۰ به ۱٫۰ است، تعداد اتم‌های موجود در هر دو نمونه باید یکسان باشد. در واقع، نمونه‌ای از هر عنصر که جرم آن بر حسب گرم از نظر عددی برابر با وزن اتمی آن عنصر باشد، دارای همان تعداد اتم است.

این عدد که به عدد آووگادرو[2] مشهور است، به افتخار آمادئو آووگادرو که برای نخستین بار رفتار گازها در واکنش‌های شیمیایی را بر مبنای تعداد مولکول‌های واکنش‌دهنده تفسیر کرد، نامگذاری شده است (بخش ۱۰ ـ ۸). مقدار تجربی عدد آووگادرو تا شش رقم بامعنی تعیین شده است:

$$۶٫۰۲۲۰۵ \times ۱۰^{۲۳}$$

مقداری از جسم که تعداد واحدهای بنیادی آن برابر با عدد آووگادرو باشد، یک **مول** (به صورت *mol* خلاصه می‌شود) است که یکی از واحدهای اصلی SI به شمار می‌رود. مول، به صورت مقداری از جسم تعریف می‌شود که تعداد اجزای بنیادی آن برابر با تعداد اتم‌های موجود در ۱۲g از ^{12}C است.

به این ترتیب نمونه‌ای از یک عنصر که جرم آن بر حسب گرم برابر با وزن اتمی آن عنصر باشد، شامل یک مول از اتم‌های آن عنصر است و تعداد اتم‌های آن برابر با عدد آووگادرو است. برای مثال، وزن اتمی بریلیم ۹٫۰۱۲۱۸ است. در نتیجه،

$$۹٫۰۱۲۱\text{g Be} = ۱\text{ mol Be} = ۶٫۰۲۲۰۵ \times ۱۰^{۲۳}\text{ اتم Be}$$

شمار اجزای یک مول، برابر با عدد آووگادرو است. تعداد مولکول‌های موجود در یک مول از یک ترکیب مولکولی، برابر با عدد آووگادرو است و جرم آن بر حسب گرم برابر با وزن مولکولی آن ترکیب می‌باشد. برای مثال، وزن مولکولی H_2O برابر با ۱۸٫۰۲ است. در نتیجه،

$$۱۸٫۰۲\text{g } H_2O = ۱\text{ mol } H_2O = ۶٫۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}\text{ مولکول } H_2O$$

چون یک مولکول آب دارای یک اتم O است، یک مول H_2O شامل دو مول از اتم‌های H و یک مول از اتم‌های O است.

هنگام به کار بردن نشانهٔ مول، باید نوع اجزای مورد سنجش

---

۱. برای ساده کردن بحث، اوزان اتمی تا یک رقم اعشاری گرد شده‌اند.

2. Avogadro's number

مشخص شود. یک مول از *اتم‌های* H شامل $۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ اتم H است که جرم آن تا سه رقم بامعنی برابر با ۱٫۰۱g می‌باشد؛ یک مول از *مولکول‌های* $H_۲$ شامل $۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ مولکول $H_۲$ و دارای جرم ۲٫۰۲g است. برای فلوئور،

$$۱ \text{ mol F} = ۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳} \text{ F اتم} = ۱۹٫۰ \text{ g فلوئور}$$

$$۱ \text{ mol } F_۲ = ۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳} \text{ } F_۲ \text{ مولکول} = ۳۸٫۰ \text{ g فلوئور}$$

راستی، در مورد ترکیبات یونی چه باید کرد؟ عبارت ۱ مول $BaCl_۲$، یعنی نمونه‌ای که به تعداد عدد آووگادرو واحد فرمولی از جزء مشخص‌شده را در بر داشته باشد. به این ترتیب، جرم ۱ مول $BaCl_۲$ برابر با ۲۰۸٫۳g یا وزن فرمولی $BaCl_۲$ است. در واقع، ۱ مول $BaCl_۲$ شامل مقادیر زیر است.

$$۱ \text{ mol } Ba^{۲+} = ۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳} \quad Ba^{۲+} \text{ یون} = ۱۳۷٫۳ \text{ g باریم}$$

$$۲ \text{ mol } Cl^- = ۲(۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳}) \text{ } Cl^- \text{ یون} = ۲(۳۵٫۵) \text{ g } Cl^- = ۷۱٫۰ \text{ g کلر}$$

که در جمع آنها، می‌شود

$$۱ \text{ mol } BaCl_۲ = ۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳} \text{ } BaCl_۲ \text{ واحد} = ۲۰۸٫۳ \text{ g } BaCl_۲$$

اوزان اتمی به کار رفته در حل یک مسئله را باید با ارقام با معنی واقعی بیان کرد. داده‌های مسئله تعیین‌کنندهٔ میزان دقت پاسخ مسئله است، و تعداد ارقام بامعنی در اوزان اتمی به کار رفته برای حل مسئله باید نشان دهندهٔ این دقت باشد.

توجه داشته باشید که وزن اتمی (و همچنین، وزن فرمولی) را می‌توان به سه شیوه بیان کرد.

۱ ـ وزن اتمی را می‌توان به صورت یک عدد ساده، بدون واحد، بیان کرد. در جدول‌های تناوبی و فهرست عناصر، اوزان اتمی به این ترتیب آمده است. به هر حال، وزن اتمی، نسبت جرم میانگین یک اتم از یک عنصر به یک دوازدهم جرم یک اتم از $^{۱۲}_{۶}C$ است. وزن اتمی سدیم ۲۲٫۹۸۹۷۷ است.

۲ ـ اگر جرم اتم $^{۱۲}_{۶}C$ را دقیقاً ۱۲u اختیار کنیم، در آن صورت جرم یک اتم میانگین از یک عنصر برابر با وزن اتمی بر حسب واحد جرم اتمی u خواهد بود. در نتیجه، جرم یک اتم سدیم برابر با وزن اتمی سدیم در واحد جرم اتمی است: ۲۲٫۹۸۹۷۷u.

۳ ـ جرم یک مول از یک عنصر برابر با وزن اتمی آن عنصر بر حسب گرم است. بنابراین وزن اتمی سدیم بر حسب گرم برابر با جرم یک مول سدیم است: ۲۲٫۹۸۹۷۷g/mol.

مثال ۳ ـ ۴

در ۱۲۵g آلومینیم چند مول Al وجود دارد؟

حل

توجه داشته باشید که پاسخ باید با سه رقم بامعنی بیان شود. ابتدا مسئله را به صورت زیر بیان می‌کنیم:

$$? \text{ mol Al} = ۱۲۵ \text{ g Al}$$

سپس، ضریب تبدیلی برای حل مسئله را به دست می‌آوریم. وزن اتمی Al با سه رقم بامعنی ۲۷٫۰ است؛ در نتیجه،

$$۱ \text{mol Al} = ۲۷٫۰ \text{ g Al}$$

ضریب تبدیلی را به کار می‌گیریم که دارای واحد *gAl* در مخرج باشد زیرا این واحد باید حذف شود:

$$? \text{ mol Al} = ۱۲۵ \text{g Al} \left(\frac{۱ \text{mol Al}}{۲۷٫۰ \text{g Al}} \right) = ۴٫۶۳ \text{mol Al}$$

مثال ۳ ـ ۵

چندگرم سولفوریک‌اسید، $H_۲SO_۴$، برابر با ۲۵۰۰٫۰mol از $H_۲SO_۴$ است؟

حل

پاسخ مسئله باید با چهار رقم بامعنی بیان شود. مسئله را به صورت زیر بیان می‌کنیم:

$$? \text{ g } H_۲SO_۴ = ۲۵۰۰٫۰ \text{mol } H_۲SO_۴$$

وزن فرمولی $H_۲SO_۴$ با چهار رقم بامعنی ۹۸٫۰۸ است؛ بنابراین،

$$۱ \text{ mol } H_۲SO_۴ = ۹۸٫۰۸ \text{g } H_۲SO_۴$$

واحدی که در این مسئله باید حذف شود، $mole\ H_۲SO_۴$ است، و این واحد باید در مخرج ضریب تبدیل باشد:

$$? \text{ g } H_۲SO_۴ = ۲۵۰۰٫۰ \text{ mol } H_۲SO_۴ \left(\frac{۹۸٫۰۸ \text{ g } H_۲SO_۴}{۱ \text{mol } H_۲SO_۴} \right) = ۲۴۵٫۲ \text{ g } H_۲SO_۴$$

مثال ۳ ـ ۶

تعداد اتم‌های کربن موجود در یک قیراط الماس را محاسبه کنید؟ الماس، کربن خالص است و یک قیراط دقیقاً ۰٫۲g است.

حل

چون مقدار ۰٫۲g که نتیجهٔ تعریف قیراط است، حقیقی می‌باشد، تعداد ارقام با معنی در پاسخ را محدود نمی‌کند. دقت پاسخ با مقدار ۱٫۰۰۰ قیراط که چهار رقم بامعنی دارد، محدود می‌شود. به این ترتیب، مسئله به صورت زیر در می‌آید:

$$? \text{ C اتم} = ۰٫۲۰۰۰ \text{g C}$$

ضریب تبدیلی را بر مبنای وزن اتمی C (با چهار رقم بامعنی) به‌دست می‌آوریم،

$$1\ mol\ C = 12{,}01\ g\ C$$

که با داشتن واحد $g\ C$ در مخرج باعث حذف این واحد شود:

$$?\ mol\ C = 0{,}200\ g\ C \left(\frac{1\ mol\ C}{12{,}01\ g\ C}\right) = 0{,}016\ mol\ C$$

تا اینجا محاسبات انجام شده، پاسخی بر حسب mol C به دست می‌دهد. با استفاده از عدد آووگادرو (تا چها رقم با معنی)، ضریب تبدیلی از فرمول زیر به دست می‌آوریم:

$$1\ mol\ C = 6{,}022 \times 10^{23}\ C\ atoms$$

با قرار دادن واحد mol C در مخرج، می‌توان آن را حذف کرد. با ضرب‌کردن در این ضریب، حل مسئله کامل می‌شود:

$$?\ C\ atoms = 0{,}2000\ mol\ C \left(\frac{6{,}022 \times 10^{23}\ C\ atoms}{1\ mol\ C}\right)\left(\frac{1\ mol\ C}{12{,}01\ g\ C}\right) = 1{,}003 \times 10^{22}\ C\ atoms$$

۳ ـ ۵ درصد اجزای ترکیبات

درصد اجزای یک ترکیب، به آسانی از فرمول آن ترکیب به دست می‌آید. زیرنوشت‌های فرمول، تعداد مول هر یک از عناصر در یک مول از ترکیب را به دست می‌دهند. از این اطلاعات و از اوزان اتمی عناصر می‌توان وزن هر عنصر در یک مول از ترکیب را بر حسب گرم به دست آورد. درصد هر عنصر، ۱۰۰ برابر جرم آن عنصر تقسیم بر جرم یک مول از ترکیب است. این فرایند در مثال ۳ ـ ۷ نمایش داده شده است.

مثال ۳ ـ ۷

درصد Fe در Fe_2O_3 را تا سه رقم بامعنی محاسبه کنید.

حل

یک مول Fe_2O_3 شامل

$$2\ mol\ Fe = 2(55{,}8)g\ Fe = 111{,}6g\ Fe$$
$$3\ mol\ O = 3\ (16{,}0)g\ O = 48{,}0g\ O$$
$$159{,}6g$$

مجموع جرم‌ها، یعنی ۱۵۹٫۶ g، جرم یک مول Fe_2O_3 است. درصد Fe در Fe_2O_3 برابر است با:

$$Fe_2O_3 \text{ در } Fe \qquad \frac{111{,}6g\ Fe}{159{,}6g\ Fe_2O_3} \times 100\% = 69{,}92\%\ Fe$$

درصداجزای یک ترکیب آلی، اغلب با آنالیز شیمیایی تعیین می‌شود. این داده‌ها، سپس، برای تعیین فرمول تجربی ترکیب به کار می‌روند. مثال ۳ ـ ۸ بیانگر روشی است که درآنالیز ترکیبات آلی به کار گرفته می‌شود.

مثال ۳ ـ ۸

نیکوتین ترکیبی شامل کربن، هیدروژن، و نیتروژن است. اگر نمونه‌ای به وزن ۲٫۵۰ g نیکوتین در مجاورت اکسیژن سوزانده شود، CO_2 ۶٫۷۸ g، H_2O ۱٫۹۴ g، و N_2 ۰٫۴۳۲ g از سوختن به دست می‌آید. درصد اجزای نیکوتین را به‌دست آورید.

حل

توجه داشته باشید که تا سه رقم بامعنی محاسبه خواهیم کرد. ابتدا مقدار هر یک از عناصر را در ۲٫۵۰ g نمونه نیکوتین محاسبه می‌کنیم. کربن موجود در نمونه، ۶٫۷۸ g CO_2 به دست داده است. در نتیجه، می‌توان پرسید،

$$?\ g\ C = 6{,}78\ g\ CO_2$$

ضریب تبدیلی که برای حل این مسئله به کار می‌بریم، نسبتی است که برای تعیین درصد C در CO_2 مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون یک مول CO_2 (۴۴٫۰ g CO_2) دارای یک مول C (۱۲٫۰ gC) است،

$$12g\ C \equiv 44{,}0g\ CO_2$$

ضریب تبدیل را به دست می‌آوریم (۱۲٫۰ g C / ۴۴٫۰ g CO_2):

$$?\ g\ C = 6{,}78\ g\ CO_2 \left(\frac{12{,}0\ g\ C}{44{,}0\ g\ CO_2}\right) = 1{,}85\ g\ C$$

همین روش برای پیدا کردن مقدار هیدروژن (بر حسب گرم) در نمونه نیکوتین به کار می‌رود. هیدروژن موجود در نیکوتین، ۱٫۹۴ g H_2O به دست داده است. در یک مول H_2O (۱۸٫۰ g) دو مول اتم H (۲٫۰۲ g) وجود دارد، در نتیجه:

$$?\ g\ H = 1{,}94\ g\ H_2O \left(\frac{2{,}02\ g\ H}{18{,}0\ g\ H_2O}\right) = 0{,}218\ g\ H$$

در سوختنی مانند سوختن نیکوتین، نیتروژن با اکسیژن ترکیب نمی‌شود بلکه به صورت N_2 متصاعد می‌گردد. در نتیجه، نمونه نیکوتین دارای ۰٫۴۳۲ g N بوده است.

مقدار هر یک عناصر در نمونه ۲٫۵۰ g را برای تعیین درصد اجزای نیکوتین به کار می‌بریم:

C در نیکوتین: $\frac{1{,}85\ g\ C}{2{,}50\ g\ \text{نیکوتین}} \times 100\% = 74\%$

H در نیکوتین: $\frac{0{,}218\ g\ H}{2{,}50\ g\ \text{نیکوتین}} \times 100\% = 8{,}72\%$

N در نیکوتین: $\frac{0{,}432\ g\ N}{2{,}50\ g\ \text{نیکوتین}} \times 100\% = 17{,}3\%$

برخی مسائل سادهٔ استوکیومتری را با استفاده از نسبت‌های به دست آمده از فرمول‌ها می‌توان حل کرد.

مثال ۳ ـ ۹

نقره سولفید، Ag_2S، در طبیعت به صورت کانهٔ آرژنیت وجود دارد که یکی ازکانه‌های اصلی نقره است. از ۲۵۰٫۰g نمونهٔ ناخالص‌کانه که حاوی ۷۰٫۰٪ Ag_2S می‌باشد، چندگرم نقره به‌صورت نظری به‌دست می‌آید؟

حل

مسئله را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{؟ g Ag} = \text{کانه ۲۵۰٫۰g}$$

از ۱۰۰g کانه، ۷۰٫۰g Ag_2S به دست می‌آید زیرا کانه شامل ۷۰٫۰٪ Ag_2S است. توجه کنید که عدد ۱۰۰، حقیقی است (از تعریف درصد برمی‌آید)؛ امّا عدد ۷۰٫۰ نیست. در نتیجه،

$$\text{کانه ۱۰۰g} \approx 70.0\text{g } Ag_2S$$

و ضریب (کانه ۱۰۰g / ۷۰٫۰g Ag_2S) را می‌توان به دست آورد:

$$\text{؟ g Ag} = \text{کانه ۲۵۰٫۰g} \left(\frac{70.0\text{g } Ag_2S}{\text{کانه } 100\text{g}}\right)$$

نشانه‌های کانه g حذف می‌شوند و تا اینجا پاسخ مسئله را بر حسب g Ag_2S در دست داریم. حل مسئله را با استفاده از همان ضریبی که برای پیدا کردن درصدنقره در Ag_2S به کار بردیم می‌توان کامل کرد. از فرمول Ag_2S می‌توان نتیجه گرفت،

$$2\text{mol Ag} \approx 1\text{mol } Ag_2S$$
$$2(107.9\text{g Ag}) \approx 247.9\text{g } Ag_2S$$
$$215.8\text{g Ag} \approx 247.9\text{g } Ag_2S$$

بنابراین،

$$\text{؟ g Ag} = \text{کانه ۲۵۰٫۰g} \left(\frac{70.0\text{g } Ag_2S}{\text{کانه } 100\text{g}}\right)\left(\frac{215.8\text{g Ag}}{247.9\text{g } Ag_2S}\right) = 152.3\text{g Ag}$$

۳ ـ ۶ به دست آوردن فرمول‌ها

اطلاعات به‌دست آمده از آنالیز شیمیایی یک ترکیب برای به‌دست آوردن فرمول تجربی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنالیز شیمیایی، نسبت جرمی عناصر تشکیل‌دهندهٔ ترکیب را به دست می‌دهد. ساده‌ترین فرمول یا فرمول تجربی، بیانگر نسبت اتمی ترکیب، یعنی شمار نسبی اتم‌های گوناگون موجود در ترکیب است.

چون یک مول از اتم‌های یک عنصر شامل همان تعداد از اتم‌های موجود در یک مول از سایر عناصر است، نسبت مول‌ها با نسبت اتم‌ها یکسان است. تعداد مول‌های هریک از عناصر موجود در نمونهٔ ترکیب را به‌آسانی می‌توان از جرم هر یک از عناصر به‌دست آورد. ساده‌ترین نسبت صحیح مول‌ها (که با نسبت اتم‌ها یکسان است) را برای نوشتن فرمول تجربی به‌کار می‌بریم. این روش در مثال‌های بعدی به‌کار رفته‌است.

مثال ۳ ـ ۱۰

فرمول تجربی ترکیبی شامل P ۴۳٫۶٪ و O ۵۶٫۴٪ را حساب کنید.

حل

برای آسان شدن کار، فرض می‌کنیم نمونه‌ای به وزن ۱۰۰٫۰g داریم. بر مبنای درصد اجزای این نمونه شامل ۴۳٫۶g P و ۵۶٫۴g O است.

سپس با استفاده از روش به‌کار رفته در مثال ۳ ـ ۴ تعداد اتم‌های P و اتم‌های O در این مقادیر را بر حسب مول پیدا می‌کنیم. وزن اتمی P و O تا سه رقم بامعنی، به ترتیب، ۳۱٫۰ و ۱۶٫۰ است:

$$\text{؟ mol P} = 43.6\text{g} \left(\frac{1\text{mol P}}{31.0\text{g P}}\right) = 1.41\text{mol P}$$

$$\text{؟ mol O} = 56.4\text{g O} \left(\frac{1\text{mol O}}{16.0\text{g O}}\right) = 3.53\text{mol O}$$

نسبت اتمی عناصر با نسبت مولی اتم‌ها یکسان است. در نتیجه، به ازای هر ۱٫۴۱ اتم P تعداد ۳٫۵۳ اتم O در ترکیب وجود دارد. امّا، برای نوشتن فرمول، باید ساده‌ترین نسبت عددی صحیح را داشته باشیم. با تقسیم دو مقدار بر مقدار کوچک‌تر، داریم،

$$\text{برای P،} \quad \frac{1.41}{1.41} = 1.00 \qquad \text{برای O،} \quad \frac{3.53}{1.41} = 2.50$$

البته، نسبت به دست آمده، عدد صحیح نیست، ولی با ضرب کردن هر یک از این مقادیر در ۲، می‌توان به جواب رسید. به این ترتیب ساده‌ترین نسبت عددی صحیح، ۲ به ۵، و فرمول تجربی P_2O_5 است.

مثال ۳ ـ ۱۱

کافئین در قهوه، چای، و دانه‌های کولا وجود دارد و محرک دستگاه عصبی مرکزی است. نمونه‌ای از کافئین خالص به وزن ۱٫۲۶۱g حاوی ۰٫۶۲۴g C، ۰٫۰۶۵g H، ۰٫۳۶۴g N، و ۰٫۲۰۸g O است. فرمول تجربی کافئین را به دست آورید.

حل

نتایج آنالیز شیمیایی، معمولاً به صورت درصد بیان می‌شوند. امّا هیچ نسبت جرمی را می‌توان به نسبت مولی تبدیل کرد و به این صورت، برای به دست آوردن یک فرمول تجربی مورد استفاده قرار داد. برای به دست آوردن فرمول تجربی، نیازی به تبدیل داده‌های این مثال نداریم. تعداد مول‌های هر یک از عناصر موجود در نمونه را به‌دست می‌آوریم:

$$\text{؟ mol C} = 0.624\text{g C} \left(\frac{1\text{mol C}}{12.0\text{g C}}\right) = 0.052\text{mol C}$$

$$\text{؟ mol H} = 0.065\text{g H} \left(\frac{1\text{mol H}}{1.0\text{g H}}\right) = 0.065\text{mol H}$$

$$\text{؟ mol N} = 0.364\text{g N} \left(\frac{1\text{mol N}}{14.0\text{g N}}\right) = 0.026\text{mol N}$$

$$\text{؟ mol O} = 0.208\text{g O} \left(\frac{1\text{mol O}}{16.0\text{g O}}\right) = 0.013\text{mol O}$$

بخش کردن هر یک از این مقادیر بر کوچک‌ترین مقدار (یعنی ۰٫۱۳۰) نسبت زیر را به دست خواهد داد.

$$۴\,mol\,C : ۵\,mol\,H : ۲\,mol\,N = ۱\,mol\,O$$

در نتیجه فرمول تجربی کافئین، $C_۴H_۵N_۲O$ است.

روش به دست آوردن فرمول تجربی

۱. اگر داده‌های مسئله بر مبنای درصد اجزاء باشد، محاسبات را بر مبنای ۱۰۰ g از نمونهٔ ترکیب انجام دهید. دراین صورت، مقدار موجود از هر عنصر در نمونه، برحسب گرم، ازنظر عددی، با درصد آن عنصر در نمونه برابر خواهد بود. در صورتی که داده‌های مسئله مقدار هر یک از عناصر موجود در نمونه را بر حسب گرم به دست دهد، نیازی به پیدا کردن درصد نخواهد بود.

۲. مقدار هر عنصر بر حسب گرم را به تعداد اتم‌های آن عنصر بر حسب مول تبدیل کنید. ضرایب تبدیل مورد نیاز از این واقعیت تجربی استنتاج می‌شوند که یک مول از اتم‌های یک عنصر (صورت) برابر با وزن اتمی بر حسب گرم (مخرج) است.

۳. مقادیر به دست آمده در مرحلهٔ ۲ را بر کوچک‌ترین مقدار تقسیم کنید. در صورتی که اعداد به دست آمده از این راه عدد صحیح نباشند، هر یک از آنها را در عدد مشترکی ضرب کنید تا به اعداد صحیح تبدیل شوند.

۴. نسبت مولی اتم‌ها برابر با نسبت اتم‌هاست. اعداد صحیح به‌دست‌آمده در مرحله ۳، زیر نوشت‌های فرمول تجربی هستند.

در صورت معلوم بودن وزن مولکولی ترکیب، فرمول مولکولی آن را می‌توان از فرمول تجربی به دست آورد.

مثال ۳ـ۱۲

فرمول مولکولی یک اکسید فسفر یا فرمول تجربی $P_۲O_۵$ (به دست آمده از مثال ۳ـ۱۰)، را، در صورتی که وزن مولکولی این ترکیب ۲۸۴ باشد، پیدا کنید.

حل

مقدار به دست آمده با جمع کردن اوزان اتمی نشان داده شده در فرمول تجربی $P_۲O_۵$ برابر با ۱۴۲ است. اگر وزن مولکولی واقعی را بر این وزن فرمولی تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{۲۸۴}{۱۴۲} = ۲$$

به این ترتیب، تعداد اتم‌های مشخص شده در فرمول تجربی، دو برابر است. فرمول مولکولی جسم $P_۴O_{۱۰}$ می‌باشد.

مثال ۳ـ۱۳

وزن مولکولی کافئین برابر ۱۹۴ و فرمول تجربی آن $C_۴H_۵N_۲O$ است. فرمول مولکولی کافئین را به‌دست آورید.

حل

وزن فرمولی $C_۴H_۵N_۲O$ برابر ۹۷ است. چون وزن مولکولی دو برابر این مقدار می‌باشد، فرمول مولکولی کافئین $C_۸H_{۱۰}N_۴O_۲$ است.

مثال ۳ـ۱۴

قند سادهٔ گلوکز، یکی از مواد موجود در خون و سیال‌های بافتی انسان و منبع اصلی انرژی برای سلول‌هاست. این ترکیب شامل ۴۰٪ C، ۶٫۷۳٪ H و ۵۳٫۳٪ O و دارای وزن مولکولی ۱۸۰٫۲ است. فرمول مولکولی گلوکز را به دست آورید.

حل

مناسب‌ترین راه برای حل این مسئله محاسبهٔ مقدار مولی عناصر موجود در یک مول گلوکز است. ابتدا مقدار مولی هر یک از عناصر در یک مول گلوکز (۱۸۰٫۲g) را به دست می‌آوریم. چون این جسم شامل ۴۰٫۰٪C است، در نتیجه در ۱۰۰g گلوکز مقدار ۴۰٫۰g C وجود دارد، و ضریب (گلوکز g ۱۰۰ / C g ۴۰٫۰) را به کار می‌بریم:

$$؟\,g\,C = ۱\,mol\ \text{گلوکز} \left(\frac{۱۸۰٫۲\,g\ \text{گلوکز}}{۱\,mol\ \text{گلوکز}}\right)\left(\frac{۴۰٫۰\,g\,C}{۱۰۰\,g\ \text{گلوکز}}\right) = ۷۲٫۱\,g\,C$$

به همین روال، مقادیر H و O را نیز بر حسب گرم به دست می‌آوریم:

$$؟\,g\,H = ۱\,mol\ \text{گلوکز} \left(\frac{۱۸۰٫۲\,g\ \text{گلوکز}}{۱\,mol\ \text{گلوکز}}\right)\left(\frac{۶٫۷۳\,g\,H}{۱۰۰\,g\ \text{گلوکز}}\right) = ۱۲٫۱\,g\,H$$

$$؟\,g\,O = ۱\,mol\ \text{گلوکز} \left(\frac{۱۸۰٫۲\,g\ \text{گلوکز}}{۱\,mol\ \text{گلوکز}}\right)\left(\frac{۵۳٫۳\,g\,O}{۱۰۰\,g\ \text{گلوکز}}\right) = ۹۶٫۰\,g\,O$$

سپس، مقدار مولی اتم‌های مربوط به هریک از ارقام بالا را به‌دست می‌آوریم:

$$؟\,mol\,C = ۷۲٫۱\,g\,C \left(\frac{۱\,mol\,C}{۱۲٫۰\,g\,C}\right) = ۶٫۰\,mol\,C$$

$$؟\,mol\,H = ۱۲٫۱\,g\,H \left(\frac{۱\,mol\,H}{۱٫۰\,g\,H}\right) = ۱۲٫۰\,mol\,H$$

$$؟\,mol\,O = ۹۶٫۰\,g\,O \left(\frac{۱\,mol\,O}{۱۶٫۰\,g\,O}\right) = ۶٫۰\,mol\,C$$

مقادیر به دست آمده تعداد مولی اتم‌های هر یک از عناصر در یک مول از مولکول‌های گلوکز است. این ارقام، همچنین، تعداد اتم‌های هر یک از عناصر در مولکول گلوکز را نشان می‌دهند. به این ترتیب فرمول مولکولی گلوکز $C_۶H_{۱۲}O_۶$ است.

این مسئله را با روش دیگری نیز می‌توان حلّ کرد. ابتدا، با استفاده از داده‌های آنالیز شیمیایی، فرمول تجربی (یعنی $CH_۲O$) را به‌دست آورید و سپس با استفاده از وزن مولکولی، فرمول مولکولی را محاسبه کنید.

چکیدهٔ مطالب

استوکیومتری یک ترکیب شیمیایی بر *فرمول شیمیایی* آن ترکیب استوار است. اگر ترکیب از *مولکول* تشکیل شده باشد، *فرمول مولکولی* تعداد دقیق هر یک از اتم‌های موجود در مولکول را به دست می‌دهد. اگر ترکیب از یون تشکیل شده باشد، فرمول را با استفاده از ساده‌ترین نسبت عددی صحیح یون‌های موجود در بلور ترکیب می‌توان نوشت.

تعداد اتم‌های موجود در یک *مول* از یک عنصر برابر با عدد آووگادرو است و جرم آنها برابر با وزن اتمی عنصر بر حسب گرم است. تعداد واحدهای فرمولی موجود در یک مول ترکیب برابر با عدد آووگادرو و جرم آن برابر با *وزن فرمولی* (یا *وزن مولکولی*، در صورت مولکولی بودن ترکیب) ترکیب بر حسب‌گرم است. با تفسیر فرمول ترکیبات بر مبنای مول، درصد اجزای ترکیب را می‌توان محاسبه و سایر مسائل سادهٔ استوکیومتری را حل کرد.

اگر درصد اجزای یک ترکیب با روش تجربی تعیین شده باشد، مفهوم مول را برای به دست آوردن *فرمول تجربی* آن ترکیب به کار ببرید. فرمول تجربی، فرمول نوشته شده با ساده‌ترین نسبت عددی اتم‌هاست. فرمول مولکولی یک ترکیب مولکولی را از فرمول تجربی آن ترکیب می‌توان به دست آورد، به شرطی که وزن مولکولی ترکیب معلوم باشد.

مفاهیم کلیدی

Anion آنیون (بخش ۳ ـ ۱). یون دارای یک بار منفی.

Avogadro's number عدد آووگادرو (بخش ۳ ـ ۴). شمار اجزای موجود در یک مول: $۶٫۰۲۲۰۵ \times ۱۰^{۲۳}$.

Cation کاتیون (بخش ۳ ـ ۱). یون دارای یک بار مثبت.

Chemical formula فرمول شیمیایی (بخش ۳ ـ ۱). نمایش ترکیب با استفاده از نمادهای شیمیایی برای نشان‌دادن نوع و تعداد نسبی اتم‌های موجود در یکا ترکیب.

Diatomic molecule مولکول دو اتمی (بخش ۳ ـ ۱). مولکولی که از دو اتم تشکیل شده باشد.

Empirical formula فرمول تجربی (بخش ۳ ـ ۲). فرمول شیمیایی یک ترکیب که بر مبنای ساده‌ترین نسبت عددی اتم‌های موجود در یک ترکیب نوشته می‌شود؛ **فرمول ساده** نیز نامیده می‌شود.

Formula weight وزن فرمولی (بخش ۳ ـ ۳). مجموع اوزان اتمی اتم‌های موجود در یک فرمول.

Ion یون (بخش ۳ ـ ۱). ذره‌ای که از یک اتم یا از گروهی از اتم‌ها که دارای بار مثبت یا منفی باشند تشکیل شده است.

Mole مول (بخش ۳ ـ ۴). مقداری از جسم که تعداد اجزای بنیادی آن برابر با تعداد اتم‌های موجود در gC ۱۲٫۰ باشد؛ مجموعه‌ای از واحدها به تعداد عدد آووگادرو.

Molecular formula فرمول مولکولی (بخش ۳ ـ ۱). فرمول شیمیایی یک جسم مولکولی که تعداد و نوع هر یک از اتم‌های موجود در یک مولکول از ماده را به دست می‌دهد.

Molecular weight وزن مولکولی (بخش ۳ ـ ۳). مجموع اوزان اتمی اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ یک مولکول.

Molecule مولکول (بخش ۳ ـ ۱). ذرّه تشکیل شده از دو یا چند اتم که به صورت محکمی به یکدیگر متصل شده باشند.

Monoatomic ion یون یک‌اتمی (بخش ۳ ـ ۱). یون تشکیل شده از یک اتم.

Polyatomic ion یون چند اتمی (بخش ۳ ـ ۱). یون تشکیل‌شده از دو یا چند اتم.

Stoichiometry استوکیومتری (مقدمه). رابطهٔ کمّی بین عناصر تشکیل دهندهٔ یک ترکیب و بین عناصر و ترکیباتی که در یک واکنش‌شیمیایی در گیرند.

Structural formula فرمول ساختاری (بخش ۳ ـ ۱). فرمول شیمیایی یک مولکول که در آن نماد جداگانه‌ای برای نشان‌دادن هر اتم به کار می‌رود، و چگونگی اتصال این اتم‌ها به یکدیگر نیز با استفاده از خط‌های تیرهٔ کوتاه نمایش داده می‌شود.

مسائل*

فرمول‌ها، مولکول‌ها و یون‌ها

۳ ـ ۱ مفاهیم زیر را با هم مقایسه کنید: (الف) فرمول تجربی، فرمول مولکولی؛ (ب) وزن مولکولی، وزن فرمولی؛ (ج) فرمول مولکولی، فرمول ساختاری.

۳ ـ ۲ مفاهیم زیر را با هم مقایسه کنید: (الف) کاتیون، آنیون؛ (ب) یون تک اتمی، یون چند اتمی؛ (ج) SO_4^{2-} ، SO_3^{2-}.

۳ ـ ۳ در هر واحد فرمولی از ترکیبات زیر چند اتم و چند یون وجود دارد؟ (الف) Na_2O؛ (ب) $CrCl_3$؛ (ج) $CuSO_4$؛ (د) $Ba(OH)_2$.

۳ ـ ۴ در هر واحد فرمولی از ترکیبات زیر چند اتم و چند یون وجود دارد؟ (الف) $ZnCl_2$؛ (ب) $Ca_3(PO_4)_2$؛ (ج) Na_2CO_3؛ (د) KOH.

۳ ـ ۵ فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون منیزیم، Mg^{2+}، با هر یک از یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون کلرید Cl^-؛ (ب) یون سولفات، SO_4^{2-}؛ (ج) یون نیترید، N^{3-}.

۳ ـ ۶ فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون آلومینیم، Al^{3+}، با هر یک از یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون فلوئورید، F^-؛ (ب) یون اکسید، O^{2-}؛ (ج) یون فسفات، PO_4^{3-}.

۳ ـ ۷ فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون کربنات، CO_3^{2-}، با هر یک از یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون پتاسیم، K^+؛ (ب) یون کلسیم، Ca^{2+}؛ (ج) یون آهن III، Fe^{3+}.

۳ ـ ۸ فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون سولفات، SO_4^{2-}، با هر یک از یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون نقره، Ag^+؛ (ب) یون نیکل (II)، Ni^{2+}؛ (ج) یون کرم (III)، Cr^{3+}.

۳ ـ ۹ فرمول تجربی مربوط به هر یک از فرمول‌های مولکولی زیر را تعیین کنید: (الف) B_4H_{10}؛ (ب) C_6H_{18}؛ (ج) S_2F_{10}؛ (د) I_4O_5؛ (ه) $H_4P_2O_{12}$.

۳ ـ ۱۰ فرمول تجربی مربوط به هر یک از فرمول‌های مولکولی زیر را تعیین کنید: (الف) P_4S_{10}؛ (ب) $Fe_2(CO)_{12}$؛ (ج) $H_8P_4O_8$؛ (د) $B_{12}H_{12}$؛ (ه) $P_4N_3Cl_3$.

مول، عدد آووگادرو

۳ ـ ۱۱ در $۷۵٫۰ g$ از ترکیبات زیر چند مول و چند مولکول وجود دارد؟ (الف) H_2؛ (ب) H_2O؛ (ج) H_2SO_4.

* مسائل مشکل با ستاره مشخص شده‌اند. پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

۳ ـ ۱۲ در ۵۰٫۰g از ترکیبات زیر چند مول و چند مولکول وجود دارد؟
(الف) Cl_2؛ (ب) HCl؛ (ج) CCl_4.

۳ ـ ۱۳ در هر یک از نمونه‌هایی که در مسئله ۳ ـ ۱۱ آمده است چند اتم وجود دارد؟

۳ ـ ۱۴ در هر یک از نمونه‌هایی که در مسئله ۳ ـ ۱۲ آمده است چند اتم وجود دارد؟

۳ ـ ۱۵ جرم (بر حسب گرم) هر یک از اجزای زیر را تعیین کنید.
(الف) $3{,}00 \times 10^{+0}$ مولکول O_2؛ (ب) $3{,}00 \times 10^{-7}$ مول O_2.

۳ ـ ۱۶ جرم (بر حسب گرم) هر یک از اجزای زیر را تعیین کنید. (الف) $5{,}00 \times 10^{25}$ مولکول CO_2، $5{,}00 \times 10^{-7}$ مول CO_2.

۳ ـ ۱۷ کبالت طبیعی تنها یک ایزوتوپ دارد. جرم یک اتم از این ایزوتوپ کبالت را (بر حسب گرم) تا چهار رقم بامعنی تعیین کنید.

۳ ـ ۱۸ فسفر طبیعی تنها یک ایزوتوپ دارد. جرم یک اتم از این ایزوتوپ فسفر را (بر حسب گرم) تا چهار رقم بامعنی تعیین کنید.

۳ ـ ۱۹ عنصر X تنها یک ایزوتوپ در طبیعت دارد. جرم یک اتم از این ایزوتوپ $2{,}107 \times 10^{-22}g$ است. وزن اتمی عنصر X چقدر است؟

۳ ـ ۲۰ عنصر Y تنها یک ایزوتوپ در طبیعت دارد. جرم یک اتم از این ایزوتوپ $9{,}123 \times 10^{-23}g$ است. وزن اتمی عنصر Y چقدر است؟

۳ ـ ۲۱ استاندارد بین‌المللی کیلوگرم استوانهٔ ساخته شده از آلیاژی شامل ۹۰٫۰۰۰٪ پلاتین و ۱۰٫۰۰۰٪ ایریدیم است. (الف) در این سیلندر چند مول Pt و چند مول Ir وجود دارد؟ (ب) چند اتم از هر نوع از این عناصر در این استوانه وجود دارد؟

۳ ـ ۲۲ نقرهٔ استرلینگ شامل ۹۲٫۵٪ Ag و ۷٫۵٪ Cu است. در این آلیاژ در ازای هر اتم Cu چند اتم Ag وجود دارد؟

۳ ـ ۲۳ (الف) جرم یک مول ^{12}C چقدر است؟ (بر حسب گرم). (ب) جرم یک اتم ^{12}C (بر حسب گرم) چقدر است؟ هم‌ارز گرمی یک واحد جرم اتمی (u۱٫۰۰۰) تا چهار رقم بامعنی چقدر است؟

۳ ـ ۲۴ یک فاراده (F) یعنی مقدار بار هم‌ارز با یک مول الکترون، برابر با ۹۶٬۴۸۵C است. با استفاده از این مقدار بار یک الکترون را (بر حسب کولن) تعیین کنید.

۳ ـ ۲۵* فاصلهٔ زمین از خورشید $1{,}496 \times 10^{8}km$ است. فرض کنید اتم‌های موجود در ۱٬۰۰۰ مول، تا حد کره‌هایی به قطر ۱٫۰۰۰cm بزرگ شوند. اگر این کره‌ها در یک خط طوری کنار هم قرار بگیرند که با یکدیگر تماس داشته باشند، آیا این خط به خورشید خواهد رسید؟

۳ ـ ۲۶* مساحت قارهٔ امریکای شمالی $2{,}240 \times 10^{7}km^2$ است. اگر این قاره را به اندازهٔ عدد آووگادرو به مربع‌هایی تقسیم کنیم، طول هر یک از این مربع‌ها چقدر خواهد شد؟ پاسخ خود را بر حسب واحد SI که کوچک‌ترین رقم بزرگ‌تر از ۱ را به دست می‌دهد بیان کنید.

ترکیب درصد ترکیبات

۳ ـ ۲۷ فرمول‌های زیر را بر حسب افزایش درصد گوگرد مرتب کنید:
(الف) $CaSO_4$؛ (ب) SO_2؛ (ج) H_2S؛ (د) $Na_2S_2O_3$.

۳ ـ ۲۸ فرمول‌های زیر را بر حسب افزایش درصد نیتروژن مرتب کنید:
(الف) $NaNO_3$؛ (ب) NH_3؛ (ج) NO_2؛ (د) NH_4NO_3.

۳ ـ ۲۹ درصد آرسنیک در ترکیب As_4S_6 تا چهار رقم بامعنی چقدر است؟

۳ ـ ۳۰ درصد سریم در ترکیب Ce_2O_3 تا چهار رقم بامعنی چقدر است؟

۳ ـ ۳۱ درصد اکسیژن در ترکیب $KClO_4$ تا چهار رقم بامعنی چقدر است؟

۳ ـ ۳۲ درصد کروم در ترکیب $BaCrO_4$ تا چهار رقم بامعنی چقدر است؟

۳ ـ ۳۳ جرم سرب حاصل از ۱۵٫۰kg سنگ معدن گالنا که شامل ۷۲٫۰٪ PbS، را به صورت نظری محاسبه کنید.

۳ ـ ۳۴ جرم منگنز حاصل از ۲۵٫۰kg پیرولوزیت که MnO_2 ۶۵٫۰٪ است به صورت نظری چقدر است؟

۳ ـ ۳۵ برای تهیهٔ P_4O_6 ۶٫۰۰۰g چند گرم فسفر و اکسیژن به صورت نظری لازم است؟

۳ ـ ۳۶ برای تهیهٔ S_4Cl_2 ۵٫۰۰۰g چند گرم گوگرد و کلر به صورت نظری لازم است؟

۳ ـ ۳۷ سینامالدهید، ترکیب موجود در روغن دارچین، شامل کربن، هیدروژن و اکسیژن است. از سوختن یک نمونهٔ ۵٫۰۰g گرمی از این ترکیب ۱۹٫۴۹g CO_2 و ۳٫۵۴g H_2O به دست می‌آید. ترکیب درصد سینامالدهید چقدر است؟

۳ ـ ۳۸ پلاستیک مشتق از کاتیون‌های متیل متاکریلات شامل کربن، هیدروژن و اکسیژن است. از سوختن یک نمونهٔ ۱۲٫۶۲g گرمی از این پلاستیک ۲۷٫۷۳g CO_2 و ۹٫۰۹g H_2O به‌دست می‌آید. ترکیب درصد این پلاستیک چقدر است؟

۳ ـ ۳۹* سنگ معدن هماتیت، Fe_2O_3 است. سنگ معدن هماتیت بجز Fe_2O_3، شامل ماده‌ای ناخواسته به نام کانگ نیز می‌باشد. اگر ۵٫۰۰۰kg از این سنگ معدن شامل 2٫۷۸۴۵kg Fe باشد، چند درصد این سنگ معدن Fe_2O_3 است؟

۳ ـ ۴۰* ترکیبات گوگرددار جزء نامطلوب موجود در اغلب روغن‌هاست. مقدار گوگرد یک روغن را می‌توان با اکسیده‌کردن گوگرد به SO_4^{2-} و رسوب یون سولفات به صورت $BaSO_4$ که می‌توان آن را جمع‌آوری، خشک و وزن کرد، تعیین می‌شود. از ۶٫۳۰۰g نمونه از یک روغن، ۱٫۰۶۳g $BaSO_4$ به‌دست آمده است. درصد گوگرد در این روغن چقدر است؟

تعیین فرمول

۳ ـ ۴۱ فرمول مولکولی مربوط به هر یک از فرمول‌های تجربی یا وزن فرمولی مربوط را تعیین کنید: (الف) SNH_4 ۱۸۸٫۳۲؛ (ب) PF_2 ۱۳۷٫۹۴؛ (ج) CH_2، ۱۵٫۰۷۰؛ (د) NO_2، ۱٫۰۰۷؛ (ه) C_2NH_4، ۱۵٫۰۲۰.

۳ ـ ۴۲ فرمول مولکولی مربوط به هر یک از فرمول‌های تجربی یا وزن فرمولی مربوط را تعیین کنید: (الف) $SOCl_2$، ۱۱۸٫۹۶؛ (ب) PN_2H_4، ۶۰٫۰۴۰ و HCO_2، ۹۰٫۰۲۱؛ (ج) C_2H_4Cl، ۱۴۷٫۰۰؛ (د) B_3H_6، ۲۷٫۶۶؛ (ه) C_2H_3، ۲۷٫۰۶۲.

۳ ـ ۴۳* ترکیبی شامل ۳۱٫۲۹٪ کلسیم، ۱۸٫۷۵٪ کربن و ۹۶٫۹۶٪ اکسیژن است. فرمول تجربی این ترکیب چیست؟

۳ ـ ۴۴ ترکیبی شامل ۲۲٫۸۵٪ سدیم، ۲۱٫۴۹٪ بور، و ۵۵٫۶۶٪ اکسیژن است. فرمول تجربی این ترکیب چیست؟

۳ ـ ۴۵ میریستیک اسید حاصل از روغن نارگیل، شامل ۷۳٫۶۱٪ کربن، ۱۲٫۳۸٪ هیدروژن، و ۱۴٫۰۱٪ اکسیژن است. فرمول تجربی میریستیک اسید چیست؟

۳ ـ ۴۶ آسپیرین شامل ۶۰٫۰۰٪ کربن، ۴٫۴۸٪ هیدروژن، و ۳۵٫۵۲٪ اکسیژن است. فرمول تجربی آسپیرین چیست؟

۳ ـ ۴۷ وانیلین، عامل خوشبوکنندهٔ فعال موجود در دانهٔ وانیل، شامل ۶۳٫۱۴٪ کربن، ۵٫۲۱٪ هیدروژن و ۳۱٫۵۵٪ اکسیژن است. فرمول تجربی وانیلین چیست؟

۳ ـ ۴۸ اکسوریک‌اسید، ویتامین C، شامل ۴۰٫۹۱٪ کربن، ۴٫۵۹٪ هیدروژن، و ۵۴٫۵۰٪ اکسیژن است. فرمول تجربی اکسوریک‌اسید چیست؟

۳ ـ ۴۹ ترکیبات باربیتورات مشتق از باربیتوریک‌اسید به عنوان داروی آرام‌بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند. باربیتوریک‌اسید شامل ۳۷٫۵۰٪ کربن، ۳٫۱۵٪ هیدروژن، ۲۱٫۸۷٪ نیتروژن، و ۴۷٫۲۱٪ اکسیژن است. فرمول تجربی باربیتوریک اسید چیست؟

۳ ـ ۵۰* اتیلن دی آمین تترااستیک‌اسید (EDTA) شامل ۴۱٫۰۹٪ کربن، ۵٫۵۳٪ هیدروژن، ۹٫۵۸٪ نیتروژن، و ۴۳٫۸۰٪ اکسیژن است. فرمول تجربی EDTA چیست؟

۳ ـ ۵۱ وزن مولکولی ساخارین ۱۸۳٫۱۸ است و این ترکیب شامل ۴۵٫۹۰٪ کربن، ۲٫۷۵٪ هیدروژن، ۲۶٫۲۰٪ اکسیژن، ۱۷٫۵۰٪ گوگرد، و

۶۵ر۷٪ نیتروژن است. فرمول مولکولی ساختاری چیست؟

۳ ـ ۵۲ وزن‌مولکولی‌کلسترول ۳۸۶ است و این‌ترکیب‌شامل ۸۳٫۹٪ کربن، ۱۲ر۰٪ هیدروژن، و ۴ر۱٪ اکسیژن است. فرمول مولکولی کلسترول چیست؟

۳ ـ ۵۳ در اثر سوختن نمونه‌ای از یک ترکیب که فقط شامل کربن، هیدروژن و نیتروژن است ۷٫۹۲۲g CO_2، ۴ر۳۲۵g H_2O، و ۸۴۰ر۰g N_2 به دست آمده است. (الف) این ترکیب شامل چند مول از اتم‌های کربن، اتم‌های هیدروژن و اتم‌های نیتروژن است؟ (ب) فرمول تجربی این ترکیب چیست؟ (ج) جرم نمونهٔ سوزانده‌شده چقدر است؟

۳ ـ ۵۴ از سوختن ترکیبی شامل کربن، هیدروژن و گوگرد، مقدار ۹ر۶۸۲g CO_2، ۴ر۹۵۶g H_2O، و ۳ر۵۲۳g SO_2 به دست آمده است. (الف) مقدار اتم‌های C، H و S موجود در نمونه را بر حسب مول محاسبه کنید. (ب) فرمول تجربی این ترکیب چیست؟ (ج) جرم نمونهٔ سوزانده شده چقدر بوده است؟

۳ ـ ۵۵ هموگلوبین خون شامل ۳۴۲ر۰٪ Fe است. اگر هر واحد فرمولی هموگلوبین شامل چهار یون Fe^{2+} باشد، وزن فرمولی هموگلوبین چیست؟

۳ ـ ۵۶ کلروفیل a، مادهٔ سبزرنگ گیاهان، شامل ۲٫۷۲٪ Mg است. اگر هر واحد فرمولی کلروفیل a دارای یک یون Mg^{2+} باشد، وزن فرمولی کلروفیل a چقدر است؟

***۳ ـ ۵۷** در اثر گرم کردن 6ر۶۵g از $NiSO_4 \cdot xH_2O$، $NiSO_4$ آبدار در خلأ، آب خارج شده و ۳ر۶۷g $NiSO_4$ خشک بر جای می‌ماند. مقدار x در فرمول $NiSO_4 \cdot xH_2O$ چقدر است؟

***۳ ـ ۵۸** در اثر گرم کردن ۷ر۵۰g از $BeSO_4 \cdot xH_2O$، $BeSO_4$ آبدار در خلأ، آب خارج شده و ۴ر۴۵g $BeSO_4$ خشک بر جای می‌ماند. مقدار x در فرمول $BeSO_4 \cdot xH_2O$ چقدر است؟

***۳ ـ ۵۹** در آنالیز ۸ر۶۱g نمونه از یک ترکیب که شامل کروم و کلر است، کلر موجود در آن به AgCl تبدیل می‌شود. در این فرایند ۲۰ر۰g AgCl به دست می‌آید. فرمول تجربی کروم کلرید چیست؟

***۳ ـ ۶۰** در آنالیز 5ر۲۱g نمونه از ترکیبی که شامل قلع و کلر است، کلر موجود در آن به AgCl تبدیل می‌شود. در این فرایند ۱۱ر۴۷g AgCl به دست می‌آید. فرمول تجربی کلرید قلع چیست؟

***۳ ـ ۶۱** عنصر X با نیتروژن ترکیبی به فرمول X_2N تشکیل می‌دهد. اگر ۴۰ر۲۱٪ این ترکیب نیتروژن باشد، وزن اتمی X چقدر است؟

***۳ ـ ۶۲** عنصر X با کربن ترکیبی به فرمول XC_4 تشکیل می‌دهد. اگر ۳۷ر۴۸٪ این ترکیب کربن باشد، وزن اتمی X چقدر است؟

مسائل دسته‌بندی‌نشده

۳ ـ ۶۳ نام و فرمول ۷ عنصری را که در طبیعت به صورت مولکول‌های دو اتمی یافت می‌شوند را بنویسید.

۳ ـ ۶۴ پتاسیم سیانید، KCN، به شدت سمّی است. دوزکشندهٔ آن تقریباً 700mg به ازای هر کیلوگرم وزن بدن است. (الف) چند میلی‌گرم KCN برای یک شخص ۷۰ر۰ کیلوگرمی کشنده است؟ (ب) در این مقدار KCN چند مول KCN وجود دارد؟ (ج) این ترکیب شامل چند واحد فرمولی KCN است؟

۳ ـ ۶۵ در هر واحد فرمولی از سولفید عنصر A، سه اتم گوگرد وجود دارد و شامل ۴۳٫۷۱٪ گوگرد است. وزن فرمولی این ترکیب چقدر است؟

۳ ـ ۶۶ اگر فرمول ترکیب مذکور در مسئلهٔ ۳ ـ ۶۵، A_2S_3 باشد، وزن اتمی A چقدر است. در صورتی که x برابر با (الف) ۱؛ (ب) ۲؛ (ج) ۳؛ (د) ۴ باشد؟

۳ ـ ۶۷ ماسکون مادهٔ خوشبوی موجود در مُشک، دارای فرمول مولکولی $C_{16}H_{30}O$ است. ترکیب درصد ماسکون چیست؟

۳ ـ ۶۸ یک نمونهٔ ۵ر۰۰۰g ماسکون (مسئله ۳ ـ ۶۷ را ببینید) در اکسیژن سوزانده شده است. (الف) اگر تمام کربن موجود در این ترکیب به CO_2 تبدیل شود، چه مقدار CO_2 به دست می‌آید؟ (ب) اگر تمام هیدروژن آن به H_2O تبدیل شود، چه مقدار H_2O به دست می‌آید؟

۳ ـ ۶۹ فرمول تجربی ترکیبی C_2H_2O یا $C_2H_2O_2$ است. اگر این ترکیب ۶۵ر۴٪ کربن داشته باشد کدامیک از این دو فرمول صحیح است؟

۳ ـ ۷۰ متیل سالیسیلات موجود در روغن بید شامل ۶۳ر۱۴٪ کربن، ۵ر۳۱٪ هیدروژن، و ۵۵ر۳۱٪ اکسیژن است. فرمول تجربی متیل‌سالیسیلات چیست؟

۳ ـ ۷۱ جرم یک مولکول از هورمون انسولین $9ر۵ \times 10^{-21}$ g است. وزن مولکولی انسولین چقدر است؟