محاسبه فرمول تجربی:

داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی یک ماده مرکب برای به دست آوردن فرمول تجربی آن ماده مرکب بـه کار می‌آید. تجزیه شیمیایی نسبتهای جرمی عناصری را که یک ماده را می‌سازند به دست می‌دهد. ساده‌ترین فرمول یا فرمول تجربی نسبتهای اتمی یک ماده مرکب، یعنی تعداد نسبی اتمهای گوناگونی که آن ماده مرکب را می‌سازند، مشخص می‌کند.

چون عده اتمهای یک مول اتم از همه عناصر با هم برابرند، نسبت مولها همان نسبت اتمها خواهد بود. عده مولهای هر عنصر موجود در یک نمونه ماده مرکب هب آسانی از جرم هر عنصر موجود به دست می‌آید. ساده‌تـرین نسبت عدد صحیح مولها (که همان نسبت اتمها است) برای نوشتن فرمول تجربی به کار می‌آید. در مثالهای زیر طرز به دست آوردن فرمولها بیان شده است.

مثال ۱.

فرمول تجربی ماده مرکبی شامل P ۴۳/۶٪ و O ۵۶/۴٪ را معین کنید.

حل.

از لحاظ سهولت فرض می‌کنیم که جرم این نمونه g ۱۰۰ باشد. بر مبنای تعریف ترکیب درصد، این نمونه شامل g P ۴۳/۶ و g O ۵۶/۴ خواهد بود. وزن اتمی P و O تا سه رقم با معنی، به ترتیب عبارتند از ۳۱ و ۱۶:

$$?\,molP = 43.6gP\left(\frac{1molP}{31gP}\right) = 1.41molP$$

$$?\,molO = 56.4gO\left(\frac{1molO}{16gO}\right) = 3.53molO$$

نسبت اتمها برابر نسبت مولهای اتمها است. بنابراین، در ماده مرکب مورد نظر به ازای ۱/۴۱ اتـم فـسفر ۳/۵۳ اتـم اکسیژن وجود دارد. اما برای نوشتن فرمول به ساده‌ترین نسبت که عدد صحیح باشد احتیاج داریم. با تقسیم کردن

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir

این دو مقدار به مقدار کمتر نسبت اتمها به دست می‌آید.

برای O : $\frac{3.53}{1.41}=2.50$ و برای P: $\frac{1.41}{1.41}=1.00$

اما این نسبت هنوز عدد صحیح نیست. با ضرب کردن هر یک از این دو مقدار در ۲، نسبتی که با عدد صحیح به دست می‌آید. پس ساده‌ترین نسبتی که عدد صحیح باشد ۲ به ۵ و فرمول تجربی ماده مورد نظر P_2O_5 خواهد بود.

مثال ۲.

کافئین موجود در قهوه، چای و دانه‌های کولا، ماده محرکی برای سیستم مرکزی اعصاب است. نمونه خالصی از کافئین به جرم g ۱/۲۶۱ را شامل C ۰/۶۲۴ g، H ۰/۰۶۵ g، N ۰/۳۶۴ g و O ۰/۲۰۸g است. فرمول تجربی کافئین را معین کنید.

حل.

نتایج یک تجزیه شیمیایی معمولاً برحسب درصدها گزارش می‌شود، اما هر نسبت جرمی را می‌توان به یک نسبت مولی تبدیل کرد، و در این صورت برای به دست آوردن فرمول تجربی به کار برد، پس هیچ لزومی ندارد که داده‌های این مسئله را به درصد تبدیل کنیم. ابتدا عده مولهای هر عنصر موجود در نمونه را محاسبه می‌کنیم:

$$?\,molC = 0.624gC\left(\frac{1molC}{12gC}\right)=0.0520molC$$

$$?\,molH = 0.065gH\left(\frac{1molH}{1gH}\right)=0.065molH$$

$$?\,molN = 0.364gN\left(\frac{1molN}{14gN}\right)=0.0260molN$$

$$?\,molO = 0.208gC\left(\frac{1molO}{16gO}\right)=0.0130molO$$

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir

با تقسیم هر یک از این مقادیر به کوچکترین مقدار (۰/۰۱۳۰) نسبتهای زیر به دست می‌آید:

$$4molC : 5molH : 2molN : 1molO$$

بنابراین فرمول تجربی کافئین $C_4H_5N_2O$ خواهد بود.

راه به دست آوردن فرمولهای تجربی

۱- اگر داده‌ها برحسب ترکیب درصد باشد، مبنای محاسبه را بر ۱۰۰ g نمونه می‌گذاریم. در این صورت، عده گرمهای هر عنصر موجود در نمونه، از لحاظ عددی برابر با درصد آن نمونه در ماده مرکب خواهد بود. اگر داده‌ها برحسب عده گرمهای هر عنصر موجود در نمونه داده شده باشد، لزومی ندارد که درصد را حساب کنیم.

۲- عده گرمهای هر عنصر موجود در نمونه را به عده مولهای اتمهای هر عنصر تبدیل کنید. ضریب تبدیل لازم از این واقعیت به دست می‌آید که ۱ مول از اتمهای هر عنصر (صورت کسر) وزن اتمی آن عنصر برحسب گرم است (مخرج کسر).

۳- هر یک از مقادیری را که در مرحله ۲۵ به دست آمده است به کمترین مقدار انها تقسیم کنید. اگر هر عددی که به این طریق به دست می‌آید عدد صحیح نباشد، همه عددها را در عدد صحیح ساده‌ای ضرب کنید، به طوری که همه عددها به عدد صحیح تبدیل شود.

۴- چون نسبت مولهای اتمها همان نسبت اتمها است، عددهای صحیحی که در مرحله ۳ به دست آمده است زیروندهای فرمول تجربی خواهد بود.

فرمول مولکولی یک ماده مرکب را می‌توان از فرمول تجربی آن به دست آورد، در صورتی که وزن مولکولی ماده مرکب معلوم باشد.

مثال۳.

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir

فرمول مولکولی اکسیدی از فسفر را که فرمول تجربی آن P_2O_5 (به دست آمده از مثال ۱) است معین کنید، در صورتی که وزن مولکولی آن ۲۸۴ باشد.

حل.

مقداری که از جمع وزنهای اتمی فرمول تجربی P_2O_5 به دست می‌آید، ۱۴۲ است. اگر وزن مولکولی واقعی این ماده مرکب را بر وزن فرمولی P_2O_5 تقسیم کنیم، می‌شود

$$\frac{284}{142}=2$$

بنابراین، معلوم می‌شود که عده هر نوع از اتمهای موجود در مولکول مورد نظر دو برابر فرمول تجربی آن است. پس فرمول مولکولی مورد نظر P_4O_{10} است.

مثال ۴.

وزن مولکول کافئین ۱۹۴ و فرمول تجربی آن $C_4H_5N_2O$ است. فرمول مولکولی کافئین چیست؟

حل.

وزن فرمولی که از $C_4H_5N_2O$ به دست می‌آید ۹۷ است. چون وزن مولکولی دو برابر این مقدار است، فرمول مولکولی کافئین $C_8H_{10}N_4O_2$ خواهد بود.

مثال ۵.

گلوکوز، یک قند ساده، یکی از اجزای سازنده خون و سیالات بافتی و منبع اصلی انرژی برای سلولها است. این ماده مرکب شامل C ۴۰٪، H ۶/۷۰٪، O ۵۳/۳٪ و وزن مولکولی آن ۱۸۰/۲ است. فرمول مولکولی گلوکوز چیست؟

حل.

آسانترین راه‌حل این مسئله محاسبه عده مولهای هر عنصر در یک مول گلوکوز است. نخست عده گرمهای هر عنصر در یک مول گلوکوز ($180/2g$) را معین می‌کنیم. چون این ماده مرکب شامل C ۴۰٪ است، C ۴۰ g در

Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir

g ۱۰۰ گلوکوز وجود دارد، و ما باید از ضریب (g ۱۰۰ گلوکوز / C۴۰g) استفاده کنیم:

$$\text{؟}\, gC = 1mol \text{ گلوکوز} \left(\frac{180.2g}{1mol}\right)\left(\frac{40gC}{100g \text{ گلوکوز}}\right) = 72.1gC$$

به طریق مشابهی، عده گرمهای H و O را پیدا می‌کنیم:

$$\text{؟}\, gH = 1mol \text{ گلوکوز} \left(\frac{180.2g \text{ گلوکوز}}{1mol \text{ گلوکوز}}\right)\left(\frac{6.73gH}{100g \text{ گلوکوز}}\right) = 12.1gH$$

$$\text{؟}\, gO = 1mol \text{ گلوکوز} \left(\frac{180.2g \text{ گلوکوز}}{1mol \text{ گلوکوز}}\right)\left(\frac{53.3gO}{100g \text{ گلوکوز}}\right) = 96gO$$

سپس، عده مولهای اتمهای موجود در هر یک از این مقادیر را معین می‌کنیم:

$$\text{؟}\, molC = 72.1gC\left(\frac{1molC}{12gC}\right) = 6.00molC$$

$$\text{؟}\, molH = 12.1gH\left(\frac{1molH}{1.01gH}\right) = 12.00molH$$

$$\text{؟}\, molO = 96.0gO\left(\frac{1molO}{16gO}\right) = 6.00molO$$

این مقادیر عده مولهای اتمهای هر یک از عناصر موجود در یک مولکول گلوکوز است. آنها عده اتمهای هر عنصر موجود در یک مولکول را نیز نشان می‌دهند. بنابراین فرمول مولکولی گلوکوز $C_6H_{12}O_6$ است.

راه‌حل دیگر این مسئله این است که نخست فرمول تجربی گلوکوز را با استفاده از داده‌های تجزیه شیمیایی آن معین کنیم (که می‌شود CH_2O) و سپس با استفاده از وزن مولکولی، فرمول مولکولی گلوکوز را به دست آوریم.

مثال ۶.

تجزیه عنصری بنزوآت‌متیل نشان داده است که این ترکیب به ترتیب از عناصر کربن، هیدروژن و اکسیژن با درصدهای جرمی ٪۷۰/۵۸ ، ٪۵/۹۳ و ٪۲۳/۵۸ تشکیل شده است. مطالعه خواص فیزیکی آن نشان داده است که جرم مولکولی بنزوآت‌متیل، ۱۳۶ است. فرمول تجربی و فرمول مولکولی آن را مشخص کنید.

www.ShimiPedia.ir

$(C = 12.011\ ,\ H = 1.008\ ,\ O = 15.999)$

حل.

۱۰۰ گرم از بنـزوآت‌متیـل شـامل g ۷۰/۵۸ از C، g ۵/۹۳ از H و g ۲۳/۵۸ از O اسـت. حـال تعـداد مول‌های هر یک از این عناصر را در ۱۰۰ گرم ترکیب به دست می‌آوریم.

$$\text{تعداد مول‌های کربن} = \frac{\text{جرم کربن}}{\text{جرم اتمی کربن}} = \frac{70.58}{12.011} = 5.876$$

برای راحتی، تعداد مول را با علامت mol و جرم و جرم اتمی را نیز به ترتیب با m و M مشخص می‌کنیم.

$$mol\,(H) = \frac{m\,(H)}{M\,(H)} = \frac{5.93}{1.008} = 5.88$$

$$mol\,(O) = \frac{m\,(O)}{M\,(O)} = \frac{23.49}{15.999} = 1.468$$

حال باید ساده‌ترین نسبت بین تعداد اتم‌ها را به دست آوریم. کمترین عدد را در نظر گرفته و بقیه را نسبت بـه آن می‌سنجیم.

$$\frac{mol\,(C)}{mol\,(O)} = \frac{5.876}{1.468} = 3.996 \approx \frac{4}{1}$$

$$\frac{mol\,(H)}{mol\,(O)} = \frac{5.88}{1.468} = 4.00 \approx \frac{4}{1}$$

لذا فرمول ساده بنزوآت متیل، C_4H_4O است.

جرم مولکولی معادل این فرمول برابر است با:

$$M\,(C_4H_4O) = 4\times 12.011 + 4\times 1.008 + 15.999 = 68.075$$

جرم مولکولی واقعی ترکیب، ۱۳۶ است. نسبت این دو عدد را به دست می‌آوریم:

$$\frac{\text{جرم مولکولی واقعی}}{\text{جرم مولکولی فرمول ساده}} = \frac{136}{68.075} = 2.00$$

www.ShimiPedia.ir

لذا فرمول مولکولی بنزوآت متیل برابر است با:

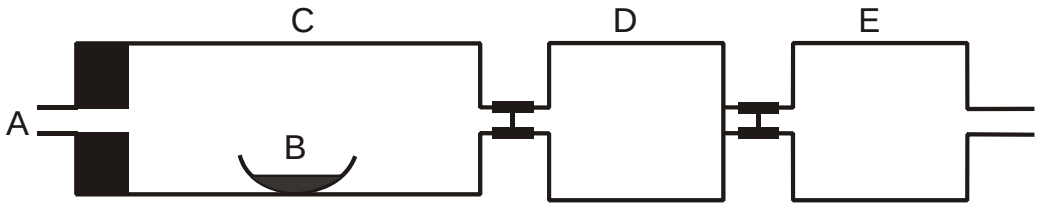
$$(C_4H_4O)_2 = C_8H_8O_2$$

نمونه‌ای از آنالیز عنصری، آنالیز سوختن است. در این آنالیز، مقدار کمی از ماده مورد نظر را پس از وزن کردن، در بوته‌چینی گذاشته و آن را در کوره در مجاورت اکسیژن کافی به طور کامل می‌سوزانیم.

اگر ماده، شامل عناصر کربن، هیدروژن و گوگرد باشد محصول سوختن کامل، شامل CO_2، H_2O و SO_2 است. اگر اکسیژن نیز در ماده اولیه وجود داشته باشد، مقدار آن به طور غیرمستقیم از تفاوت جرمهای مواد حاصل با مواد اولیه و اکسیژن مصرفی به دست می‌آید.

شکل زیر، طرحواره آنالیز سوختن هیدروکربن‌ها را نشان می‌دهد.

از دهانه A، اکسیژن لازم برای عمل سوختن در کوره دمیده می شود. B، بوته چینی شامل ماده مورد آزمایش است. C نیز کوره‌ای با دمای بالا است. ظرف D شامل یک ماده جاذب آب مانند H_2SO_4 غلیظ است. ظرف E نیز شامل یک ماده جاذب CO_2 مانند $Ca(OH)_2$ است.



مثال ۷.

ویتامین C، ماده‌ای که ممکن است در پیشگیری یا درمان بیماران سرماخوردگی موثر باشد، در آزمایش آنالیز سوختن مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ۰/۲۰۰۰ گرم نمونه در مجاورت اکسیژن کافی به طور کامل سوخت. آنالیز فرآورده‌ها نشان داد که ۰/۳۰ گرم CO_2 و ۰/۰۸۲g گرم H_2O تولید شده است. فرمول تجربی ویتامین C را

Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir
شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران

به دست آورید.

$(C = 12.01\ ,\ O = 16.00\ ,\ H = 1.01)$

حل.

$$M\ (CO_2) = 12.01 + 2 \times 16.00 = 44.01$$

$$M\ (H_2O) = 2 \times 1.01 + 16.00 = 18.02$$

$$mol\ (C) = mol\ (CO_2) = \frac{0.30}{44.01} = 6.8 \times 10^{-3}$$

$$mol\ (H) = 2 \times \left(mol\ (H_2O)\right) = 2 \times \frac{0.082}{18.02} = 9.1 \times 10^{-3}$$

اما ممکن است ماده شامل اکسیژن باشد لذا باید وجود اکسیژن را امتحان کرد.

$$m\ (H) = \left(9.1 \times 10^{-3}\right) \times 1.01 = 9.2 \times 10^{-3} g$$

$$m\ (C) = \left(6.8 \times 10^{-3}\right) \times 12.01 = 8.2 \times 10^{-2} g$$

$$m\ (C) + m\ (H) = 0.0912 g$$

$$m\ (O) = m\ (\text{اولیه}\quad) - \left(m\ (C) + m\ (H)\right) = 0.2000 - 0.0912 = 0.1088 g$$

$$mol\ (O) = \frac{0.1088}{16.00} = 6.8 \times 10^{-3}$$

$$\frac{mol\ (C)}{mol\ (O)} = \frac{6.8 \times 10^{-3}}{6.8 \times 10^{-3}} = \frac{1}{1}$$

$$\frac{mol\ (H)}{mol\ (O)} = \frac{9.1 \times 10^{-3}}{6.8 \times 10^{-3}} = 1.34 \approx \frac{4}{3}$$

اگر در هر مولکول، ۳ اتم O وجود داشته باشد، ۴ اتم H و ۳ اتم C نیز دارد. پس فرمول تجربی آن، است.

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir

تمرین. ۱/۵۰۵ g از تریپتوفن را در کوره‌ای به طور کامل سوزاندیم. آنالیز عنصری نشان داد که فقط از عناصر کربن، هیدروژن و گوگرد و تشکیل شده است. آنالیز دقیق فرآورده‌ها نشان داد که از سوختن این مقدار ماده، ۳/۱۵ گـرم CO_2، ۰/۶۴ گرم H_2O و ۱/۴۶ گرم SO_2 تولید شده است. فرمول تجربی تریپتوفن را به دست آورید.

($C = ۱۲$, $S = ۳۲$, $H = ۱$)

شبکه رشد – شبکه ملی مدارس ایران
Olympiad.roshd.ir
www.ShimiPedia.ir