

محاسبات استوکیومتری

تعريف:

استوکیومتری بیان کننده روابط کمی بین اجزای یک واکنش شیمیایی است. با توجه به این که مواد با نسبت های مشخصی واکنش داده و محصول تولید می کنند و دانستن این نسبت ها می توان مقادیر مجهول را در یک واکنش شیمیایی محاسبه کرد.

دو حالت کلی محاسبات استوکیومتری:

۱- معادله نمادی داده نشده:

در این حالت از روی معادله نوشتاری و توضیحات مساله بایستی معادله نمادین واکنش را نوشته و موازن کرد

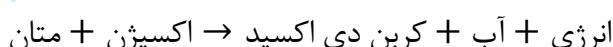
۲- معادله نمادین داده شده:

در اینصورت بایستی معادله را موازن کرد

أنواع معادله واکنش:

۱- معادله نوشتاری:

واکنش دهنده ها را سمت چپ می نویسند و محصولات (فرآورده ها) را سمت راست و با فلش به هم مرتبط می کنند. این معادلات چیزی جز اجزای تشکیل دهنده واکنش را به ما نمی دهد. مثل:



۲- معادله نمادی:

اولین مرحله در محاسبات داشتن معادله نمادی موازن شده است. در این معادله فرمول های شیمیایی و حالت فیزیکی مواد نشان داده شده.

مثال:



حالت های فیزیکی:

(s)	جامد
(l)	مایع
(g)	گاز
(aq)	محلول

نکات:

- برای موادی که در آب حل می شوند از (aq) استفاده می کنیم. این انحلال می تواند یونی باشد مانند NaCl(aq) و یا ملکولی مانند $\text{Br}_2\text{(aq)}$ باشد.
- هنگامی که یک نمک یونی محلول یا یک اسید قوی را به صورت (aq) نمایش می دهیم در حقیقت فرمول آن را نمایش می دهیم چرا که در واقع چنین ملکولی در آب وجود ندارد و به کاتیون و آنیون تفکیک شده است.
- رسوب هایی که در آب نامحلولند و یا ثابت تفکیک آن ها در آب بسیار کوچک است حتی اگر در محیط آبی قرار داشته باشند به صورت (s) نمایش داده می شوند.
- ملکول آب را به دلیل تفکیک پایین به صورت (l) نمایش می دهیم.

نوشتمن معادله نمادی واکنش:

برای نوشتمن معادله نمادی واکنش از روی توضیحات مساله لازم است انواع واکنش های شیمیایی را بشناسیم:

انواع واکنش های شیمیایی:

یکی از رایج ترین تقسیم بندی ها، طبقه بندی پنجگانه زیر است:

- سوختن

۲- ترکیب (سنتر)

۳- تجزیه

۴- جابه جایی یگانه

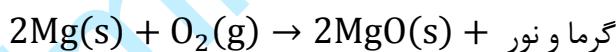
۵- جابه جایی دوگانه

در برخی از طبقه بندی ها، واکنش های اسید و باز، بسپارش (پلیمریزاسیون) و واکنش های اکسایش احیا را جداگانه طبقه بندی می کنند.

۱- سوختن:

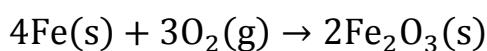
ترکیب یک ماده آلی، نافلز یا یک فلز فعال (مثلاً منیزیوم) با اکسیژن با سرعت و شدت زیاد به طوری که انرژی زیادی به صورت گرما و نور تولید کند و ترکیبات اکسیژن دار تولید شود را سوختن می نامند.

مثال:



نکته:

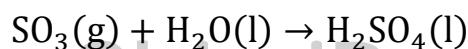
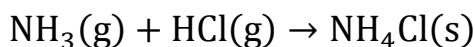
زنگ زدن فلزات از نوع سوختن نیست چون به آرامی صورت می گیرد:

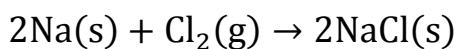


۲- ترکیب (سنتر):

واکنش دو یا چند ماده ساده تر که تشکیل یک ماده پیچیده تر بدنهند را ترکیب گویند

مثال:





بسپارش (پلیمر شدن):

$n \left(\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C}-\text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$	پلی پروپن
$n \left(\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C}=\text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C}-\text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$	پلی اتیلن (پلی تن)
$n \left(\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ \text{C}=\text{C} \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right) \longrightarrow \left(\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ \text{C}-\text{C} \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right)_n$	پلی تترا فلورو اتن (تفلون)

۳- تجزیه:

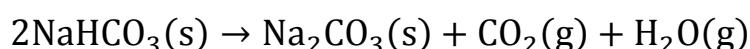
تبديل یک ماده پیچیده به مواد ساده تر

مثال:

تجزیه کربنات ها:



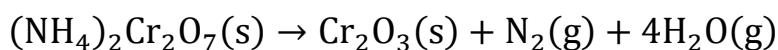
تجزیه بی کربنات ها (مانند کربنات ئیدرژن سدیوم):



تجزیه نیترات ها و کلرات ها:

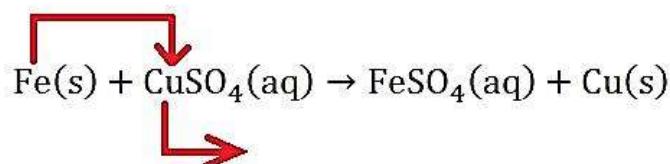


تجزیه دی کرمات آمونیوم:

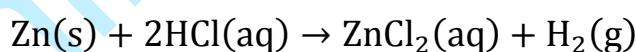
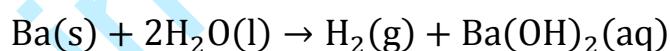
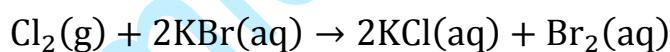


۴- واکنش جابه جایی یگانه:

یک عنصر یا یون جانشین یک عنصر یا یون در ترکیب می شود:

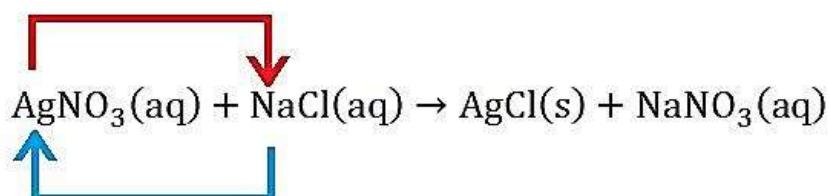


مثال:

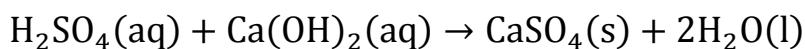


۵- واکنش جابه جایی دوگانه:

جای دو اتم یا دو یون در دو ترکیب عوض می شود:



مثال:



نکته:

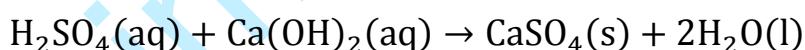
در یک واکنش جا به جایی دوگانه حتماً باید یکی از اجزا، یک ماده با تفکیک بسیار کم مانند ملکول آب (l) یا رسوب نا محلول (s) باشد و گرنه اجتماعی از آنیون ها و کاتیون ها در محیط داریم که هیچ واکنشی با هم نمی دهند به عنوان مثال چنین واکنشی نمی تواند اتفاق بیافتد:



مثال از تشکیل رسوب:



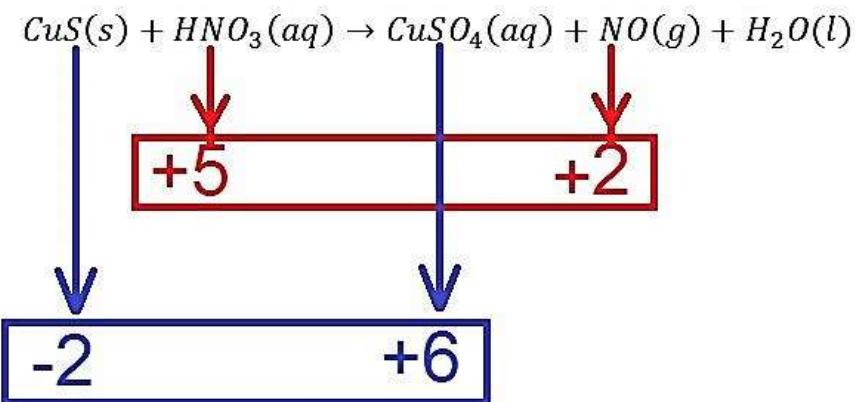
مثال از تشکیل آب:



واکنش های اکسایش کاهش:

در این نوع واکنش ها که در دسته بندی پنجگانه کتاب نیامده است، عدد اکسایش عناصر تغییر می کند:

مثال:



موازنۀ واکنش های شیمیایی:

در اینجا به سه روش موازنۀ کردن واکنش های شیمیایی اشاره می‌شود:

۱- روش وارسی

۲- روش کلی چند معادله چند مجھول

۳- روش استفاده از تغییر عدد اکسایش (برای واکنش های اکسایش کاهش)

۱- روش وارسی:

این روش سریع ترین روش است و برای معادلات نسبتاً ساده به کار می‌رود:

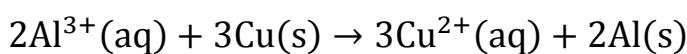
در این روش به پیچیده ترین ترکیب یا ترکیبی که بیشترین تعداد اتم را دارد، ضریب ۱ می‌دهیم. با این کار برخی از عناصر در یک طرف واکنش تعدادشان مشخص می‌شود. موازنۀ را با اتم‌هایی که در یک طرف واکنش ضریب دارند و در طرف دیگر فقط در یک ترکیب ظاهر شده اند ادامه می‌دهیم.

نکته ۱- معمولاً ضریب ۱ را نمی‌نویسند اما برای پیشگیری از اشتباه آن را بنویسید.

نکته ۲- ضرایب یک معادله باید کوچکترین اعداد صحیح و غیر کسری باشند. بنابراین هرگاه به ضرایب کسری رسیدید، تمام ضرایب معادله را در یک عدد صحیح (که معمولاً مخرج ضریب کسری است) ضرب می‌کنیم تا اعداد صحیح به دست آیند.

نکته ۳- برای یون های چند اتمی، اگر تجزیه نشده باشند و عیناً در طرف دیگر معادله ظاهر شده باشند، کل مجموعه یون را می توان یک جزء در نظر گرفته و آن را موازن نمود. مثل (PO_4) و (SO_4) و (NO_3) و (NH_4)

نکته ۴- بارهای الکتریکی را هم بایستی موازن کرد به گونه ای که دو طرف معادله بار الکتریکی یکسانی داشته باشد. مثال:



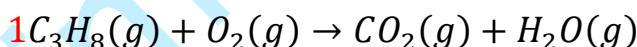
همان طور که ملاحظه می شود ضرایب ۲ و ۳ فقط برای موازن بارها می باشند.

مثال برای موازن به روش وارسی، موازن و اکنش سوختن پروپان:

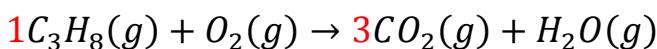
سوختن پروپان:



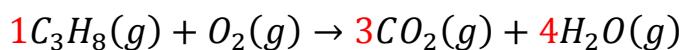
ابتدا به پروپان ضریب ۱ می دهیم:



همان طور که ملاحظه می شود در سمت چپ و اکنش کربن فقط در پروپان ظاهر شده و ضریب دارد، پس ما کلا ۳ اتم کربن داریم. سمت راست نیز کربن فقط در کربن دی اکسید ظاهر شده پس باید ضریب ۳ بگیرد تا کربن موازن شود:



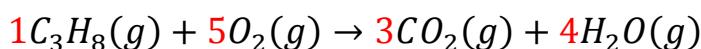
سمت چپ ئیدرژن تنها در پروپان ظاهر شده و ضریب دارد و سمت راست تنها در آب ظاهر شده و ضریب ندارد. بنابراین با موازن تعداد اتم های ئیدرژن ضریب آب برابر ۴ به دست می آید:



سمت راست همه ترکیبات ضریب دارند. با موازن اتم های اکسیژن، ضریب O_2 به دست می آید:

$3 \times 2 + 4 = 10$ تعداد اکسیژن سمت راست

بنابراین ضریب O_2 برابر ۵ می‌شود:



۲- روش کلی:

نکته: این روش بسیار وقت گیر بوده و به درد کنکور نمی‌خورد.

مزیت این روش آن است که هر معادله ای را می‌توان توسط این روش موازن نمود.

در این روش یکی از ترکیبات که بهتر است همان پیچیده ترین ترکیب باشد، ضریب ۱ می‌گیرد و بقیه ترکیبات ضرایب مشهول x_1 و x_2 و x_3 و ... می‌گیرند. حال تک تک عناصر را بر حسب x_1 و x_2 و x_3 و ... موازن کرده و از حل چند معادله چند مشهول به دست آمده مقادیر مشهول به دست می‌آید. در مرحله آخر چنانچه ضرایب به دست آمده کسری بودند همگی را در یک عدد صحیح مناسب ضرب می‌کنیم تا ساده ترین ضرایب غیر کسری به دست آید.

مثال:



حال تک تک اتم‌ها را در دو طرف معادله موازن می‌کنیم:

Cu:	$1 = x_2$
S:	$1 = x_2$
H:	$x_1 = 2x_4$
N:	$x_1 = x_3$
O:	$3x_1 = 4x_2 + x_3 + x_4$

در بالا چهار معادله مستقل و چهار مشهول داریم. از حل این چهار معادله چهار مشهوله مقادیر x_1 و x_2 و x_3 و x_4 به دست می‌آید:

$$x_1 = \frac{8}{3}$$

$$x_2 = 1$$

$$x_3 = \frac{8}{3}$$

$$x_4 = \frac{4}{3}$$

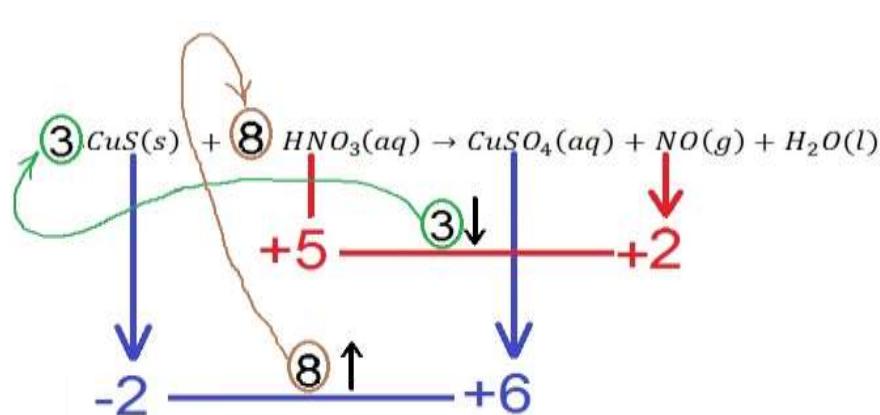
حال همه ضرایب را در 3 ضرب می کنیم (دقت کنید که ضریب ۱ که خودمان دادیم نیز باید در 3 ضرب شود):



@Shimidabirestan

۳- روش اکسایش احیاء:

در این روش تغییر عدد اکسایش عنصر اکسید شده ضریب عنصر احیا شده قرار می‌دهیم و تغییر عدد اکسایش عنصر احیا شده را ضریب عنصر اکسید شده قرار می‌دهیم و سپس از طریق وارسی بقیه مواد مولی را انجام می‌دهیم.

**مفهوم مول در محاسبات استوکیومتری:**

مهمترین پارامتر در محاسبات استوکیومتری، تعداد ملکول یا تعداد مول است. در یک واکنش شیمیایی نسبت های ثابتی بین تعداد ملکول ها وجود دارد و ما باید با ضرایبی این نسبت ها را به کمیت های قابل اندازه گیری مثل جرم یا حجم تبدیل کنیم. چرا که کار کردن با تعداد ملکول تقریباً غیر ممکن است.

مول یک کمیت تعدادی مانند جین یا دوجین یا جفت است و برابر 6.02×10^{23} عدد از هر نوع ذره ای است. همان طور که دو جین بیان کننده ۱۲ عدد از هر چیزی است.

مثال:

شما به عنوان مالک یک کارخانه بازیافت و به منظور تشویق مردم به بازیافت پسماند، تصمیم می‌گیرید به ازای هر ۷ عدد درب بطری پلاستیکی که به کارخانه شما تحویل می‌دهند ۲ عدد قاشق بستنی بدهید. حال شخصی با چهار کیسه گونی بزرگ درب بطری پلاستیکی مراجعه می‌کند. احتمانه ترین راه کار این است

که شما شروع به شمردن درب بطری ها کنید و بعد از ساعت ها که شمارش آن ها تمام شد، عدد به دست آمده را بر 7 تقسیم و در 2 ضرب کنید. حال باید شروع به شمردن قاشق بستنی کنید!! راه کار عاقلانه آن است که تعداد مشخصی مثل 100 عدد درب بطری را وزن کنید و وزن چهار کیسه گونی را بر آن تقسیم کنید . حال 100 تا قاشق بستنی را نیز وزن کنید و نسبت 2 به 7 تعداد را به نسبت های وزنی تبدیل کنید تا در کوتاه ترین زمان بتوانید قاشق های بستنی مشتری خود را تحويل دهید. این همان راهکاری است که ما در مورد واکنش های شیمیایی انجام می دهیم. به جای 100 عدد ملکول تعداد 6.02×10^{23} عدد ملکول را وزن می کنیم و جرم آن را جرم ملکولی می نامیم. حال می توانیم نسبت های عددی بین ملکول ها را به نسبت های جرمی تبدیل کنیم. این عدد که به عدد آلوگادرو مشهور است، تعداد اتم های کربن 12 است که در 12 گرم از آن وجود دارد.

هم ارزی ها:

در مورد یک عنصر مثل (کربن 12):

$$M_C = 12$$

$$12 \text{ گرم کربن} = \text{اتم کربن} 6.02 \times 10^{23} = 1 \text{ مول کربن}$$

در مورد یک ملکول مایع یا جامد(مثل آب):

$$M_{H_2O} = 18$$

$$18 \text{ گرم آب} = \text{ملکول آب} 6.02 \times 10^{23} = 1 \text{ مول آب}$$

در مورد گازها از قانون آلوگادرو نیز در هم ارزی استفاده می شود. این قانون بیان می کند که در شرایط S.T.P یعنی شرایطی که دما صفر درجه سانتی گراد (273 درجه کلوین) و فشار یک اتمسفر باشد، تعداد ملکول های گازی موجود در 22.41 لیتر از هر نوع گاز، برابر عدد آلوگادروست. بنابراین:

در مورد یک گاز (مثل اکسیژن):

$$M_{O_2} = 32$$

$$22.41 \text{ لیتر اکسیژن} = 32 \text{ گرم اکسیژن} = \text{ملکول اکسیژن} 6.02 \times 10^{23} = 1 \text{ مول اکسیژن}$$

روش نردبانی در محاسبات استوکیومتری:

در این حالت از مقدار ماده معلوم داده شده شروع می کنیم و نردنی به شکل زیر تشکیل می دهیم تا به مقدار ماده مجهول برسیم:

$$\frac{\text{مقدار ماده مجهول}}{\text{مقدار ماده مجهول}} = \frac{\text{کسر معادل تبدیل مول}}{\text{کسر معادل تبدیل واحد}} \times \frac{\text{کسر معادل ضرایب استوکیومتری}}{\text{کسر معادل تبدیل مول}} \times \frac{\text{کسر معادل تبدیل مول}}{\text{کسر معادل تبدیل واحد}} \times \frac{\text{کسر معادل تبدیل واحد}}{\text{مقدار ماده معلوم}}$$

صورت و مخرج کسرهای معادل را باید به گونه ای انتخاب کنیم که صورت ها و مخرج ها ساده شده و واحدها نیز ساده شده و در نهایت به مقدار ماده مجهول بر حسب واحد خواسته شده برسیم. مثلاً می دانیم که ۱۰۰۰ میلی لیتر معادل یک لیتر است. این که ۱۰۰۰ میلی لیتر را در صورت و یک لیتر را در مخرج کسر قرار دهیم یا بر عکس بستگی به این دارد که در کدام یک از این دو حالت واحد ماده معلوم یا مجهول با مخرج کسر ساده می شود.

کسر معادل تبدیل مول نیز با استفاده از هم ارزی های گفته شده به دست می آید.

کسر معادل ضرایب استوکیومتری، نیز از نسبت ضرایب ماده معلوم و مجهول در معادله موازن شده واکنش به دست می آید.

در نهایت نیز ممکن است مقدار مول ماده مجهول به دست آمده را با کسرهای تبدیل، به کمیت های مشخص با واحد های خواسته شده تبدیل نماییم.

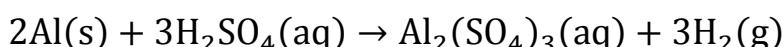
مثال زیر این مطلب را روشن تر نشان می دهد:

مثال:

از واکنش ۱ کیلوگرم فلز آلومینیوم با سولفوریک اسید چند میلی لیتر گاز تیدرزن حاصل می شود؟

جواب:

جرم اتمی Al برابر ۲۷ گرم است. ابتدا معادله واکنش را نوشته و به روش وارسی موازن می کنیم:



$$\cancel{\text{Al}} \cancel{1 \text{ کیلوگرم}} \times \frac{\text{Al}}{\cancel{\text{Al}}} \frac{1000}{27} \times \cancel{\text{Al}} \cancel{1 \text{ مول}} \times \frac{\text{H}_2}{\cancel{\text{Al}}} \frac{3 \text{ مول}}{2} \times \frac{\text{H}_2}{\cancel{\text{H}_2}} \frac{22.4}{1} \times \frac{\text{H}_2}{\cancel{\text{H}_2}} \frac{1000}{1} \times \frac{\text{میلی لیتر}}{\cancel{\text{H}_2}} = 2490000 \text{ میلی لیتر تیدرزن}$$

همان طور که می بینید کسر اول از تبدیل واحد به دست آمده کسر دوم از هم ارزی مول و جرم به دست آمده کسر سوم از ضرایب واکنش موازن شده به دست آمده، کسر چهارم از هم ارزی مول و حجم به دست آمده و کسر پنجم نیز از تبدیل واحد.

بعد از این که واحد های مشابه از صورت و مخرج کسر ها ساده شوند، مقدار مجھول با واحد خواسته شده باقی می ماند.

روش تناسب در محاسبات استوکیومتری:

نکته:

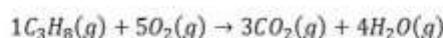
این روش سرعت بالایی دارد و برای کنکور مفید است. استفاده از این روش در امتحان های تشریحی مجاز نیست.

در این حالت معادله واکنش را نوشه و موازن می کنیم. اجزای داده شده و خواسته شده را در آن مشخص می کنیم و مقادیر آن ها را بر حسب واحدهای خواسته شده زیر فرمول هر یک قرار می دهیم، حال با یک تناسب ساده به جواب می رسیم.

مثال زیر فرم کلی این روش را اشان می دهد:

مثال:

به معادله واکنش سوختن پروپان دقت کنید: (جرم ملکولی پروپان برابر 44 و جرم ملکولی اکسیژن برابر 32 و جرم ملکولی کربن دی اکسید برابر 44 و جرم ملکولی آب برابر 18 گرم می باشد)



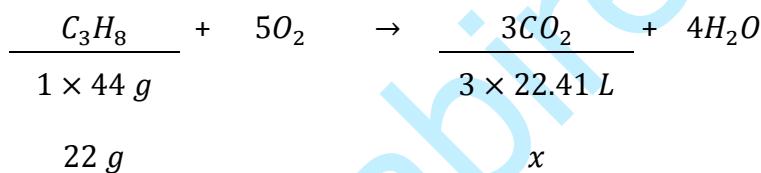
$1C_3H_8$	+	$5O_2$	\Rightarrow	$3CO_2$	+	$4H_2O$
مول برویان		مول اکسیژن		مول کربن دی اکسید		مول آب
6.02×10^{23} مولکول برویان		6.02×10^{23} مولکول اکسیژن		6.02×10^{23} مولکول کربن دی اکسید		6.02×10^{23} مولکول آب
44 گرم برویان		32 گرم اکسیژن		44 گرم کربن دی اکسید		18 گرم آب
22.41 لیتر برویان		22.41 لیتر اکسیژن		22.41 لیتر کربن دی اکسید		22.41 لیتر بخار آب

در مساله داده شده بر حسب این که چه واحدی را داده اند و چه واحدی را می خواهند، هر یک از سطرهای هر یک از چهار جدول بالا را می توان با هر یک از سطرهای هر یک از جداول دیگر، با هم در نظر گرفت و یک تناسب تشکیل داد. برای مثال می توان 44×3 گرم کربن دی اکسید را با 22.41×5 لیتر اکسیژن در نظر گرفت یا مثلا ۵ مول اکسیژن را با 18×4 گرم آب در نظر گرفت.

مثال:

در شرایط استاندارد چند لیتر کربن دی اکسید از سوختن ۲۲ گرم پروپان به دست می آید؟

جواب: پروپان را بر حسب گرم داده و کربن دی اکسید را بر حسب لیتر خواسته بنابراین ما باید 44×1 گرم پروپان را با 22.41×3 لیتر کربن دی اکسید معادل گرفته و تناسب تشکیل دهیم:



بنابراین :

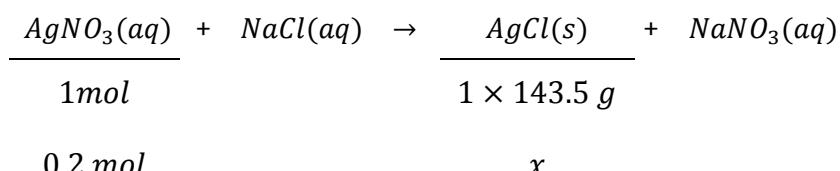
$$x = \frac{22 \times 3 \times 22.41}{1 \times 44} = 33.6 \text{ L}$$

مثال:

از واکنش ۰.۲ مول نقره نیترات با محلول سدیم کلرید کافی، چند گرم نقره کلرید رسوب می کند؟

جواب:

معادله را نوشته و موازنہ می کنیم. جرم ملکولی نقره کلرید ۱۴۳.۵ گرم است.



بنابراین:

$$x = \frac{0.2 \times 1 \times 143.5}{1} = 28.7 \text{ g}$$

درصد خلوص:

برای ترکیباتی که خالص نیستند، درصد خلوص به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\text{جرم ماده خالص}}{\text{جرم کل (ناخالص)}} \times 100 = \text{درصد خلوص}$$

در محاسبات استوکیومتری، تنها مقادیر مواد خالص در محاسبات استفاده می‌شوند. اگر در یک مساله استوکیومتری، جرم ناخالص و درصد خلوص داده شد، ابتدا باید جرم خالص را به دست آوریم و بعد بقیه محاسبات را با استفاده از جرم خالص انجام دهیم.

مثال:

از تجزیه 142.5 گرم آلومینیوم سولفات با خلوص 80% چند لیتر گاز SO_3 در شرایط استاندارد، به دست می‌آید؟

جواب:

ابتدا معادله واکنش را نوشته و موازنہ می‌کنیم:



حال باید آلومینیوم سولفات خالص را به دست آوریم:

$$80 = \frac{x}{142.5} \times 100 \Rightarrow x = 114 \text{ g}$$

جرم ملکولی آلومینیوم سولفات را به دست می‌آوریم:

$$M_{(Al_2(SO_4)_3)} = 2 \times 27 + 3 \times (32 + 4 \times 16) = 342$$

$$\begin{array}{rcl} \underline{Al_2(SO_4)_3(s)} & \rightarrow & Al_2O_3(s) + \underline{3SO_3(g)} \\ \underline{1 \times 342 \text{ g}} & & \underline{3 \times 22.41 L} \\ 114 & & x \end{array}$$

$$x = \frac{114 \times 3 \times 22.41}{342} = 22.41 L$$

گاهی اوقات جرم ناخالص را می‌دهند و درصد خلوص را می‌خواهند. در این صورت بایستی جرم خالص را از محاسبات استوکیومتری به دست آورد.

مثال:

200 گرم آهن (III) اکسید، در واکنش ترمیت با مقدار کافی آلمینیوم واکنش داده و 120 گرم آهن تولید نموده است. درصد خلوص نمونه آهن (III) اکسید را به دست آورید.

جواب:

با توجه به این که درصد خلوص آهن (III) اکسید را خواسته پس این ماده خالص نبوده و نمی‌توانیم از عدد مربوط به جرم این ماده در محاسبات استوکیومتری استفاده کنیم، بلکه باید مقدار خالص آن را با استفاده از جرم آهن تولید شده به دست آوریم.

واکنش را نوشته و موازنہ می کنیم:



$$M_{Fe_2O_3} = 2 \times 56 + 3 \times 16 = 160$$

ابتدا از روی جرم آهن جرم آهن (III) اکسید خالص را که در واکنش شرکت کرده محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{Fe_2O_3(s)}{1 \times 160} + \frac{2Al}{x} \rightarrow \frac{Al_2O_3(s)}{2 \times 56} + \frac{2Fe(s)}{120}$$

$$x = \frac{120 \times 160}{2 \times 56} = 171.4 g$$

$$\frac{171.4}{200} \times 100 = 85.7\% \text{ درصد خلوص}$$

واکنشگر محدود کننده:

واکنشگری است که در مقایسه با واکنشگرهای دیگر، کمترین مقدار را از نظر استوکیومتری دارد. به عبارت دیگر اگر واکنش را کامل (بازد ۱۰۰ درصد) فرض نماییم، واکنشگری که به طور کامل مصرف می شود، محدود کننده و واکنشگرهایی که مقداری از آن ها مصرف نشده باقی می ماند، واکنشگر اضافی هستند.

در صنعت، واکنشگری که قیمت بالاتری دارد را محدود کننده در نظر می گیرند و واکنشگرهای ارزان تر را اضافی در نظر می گیرند تا مطمئن شوند از واکنشگر محدود کننده چیزی اضافی نمی ماند.

نحوه تشخیص واکنشگر محدود کننده:

- ۱- ابتدا معادله واکنش را نوشته و موازنہ می کنیم
- ۲- تعداد مول هر یک از واکنشگرها را حساب می کنیم
- ۳- تعداد مول هر واکنشگر را بر ضریب آن در معادله واکنش تقسیم می کنیم
- ۴- کوچکترین عدد به دست آمده مربوط به واکنشگر محدود کننده است

مثال:

۵۰ گرم بوتان را با ۵۰ گرم اکسیژن می سوزانیم. واکنشگر محدود کننده کدام است؟

جواب: معادله واکنش را نوشته و موازنہ می کنیم:



$$M_{C_4H_{10}} = 58 \quad \text{تعداد مول بوتان} = \frac{50}{58}$$

$$M_{O_2} = 32 \quad \text{تعداد مول اکسیژن} = \frac{50}{32}$$

حال تعداد مول هر یک را بر ضریب استوکیومتری آن در معادله واکنش تقسیم می کنیم:

$$\frac{\left(\frac{50}{58}\right)}{2} : \text{بوتان} = \frac{50}{116}$$

$$\frac{\left(\frac{50}{32}\right)}{13} : \text{اکسیژن} = \frac{50}{416}$$

$$\frac{50}{416} < \frac{50}{116} \Rightarrow \text{محدود کننده اکسیژن است}$$

نکته:

در محاسبات استوکیومتری تنها از مقادیر مربوط به واکنشگر محدود کننده می‌توان در محاسبات استفاده کرد.

مثال:

100 گرم آهن و 100 گرم گوگرد را حرارت می‌دهیم. چند گرم آهن (II) سولفید به دست می‌آید؟ (جرم اتمی آهن 56 و گوگرد 32 است)

جواب:

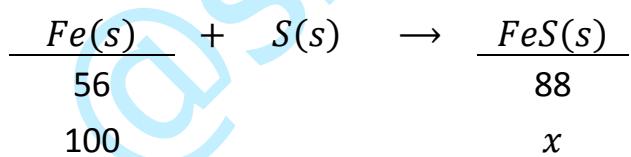
ابتدا بایستی ببینیم واکنشگر محدود کننده کدام است. مطابق آن چه گفته شد عمل می‌کنیم:

ابتدا معادله واکنش را نوشته و موازنده می‌کنیم:



$$\frac{\left(\frac{100}{56}\right)}{1} < \frac{\left(\frac{100}{32}\right)}{1} \Rightarrow \text{آهن محدود کننده است}$$

بنابراین در تناسب بایستی از مقدار آهن استفاده کنیم:



$$x = \frac{88 \times 100}{56} = 157.14 \text{ g}$$

جرم آهن (II) سولفید

بازده واکنش:

معمولًا مقدار فرآورده تولید شده در واکنش های شیمیایی واقعی کمتر از مقدار محاسبه شده توسط روابط استوکیومتری می باشد. از این رو کمیتی به عنوان بازده واکنش تعریف می شود:

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

مقدار فرآورده عملی را مساله می دهد و مقدار فرآورده نظری را به روش زیر محاسبه می کنیم:

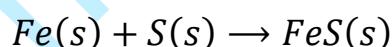
- ۱- ابتدا واکنشگر محدود کننده را تشخیص می دهیم
- ۲- از روی واکنشگر محدود کننده به کمک معادله واکنش و روابط استوکیومتری، مقدار نظری را محاسبه می کنیم.

مثال:

100 گرم آهن را با 100 گرم گوگرد حرارت داده ایم و 100 گرم آهن (II) سولفید به دست آورده ایم. بازده درصدی واکنش کدام است؟

جواب:

ابتدا واکنشگر محدود کننده را مشخص می کنیم:



$$\frac{\left(\frac{100}{56}\right)}{1} < \frac{\left(\frac{100}{32}\right)}{1} \Rightarrow \text{آهن محدود کننده است}$$

بنابراین در تناسب بایستی از مقدار آهن استفاده کنیم:

$$\frac{Fe(s)}{56} + \frac{S(s)}{100} \rightarrow \frac{FeS(s)}{x}$$

$$x = \frac{88 \times 100}{56} = 157.14 \text{ g}$$

مقدار نظری آهن (II) سولفید

$$\frac{100}{157.14} \times 100 = 63.6\%$$

پیش بینی روش حل مساله استوکیومتری از روی داده های مساله:

در محاسبات استوکیومتری، داشتن مقدار یکی از اجزای واکنش (چه واکنشگر باشد چه فرآورده) برای به دست آوردن تمامی اجزای دیگر کافی است. بنابراین اگر در مساله ای بیش از یک داده داشته باشیم به دلایل زیر است:

الف- اگر مقدار دو واکنشگر داده شود ممکن است:

۱- یکی از این دو محدود کننده و دیگری اضافی باشد:

روش حل:

در این صورت ابتدا واکنشگر محدود کننده را تعیین کنید. تمامی محاسبات باقی با استفاده از مقدار واکنشگر محدود کننده باشد. با استفاده از مقدار واکنشگر محدود کننده کلیه اجزای واکنش (من جمله واکنشگر داده شده اضافی) به دست می آید. می توان مقداری از واکنشگر اضافی که در واکنش شرکت نکرده را نیز محاسبه کرد.

۲- یکی از واکنشگر ها خالص نباشد:

روش حل:

در این صورت مساله به خالص نبودن واکنشگر اشاره می کند. محاسبات استوکیومتری حتما باقی با استفاده از مقدار واکنشگر دیگر که خالص است صورت پذیرد. مقدار خالص واکنشگر ناخالص نیز به دست خواهد آمد و با استفاده از آن می توان درصد خلوص را نیز به دست آورد.

ب- اگر مقدار یک واکنشگر و یک فرآورده داده شود ممکن است:

۱- واکنشگر خالص نباشد:

روش حل:

در اینصورت از روی مقدار فرآورده و محاسبات استوکیومتری کلیه اجزا و از جمله مقدار خالص واکنشگر ناخالص را می توان به دست آورد. با استفاده از مقدار خالص به دست آمده و مقدار ناخالص داده شده درصد خلوص به دست می آید.

۲- بازده واکنش ۱۰۰٪ نباشد:

روش حل:

در این صورت بایستی با استفاده از مقدار واکنشگر و محاسبات استوکیومتری، مقدار نظری فرآورده را به دست آورد و بازده واکنش را محاسبه کرد.

محاسبات فرمول تجربی و فرمول ملکولی:

فرمول تجربی یک ملکول یا ترکیب، ساده ترین نسبت بین اتم های تشکیل دهنده آن است. این نسبت را می توان با تجزیه عنصری یک ترکیب و از طریق محاسبات استوکیومتری به دست آورد.

هرگاه درصد اتم های تشکیل دهنده را بدنهند، ابتدا جرم ماده را ۱۰۰ گرم فرض می کنیم. در اینصورت درصدها تبدیل به گرم می شوند. با تقسیم جرم هر عنصر بر جرم اتمی آن، تعداد مول آن عنصر به دست می آید. حال تعداد مول ها را بر کوچکترین عدد تقسیم می کنیم و **اگر** اعداد کسری به دست آمد، با ضرب همه اعداد در یک عدد صحیح، همه را به عدد صحیح تبدل می کنیم.

نکته:

گاه لازم است اعداد را گرد کنیم. مثلا ۲.۹ را ۳ در نظر بگیریم.

اگر جرم ملکولی ماده و فرمول تجربی آن را داشته باشیم، از رابطه زیر، فرمول ملکولی به دست می آید:

$$\text{جرم فرمول تجربی} \times n = \text{جرم فرمول ملکولی}$$

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

مثال:

اگر یک ماده معدنی ۳۲.۳۹٪ سدیم، ۰.۷٪ ئیدرژن، ۲۱.۸۳٪ فسفر و ۴۵.۰۷٪ اکسیژن داشته باشد، فرمول تجربی آن کدام است؟

جواب:

جرم ماده را 100 گرم فرض می کنیم. تعداد مول هر عنصر را به دست می آوریم:

Na : $\frac{32.39}{23} = 1.4$	H : $\frac{0.7}{1} = 0.7$	P : $\frac{21.83}{31} = 0.7$	O : $\frac{45.07}{16} = 2.8$
-------------------------------	---------------------------	------------------------------	------------------------------

حال اعداد به دست آمده را بر کوچک ترین عدد یعنی 0.7 تقسیم می کنیم:

Na : $\frac{1.4}{0.7} = 2$	H : $\frac{0.7}{0.7} = 1$	P : $\frac{0.7}{0.7} = 1$	O : $\frac{2.8}{0.7} = 4$
----------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

بنابراین فرمول تجربی ما به دست می آید:



مثال:

85.7% از یک ئیدروکربن را کربن و بقیه آن را ئیدرژن تشکیل می دهد. اگر دانسیته این ئیدروکربن در حالت گازی و در شرایط استاندارد 1.875 گرم بر لیتر باشد، فرمول تجربی و فرمول ملکولی آن را به دست آورید.

جواب:

100 گرم از ماده را در نظر می گیریم. تعداد مول کربن و ئیدرژن را حساب می کنیم:

$$\text{جرم ئیدرژن} = 100 - 85.7 = 14.3 \text{ g}$$

C : $\frac{85.7}{12} = 7.14$	H : $\frac{14.3}{1} = 14.3$
------------------------------	-----------------------------

حال اعداد به دست آمده را بر عدد کوچکتر یعنی 7.14 تقسیم می کنیم:

C : $\frac{7.14}{7.14} = 1$	H : $\frac{14.3}{7.14} \cong 2$
-----------------------------	---------------------------------

بنابراین فرمول تجربی ما CH_2 است. برای به دست آوردن فرمول ملکولی باید از روی اطلاعات مساله ابتدا جرم ملکولی نئیدروکربن را به دست آوریم:

$$\text{جرم ملکولی} = \frac{\text{دانسیته گاز ها در شرایط استاندارد}}{22.41}$$

$$1.875 = \frac{M}{22.41} \Rightarrow M = 42$$

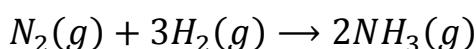
$$(\text{جرم فرمول تجربی}) \times n = \text{جرم فرمول ملکولی}$$

$$42 = n \times 14 \Rightarrow n = 3$$

$$\text{فرمول ملکولی} = (CH_2)_3 = C_3H_8$$

روابط حجمی:

طبق قانون گیلوساک در دما و فشار ثابت، گازها با نسبت های حجمی معینی با هم واکنش می دهند. این نسبت ها همان ضرایب استوکیومتری هستند. به عبارت دیگر در دما و فشار مشخص نسبت های مولی و حجمی برابرند. بنابراین در محاسبات استوکیومتری می توان ضرایب استوکیومتری را نسبت حجم ها در نظر گرفت. مثلاً معادله تشکیل آمونیاک را در نظر بگیرید:



از واکنش بالا نتیجه می گیریم:

۱- یک مول نیترژن با سه مول نئیدرژن تشکیل دو مول آمونیاک می دهد.

۲- یک حجم نیترژن با سه حجم نئیدرژن تشکیل دو حجم آمونیاک می دهد.

۳- یک لیتر نیترژن با سه لیتر ئیدرژن تشکیل دو لیتر آمونیاک می‌دهد.

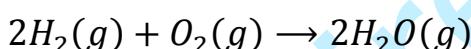
۴- یک متر مکعب نیترژن با سه متر مکعب ئیدرژن تشکیل دو متر مکعب آمونیاک می‌دهد.

مثال:

در یک سیلندر با پیستون متحرک، ۵ لیتر گاز ئیدرژن و ۵ لیتر گاز اکسیژن قرار داده و جرقه الکتریکی ایجاد می‌کنیم. اگر آب حاصله به صورت گاز باشد و شرایط دما و فشار ثابت بماند، حجم نهایی مخلوط کدام است؟

جواب:

معادله واکنش را نوشته و موازنہ می‌کنیم:



برای تشخیص واکنشگر محدود کننده می‌توان به جای مول‌ها، حجم‌ها بر ضرایب استوکیومتری تقسیم کرد. عدد کوچکتر مربوط به واکنشگر محدود کننده خواهد بود:

H : $\frac{5}{2} = 2.5$	O : $\frac{5}{1} = 5$
-------------------------	-----------------------

پس ئیدرژن محدود کننده است و به طور کامل مصرف می‌شود.

حال حجم اکسیژن مصرف شده و حجم باقی مانده آن را حساب می‌کنیم:

$$5L H_2 \times \frac{1L O_2}{2L H_2} = 2.5L O_2$$

صرف شده

$$5 - 2.5 = 2.5$$

حجم اکسیژن باقی مانده

حال حجم بخار آب تولید شده را حساب می‌کنیم:

$$5L H_2 \times \frac{2L H_2 O}{2L H_2} = 5L H_2 O$$

با توجه به این که کل ئیدرژن مصرف شده حجم نهایی مخلوط برابر مجموع حجم بخار آب تولید شده و اکسیژن باقی مانده خواهد بود:

$$5 + 2.5 = 7.5 L$$

محاسبات استوکیومتری با غلظت ها:

در محاسبات استوکیومتری هرگاه با محلول ها و غلظت ها سرو کار داشته باشیم، بایستی ابتدا از روی حجم محلول و غلظت آن، مقدار ماده را بر حسب گرم یا مول حساب کنیم و بعد محاسبات استوکیومتری را ادامه دهیم.

مثال:

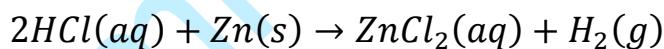
3 لیتر محلول HCl با غلظت 0.2 مولار، چند گرم فلز روی را می تواند حل نماید؟ حجم گاز ئیدرژن تولید شده در شرایط استاندارد کدام است؟

جواب:

ابتدا تعداد مول HCl موجود در محلول را حساب می کنیم:

$$3L HCl \times \frac{0.2 \text{ mol } HCl}{1L HCl} = 0.6 \text{ mol } HCl$$

حال معادله واکنش را نوشته و موازنہ می کنیم:



2HCl(aq)	+	Zn(s)	\rightarrow	ZnCl ₂ (aq)	+	H ₂ (g)
2 mol		65 g				
0.6		x				

$$x = \frac{0.6 \times 65}{2} = 19.5 \text{ g}$$

2HCl(aq)	+	Zn(s)	\rightarrow	ZnCl ₂ (aq)	+	H ₂ (g)
2 mol						22.41 L
0.6						x

$$x = \frac{0.6 \times 22.41}{2} = 6.72$$