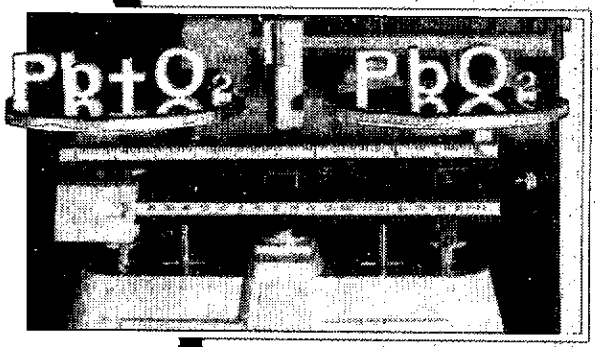
داود ستمدیده*

کاربرد اصل پایستگی جرم برای موازنه کردن واکنش‌های شیمیایی



چکیده

واکنش‌های شیمیایی را با معادله‌های شیمیایی نشان می‌دهند. معادله‌های شیمیایی از نظر کمّی تفاوتی با معادله‌های جبری ندارند. با توجه به اصل پایستگی جرم می‌توان یک روش کلی برای موازنه کردن واکنش‌های شیمیایی پیشنهاد کرد. در این روش برای هریک از مواد شرکت‌کننده در واکنش‌های شیمیایی، ضریبی مجهول درنظر گرفته شده، سپس معادله‌های جبری میان ضریب‌ها نوشته می‌شود. با فرض این که یکی از ضریب‌ها می‌تواند عدد یک باشد، ضریب‌های دیگر خودبه‌خود از حل این معادله‌ها به دست می‌آیند. در واکنش‌هایی که در آن‌ها یون‌ها دخالت دارند، افزون بر معادله‌های یاد شده که بر اساس اصل پایستگی جرم نوشته می‌شوند، به معادله‌ی موازنه‌ی بارها هم نیاز داریم که در آن ضریب‌ها یون‌های منفی، منفی و ضریب‌ها یون‌های مثبت، مثبت درنظر گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اصل پایستگی جرم، موازنه کردن واکنش‌های شیمیایی، معادله‌های شیمیایی

معادله‌های شیمیایی واکنش‌ها را برحسب نشانه‌ها و فرمول‌های عنصرها و مواد شرکت‌کننده در واکنش‌های شیمیایی نمایش می‌دهند. در این معادله‌ها، مواد واکنش‌دهنده در سمت چپ، و فراورده‌ها در سمت راست قرار می‌گیرند و به جای علامت تساوی که در معادله‌های جبری متداول است، یک پیکان به کار برده می‌شود که می‌توان آن را خلاصه شده‌ی کلمه‌ی «می‌دهد» دانست.

بنابه قانون بقای جرم، در جریان یک واکنش شیمیایی معمولی، تغییر محسوسی در جرم روی نمی‌دهد.[1] این قانون تا آن‌جا که به معادله‌های شیمیایی مربوط می‌شود، بدین معنی است که اتم‌های هر عنصر، خواه ترکیب شده و خواه ترکیب نشده باشند به همان تعداد که در طرف چپ معادله دیده می‌شوند، در طرف راست معادله هم باید وجود داشته باشند. برای نمونه، کربن دی‌سولفید با کلر ترکیب می‌شود. فراورده‌های

این واکنش کربن تتراکلرید و دی‌سولفید دی‌کلرید، هستند. برای نشان دادن این واکنش، چنین می‌نویسیم:

$$CS_2 + Cl_2 \Rightarrow CCl_4 + S_2Cl_2$$

این معادله از نظر کمّی درست نیست و قانون بقای جرم را نقض می‌کند. درواقع، این رابطه تا موازنه نشده باشد، معادله نیست. برای موازنه‌ی این معادله باید در طرف چپ، سه مولکول کلر داشته باشیم. بنابراین:

$$CS_2 + 3Cl_2 \rightarrow CCl_4 + S_2Cl_2$$

ساده‌ترین معادله‌های شیمیایی را می‌توان به روش آزمون و خطا موازنه کرد!

روش‌های گوناگونی مانند روش نیم‌پیلی، روش اکسایش ـ کاهش برای موازنه کردن واکنش‌ها پیشنهاد شده است، ولی روش کلی برای موازنه کردن واکنش‌ها را از قانون پایستگی جرم و با درنظر گرفتن این که، یک واکنش شیمیایی باید یک معادله‌ی شیمیایی باشد و یک معادله‌ی شیمیایی از نظر روابط کمّی هیچ چیزی از یک معادله‌ی ریاضی کم ندارد، می‌توان استنتاج کرد. در این روش کلی برای هریک از مولکول‌ها یا عنصرهای شرکت‌کننده در واکنش، ضریبی مجهول درنظر گرفته می‌شود. درواقع، موازنه کردن واکنش، پیدا کردن همین ضریب‌های مجهول است. در این روش پس از یافتن روابط منطقی میان ضریب‌ها، با دادن ضریب یک، به یکی از ضریب‌ها، معادله‌ی واکنش موازنه می‌شود. حال این روش را با چند نمونه مورد بررسی قرار می‌دهیم:

نمونه‌ی (۱): معادله‌ی واکنش زیر را موازنه کنید:

$$NaI + H_2SO_4 \rightarrow H_2S + Na_2SO_4 + H_2O$$

۱) ضریب‌های مجهولی را به مولکول‌های موردنظر نسبت می‌دهیم:

$$aNaI + bH_2SO_4 \rightarrow cH_2S + dI_2 + eNa_2SO_4 + fH_2O$$

ضریب‌های مجهول ما در این معادله‌ی شیمیایی، a و b و c و d و e و f هستند.

۲) بنابه اصل موازنه کردن واکنش‌های شیمیایی، باید مجموع اتم‌های هر عنصر از هر نوع در دو طرف معادله‌ی واکنش با هم برابر باشند، پس داریم:

۱) برای اتم‌های سدیم $a = 2e$

۲) برای اتم‌های ید $a = 2d$

۳) برای اتم‌های هیدروژن $2b = 2c + 2f \Rightarrow b = c + f$

۴) برای اتم‌های گوگرد $b = c + e$

۵) برای اتم‌های اکسیژن $4b = 4e + f$

۳) یکی از ضریب‌ها را مساوی یک قرار می‌دهیم و معادله‌ها را ساده‌تر می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l} \boxed{e=1} \\ a=e \\ d=6e \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{a=1},\ \boxed{d=6}$$

$$\left.\begin{array}{l} 3c=f+g \\ c=f \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} g=2c \\ b+c=2g \end{array}\right\} \Rightarrow b=3c$$

ملاحظه می‌شود که ضریب‌های b و c هم‌چنان مجهول باقی می‌مانند. در این موارد ما نمی‌توانیم دوباره یکی از ضریب‌های

$$\left.\begin{array}{l} \boxed{c=1} \Rightarrow \boxed{a=2} \\ a=2d \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{d=1}$$

$$\left.\begin{array}{l} b=c+e \\ e=1 \end{array}\right\} \Rightarrow b=c+1$$

$$\left.\begin{array}{l} b=c+f \\ b=c+1 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{f=1}$$

$$\left.\begin{array}{l} 4b=4e+f \\ e=1 \\ f=1 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{b=\frac{5}{4}}$$

$$\left.\begin{array}{l} f=1 \\ b=\frac{5}{4} \\ b=e+f \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{c=\frac{1}{4}}$$

۴) عددهای به دست آمده را به جای ضریب‌های مجهول قرار می‌دهیم:

$$2NaI + \frac{5}{4}H_2SO_4 \rightarrow \frac{1}{4}H_2S + I_2 + Na_2SO_4 + H_2O$$

در یک معادله‌ی شیمیایی، ضریب‌ها به صورت عددهای صحیح نوشته می‌شوند، پس دوطرف این معادله‌ی شیمیایی را در عدد ۴ ضرب می‌کنیم:

$$8NaI + 5H_2SO_4 \rightarrow H_2S + 4I_2 + 4Na_2SO_4 + 4H_2O$$

نمونه‌ی ۲:

$$Pt + H^+ + HNO_3 + Cl^- \rightarrow PtCl_6^{2-} + NO + H_2O \quad (1$$

$$aPt + bH^+ + cHNO_3 + dCl^- \rightarrow ePtCl_6^{2-} + fNO + gH_2O \quad (2$$

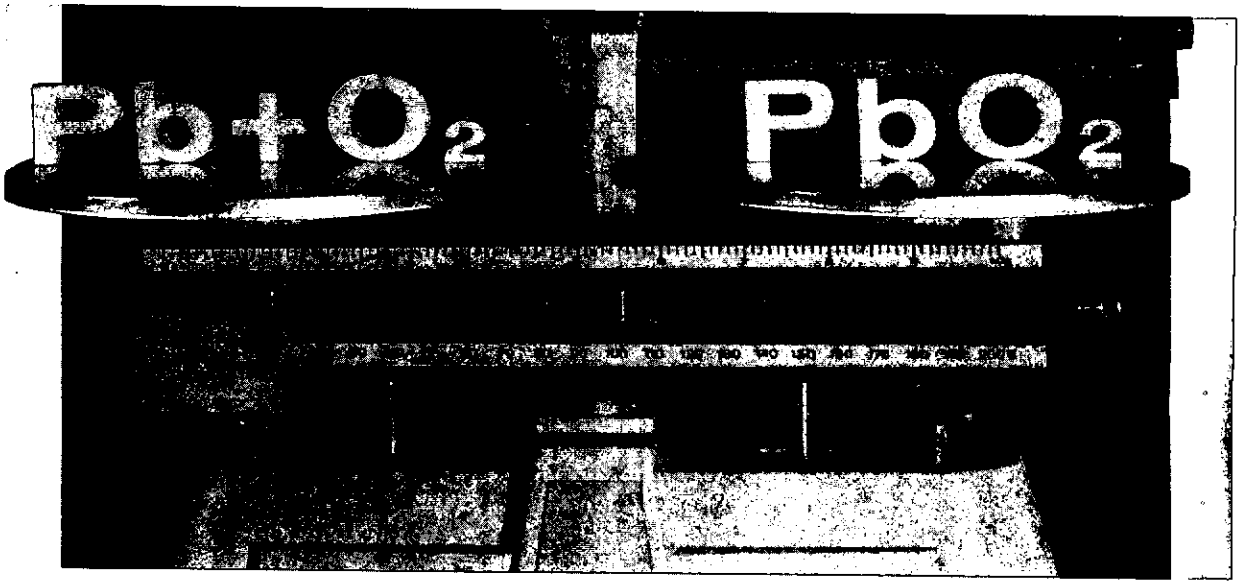
۱) برای اتم پلاتین $a = e$

۲) برای اتم‌های هیدروژن $b + c = 2g$

۳) برای اتم‌های نیتروژن $c = f$

۴) برای اتم‌های اکسیژن $3c = f + g$

۵) برای اتم‌های کلر $d = 6e$ (3



مجهول را برابر یک قرار دهیم. توجه کنید که در پیدا کردن معادله‌ها (گام ۲) برای موازنه کردن این واکنش H^+ با H یکسان گرفته شده است. برای موازنه‌ی چنین معادله‌هایی که در آن یون‌ها حضور دارند، به معادله‌ی دیگری به نام معادله‌ی موازنه‌ی بارها نیاز است. برای نوشتن چنین معادله‌ای ضریب‌های یون‌های مثبت را مثبت، و ضریب‌های یون‌های منفی را منفی درنظر می‌گیریم. برای واکنش بالا معادله‌ی موازنه‌ی بار عبارت است از:

$$\boxed{b-d=-2e}$$

سپس در ادامه داریم:

$$\left.\begin{matrix} b-d=-2e \\ e=1 \\ d=6 \end{matrix}\right\} \Rightarrow \boxed{b=4} \Rightarrow \left.\begin{matrix} \boxed{c=2/3} \\ b=3c \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left.\begin{matrix} \boxed{f=2/3} \\ c=f \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left.\begin{matrix} \boxed{g=8/3} \\ g=2c \end{matrix}\right\}$$

(۴

$$Pt+4H^+ +\frac{4}{3}HNO_3+6Cl^- \rightarrow PtCl_6^{2-}+\frac{4}{3}NO+\frac{8}{3}H_2O$$

دو طرف واکنش را در عدد ۳ ضرب می‌کنیم:

$$3Pt+12H^+ +4HNO_3+18Cl^- \rightarrow 3PtCl_6^{2-}+4NO+8H_2O$$

می‌بینیم که هم تعداد اتم‌ها از هر نوع، و هم تعداد کل بارها در دوطرف معادله، با هم برابر هستند.

نمونه‌ی ۳:

$$Fe^{2+}+H^+ +ClO_3^- \rightarrow Fe^{3+}+Cl^-+H_2O$$

(۱

$$aFe^{2+}+bH^+ +cClO_3^- \rightarrow dFe^{3+}+eCl^-+fH_2O$$

(۲

۱) $a=d$

۲) $b=2f$

۳) $c=e$

۴) $3c=f$

۵) $2a+b-c=3d-e$

(۳

با فرض

$$\left.\begin{matrix} \boxed{a=1} \Rightarrow \boxed{d=1} \\ 2a+b-c=3d-e \\ c=e \end{matrix}\right\} \Rightarrow \boxed{b=1} \Rightarrow \left.\begin{matrix} \boxed{f=1/2} \\ b=2f \end{matrix}\right\} \Rightarrow \left.\begin{matrix} \boxed{c=1/6} \\ f=3c \end{matrix}\right\} \Rightarrow \boxed{e=1/6}$$

(۴

$$Fe^{2+}+H^+ +\frac{1}{6}ClO_3^- \rightarrow Fe^{3+}+1/6Cl^-+1/2H_2O$$

دو طرف معادله‌ی شیمیایی را در عدد ۶ ضرب می‌کنیم:

$$6Fe^{2+}+6H^+ +ClO_3^- \rightarrow 6Fe^{3+}+Cl^-+3H_2O$$

* دبیر شیمی بیله سوار- اردبیل.

۱. قانون بقای جرم برای تمام واکنش‌های شیمیایی به استثنای واکنش‌هایی که با تغییرات هسته‌ای همراه باشد، معتبر است. این قانون اولین بار توسط آنتوان لاوازیه در سال ۱۷۸۹ میلادی رسماً بیان شد.

چارلز موریمر، شیمی عمومی، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۱، چاپ دهم.