رشد
دورهٔ بیست و چهارم • شمارهٔ ۴ • تابستان ۱۳۹۰

چکیده

پرسش‌ها و مسایل مربوط به تعادل‌های شیمیایی گاهی برای بیش‌تر دانش‌آموزان و حتی معلمان بحث‌برانگیز و با کج‌فهمی‌هایی همراه است. مشاهده می‌شود که تحلیل‌های متفاوتی از این مسایل وجود دارد و افراد با سلیقهٔ خود آن‌ها را حل یا محاسبه می‌کنند. این مقاله با طرح مسایل گوناگون سعی بر درک این موضوع‌ها به دور از کج‌فهمی دارد.

کلیدواژه‌ها: کج‌فهمی، تعادل شیمیایی، آموزش شیمی

کج‌فهمی در محاسبه‌های تعادلی

مرتضی واعظی
کارشناس ارشد شیمی فیزیک و معلم شیمی زنجان

آغاز سخن

تعادل‌های شیمیایی بحثی مهم در ترمودینامیک شیمیایی و شیمی پیش‌دانشگاهی نظام کنونی است. از آن‌جا که هر سال، تعداد چشم‌گیری از پرسش‌های آزمون‌ها از این مبحث طرح می‌شود نیاز به موشکافی بیش‌تر آن احساس می‌شود تا کج‌فهمی‌ها و طراحی مبهم پرسش‌ها بویژه در مسایل مربوط به محاسبه‌های تعادلی ـ که بارها مشاهده شده است ـ کاهش یافته، از بین برود. هم‌چنین باید در این زمینه به یاری مؤلفان کتاب‌های درسی و طراحان پرسش‌های امتحانی پرداخت.

تاکنون در بحث تعادل‌های شیمیایی، مسایل گوناگون با سلیقه‌ها و ادبیات متفاوت در کتاب‌های درسی و پرسش‌های امتحانی مطرح شده است. با آن‌که حل این مسایل از قاعده‌های خاصی هم‌چون غلظت‌های اولیه، تغییر آن‌ها و غلظت‌های تعادلی پیروی می‌کنند اما باید این قاعده‌ها را ضمن درک درست مسئله، با احتیاط و دقت بیش‌تری، با استفادهٔ درست از اصل لوشاتلیه تفسیر کرد تا به نتایج نادرستی نینجامد.

با این هدف در این‌جا برخی از مسایل

مربوط به این بحث که در پرسش‌های امتحانی و آزمون ورودی دانشگاه‌ها یا حتی کتاب‌های درسی ارایه شده است و منجر به درک نادرست موضوع توسط دانش‌آموزان شده و گاه چالش‌ها و بحث‌هایی را در میان معلمان در پی داشته است، عنوان می‌شود.

نمونهٔ ۱

مخلوط گازی در حال تعادل $A(g)+B(g)\rightleftarrows C(g)$ را در نظر می‌گیریم. اگر غلظت C به نصف کاهش یابد، ثابت تعادل چگونه تغییر خواهد کرد؟

می‌دانیم که بنا به اصل لوشاتلیه، تغییر دما افزون بر جابه‌جایی تعادل، مقدار ثابت تعادل، K، را نیز تغییر می‌دهد. پس در همهٔ واکنش‌ها و محاسبه‌های تعادلی باید دما ثابت باشد. گاهی مقدار دما در مسئله عنوان نمی‌شود و این، هیچ خللی به محاسبه‌ها وارد نمی‌کند. پس در مسایلی مانند نمونه، منظور طراح این است که واکنش در دمای ثابتی انجام می‌گیرد.

در این پرسش، برخی فراگیران به اشتباه تصور می‌کنند که با نصف شدن غلظت C، بنا به رابطهٔ ثابت تعادل باید مقدار K نیز نصف شود. اگر اصل لوشاتلیه به درستی تفهیم شود نتیجه‌گیری خواهد شد که با تغییر غلظت این جزء یا حتی دیگر اجزاء تعادل، واکنش در جهت مصرف آن جزء جابه‌جا می‌شود به گونه‌ای که مقدار K تغییر چشم‌گیری نخواهد داشت. یعنی مقدار ثابت تعادل تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند.

نمونهٔ ۲

در محفظه‌ای به حجم ۱L و دمای ثابت ۲۵۰°C، ۰/۳ مول PCl_5 به این ترتیب تجزیه می‌شود:

$$PCl_5(g)\rightarrow PCl_3(g)+Cl_2(g)$$

پس از برقراری تعادل در این معادله، ۰/۲۶ مول PCl_3 در محفظه وجود دارد. ثابت تعادل این واکنش را حساب کنید.

این نوع مسایل برای بیش‌تر دانش‌آموزان و معلمان، بسیار چالش‌برانگیز بوده است. برای نمونه این سؤال مطرح می‌شود که منظور از تجزیهٔ ۰/۳ مول PCl_5 این است که ۰/۳ مول از کل غلظت اولیهٔ این ماده وارد واکنش می‌شود یا این‌که غلظت اولیهٔ آن ۰/۳ مول است. طراح سؤال باید منظور خود را به روشنی در این زمینه بیان کند. پس چنین سؤالی برای فراگیران بجاست. اگر فرض اول درست باشد این کج‌فهمی وجود دارد که غلظت اولیهٔ PCl_5 داده نشده است پس نمی‌توان با این اطلاعات به مقدار K دست یافت. در حالی‌که حتی در این حال نیز می‌توان این محاسبه را انجام داد به این ترتیب که؛

فرض می‌کنیم غلظت اولیهٔ PCl_5، a است. با تجزیهٔ ۰/۳ مول از این ماده می‌توان غلظت‌های تعادلی همهٔ اجزاء را چنین به دست آورد:

واکنش تعادلی	$PCl_5(g)\rightleftarrows PCl_3(g)+Cl_2(g)$		
غلظت‌های اولیه	۰	۰	۰
تغییر غلظت‌ها	−۰/۳a	+۰/۲۶	+۰/۲۶
غلظت‌های تعادلی	a−۰/۳a	۰/۲۶	۰/۲۶

$$۰/۳a=۰/۲۶$$
$$a=۰/۸۷$$
$$[PCl_5]=۰/۸۷-۰/۲۶=۰/۶۱$$
$$K=\frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]}\qquad K=\frac{(۰/۲۶)^2}{۰/۶۱}=۰/۱۱$$

اگر فرض دوم درست باشد باید طراح تأکید می‌کرد که در این محفظه و در دمای موردنظر، ۰/۳ مول PCl_5 وجود دارد. در این حال می‌توان نوشت:

واکنش تعادلی	$PCl_5(g)\rightleftarrows PCl_3(g)+Cl_2(g)$		
غلظت‌های اولیه	۰/۳	۰	۰
تغییر غلظت‌ها	−۰/۲۶	+۰/۲۶	+۰/۲۶
غلظت‌های تعادلی	۰/۳−۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶

$$[PCl_5]=۰/۳-۰/۲۶=۰/۰۴$$
$$K=\frac{(۰/۲۶)^2}{۰/۰۴}=۱/۶۹$$

نمونهٔ ۳

۲ مول گاز NOCl در دمای ۵۰۰K به ظرفی به حجم ۱L وارد می‌شود. پس از آن‌که ۹ درصد آن تفکیک شد، تعادل

مشاهده می‌شود که تحلیل‌های متفاوتی از این مسایل وجود دارد و افراد با سلیقهٔ خود آن‌ها را حل یا محاسبه می‌کنند

$2NOCl(g) \rightleftarrows 2NO(g) + Cl_2(g)$ **بر قرار می‌شود. غلظت‌های تعادلی و مقدار ثابت تعادل را در این دما حساب کنید.**

در این‌جا غلظت اولیهٔ NOCl، ۲ مول بر لیتر است. هنگامی که ۹ درصد غلظت اولیهٔ این ماده تفکیک می‌شود، ۰/۰۹×۲ =۰/۱۸ مول از آن در واکنش به مصرف می‌رسد و این همان تغییر غلظت NOCl است. برخی از فراگیران به اشتباه تصور می‌کنند که ۰/۰۹ مول از ۲ مول NOCl وارد واکنش می‌شود و تغییر غلظت آن را برابر ۰/۰۹ مول در نظر می‌گیرند و از این‌رو به نتایج نادرستی می‌رسند. با توجه به ضرایب استوکیومتری خواهیم داشت:

واکنش تعادلی	$2NOCl(g) \rightleftarrows 2NO(g) + Cl_2(g)$		
غلظت‌های اولیه	۲	۰	۰
تغییر غلظت‌ها	−۰/۱۸	+۰/۱۸	+۰/۰۹
غلظت‌های تعادلی	۲−۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۹

$$K = \frac{[NO]^2[Cl_2]}{[NOCl]} = \frac{(0/18)^2(0/09)}{(2-0/18)^2} = 1/60\times10^{-3}$$

نمونهٔ ۴

مقدار ثابت تعادل برای واکنش $H_2(g) + I_2(g) \rightleftarrows 2HI(g)$ در دمای ۴۲۵°C برابر ۴۹ است. در یک سامانهٔ در حال تعادل از این واکنش غلظت‌های H_2، I_2 و HI به ترتیب به این قرار است: ۰/۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۷۴ مول بر لیتر. اگر بر غلظت HI، ۰/۱ مول بر لیتر افزوده شود، پس از برقراری تعادل دوباره، غلظت‌های اجزاء موجود در واکنش چه‌قدر خواهد بود؟

در این‌جا پس از افزایش غلظت HI، غلظت‌های تعادلی اولیه به‌هم می‌خورد. برای جبران این افزایش، واکنش به سمت چپ پیش می‌رود. برخی از دانش‌آموزان به اشتباه تصور می‌کنند که چون به اندازهٔ ۰/۰۷۴−۰/۱=۰/۰۲۶ مول بر غلظت HI افزوده شده است پس در تعادل جدید با توجه به ضریب‌های استوکیومتری، باید به اندازهٔ نصف این مقدار یعنی ۰/۰۱۳ مول، غلظت هر یک از مواد H_2 و I_2 افزایش یابد. برخی دیگر فرض می‌کنند که در تعادل جدید، غلظت HI برابر ۰/۰۱ مول بر لیتر است. هر دوی این‌ها نادرست است و برای حل مسئله باید گفت که با افزایش غلظت HI به مقدار ۰/۱ مول، بنا به اصل لوشاتلیه و با توجه به ضریب‌های استوکیومتری در تعادل جدید فرض می‌شود که ۲x مول از غلظت HI کاهش می‌یابد و بر غلظت هر یک از مواد H_2 و I_2 به مقدار x مول افزوده می‌شود. یعنی:

واکنش تعادلی	$H_2(g) + I_2(g) \rightleftarrows 2HI(g)$		
غلظت‌های اولیه	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷۴
تغییر غلظت‌ها	+x	+x	−۲x
غلظت‌های تعادلی	۰/۰۱+x	۰/۰۱+x	۰/۱−۲x

مقدار ثابت تعادل در دمای ثابت تغییری نمی‌کند پس:

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

$$49 = \frac{(0/1-2x)^2}{(0/01+x)^2}$$

$$7 = \frac{0/1-2x}{0/01+x} \qquad x = 1/87\times10^{-3}\ \text{mol/L}$$

و از آن‌جا خواهیم داشت:

$$[HI] = 0/1-(2\times1/87\times10^{-3}) = 9/63\times10^{-2}\ \text{mol/L}$$

$$[H_2] = [I_2] = 0/01+(1/87\times10^{-3}) = 1/18\times10^{-2}\ \text{mol/L}$$

نمونهٔ ۵

در دمای معینی ثابت تعادل واکنش $2NO(g) \rightleftarrows N_2(g) + O_2(g)$ برابر $\frac{1}{64}$ است. تعیین کنید که چند درصد از NO در این دما تجزیه می‌شود.

در این‌گونه مسایل نیز فراگیران تصور می‌کنند که چون غلظت اولیهٔ NO داده نشده است نمی‌توان مسئله را حل کرد. این نمونه تقریباً شبیه نمونهٔ ۳ است با این تفاوت که مقدار تجزیه شده از مادهٔ اولیه داده نشده است. اما ثابت تعادل معلوم است. چون درصد تجزیهٔ NO اولیه خواسته شده است پس فرقی نمی‌کند که غلظت اولیهٔ آن را چه اندازه بگیریم. برای

از آن‌جا که هر سال، تعداد چشم‌گیری از پرسش‌های آزمون‌ها از این مبحث طرح می‌شود نیاز به موشکافی بیش‌تر آن احساس می‌شود تا کج‌فهمی‌ها و طراحی مبهم پرسش‌ها بویژه در مسایل مربوط به محاسبه‌های تعادلی ـ که بارها مشاهده شده است ـ کاهش یافته، از بین برود

راحتی کار، مقدار غلظت اولیهٔ NO را ۲ مول بر لیتر در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم که x مول از آن تجزیه می‌شود. پس داریم:

واکنش تعادلی	$2NO(g) \rightleftarrows N_2(g) + O_2(g)$		
غلظت‌های اولیه	۲	۰	۰
تغییر غلظت‌ها	$-x$	$+\frac{x}{2}$	$+\frac{x}{2}$
غلظت‌های تعادلی	$2-x$	$\frac{x}{2}$	$\frac{x}{2}$

$$K = \frac{[N_2][O_2]}{[NO]^2}$$

$$\frac{1}{64} = \frac{(\frac{x}{2})^2}{(2-x)^2} \qquad \frac{1}{8} = \frac{x}{2(2-x)} \qquad x = 0/4 \ \text{mol/L}$$

مقدار تجزیه شده برحسب درصد به این قرار است:

$$\frac{0/4}{2} \times 100 = \%20$$

نمونهٔ ۶

مقدار عددی ثابت تعادل برای واکنش $N_2(g) + O_2(g) \rightleftarrows 2NO(g)$ در دمایی مشخص، ۹۰۰ است. در یک ظرف ۲ لیتری، ۲ مول N_2 و ۰/۱ مول O_2 با چند مول NO در حال تعادل است؟

ابهامی که فراگیر در این پرسش با آن روبه‌روست این است که مشخص نیست آیا ۰/۲ و ۰/۱ مول، غلظت تعادلی N_2 و O_2 است یا غلظت اولیهٔ آن‌ها. در این حال باید طراح سؤال پاسخگو باشد. برای حل این مسئله ناچاریم به یکی از این حالت‌ها عمل کنیم؛

حالت آ) اگر غلظت تعادلی NO را x فرض کنیم می‌توانیم چنین بنویسیم:

واکنش تعادلی	$N_2(g) + O_2(g) \rightleftarrows 2NO(g)$		
غلظت‌های تعادلی	۰/۲	۰/۱	x

$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$$

$$900 = \frac{x^2}{0/2 \times 0/1} \qquad x = 4/24 \ \text{mol/L}$$

حالت ب) فرض می‌کنیم مقدار تجزیه شده از N_2 و O_2 برای رسیدن به تعادل x باشد. پس:

واکنش تعادلی	$N_2(g) + O_2(g) \rightleftarrows 2NO(g)$		
غلظت‌های اولیه	۰/۲	۰/۱	۰
تغییر غلظت‌ها	$-x$	$-x$	$+2x$
غلظت‌های تعادلی	$0/2-x$	$0/1-x$	$2x$

$$K = \frac{(2x^2)}{(0/2-x)(0/1-x)} = 900$$

$$896x^2 - 270x + 18 = 0$$

$$x_1 = 0/20, \ x_2 = 0/09$$

x=۰/۰۹ جواب قابل قبول است و داریم:

$$[NO] = 2x = 0/18 \ \text{mol/L}$$

نتیجه‌گیری

تاکنون به‌طور ناخواسته در طراحی پرسش‌های مربوط به تعادل‌های شیمیایی، مسایل گوناگونی مطرح شده و می‌شود که برای فراگیران و حتی معلمان گمراه‌کننده بوده، با کج‌فهمی‌هایی همراه است. برای جلوگیری از این موارد، باید نشست‌هایی میان مؤلفان کتاب‌ها، معلمان، کارشناسان و طراحان پرسش‌های امتحانی و آزمون ورودی دانشگاه‌ها ترتیب یابد تا ضمن بحث و بررسی مسایل گوناگون، قراردادها و نتایج واحدی به‌دست آید. هم‌چنین نیاز است که برخی از مسایل مطرح شده در کتاب‌های درسی مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد تا از سردرگمی در فراگیران جلوگیری شود.

حل این مسایل از قاعده‌های خاصی هم‌چون غلظت‌های اولیه، تغییر آن‌ها و غلظت‌های تعادلی پیروی می‌کنند اما باید این قاعده‌ها را ضمن درک درست مسئله، با احتیاط و دقت بیش‌تری، با استفادهٔ درست از اصل لوشاتلیه تفسیر کرد تا به نتایج نادرستی نینجامد

1. Atkins, P.; Paula, J. Physical Chemistry, W.H. Freeman, 8 th ed. USA, 2006.

2. Glinka, N.L. Problems in Chemistry, 1973.

۳. شیمی عمومی مورتیمر، جلد دوم، چاپ چهارم، ۰۷۳۱.