

مدرسه آنلاین نگرش

تعداد

مبحث



دکتر رضا بابایی

www.negareshonline.com

تبادل

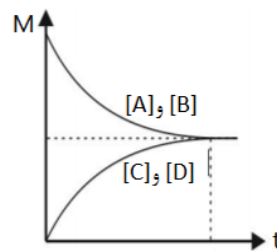
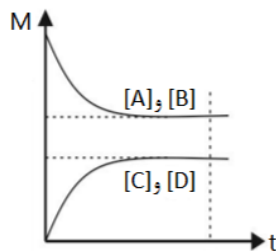
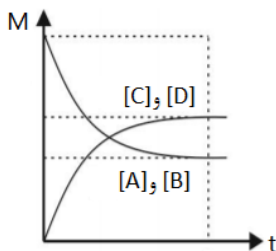
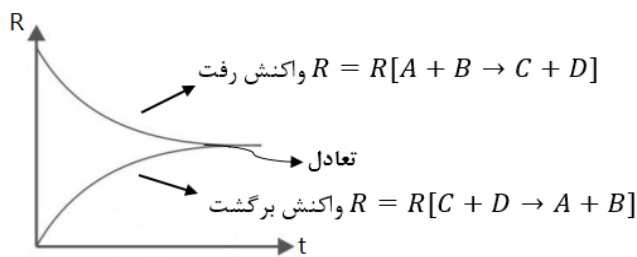
در بسیاری از واکنش ها، فرآورده ها می توانند به واکنش دهنده ها تبدیل شوند به این فرآیند ها، برگشت پذیر می گویند.

حال فرض کنیم واکنش: $A(g) + B(g) \rightarrow C(g) + D(g)$ یک واکنش برگشت پذیر باشد (یعنی C و D می تواند به A و B تبدیل شود).

به عنوان مثال واکنش: $N_2O_4(g) \xrightleftharpoons[(2)]{(1)} 2NO_2(g)$ یک واکنش برگشت پذیر است. این واکنش با سرد کردن (در فریزر) در جهت برگشت (۲)، یعنی تولید N_2O_4 انجام می شود و با گرم کردن در جهت رفت (۱) پیشرفت می کند و مولکول های قهوه ای NO_2 تولید می شوند. (۱)

در آغاز واکنش از آنجا که غلظت A و B بیشتر است، واکنش رفت با حداکثر سرعت آغاز می شود زیرا احتمال برخورد مولکول های A و B بیشتر است. بنابراین A و B، تند تند مصرف می شوند و C و D تند تند تولید می شوند. با گذشت زمان و تولید شدن C و D، احتمال برخورد بین مولکول های C و D نیز افزایش می یابد یعنی سرعت واکنش برگشت نیز رفته رفته افزایش می یابد، با ادامه این روند و به خاطر کم شدن غلظت A و B، سرعت واکنش رفت کمتر شده و با زیاد شدن غلظت C و D، سرعت واکنش برگشت بیشتر می شود. (دقت کنید که سرعت یک واکنش تابع تعداد برخورد بین مواد واکنش دهنده است).

از زمانی که سرعت واکنش برگشت با سرعت واکنش رفت برابر می شود می گوییم تبادل برقرار شده است. در این شرایط هر چقدر از A و B مصرف می شوند، C و D تولید می کنند و هم زمان، به همان میزان از C و D نیز کم شده و A و B تولید می شوند. بنابراین غلظت A، B، C و D ثابت می ماند و بیننده احساس می کند که واکنش متوقف شده است. در حالی که از دیدگاه مولکولی (میکروسکوپی) مواد به هم تبدیل می شوند.

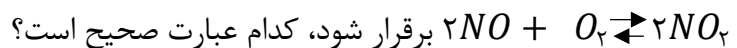


پاورقی: اصولاً واکنش های برگشت پذیر در غالب موارد یا در جهت برگشت گرماده هستند که این عامل باعث می شود واکنش ها در جهت برگشت تمایل به انجام شدن داشته باشند و یا در جهت برگشت با افزایش آنتروپی همراه هستند اما از آن جا که مفهوم آنتروپی در کتاب های درسی مطرح نشده است، در مورد علت برگشت پذیری واکنش ها توضیح بیشتری ندراره ایم.

تمرین ۱: در واکنش به حالت تعادل: $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ کدام عبارت (ها) درست است؟

- (۱) غلظت واکنش دهنده ها با فراورده ها برابر است.
- (۲) غلظت NO_2 و N_2O_4 در لحظه ی تعادل متناسب با ضرایب استوکیومتری آن ها است.
- (۳) الزاماً این تعادل در یک ظرف سربسته برقرار شده است.
- (۴) مجموع تعداد مول های NO_2 و N_2O_4 از لحظه ی آغاز تا رسیدن به تعادل روندی کاهشی داشته است.
- (۵) سرعت مصرف NO_2 و سرعت تولید N_2O_4 در لحظه ی تعادل برابر است.

تمرین ۲: در ظرف یک لیتری مقدار دو مول گاز NO و ۱ مول گاز O_2 وارد می کنیم تا تعادل



- (۱) سرعت تولید اکسیژن تا رسیدن به تعادل افزایش می یابد.
- (۲) پس از تعادل غلظت NO و NO_2 با هم برابر است.
- (۳) غلظت NO_2 بعد از تعادل دو برابر غلظت اکسیژن است.
- (۴) غلظت NO بعد از تعادل ۲ برابر غلظت O_2 است.
- (۵) تعادل زمانی برقرار می شود که سرعت مصرف NO با سرعت تولید NO_2 برابر شود.

تمرین ۳: با توجه به جدول داده شده که به واکنش گازی: $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ مربوط است کدام عبارت درست

است؟

$t(s)$	$[SO_2]$	$[O_2]$	$[SO_3]$
$t = 0$	۲	۱	۰
$t = 10$	۱/۲	۰/۶	۰/۸
$t = 20$	۰/۷	۰/۳۵	۱/۳
$t = 30$	۰/۷	۰/۳۵	۱/۳

- (۱) با گذشت زمان در شرایط آزمایش غلظت نهایی SO_3 به دو مولار می رسد.
- (۲) در ثانیه ی $t = 10$ واکنش در حالت تعادل قرار دارد.
- (۳) در $t = 20$ سرعت واکنش رفت و سرعت واکنش برگشت برابر است.
- (۴) مجموع غلظت مواد موجود در واکنش همواره عدد ثابتی بوده است.

یک تعادل دارای ویژگی های زیر است:



- (۱) سرعت واکنش رفت و برگشت در آن برابر شده است.
- (۲) غلظت مواد واکنش دهنده و فراورده ثابت است. (یعنی تغییر قابل مشاهده یا قابل اندازه گیری با چشم ندارد و ناظر حس می کند که واکنش متوقف شده است. به عبارت دیگر سامانه از دیدگاه ظاهری متوقف شده است اما در مقیاس میکروسکوپی در حال انجام شدن است.)
- (۳) سامانه بسته دارد.

❖ بدیهی است که ویژگی های فوق پس از برقرار شدن تعادل در یک سیستم بدست آمده است. به این ترتیب دقت کنیم که برگشت پذیر بودن به معنای تعادل نیست و در واقع تعادل حالت خاص یک واکنش برگشت پذیر است.

ثابت تعادل

در یک واکنش تعادلی حاصل نسبت غلظت فرآورده ها به توان ضرایب استوکیومتری به غلظت واکنش دهنده ها به توان ضرایب استوکیومتری ثابت تعادل گفته می شود که آن را با K_C نمایش می دهیم. ثابت تعادل کمیتی است که نشان دهنده ی میزان پیشرفت یک تعادل است ، به عبارت دیگر K_C می تواند تعیین کند که:

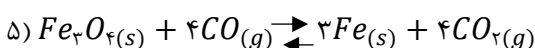
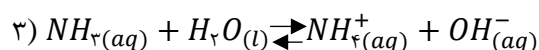
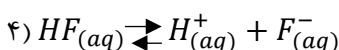
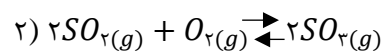
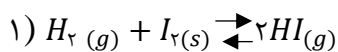
چه کسری از مواد واکنش دهنده می تواند به فرآورده تبدیل شود.

بدیهی است که یک واکنش تعادلی در حالت کلی بیانگر یک واکنش غیر کامل (ناقص) است. بیانگر واکنشی است که تمام مواد واکنش دهنده نتوانسته اند به فرآورده تبدیل شوند و K_C پاسخگوی این پرسش است که چه مقدار از واکنش دهنده ها موفق شده اند که فرآورده بشوند. بدیهی است که هر چقدر K_C (ثابت تعادل) بزرگتر باشد، بخش بیشتری از واکنش دهنده ها به فرآورده تبدیل می شود. در شرایطی که K_C (ثابت تعادل) بسیار بزرگ باشد، عملاً واکنش « به طور کامل » پیشرفت کرده است.

ویژگی های K_C (ثابت تعادل)

- 1) نشان دهنده ی آن است که در حالت تعادل چه بخشی از مواد موجود در تعادل را فرآورده ها تشکیل داده اند، به این مفهوم که هر چقدر K_C بزرگتر باشد، بخش بیشتری از واکنش دهنده ها به فرآورده تبدیل شده اند.
- 2) ثابت تعادل در هر واکنش معین عدد ثابتی است که فقط به دما بستگی دارد.
- 3) در عبارت ثابت تعادل غلظت مواد « s » و « l » نوشته نمی شوند و تنها غلظت « g » و « aq » نوشته می شود. (چون غلظت مواد جامد و مایع عددی ثابتی است.)⁽¹⁾
- 4) کمیتی است که می تواند واحد $(\frac{mol}{L})^n$ را داشته باشد و می تواند $n = 0$ نیز باشد یعنی واحد نداشته باشد!

تمرین ۱: رابطه ثابت تعادل (K_C) را برای واکنش های تعادلی زیر تعریف کنید و واحد آن را بنویسید.



پاورقی: غلظت مواد جامد و مایع را می توان از تقسیم کلالی جرم مولی بردست آورد.

تفسیر K

K نشان دهنده ی میزان پیشرفت واکنش تا رسیدن به تعادل است. در واقع K هر چقدر بزرگتر باشد، در مخلوط تعادلی سهم فرآورده ها بیشتر است. به محور زیر دقت کنید:

	K_C : کوچک	$K_C \cong 1$	K_C : بزرگ	
	واکنش تقریباً انجام نشده است.	واکنش به مقدار کمی انجام شده است و واکنش دهنده ها بیشتر از فرآورده است.	واکنش کامل شده است.	
	واکنش تقریباً انجام نشده است.	تعداد حالت میانه (متوسط) دارد.	تعداد حالت میانه (متوسط) دارد.	
	واکنش تقریباً انجام نشده است.	در مخلوط تعادلی واکنش دهنده و فرآورده مقادیر نزدیک دارند.	در مخلوط تعادلی واکنش دهنده و فرآورده مقادیر نزدیک دارند.	
	واکنش تقریباً انجام نشده است.	تعداد حالت میانه (متوسط) دارد.	تعداد حالت میانه (متوسط) دارد.	
	واکنش تقریباً انجام نشده است.	تعداد حالت میانه (متوسط) دارد.	تعداد حالت میانه (متوسط) دارد.	

تمرین ۱: فرآیند بین مولکول های A (گلوله سفید) و مولکول های B (گلوله سیاه) را به صورت $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ در نظر بگیرید، هر یک از مجموعه شکل های زیر آزمایش متفاوتی را با گذشت زمان نشان می دهد.

زمان

الف) کدام آزمایش (ها) به یک تعادل منجر شده است؟

ب) مقدار ثابت تعادل K_C برای واکنش $A \rightleftharpoons B$ کدام است؟

ج) آیا محاسبه ی K_C بدون داشتن حجم ظرف در تعادل فوق امکان پذیر است؟

تمرین ۲: تصویرهای زیر حالت تعادل برای سه واکنش مختلف گازی به صورت $A_2 + X_2 \rightleftharpoons 2AX$

($X=B$ یا C یا D) را نشان می دهد؟

(۱) کدام یک بیشترین ثابت تعادل را دارد؟

(۲) کدام یک کمترین ثابت تعادل را دارد؟

محاسبات مربوط به K

اصولاً یک واکنش فرضی به معادله $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ (در حالت گازی) به صورت زیر به تعادل می رسد:

(a, b, c, d ضرایب استوکیومتری هستند.)

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

اولیه : $Y \quad Z \quad . \quad .$

تغیضات : $\frac{-ax}{Y - ax} \quad \frac{-bx}{Z - bx} \quad \frac{+cx}{cx} \quad \frac{+dx}{dx}$

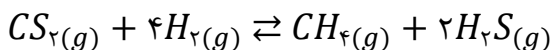
تعادل :

یعنی با فرض این که Y و Z مقادیر اولیه A و B بوده اند، مقدار مصرف A و B و تولید C و D ، به نسبت ضرایب استوکیومتری آنها بوده است.

❖ حالت اول:

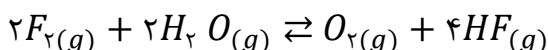
در برخی از سوالات همان غلظت های به حالت تعادل مواد مطرح می شود، یعنی سامانه در حالت تعادل مورد بحث قرار می گیرد. (مقادیر اولیه واکنش دهنده ها برای سوال بی ارزش بوده است.) در این حالت اگر در آغاز واکنش، فقط واکنش دهنده ها وارد شده باشند، غلظت فرآورده ها در حالت تعادل، به نسبت ضرایب استوکیومتری آنها خواهد بود.

مثال ۱: در یک ظرف پنج لیتری در بسته، مقداری از گازهای هیدروژن و کربن دی سولفید وارد شده است. اگر در لحظه تعادل $0/1$ مول از هر واکنش دهنده، $0/5$ مول گاز متان و 1 مول گاز هیدروژن سولفید در مخلوط تعادلی وجود داشته باشد، مقدار K (بر حسب $L^2 \cdot mol^{-2}$) کدام است؟



- (۱) $6/25 \times 10^5$
 (۲) $6/25 \times 10^6$
 (۳) $1/25 \times 10^5$
 (۴) $1/25 \times 10^6$

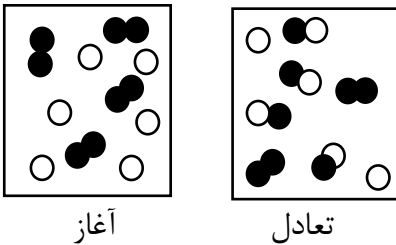
مثال ۲: در یک آزمایش، $2/1$ مول $F_2(g)$ و $1/1$ مول $H_2O(g)$ در یک ظرف 2 لیتری با هم واکنش می دهند. اگر در لحظه تعادل 2 مول گاز فلوئور، یک مول آب، $0/2$ مول HF و $0/05$ مول گاز اکسیژن در ظرف واکنش وجود داشته باشد، مقدار K (بر حسب $mol \cdot L^{-1}$) کدام است؟



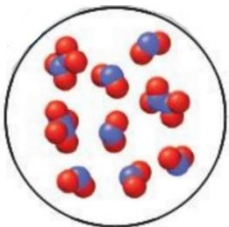
- (۱) 10^{-5}
 (۲) 10^{-4}
 (۳) 2×10^{-3}
 (۴) 5×10^{-3}

مثال ۳: در تعادل $CO(g) + 2H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g)$ ، مقدار K در دمای $257^\circ C$ برابر $0.25 \text{ mol}^{-2} \cdot L^2$ است. اگر در حالت تعادل در ظرف ۲ لیتری مقداری 0.56 گرم گاز کربن مونو اکسید و 0.16 گرم گاز هیدروژن درون ظرف باشد، با کاهش دما به صورت سریع تا $-20^\circ C$ ، حداکثر چند گرم متانول می توان تهیه کرد؟
($H = 1, C = 12, O = 16 \text{ g/mol}$)

مثال ۴: با توجه به شکل های زیر اگر گلوله سفید نشان دهنده X و گلوله های سیاه نشان دهنده A باشد و هر گلوله معادل 0.1 مول ماده در نظر گرفته شود و حجم ظرف دو لیتر باشد، K_C کدام است؟



تمرین ۵: در ظرف روبرو غلظت های $NO_2(g)$ و $N_2O_4(g)$ با گذشت زمان تغییری نکرده است، اگر هر گلوله برابر با 0.1 مول باشد و K تعادل برابر با $0.25 \text{ mol}^{-1} \cdot L$ باشد، حجم ظرف چند لیتر است؟

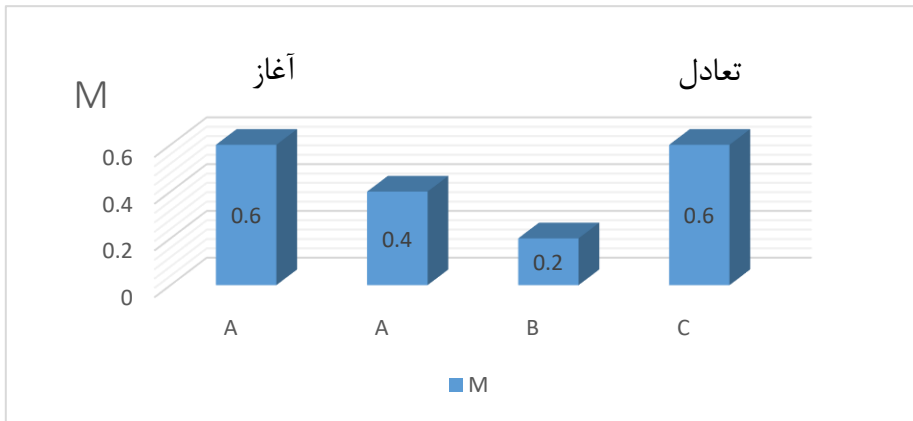


مثال ۶: مقداری آمونیوم هیدروژن سولفید ($NH_4HS(s)$) را در ظرف به حجم 250 ml حرارت می دهیم تا براساس تعادل $NH_4HS(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_2S(g)$ تجزیه شود. اگر $K = 0.16 \text{ mol}^2 \cdot L^{-2}$ و پس از تعادل 0.51 گرم آمونیوم هیدروژن سولفید درون ظرف باشد، مقدار اولیه $NH_4HS(s)$ چند گرم بوده است؟
($N = 14, H = 1, O = 16, S = 32 \text{ g/mol}$)

تمرین ۷: در تعادل گازی $2NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3H_2$ تعداد مولکول های N_2 نصف تعداد مولکول های آمونیاک است. اگر $K_C = 6/75 \text{ mol}^2 \cdot L^{-2}$ باشد، چند گرم هیدروژن در ظرف دو لیتری به حالت تعادل وجود دارد؟
($H = 1 \text{ g/mol}$)

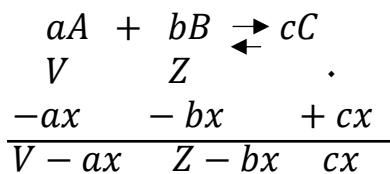
مثال ۸: مقدار ۰/۹ گرم منیزیم اکسید را حرارت می دهیم تا در ظرف به حجم ۲ لیتر تعادل $2MgO(s) \rightleftharpoons 2Mg(s) + O_2(g)$ برقرار شود، اگر پس از تعادل مجموع جرم مواد جامد موجود در ظرف برابر ۰/۷۴ گرم باشد، K_C در تعادل فوق چقدر است؟ ($Mg = 24, O = 16 \text{ g/mol}$)

تمرین ۹: با توجه به اطلاعات داده شده، K تعادل واکنش کدام است؟



❖ حالت دوم:

در این حالت، مقدار اولیه سوال در داده های سوال اهمیت دارد و بهتر است به الگوی اولیه سوال دوباره توجه کنیم:



تمرین ۱: در ظرفی به حجم ۲ لیتر، ۵/۶ مول گاز گوگرد دی اکسید و ۳ مول گاز اکسیژن وارد می کنیم تا تعادل گازی $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ برقرار شود، پس از برقراری تعادل فوق، ۲/۴ مول گاز گوگرد تری اکسید تولید شده است، K تعادل فوق چقدر است؟

تمرین ۲: در ظرفی به حجم ۳ L مقدار ۹ مول گاز هیدروژن و ۹ مول گاز ید وارد می کنیم تا تعادل گازی $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ با $K = 16$ برقرار شود پس از برقراری تعادل فوق، غلظت HI چند مولار است؟

تمرین ۳: در ظرفی به حجم ۱ لیتر مقدار $1/0.5$ مول گاز نیتروژن و $2/8.5$ مول گاز هیدروژن وارد می کنیم پس از برقراری تعادل، مجموع تعداد مول های موجود در تعادل ۳ مول است. K تعادل فوق چقدر است؟

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$$

تمرین ۴: مقدار $0/0.9$ مول گاز SO_3 در ظرفی به حجم معین حرارت می دهیم تا تعادل گازی $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ برقرار شود پس از تعادل تعداد مول های O_2 برابر $0/0.3$ مول و $K = 0/0.3$ است. حجم ظرف چند لیتر بوده است؟

تمرین ۵: مقدار ۱ مول گاز آمونیاک را در ظرف ۲ لیتری، حرارت می دهیم تا تعادل گازی $2NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3H_2$ برقرار شود. اگر برای رسیدن به تعادل ۴۰٪ آمونیاک تجزیه شده باشد، K تعادل چقدر است؟

تمرین ۶: در ظرفی به حجم ۲۰ لیتر مقداری آمونیاک وارد می کنیم تا تعادل گازی $2NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3H_2$ برقرار شود. پس از برقراری تعادل فوق غلظت NH_3 و H_2 به ترتیب ۱ و $0/7.5$ مولار است، جرم مخلوط در حالت تعادل چند گرم است؟ ($N = 14, H = 1 \text{ g/mol}$)

تمرین ۷: در ظرفی به حجم یک لیتر، مقدار یک مول گاز N_2O_4 وارد می کنیم تا تعادل گازی $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ برقرار شود اگر $K = 9$ باشد، پس از تعادل غلظت NO_2 چند برابر غلظت N_2O_4 است؟