

فصل

۱

قسمت سوم

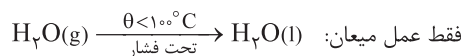
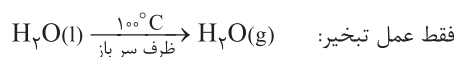
برگشت پذیری و تعادل - ثابت تعادل و مفهوم آن - مسائل تعادل

۴۰

اغلب واکنش‌های شیمیایی برگشت پذیر هستند. نمونه‌هایی از واکنش‌های برگشت پذیر مانند واکنش‌های شیمیایی باتری‌های موبایل و تبدیل اوزون به گاز اکسیژن را در سال‌های دهم و یازدهم دیدید.

واکنش برگشت پذیر

به واکنش‌هایی که علاوه بر امکان انجام در جهت رفت، امکان انجام شدن در جهت برگشت را دارند، واکنش برگشت پذیر گویند. ☒ با اعمال شرایط می‌توان یک واکنش برگشت پذیر را فقط در جهت رفت انجام داده و یا این‌که فقط در جهت برگشت انجام داد. برای مثال، اگر آب را در یک ظرف سر باز در دمای 100°C قرار دهیم، جوشیده و تنها عمل تبخیر صورت می‌گیرد. حال اگر بخار آب را در دمای کم‌تر از 100°C و تحت فشار قرار دهیم تنها عمل میعان صورت می‌گیرد.



☒ در اغلب اوقات (نه همیشه) می‌توان شرایطی را مهیا کرد تا هم واکنش رفت و هم واکنش برگشت در یک مکان و زمان انجام شوند. در این صورت پس از مدتی واکنش برگشت پذیر به تعادل می‌رسد، اما برخی اوقات شرایط انجام واکنش‌های رفت و برگشت به قدری متفاوت است که هرگز نمی‌توان هر دو واکنش رفت و برگشت را در یک مکان و زمان انجام داد.

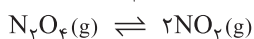
تعادل چیست؟

هر گاه بتوانیم برای یک واکنش برگشت پذیر شرایط را طوری آماده کنیم که هم واکنش رفت و هم واکنش برگشت امکان انجام شدن را داشته باشند، پس از مدتی سرعت انجام واکنش رفت با واکنش برگشت یکسان شده و واکنش به تعادل می‌رسد.

شرط برقراری تعادل از نظر سینتیکی $\Leftarrow$ سرعت واکنش برگشت (R_p) = سرعت واکنش رفت (R_f)

۱ در یک واکنش تعادلی بنا به قرارداد، واکنش از چپ به راست را واکنش رفت (R_f) در نظر گرفته و واکنش از راست به چپ را واکنش برگشت (R_p) یا (R_{-p}) در نظر می‌گیرند و بین مواد سمت چپ و سمت راست از دو فلش رفت و برگشت ($\rightleftharpoons$) استفاده می‌کنند. بنا به قرارداد به مواد سمت چپ، واکنش‌دهنده‌های تعادل و به مواد سمت راست، فراورده‌های تعادل گویند. در واقع واکنش‌دهنده و فراورده بر اساس واکنش رفت نام‌گذاری می‌شود.

فراورده‌ها $\rightleftharpoons$ واکنش‌دهنده‌ها



۲ از نظر شرایط مکانی، یک واکنش برگشت پذیر در صورتی می‌تواند به تعادل برسد که در یک ظرف در بسته (سامانه بسته) انجام شده و دمای سامانه (واکنش) ثابت باشد. (اگر حتی یک ماده گازی در تعادل باشد، وجود ظرف در بسته الزامی است.)

شرایط ضروری برقراری تعادل $\leftarrow$ ۱) انجام واکنش در یک ظرف در بسته $\leftarrow$ ۲) ثابت بودن دما

۳ وقتی تعادل برقرار می‌شود، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت برابر می‌شود. به این معنی که در هر لحظه هر مقدار از مواد اولیه به فراورده تبدیل می‌شوند، در واکنش برگشت هم همان مقدار فراورده به واکنش‌دهنده تبدیل می‌گردند؛ در نتیجه برای هر ماده مقدار مصرفی و تولیدی یکسان شده، لذا مقدار و غلظت هر ماده پس از تعادل ثابت می‌ماند.

سرعت واکنش رفت = سرعت واکنش برگشت $\leftarrow$ سرعت مصرف هر واکنش‌دهنده (رفت) = سرعت تولید آن واکنش‌دهنده (برگشت) $\leftarrow$ سرعت تولید هر فراورده (رفت) = سرعت مصرف آن فراورده (برگشت)

$$R_p = R_f$$

نکته در یک تعادل از دیدگاه میکروسکوپی (مولکولی) به طور مرتب واکنش‌های رفت و برگشت در حال انجام هستند و هرگز متوقف نمی‌شوند، اما چون سرعت یکسانی دارند، غلظت و مقدار مواد موجود در تعادل ثابت مانده و تغییری نمی‌کند و این به معنی توقف واکنش‌های رفت و برگشت نمی‌باشد.

جمع‌بندی

- ویژگی‌های یک سامانه تعادلی
- ۱) سرعت واکنش رفت با برگشت برابر است.
 - ۲) در ظرف در بسته انجام می‌شود (سامانه آن بسته است).
 - ۳) در دمای ثابت انجام می‌شود.
 - ۴) خواص میکروسکوپی متغیر ولی خواص ماکروسکوپی (قابل اندازه‌گیری مثل جرم، حجم و ...) ثابت دارد.
 - ۵) غلظت مواد گازی و محلول ثابت است (جامد و مایع همواره ثابت هستند).
 - ۶) هیچ‌گاه غلظت و مقدار هیچ‌کدام از مواد موجود در تعادل صفر نمی‌گردد.

تست

چند مورد از مطالب زیر درست هستند؟

- (آ) تمامی واکنش‌های برگشت‌پذیر را می‌توان با اعمال شرایط مناسب به تعادل رساند.
 (ب) هرگز نمی‌توان یک واکنش برگشت‌پذیر را به صورت یک طرفه و در یک جهت انجام داد.
 (پ) با اعمال شرایط خاصی می‌توان هر واکنشی را در جهت برگشت نیز انجام داد.
 (ت) وقتی واکنش به تعادل رسید، غلظت مواد ثابت شده ولی حجم و مقدار متناسب با هم تغییر می‌کنند.
 (ث) برای برقراری تعادل در محیط آبی باید دما ثابت بوده و ظرف در بسته باشد.
- (۱) صفر (۲) ۱ (۳) ۲ (۴) ۳

پاسخ: (آ) نادرست، گاهی اوقات نمی‌توان شرایطی را فراهم کرد که هر دو واکنش هم‌زمان در یک جا انجام شوند، پس هر واکنش برگشت‌پذیری لزوماً به تعادل نمی‌رسد.

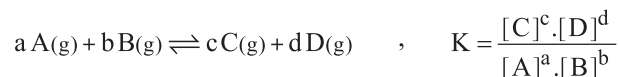
- (ب) نادرست، یک واکنش برگشت‌پذیر را می‌توان با اعمال شرایط هم به شکل یک طرفه و هم دو طرفه انجام داد.
 (پ) نادرست، واکنش‌های برگشت‌پذیر این‌گونه هستند، ولی واکنش برگشت‌ناپذیر مانند سوختن بنزین را نمی‌توان در جهت برگشت انجام داد.
 (ت) نادرست، در حالت تعادل همه خواص قابل اندازه‌گیری مانند غلظت، جرم، حجم و ... ثابت می‌مانند.
 (ث) نادرست، در محیط آبی تعادل درون حلال آب شکل می‌گیرد و حلال مانند ظرف در بسته عمل می‌کند. پس بسته بودن یا باز بودن ظرف اهمیتی ندارد؛ اما اگر در تعادل، مواد گازی داشته باشیم، قطعاً باید در بسته باشد تا مواد گازی از آن خارج نشوند.
 بنابراین گزینه (۱) پاسخ تست است.

ثابت تعادل (K)

به نسبت حاصل ضرب غلظت‌های تعادلی هر یک از فراورده‌ها به توان ضریب به حاصل ضرب غلظت‌های تعادلی هر یک از واکنش‌دهنده‌ها به توان ضریب، ثابت تعادل گویند که از ویژگی‌های هر تعادل در یک دمای معین است.

ثابت تعادل (K) از ویژگی‌های هر تعادل در دمای معین

عبارت ثابت تعادل $\Leftarrow$ $\frac{\text{حاصل ضرب غلظت تعادلی هر فراورده به توان ضریب}}{\text{حاصل ضرب غلظت تعادلی هر واکنش‌دهنده به توان ضریب}}$ = ثابت تعادل



✓ مقدار عددی ثابت تعادل به غلظت یا مقدار مواد در لحظه شروع (قبل از تعادل) و همچنین غلظت و مقدار تعادلی مواد در لحظه تعادل بستگی ندارد، بلکه به نسبت غلظت‌های تعادلی مواد که به عبارت ثابت تعادل معروف است، بستگی دارد. برای مثال در واکنش $H^+(aq) + F^-(aq) \rightleftharpoons HF(aq)$ که در دمای $25^\circ C$ برقرار است، در سه آزمایش مختلف از غلظت‌های متفاوتی از مواد اولیه شروع کرده و واکنش به تعادل رسیده است. با وجودی که مقدارهای اولیه متفاوت بوده و غلظت‌های تعادلی نیز متفاوت است، اما مقدار K به خاطر ثابت بودن دما برای هر سه آزمایش یکسان است.

ثابت تعادل $\Leftarrow$ به مقدار آغازی واکنش‌دهنده‌ها و مقدار تعادلی هر یک از مواد بستگی ندارد.
 $\Leftarrow$ به نسبت غلظت‌های تعادلی، مطابق عبارت ثابت تعادل، بستگی دارد.

$K = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$	غلظت تعادلی گونه‌های شرکت‌کننده (مول بر لیتر)			شماره محلول
	$[H^+]$	$[F^-]$	$[HF]$	
$K = \frac{(1/75 \times 10^{-2})^2}{0/52} = 5/9 \times 10^{-4}$	$1/75 \times 10^{-2}$	$1/75 \times 10^{-2}$	$0/52$	۱
$K = \frac{(1/31 \times 10^{-2})^2}{0/29} = 5/9 \times 10^{-4}$	$1/31 \times 10^{-2}$	$1/31 \times 10^{-2}$	$0/29$	۲
$K = \frac{(2/43 \times 10^{-2})^2}{1} = 5/9 \times 10^{-4}$	$2/43 \times 10^{-2}$	$2/43 \times 10^{-2}$	$1/0$	۳

۴۲

✓ ثابت تعادل هر تعادلی به دو عامل نوع تعادل (نوع مواد شرکت‌کننده در تعادل) و دما بستگی دارد. بر این اساس برای یک تعادل خاص، در دماهای مختلف، ثابت‌های تعادل مختلفی داریم. همچنین در دمای یکسان، برای تعادل‌های متفاوت (با مواد شرکت‌کننده متفاوت) باز هم ثابت‌های تعادل مختلفی داریم.

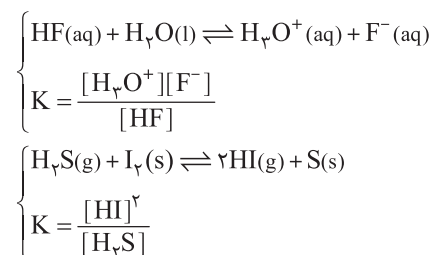
عوامل مؤثر بر ثابت تعادل (K)

۱) نوع و جنس تعادل: در دمای یکسان تنها نوع تعادل تعیین‌کننده مقدار K است.

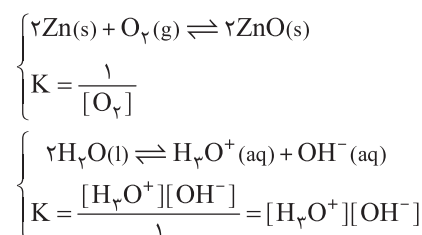
۲) دمای تعادل: برای یک تعادل، تنها دما تعیین‌کننده مقدار K است.

نحوه نوشتن عبارت ثابت تعادل

اگر مواد شرکت‌کننده در تعادل، حالت فیزیکی گازی (g) یا محلول (aq) داشته باشند، غلظت آن‌ها به توان ضریب رسیده و در عبارت ثابت تعادل ظاهر می‌شوند. اما مواد با حالت فیزیکی جامد (s) و مایع (l) در عبارت ثابت تعادل وارد نمی‌شوند.

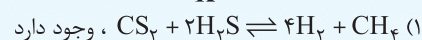


نکته اگر در سمتی که ماده جامد یا مایع قرار دارند، ماده گازی یا محلول وجود نداشته باشد، می‌توان از عدد ریاضی یک به جای ماده جامد یا مایع استفاده کرد تا عبارت ثابت تعادل از نظر ریاضی با معنی گردد.



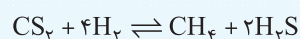
تست

رابطه $[CS_2][H_2]^4 = \frac{1}{K} [CH_4][H_2S]^2$ مربوط به کدام واکنش بوده و در واکنش آن ماده جامد یا مایع،



پاسخ: ابتدا رابطه را به شکل استاندارد آن تبدیل کرده و فرآورده‌ها در صورت عبارت ثابت تعادل بوده و واکنش‌دهنده‌ها در مخرج کسر قرار دارند و توان هر ماده، ضریب استوکیومتری آن خواهد بود.

$$[CS_2][H_2]^4 = \frac{1}{K} [CH_4][H_2S]^2 \Rightarrow K = \frac{[CH_4][H_2S]^2}{[CS_2][H_2]^4}$$



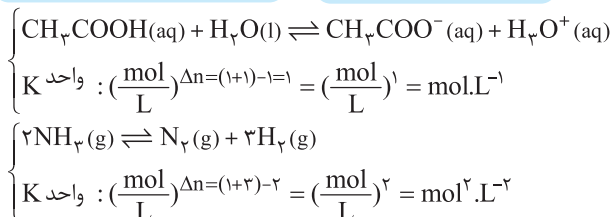
چون واکنش نوشته شده موازنه بوده و قانون بقای جرم در مورد آن صادق است، پس ماده جامد یا مایعی در آن وجود نداشته است، زیرا با حذف ماده جامد یا مایع معادله نوشته شده بر اساس مواد گازی و محلول، قابل موازنه نیست. بنابراین گزینه (۲) پاسخ تست است.

← واحد ثابت تعادل (K_C)

چنانچه غلظت‌ها بر حسب mol.L^{-1} یا مولار (M) بیان شوند، در اغلب اوقات ثابت تعادل واحد داشته، اما اگر تعداد مول مواد گازی یا محلول در دو طرف معادله واکنش تعادلی برابر باشد، بدون واحد خواهد بود.

$$\Delta n = n_{\text{P}}(\text{g}) - n_{\text{R}}(\text{g})$$

$$\left(\frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^{\Delta n} : \text{واحد ثابت تعادل}$$



← مقدار ثابت تعادل و مفهوم آن

بررسی مقدار عددی ثابت تعادل با غلظت تعادلی مواد شرکت‌کننده، نشان می‌دهد که مقدار عددی ثابت تعادل با میزان پیشرفت تعادل در جهت رفت متناسب است. یعنی هر چه مقدار عددی K بزرگ‌تر باشد، پیشرفت تعادل در جهت رفت بیش‌تر است.

↑ میزان (درصد) پیشرفت تعادل در جهت رفت $\propto$ ↑ مقدار عددی K

با توجه به رابطه مقدار K با میزان پیشرفت تعادل در سه وضعیت کلی $K < 1$ ، $K \approx 1$ و $K > 1$ وضعیت هر تعادل را بررسی می‌کنیم:

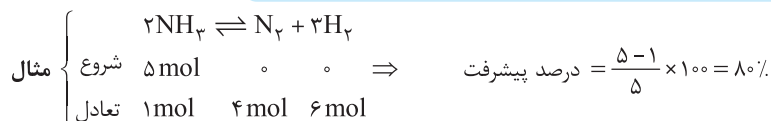
(۱) اگر مقدار K بزرگ باشد ($K > 1$)

به این معنی است که پیشرفت تعادل در جهت رفت خوب بوده و در جهت برگشت اندک است. پس غلظت و مقدار واکنش‌دهنده کم بوده و غلظت و مقدار فراورده‌ها زیاد است.

- ۱) پیشرفت تعادل در جهت رفت زیاد است (مثلاً بیش از ۶۰٪).
- ۲) پیشرفت تعادل در جهت برگشت کم است (مثلاً کم‌تر از ۴۰٪).
- ۳) $0 < [\text{واکنش‌دهنده‌ها}] < [\text{فراورده‌ها}]$

✓ اگر تنها یک واکنش‌دهنده داشته باشیم و یا واکنش‌دهنده‌ها در لحظه شروع به نسبت استوکیومتری در ظرف واکنش قرار بگیرند، می‌توان از رابطه زیر درصد پیشرفت واکنش تعادلی را در جهت رفت به‌دست آورد که گاهی اوقات به آن بازده درصدی تعادل یا واکنش نیز می‌گویند.

$$\text{مقدار تعادلی} - \text{مقدار اولیه} = \text{درصد پیشرفت تعادل} = \frac{\text{مقدار اولیه واکنش‌دهنده}}{\text{مقدار اولیه واکنش‌دهنده}} \times 100$$



✓ مقدار K یا میزان درصد پیشرفت واکنش، کمیت‌هایی ترمودینامیکی هستند و بزرگی یا کوچکی این کمیت‌ها هیچ ارتباطی با سرعت واکنش‌های رفت و برگشت ندارد و سرعت واکنش‌ها در هر تعادلی با هم برابر هستند. به بیان دیگر به طور مثال اگر پیشرفت واکنش ۹۰٪ باشد ($K > 1$)، سرعت رفت و برگشت یکسان بوده و اگر پیشرفت واکنش ۱۰٪ نیز باشد ($K < 1$)، باز هم سرعت رفت و برگشت یکسان است.

(۲) اگر مقدار K حدود یک باشد ($K \approx 1$)

در این حالت پیشرفت تعادل در هر دو جهت خوب بوده و به هم نزدیک است، در نتیجه غلظت فراورده‌ها و واکنش‌دهنده‌ها نیز به هم نزدیک می‌باشند.

- ۱) پیشرفت تعادل در جهت رفت متوسط است (مثلاً بین ۴۰٪ تا ۶۰٪).
- ۲) پیشرفت تعادل در جهت برگشت متوسط است. (مثلاً بین ۴۰٪ تا ۶۰٪).
- ۳) $0 < [\text{واکنش‌دهنده‌ها}] \approx [\text{فراورده‌ها}]$

(۳) اگر مقدار K کوچک باشد ($K < 1$)

پیشرفت تعادل در جهت رفت کم بوده، ولی در عوض پیشرفت تعادل در جهت برگشت زیاد است. به همین علت غلظت واکنش‌دهنده‌ها بیش‌تر از فراورده‌ها می‌باشد.

- ۱) پیشرفت تعادل در جهت رفت کم است (مثلاً کم‌تر از ۴۰٪).
- ۲) پیشرفت تعادل در جهت برگشت زیاد است (مثلاً بیش از ۶۰٪).
- ۳) $0 < [\text{فراورده‌ها}] < [\text{واکنش‌دهنده‌ها}]$

← جمع‌بندی

$K < 1$	$K \approx 1$	$K > 1$
افزایش واکنش‌دهنده‌ها		افزایش فراورده‌ها
$[\text{واکنش‌دهنده‌ها}] < [\text{فراورده‌ها}]$	$[\text{فراورده‌ها}] \approx [\text{واکنش‌دهنده‌ها}]$	$[\text{واکنش‌دهنده‌ها}] > [\text{فراورده‌ها}]$
پیشرفت واکنش (رفت) کم	پیشرفت واکنش (رفت) متوسط	پیشرفت واکنش (رفت) زیاد

نکته مهم

اگر مقدار K بسیار بزرگ باشد، به قدری پیشرفت واکنش در جهت رفت زیاد است که عملاً می‌توان واکنش را یک‌طرفه و کامل در نظر گرفت. (مانند ثابت یونش اسیدهای قوی)

$$K \gg 1 \Rightarrow \text{درصد پیشرفت} \approx 100\% \Rightarrow [\text{فراورده‌ها}] \gg [\text{واکنش‌دهنده‌ها}]$$

تست

چند مورد از مطالب زیر در مورد ثابت تعادل نادرست است؟

- (آ) مقدار عددی K نشان می‌دهد که غلظت کدام شرکت‌کننده‌ها در شروع حرکت به سمت تعادل، بیش‌تر است.
 (ب) اگر تنها فراورده‌ها در لحظه شروع در ظرف واکنش قرار داشته باشند، بزرگی K با میزان پیشرفت در جهت برگشت رابطه مستقیم دارد.
 (پ) اگر ثابت تعادل دو واکنش یکسان باشد، غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل آن‌ها نیز یکسان است.
 (ت) هر چه ثابت تعادل واکنشی بزرگ‌تر باشد، پیشرفت واکنش بیش‌تر بوده و سریع‌تر به تعادل می‌رسد.
 (ث) اگر مقدار $K = 1$ باشد، غلظت فراورده‌ها با واکنش‌دهنده‌ها برابر شده و سرعت واکنش‌های رفت و برگشت نیز برابر می‌شود.

(۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴) ۵

پاسخ: آ

نادرست، مقدار عددی K وضعیت کیفی غلظت مواد شرکت‌کننده را در حالت تعادل نشان می‌دهد و مستقل از مسیر رسیدن به تعادل بوده و هیچ پیش‌بینی از لحظه شروع حرکت به سمت ایجاد تعادل به‌دست نمی‌دهد.

(ب) نادرست، مقدار عددی K تنها با میزان پیشرفت در جهت رفت رابطه مستقیم دارد، یعنی فرض می‌کند که همواره واکنش‌دهنده‌ها در ظرف قرار گرفته‌اند و سپس تعادل برقرار شده است.

(پ) نادرست، ثابت تعادل نسبت غلظت‌های تعادلی است، یکسان بودن نسبت‌ها دلیلی بر یکسان بودن غلظت‌ها نیست.

$$\begin{cases} A \rightleftharpoons 2B \\ 0.5M & 0.1M \\ K = \frac{(0.1)^2}{0.5} = 0.02 \end{cases} \quad \begin{cases} A \rightleftharpoons 2B \\ 2M & 0.2M \\ K = \frac{(0.2)^2}{2} = 0.02 \end{cases} \quad \begin{cases} 2A \rightleftharpoons B \\ 2M & 0.08M \\ K = \frac{0.08}{(2)^2} = 0.02 \end{cases}$$

(ت) نادرست، بزرگی یا کوچکی ثابت تعادل هیچ ربطی به زمان رسیدن به تعادل نداشته و ممکن است تعادلی با داشتن ثابت تعادلی بزرگ، سریع یا بسیار کند به تعادل برسد.

(ث) نادرست، اگر $K = 1$ باشد، تنها می‌توان گفت که غلظت مواد شرکت‌کننده در تعادل به هم نزدیک است. البته در مواردی خاص می‌تواند برابر باشد، اما در کل جمله نادرست است.

$$\begin{cases} A \rightleftharpoons B \\ 0.1M & 0.1M \\ K = \frac{0.1}{0.1} = 1 \end{cases} \quad \begin{cases} A \rightleftharpoons 2B \\ 0.04M & 0.2M \\ K = \frac{(0.2)^2}{0.04} = 1 \end{cases}$$

بنابراین گزینه (۴) پاسخ تست است.

مسائل تعادل

مسائل تعادل را در دو حالت کلی بررسی می‌کنیم. مهم‌ترین مطلب در تفکیک مسائل، توجه به تعادلی بودن یا غیرتعادلی بودن اطلاعات مواد شرکت‌کننده است که اغلب اوقات از ادبیات سؤال به راحتی قابل تشخیص است.

(۱) حل مسائل تعادل اگر تنها مقدارهای تعادلی داده شده باشند:

در این حالت مقدارهای تعادلی داده‌شده را به غلظت مولی (M یا mol.L^{-1}) تبدیل کرده (اگر به‌صورت غلظت مولی نباشند) و در عبارت ثابت تعادل قرار می‌دهیم. جهت تبدیل کمیت‌های دیگر به غلظت مولی از روابط زیر یا کسر تبدیل استفاده می‌نماییم:

$$\begin{aligned} n &= \frac{m}{M} \quad \left(\begin{array}{l} \text{مقدار ماده} \\ \text{جرم مولی} \end{array} \right) \quad \leftarrow \text{تعداد مول} \\ n &= \frac{V_{\text{گاز}}}{V_{\text{مولی}}} \quad \left(\begin{array}{l} \text{حجم گاز (L)} \\ \text{حجم مولی گاز (L.mol}^{-1}\text{)} \end{array} \right) \quad \leftarrow \text{تعداد مول} \\ n &= \frac{\text{تعداد ذرات}}{N_A} \quad \leftarrow \text{تعداد مول} \quad \left(\begin{array}{l} \text{عدد آووگادرو} \end{array} \right) \\ \text{غلظت مولی} &= \frac{n}{V} \quad \left(\begin{array}{l} \text{تعداد مول حل‌شونده یا گاز} \\ \text{حجم ظرف یا محلول (L)} \end{array} \right) \end{aligned}$$

تست

در تعادل: $\text{HF(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq})$ اگر غلظت یون فلئورید 0.006 M و غلظت هیدروفلئوریک اسید برابر 0.02 M باشد، ثابت تعادل کدام است؟

(۱) $1/8 \times 10^{-4}$ (۲) 3×10^{-4} (۳) $1/8 \times 10^{-3}$ (۴) 3×10^{-3}

پاسخ: اگر غلظت یکی از فراورده‌ها را نداده باشند، با توجه به غلظت فراورده دیگر، آن را تعیین می‌کنیم. نسبت بین ضرایب فراورده‌ها، همان نسبت بین غلظت‌های تعادلی آن‌ها است.

$$\frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]} = K = \frac{0.006 \times 0.006}{0.02} = 1/8 \times 10^{-3}$$

بنابراین گزینه (۳) پاسخ تست است.

۴۵

تست

با توجه به تعادل $\text{AB}_2(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{A}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{B}^-(\text{aq})$ ، $K = 4 \times 10^{-2}$ ، اگر در لحظه تعادل، تعداد $3/01 \times 10^{23}$ مولکول از AB_2 در 500 mL محلول وجود داشته باشد، چند گرم از B^- در تعادل موجود است؟ ($A = 40$ ، $B = 80 \text{ g.mol}^{-1}$)

(۱) ۱۶ (۲) ۰/۲ (۳) ۰/۱ (۴) ۸

پاسخ: ابتدا غلظت AB_2 را محاسبه کرده و سپس از طریق عبارت ثابت تعادل غلظت B^- را به دست آورده و مقدار گرم B^- را تعیین می‌کنیم:

$$n_{\text{AB}_2} = \frac{\text{تعداد ذرات}}{N_A} = \frac{3/01 \times 10^{23}}{6/02 \times 10^{23}} = 0.05 \text{ mol} \Rightarrow [\text{AB}_2] = \frac{n}{V_{\text{محلول}}} = \frac{0.05 \text{ mol}}{0.500 \text{ L}} = 0.1 \text{ M}$$

$$\begin{cases} 1) \text{A}^{2+} \equiv 2) \text{B}^- \\ x \quad ? \end{cases} \Rightarrow ? = 2x \Rightarrow [\text{A}^{2+}] = x, [\text{B}^-] = 2x$$

$$K = \frac{[\text{A}^{2+}][\text{B}^-]^2}{[\text{AB}_2]} \Rightarrow 4 \times 10^{-2} = \frac{x \times (2x)^2}{0.1} \Rightarrow 4x^3 = 4 \times 10^{-3} \Rightarrow x = 0.1 \text{ M}$$

$$[\text{B}^-] = 2x = 0.2 \text{ M} \Rightarrow [\text{B}^-] = \frac{n}{V_{\text{محلول}}} \Rightarrow 0.2 = \frac{n}{0.500 \text{ L}} \Rightarrow n = 0.1 \text{ mol} \Rightarrow n = \frac{m}{M} \Rightarrow 0.1 = \frac{m}{80} \Rightarrow m = 8 \text{ g}$$

بنابراین گزینه (۴) پاسخ تست است.

تست

مقداری گاز SO_3 را در ظرف در بسته ده لیتری حرارت می‌دهیم تا تعادل $2\text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ برقرار شود. اگر در لحظه تعادل مقدار SO_2 و SO_3 به ترتیب $2/408 \times 10^{23}$ مولکول و $51/2$ گرم باشد، ثابت تعادل کدام است؟ ($S = 32$ ، $O = 16 \text{ g.mol}^{-1}$)

(۱) ۰/۱۶ (۲) ۳/۲ (۳) ۱/۶ (۴) ۰/۳۲

پاسخ: ابتدا مقدار تعادلی SO_2 و SO_3 را به شکل غلظت مولی تبدیل می‌کنیم:

$$\text{SO}_2 : \begin{cases} \text{جرم مولی} = 32 + 2(16) = 64 \text{ g.mol}^{-1} \\ n = \frac{m}{M} = \frac{51/2}{64} = 0.8 \text{ mol} \end{cases} \Rightarrow [\text{SO}_2] = \frac{n}{V_{\text{ظرف}}} = \frac{0.8}{10} = 0.08 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{SO}_3 : n = \frac{\text{تعداد ذرات}}{N_A} = \frac{2/408 \times 10^{23}}{6/02 \times 10^{23}} = 0.4 \text{ mol} \Rightarrow [\text{SO}_3] = \frac{n}{V_{\text{ظرف}}} = \frac{0.4}{10} = 0.04 \text{ mol.L}^{-1}$$

توجه: هر گاه غلظت یا مول تعادلی یکی از فراورده‌ها را نداده باشند و برای ادامه حل مسئله آن را لازم داشته باشیم، از نسبت ضرایب فراورده‌ها، مقدار مول یا غلظت فراورده دیگر را تعیین می‌کنیم:

$$\begin{cases} 2\text{SO}_2 \equiv \text{O}_2 \\ 0.08 \text{ M} \quad ? \end{cases} \Rightarrow ? = \frac{0.08 \times 1}{2} = 0.04 \Rightarrow \text{نسبت بین ضرایب، نسبت بین غلظت‌ها است.}$$

$$K = \frac{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}{[\text{SO}_3]^2} = \frac{(0.08)^2(0.04)}{(0.04)^2} = 0.16$$

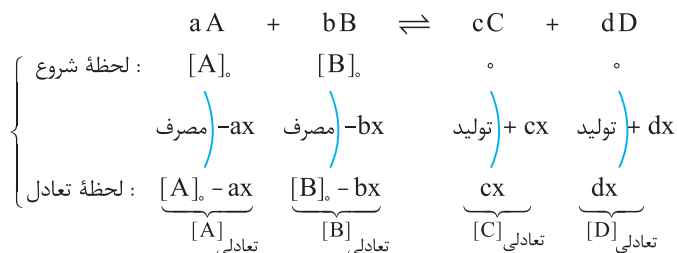
بنابراین گزینه (۱) پاسخ تست است.

۲) حل مسائل تعادل، اگر برخی از مقادیر داده شده غیر تعادلی (مربوط به لحظه شروع) باشند:

در این حالت اطلاعات مواد داده شده را به شکل مول یا غلظت مولی تبدیل کرده، سپس در یک سطر اطلاعات لحظه شروع را می‌نویسیم. سپس با توجه به میزان تغییرات غلظت یا مول هر ماده بر حسب x (که از ضرب کردن ضریب هر ماده در x حاصل می‌شود) اطلاعات لحظه تعادل هر ماده را بر حسب x و لحظه شروع می‌نویسیم. در ادامه از اطلاعات عددی داده شده برای لحظه تعادل، مقدار x را به دست می‌آوریم تا همه مقادیر تعادلی مشخص شوند.

خلاصه مراحل به صورت زیر است:

- (۱) نوشتن اطلاعات لحظه شروع مواد بر حسب مول یا غلظت مولی در یک سطر
- (۲) تعیین تغییرات مول یا غلظت هر ماده بر حسب X
- (۳) نوشتن اطلاعات لحظه تعادل هر ماده بر حسب X و لحظه شروع آن ماده
- (۴) تعیین X از مقادیر عددی مربوط به لحظه تعادل



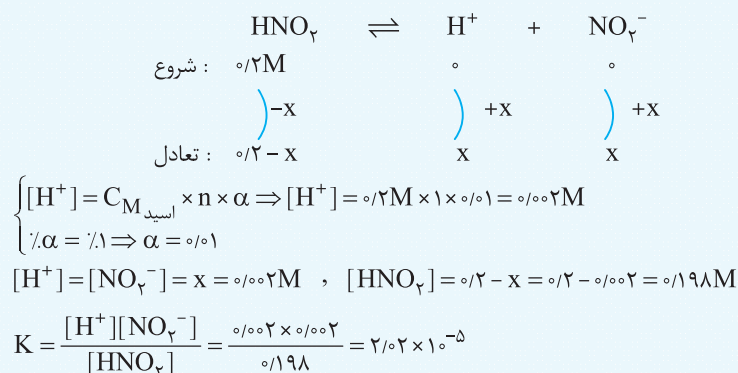
نکته در حل مسائلی که برخی مقادیر، غیرتعادلی (مربوط به لحظه شروع) هستند، ابتدا مقدار X را تعیین می‌کنیم. سپس مجهول خواسته شده را می‌یابیم. توجه کنید که بدون تعیین X نمی‌توان مجهول مسئله را مشخص نمود.

نکته علامت منفی در کنار تغییرات مول یا غلظت هر ماده بر حسب X نشانه مصرف و کاهش آن بوده و علامت مثبت، نشانه تولید و افزایش مقدار ماده در تعادل، نسبت به لحظه شروع است.

تست در محلولی از نیترواسید (HNO_3) به غلظت 0.2 مولار، اگر درصد یونش یک درصد باشد ثابت یونش (ثابت تعادل) این اسید به تقریب کدام است؟

- (۱) $1/98 \times 10^{-5}$ (۲) $2/02 \times 10^{-5}$ (۳) $1/01 \times 10^{-2}$ (۴) $9/9 \times 10^{-4}$

پاسخ: ابتدا با توجه به درصد یونش، غلظت‌های تعادلی یون‌ها و اسید در حال تعادل را تعیین کرده و در نهایت K را محاسبه می‌کنیم:

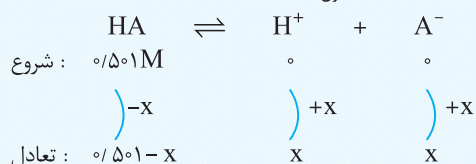


بنابراین گزینه (۲) پاسخ تست است.

تست مقدار $200/4$ گرم از اسید تک‌پروتون‌دار HA را در آب حل کرده و 2L محلول اسیدی تهیه کرده‌ایم. اگر پس از برقراری تعادل، مجموع غلظت گونه‌های در حال تعادل برابر 0.502 مولار باشد، ثابت تعادل و درصد یونش کدام است؟ ($\text{HA} = 200\text{g.mol}^{-1}$)

- (۱) 5×10^{-5} ، $1/99\%$ (۲) 2×10^{-6} ، $1/99\%$ (۳) 2×10^{-6} ، $1/99\%$ (۴) 5×10^{-5} ، $1/99\%$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{200/4}{200} = 1/002\text{mol} \Rightarrow [\text{HA}]_{\text{اولیه}} = \frac{n}{V_{\text{محلول}}} = \frac{1/002}{2} = 0.001\text{M}$$



$$\begin{aligned} \text{مجموع غلظت‌های تعادلی} &= [\text{HA}] + [\text{H}^+] + [\text{A}^-] = (0.001 - x) + x + x = 0.001 + x \\ 0.002\text{M} &= 0.001 + x \Rightarrow x = 0.001\text{M} \end{aligned}$$

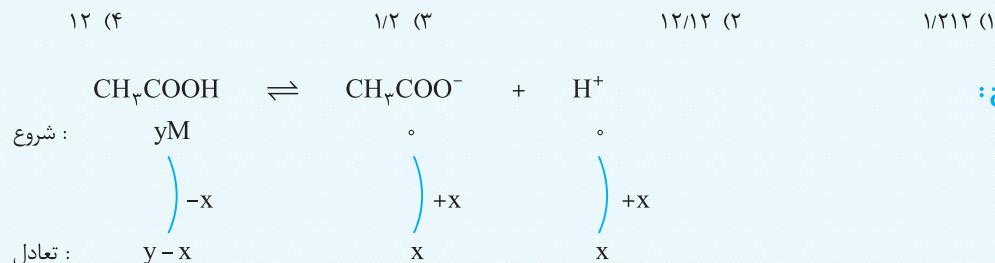
$$\begin{cases} [\text{H}^+] = [\text{A}^-] = x = 0.001 \\ [\text{HA}] = 0.001 - x = 0.001 - 0.001 = 0.000\text{M} \end{cases} \Rightarrow K = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{0.001 \times 0.001}{0.000} = 2 \times 10^{-6}$$

$$\alpha = \frac{\text{غلظت مولی یونیده شده}}{\text{غلظت مولی اولیه}} = \frac{x_{\text{اولیه}}}{[\text{HA}]} = \frac{0.001}{0.001} = 1/99 \times 10^{-3} \xrightarrow{\times 100} \alpha = 1/99\%$$

بنابراین گزینه (۲) پاسخ تست است.



باشد، جرم اسید حل شده چند گرم است؟ ($K = 10^{-5}$ ، $\text{CH}_3\text{COOH} = 60 \text{ g.mol}^{-1}$)



پاسخ:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = y - x = y - 0.001$$

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{0.001 \times 0.001}{y - 0.001} = 10^{-5} \Rightarrow 10^{-5} = \frac{10^{-6}}{y - 10^{-3}} \Rightarrow y = 0.001 \text{ M}$$

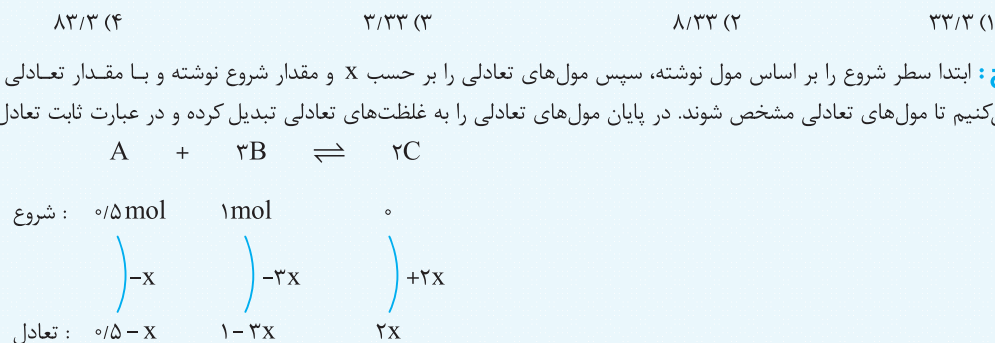
$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = y = \frac{n}{V_{\text{محلول}}} \Rightarrow 0.1 = \frac{n}{0.200} \Rightarrow n = 0.020 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow 0,202 = \frac{m}{90} \Rightarrow m = 18,18g$$

بنابر این گزینه (۱) پاسخ تست است.

تست

گازی $A + 3B \rightleftharpoons 2C$ ، ۴٪ مول از C در ظرف وجود داشته باشد، ثابت تعادل کدام است؟



پاسخ : اید

پاسخ: ابتدا سطر شروع را بر اساس مول نوشته، سپس مول‌های تعادلی را بر حسب X و مقدار شروع نوشته و با مقدار تعادلی C ، مقدار X را تعیین می‌کنیم تا مول‌های تعادلی مشخص شوند. در پایان مول‌های تعادلی را به غلظت‌های تعادلی تبدیل کرده و در عبارت ثابت تعادل قرار می‌دهیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{فرض مسئله : } n_C (\text{تصادلي}) = 0.4 \text{ mol} \\ \text{حل مسئله : } n_C (\text{تصادلي}) = 2x \end{array} \right. \Rightarrow 2x = 0.4 \text{ mol} \Rightarrow x = 0.2 \text{ mol} \Rightarrow [C] = \frac{n}{V} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \text{ M}$$

$$n_A (\text{تعاذلي}) = 0.5 - x = 0.5 - 0.2 = 0.3 \text{ mol} \Rightarrow [A] = \frac{n}{V_{\text{ظف}}} = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ M}$$

$$n_B (\text{تعاذلی}) = 1 - 3X = 1 - 3(0.2) = 0.4 \text{ mol} \Rightarrow [B] = \frac{n}{V_{\text{ظف}}} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \text{ M}$$

$$K = \frac{[C]^r}{[A][B]^r} = \frac{(0.2)^r}{(0.15)(0.2)^r} = \frac{1}{0.15 \times 0.2} = \frac{1}{0.03} = \frac{100}{3} = 33.3$$

بنابراین گزینه (۱) پاسخ تست است.

ایستگاه مرور درس

سوالات جای خالی

- به جای نقطه چین، از بین دو واژه یا عبارت داده شده یکی را انتخاب کنید.

- (۱) حضور هم‌زمان واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها در مخلوط واکنش پس از انجام آن نشانه‌ای از (کامل - برگشت پذیر) بودن واکنش‌ها است.
- (۲) در واکنش‌های برگشت پذیر همه واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل (می شوند - نمی شوند)
- (۳) کربوکسیلیک اسیدها از جمله اسیدهای (قوی - ضعیف) هستند که تنها هیدروژن گروه (هیدروکسیل - کربوکسیل) آن‌ها می‌تواند به صورت یون (هیدرونیوم - هیدروکسید) وارد محلول شود.
- (۴) در واکنش‌های برگشت پذیر در شرایط معین مقدار واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها در سامانه (برابر - ثابت) می‌شود.
- (۵) در واکنش‌های تعادلی (برابر - ثابت) شدن غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها هنگامی رخ می‌دهد که سرعت واکنش رفت و برگشت (ثابت - برابر) شود.
- (۶) محلول اسیدهای (قوی - ضعیف) در آب، نمونه‌ای از سامانه‌های تعادلی هستند.
- (۷) در یک سامانه تعادلی سرعت تولید هر گونه با سرعت مصرف آن (برابر - ثابت) است.
- (۸) مقدار K برای یک واکنش تعادلی در (هر دمایی - دمای ثابت) مقداری ثابت است.

سوالات درست یا نادرست

- درستی یا نادرستی عبارت‌های داده شده را مشخص نموده و دلیل نادرستی و یا شکل درست جمله نادرست را بنویسید.

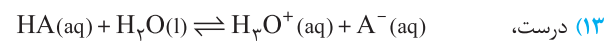
- (۹) در یک دمای ثابت و ظرف سر بسته می‌توان هر واکنشی را به تعادل رساند.
- (۱۰) چنانچه در یک واکنش، سرعت تولید ماده با سرعت مصرف آن برابر باشد، واکنش در حال تعادل است.
- (۱۱) در یک واکنش تعادلی، سرعت تولید یک ماده فراورده با سرعت مصرف یک ماده واکنش‌دهنده برابر است.
- (۱۲) در یک دمای معین، اگر غلظت واکنش‌دهنده‌ها را در شروع حرکت به سمت تعادل، افزایش دهیم مقدار ثابت تعادل کاهش می‌یابد.
- (۱۳) در مورد همه اسیدهای تک پروتون دار، واحد ثابت یونش اسیدی (K)، مول بر لیتر است.
- (۱۴) هر چه مقدار K بزرگتر باشد واکنش رفت بیش‌تر از برگشت انجام شده پس سرعت آن بیش‌تر است.
- (۱۵) عبارت ثابت تعادل تنها غلظت مولی مواد گازی و محلول وارد می‌شود.
- (۱۶) در یک تعادل در هر دمایی که باشد، غلظت مواد ثابت بوده و ممکن است این غلظت‌ها برابر نیز باشند.

پاسخنامه ایستگاه

(۱) نادرست، سرعت تولید فراورده و سرعت مصرف یک واکنش‌دهنده به ضریب آن‌ها بستگی دارد. اگر متفاوت باشد، سرعت آن‌ها نیز متفاوت است.

$$R_{\text{فراورده}} = R_{\text{برگشت}} = R_{\text{واکنش‌دهنده}} = R_{\text{ضریب}}$$

(۱۲) نادرست، مقدار ثابت تعادل به مقدار مواد لحظه شروع (قبل از تعادل)، غلظت و مقدار مواد در لحظه تعادل بستگی ندارد و به نسبت غلظت‌های تعادلی بستگی دارد که در هر دمایی یک عدد ثابت است.



(۱۴) نادرست، هر چه K بزرگ باشد درصد پیشرفت واکنش در جهت رفت بیش‌تر است و هیچ ربطی به سرعت واکنش ندارد. به عبارت دیگر در هر تعادلی سرعت رفت با برگشت برابر است و این به مقدار K بستگی ندارد.

(۱۵) درست، غلظت مولی مواد جامد و مایع به خاطر ثابت بودن وارد نمی‌شود.

(۱۶) درست، ثابت ماندن غلظت‌ها نشانه اصلی به تعادل رسیدن است.

(۱) برگشت پذیر

(۲) نمی شوند

(۳) ضعیف - کربوکسیل - هیدرونیوم

(۴) ثابت

(۵) ثابت - برابر

(۶) ضعیف

(۷) برابر

(۸) دمای ثابت

(۹) نادرست، اولاً واکنش بایستی برگشت پذیر باشد، ثانیاً حتی در صورت برگشت پذیر بودن نیز ممکن است نتوان شرایطی را فراهم کرد که هر دو واکنش رفت و برگشت با هم انجام شوند.

(۱۰) درست، برابر بودن سرعت‌های رفت و برگشت باعث تساوی سرعت مصرف و تولید یک ماده می‌شود.

قسمت سوم: برگشت‌پذیری و تعادل -

ثابت تعادل و مفهوم آن - مسائل تعادل (صفحه‌های ۲۱ و ۲۲)

ثابت تعادل و قدرت اسیدی

۱۵۳. چند مورد از موارد زیر نادرست است؟

(آ) کربوکسیلیک اسیدها همگی اسیدهای ضعیف هستند و $\alpha < 1$ دارند.(ب) جوهر سرکه دارای دو اتم کربن و چهار اتم هیدروژن است که هر کدام از آن‌ها می‌توانند تولید یون H^+ کنند.

(پ) اسیدهای خوراکی همگی اسیدهای ضعیف هستند و در میوه‌هایی مانند انگور و ریواس یافت می‌شوند.

(ت) گروه کربوکسیل در اسیدهای آلی مانند گروه هیدروکسیل در الکل‌ها، هیدروژن اسیدی دارد که می‌تواند یون هیدرونیوم در آب تولید کند.

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

۱۵۴. کدام مورد از موارد زیر، دربارهٔ سرکه درست است؟

(آ) شمار زیادی از مولکول‌های این اسید در آب، به صورت یونیده نشده باقی می‌مانند.

(ب) یافته‌های تجربی نشان می‌دهد که در شرایط معین، غلظت همهٔ گونه‌های موجود در محلول این اسید، همانند دیگر اسیدهای ضعیف، ثابت است.

(پ) تعداد الکترون‌های پیوندی در مولکول آن، دو برابر تعداد الکترون‌های ناپیوندی است.

(ت) تنها هیدروژن گروه عاملی کربوکسیل در این مولکول، می‌تواند در آب تولید یون H^+ کند.

(۱) (آ) و (ت) (۲) (ب) ، (پ) و (ت) (۳) (آ) و (پ) (۴) تمام موارد

۱۵۵. کدام مورد از موارد زیر درست نیست؟

(آ) اگر در مخلوط واکنش، تمام گونه‌های موجود به صورت هم‌زمان حضور داشته باشند، نشانه‌ای از برگشت‌پذیر بودن واکنش است.

(ب) در واکنش‌های برگشت‌پذیر تعادلی، مقدار واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها پس از گذشت زمان کافی، ثابت باقی می‌ماند.

(پ) واکنش‌های رفت و برگشت در یک واکنش تعادلی، به صورت پیوسته انجام می‌شود.

(ت) در یونش استیک اسید، نسبت غلظت یون هیدرونیوم به اسید باقی‌مانده، عددی بزرگ‌تر از یک است.

(۱) (آ) ، (ب) و (ت) (۲) (ت) (۳) (آ) و (ب) (۴) (پ) و (ت)

۱۵۶. کدام گزینه دربارهٔ واکنش‌های برگشت‌پذیر تعادلی درست نیست؟

(۱) شیب نمودار غلظت - زمان پس از گذشت زمان کافی برابر صفر می‌شود.

(۲) مقدار هیچ‌یک از مواد درون واکنش پس از گذشت زمان کافی برابر صفر نمی‌باشد.

(۳) با گذشت زمان تا رسیدن به تعادل، سرعت واکنش رفت کاهش و سرعت واکنش برگشت افزایش می‌یابد.

(۴) غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها پس از گذشت زمان کافی، با یکدیگر برابر می‌شود.

۱۵۷. دربارهٔ سامانه‌های تعادلی، چند مورد از موارد زیر نادرست است؟

(آ) پس از رسیدن به تعادل، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به صفر می‌رسد و غلظت آن‌ها تغییری نمی‌کند.

(ب) مقدار واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها پس از رسیدن به تعادل، ثابت می‌شود.

(پ) این واکنش‌ها در هر شرایطی می‌توانند در هر دو جهت رفت و برگشت انجام شوند.

(ت) پس از رسیدن به تعادل، سرعت مصرف یا تولید تک‌تک مواد در واکنش با یکدیگر برابر می‌شود.

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

۱۵۸. در متن زیر چند غلط علمی دیده می‌شود؟

«فرایند یونش تمام اسیدهای ضعیف، نمونه‌ای از سامانه‌های تعادلی است. در یونش این اسیدها، واکنش‌های رفت و برگشت پس از گذشت

زمان کافی، با سرعت برابر انجام می‌شوند. در لحظهٔ تعادل در این اسیدها، غلظت H_3O^+ با غلظت اسید باقی‌مانده در محلول، با یکدیگر

برابر می‌شود. در این لحظه دیگر تغییری در غلظت مواد رخ نمی‌دهد و این‌طور به نظر می‌آید که واکنش به طور کامل متوقف شده است. این

سامانه‌ها را می‌توان با کمیتی به نام ثابت تعادل توصیف کرد که حاصل تقسیم تعداد مول فراورده‌ها بر واکنش‌دهنده‌ها است. به عنوان مثال،

در فلوئوریک اسید که مانند HCl ، یک اسید ضعیف است، فرایند یونش به صورت $H^+(aq) + F^-(aq) \rightarrow HF(aq)$ است.»

(۱) ۴ (۲) ۵ (۳) ۶ (۴) ۷

۱۵۹. کدام یک از موارد زیر بر مقدار ثابت تعادل یک واکنش تعادلی تأثیرگذار است؟

(آ) مقدار آغازی واکنش‌دهنده‌ها

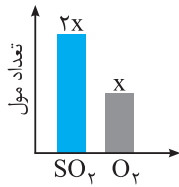
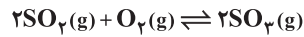
(ب) حجم محلول

(پ) دمای محلول

(ت) زمان سپری‌شده از شروع واکنش

(۱) (آ) و (ب) (۲) (پ) و (ت) (۳) (پ) (۴) (آ) ، (پ) و (ت)

☆ ۱۶۰. اگر در یک ظرف در بسته، مقداری گاز SO_2 و O_2 در کنار هم قرار دهیم، کدام مورد از موارد زیر درست خواهد بود؟



(۴) (آ) و (ت)

(آ) به یک اندازه از غلظت مولی دو گاز O_2 و SO_2 کاسته می‌شود.

(ب) میزان تغییرات تعداد مول دو گاز گوگرددار درون ظرف، متفاوت خواهد بود.

(پ) اگر نسبت تعداد مول‌های واکنش‌دهنده در ابتدای واکنش مانند شکل روبه‌رو باشد، هیچ‌گاه

تعداد مول آن‌ها با یکدیگر برابر نخواهد شد.

(ت) پس از گذشت مدت زمان کافی، تعداد مول یکی یا هر دو واکنش‌دهنده به صفر می‌رسد.

(ث) ممکن است تعداد مول گاز SO_2 پس از گذشت زمان کاهش یا افزایش یابد.

(۳) (پ)

(۲) (آ) و (ت)

(۱) (ب) و (پ)

۱۶۶

☆ ۱۶۱. در متن زیر، چند غلط علمی وجود دارد؟

«دسته‌ای از واکنش‌ها در علم شیمی، می‌توانند در هر دو جهت پیشرفت کنند. این واکنش‌ها را که با فلش دو طرفه ($\rightleftharpoons$) نمایش می‌دهند، واکنش‌های تعادلی یا برگشت‌ناپذیر می‌نامند. در این واکنش‌ها اگر تعداد مول یکی از مواد شرکت‌کننده صفر باشد، واکنش در جهت تولید آن پیش خواهد رفت. به عنوان مثال، اگر در ظرفی فقط گاز SO_2 وارد کنیم، سرعت واکنش رفت و برگشت آن ($\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_3$) به ترتیب زیاد و صفر خواهد بود. در این دسته از واکنش‌ها، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت پس از گذشت زمان طولانی برابر می‌شود، ولی قبل از آن فقط به غلظت واکنش‌دهنده‌ها بستگی دارد.»

(۴) ۴

(۳) ۳

(۲) ۲

(۱) ۱

☆ ۱۶۲. کدام گزینه دربارهٔ یک واکنش برگشت‌پذیر درست است؟

(۱) سرانجام مقدار واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها در آن با یکدیگر برابر می‌شود.

(۲) سرعت واکنش‌های رفت و برگشت در آن، با گذشت زمان مانند یکدیگر تغییر کرده و نهایتاً با هم برابر می‌شوند.

(۳) اگر غلظت اولیهٔ ماده‌ای در واکنش تعادلی برابر صفر باشد، مقدار مواد دیگری که در همان سمت فلش واکنش هستند، افزایش می‌یابند.

(۴) در این واکنش‌ها، همواره سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر است.

☆ ۱۶۳. در متن زیر، چند غلط علمی وجود دارد؟

«در یک واکنش برگشت‌پذیر تعادلی، واکنش‌های رفت و برگشت در ابتدا با سرعت‌های یکسان انجام می‌شوند. پس از گذشت مدت زمان کافی، زمانی فراخواهد رسید که واکنش به تعادل می‌رسد. از این لحظه به بعد، مقدار یا غلظت مولی واکنش‌دهنده‌ها و محصولات با هم یکسان می‌شود. در این حالت سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به صفر می‌رسد و دیگر تغییری در تعداد مول واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها رخ نمی‌دهد. از این زمان به بعد، شیب نمودار غلظت - زمان برای واکنش‌دهنده‌ها و محصولات برابر صفر خواهد بود.»

(۴) ۵

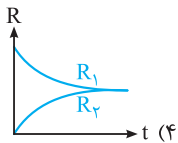
(۳) ۴

(۲) ۳

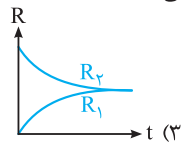
(۱) ۲

☆ ۱۶۴. مقداری گاز SO_2 را وارد ظرف در بستهٔ ۲ لیتری می‌کنیم تا تعادل شیمیایی $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[(2)]{(1)} 2\text{SO}_3(\text{g})$ شروع شود. کدام

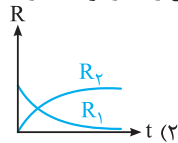
گزینه نمودار سرعت - زمان واکنش رفت و برگشت را به درستی نشان می‌دهد؟



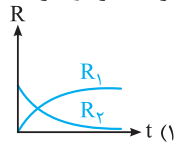
(۴) ۴



(۳) ۴



(۲) ۳



(۱) ۲

☆ ۱۶۵. با توجه به نمودار غلظت - زمان روبه‌رو که برای واکنش فرضی $A \rightleftharpoons B$ رسم شده است، کدام گزینه درست است؟

(۱) مقدار ثابت تعادل در آن عددی کوچک است.

(۲) واکنش پیشرفت خوبی داشته است، یعنی مقدار قابل توجهی از واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها تبدیل شده‌اند.

(۳) در لحظهٔ تعادل، سرعت واکنش برگشت بسیار بیش‌تر از سرعت واکنش رفت است.

(۴) در لحظهٔ تعادل، سرعت واکنش رفت مانند سرعت واکنش برگشت به صفر می‌رسد و شیب نمودار غلظت - زمان صفر می‌شود.

K ثابت تعادل واکنش

☆ ۱۶۶. چند مورد از موارد زیر، در مورد ثابت تعادل واکنش نادرست است؟

(آ) در آن فقط غلظت مولی مواد محلول و گاز وارد می‌شود.

(ب) واحد آن فقط به ضرایب مواد واکنش‌دهنده در واکنش بستگی دارد.

(پ) هر چقدر مقدار واکنش‌دهندهٔ اولیه، بیش‌تر باشد، مقدار ثابت تعادل یک واکنش بزرگ‌تر خواهد بود.

(ت) در یک واکنش مقدار آن با تغییر دما تغییر نمی‌کند.

(۴) ۴

(۳) ۳

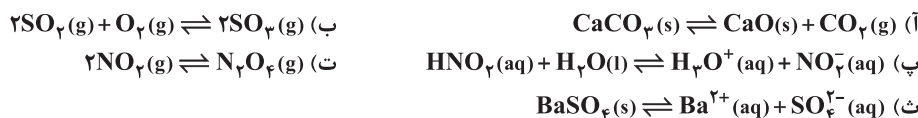
(۲) ۲

(۱) ۱

☆ ۱۶۷. واحد ثابت تعادل در کدام یک از واکنش‌های تعادلی زیر با بقیه متفاوت است؟



☆ ۱۶۸. در چند مورد از واکنش‌های زیر، توان mol در واحد ثابت تعادل واکنش (K) عددی مثبت است؟



(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

☆ ۱۶۹. جدول زیر مربوط به فرایند یونش هیدروفلوئوریک اسید در دمای یکسان است. کدام گزینه مقادیر A، B و C در جدول را به درستی نشان می‌دهد؟

K	غلظت تعادلی گونه‌های شرکت‌کننده (مول بر لیتر)			شمارهٔ محلول
	[H ⁺]	[F ⁻]	[HF]	
A	۳ × ۱۰ ^{-۳}	۳ × ۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۲}	۱
—	۶ × ۱۰ ^{-۴}	—	B	۲
—	C	—	۱/۶ × ۱۰ ^{-۷}	۳

(۱) ۹ × ۱۰^{-۳}، ۲ × ۱۰^{-۴}، ۲/۴ × ۱۰^{-۴} (۲) ۴ × ۱۰^{-۴}، ۴ × ۱۰^{-۴}، ۱/۲ × ۱۰^{-۵}
(۳) ۴ × ۱۰^{-۳}، ۲ × ۱۰^{-۴}، ۲/۴ × ۱۰^{-۴} (۴) ۹ × ۱۰^{-۴}، ۴ × ۱۰^{-۴}، ۱/۲ × ۱۰^{-۵}

☆ ۱۷۰. ردیف اول جدول زیر، مربوط به غلظت‌های تعادلی مواد، در یونش محلول هیدروسیانیک اسید در دمای معین است. چند ردیف از جدول داده‌شده، نشان‌دهندهٔ غلظت‌های تعادلی هستند؟ (ردیف اول را در شمارش، در نظر نگیرید.)

شمارهٔ محلول	غلظت‌های گونه‌های شرکت‌کننده (مول بر لیتر)		
	[H ⁺]	[CN ⁻]	[HCN]
۱	۲ × ۱۰ ^{-۶}	۲ × ۱۰ ^{-۶}	۱۰ ^{-۲}
۲	۶ × ۱۰ ^{-۱۰}	۶ × ۱۰ ^{-۱۰}	۹ × ۱۰ ^{-۱۰}
۳	۴ × ۱۰ ^{-۷}	۴ × ۱۰ ^{-۷}	۴ × ۱۰ ^{-۷}
۴	۱/۶ × ۱۰ ^{-۵}	۱/۶ × ۱۰ ^{-۵}	۰/۶۴
۵	۲/۴ × ۱۰ ^{-۶}	۲/۴ × ۱۰ ^{-۶}	۱/۲ × ۱۰ ^{-۲}

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

☆ ۱۷۱. کدام گزینه پاسخ درستی به سؤالات زیر می‌دهد؟

(آ) برای K واکنش تعادلی در دمای معین، مقداری ثابت بوده و واحد آن یکسان است. (درست یا نادرست؟)
(ب) اگر غلظت یون هیدرونیوم و استیک اسید باقی‌مانده در محلول آن به ترتیب برابر ۲ × ۱۰^{-۶} و ۴ × ۱۰^{-۳} مولار باشد، ثابت تعادل واکنش یونش آن برابر است.

(پ) اگر مقداری اسید HA را در آب حل کنیم، غلظت H₃O⁺ و A⁻، نسبت به هم می‌باشد.

(۱) نادرست - ۱۰^{-۹} - متفاوت (۲) نادرست - ۵ × ۱۰^{-۴} - یکسان (۳) درست - ۵ × ۱۰^{-۴} - متفاوت (۴) درست - ۱۰^{-۹} - یکسان

☆ ۱۷۲. چند مورد از موارد زیر درست است؟

(آ) هر واکنش تعادلی، یک ثابت تعادل دارد که ویژهٔ همان واکنش است و فقط تابع دما می‌باشد.

(ب) در اغلب اسیدهای ضعیف، حاصل تقسیم غلظت اسید باقی‌مانده بر غلظت آنیون تولیدی، عددی کم‌تر از ۱ است.

(پ) اگر غلظت تعادلی یون هیدرونیوم و متانوئیک اسید در محلولی به ترتیب ۶ × ۱۰^{-۵} و ۰/۰۲ مولار باشد، ثابت یونش آن اسید برابر mol.L^{-۱} × ۱/۸ × ۱۰^{-۷} است.

(ت) در تمام محلول اسیدهای تک پروتون‌دار، غلظت تعادلی آنیون تولیدشده و یون هیدرونیوم با یکدیگر برابر است.

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

☆۱۷۳. سرعت رفت و برگشت در واکنش تعادلی $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ ، $K = 50$ در چند مورد از حالت‌های زیر در دمای ثابت، با یکدیگر برابر هستند؟ (حجم ظرف ۲ لیتر است.)

مول H_2	مول I_2	مول HI
۰/۰۱	۰/۵	۰/۵
۰/۵	۰/۴	۱
۰/۰۰۲۵	۰/۰۵	۰/۰۲۵
۰/۳۷۵	۰/۸	۱/۵

۱ (۱)

۲ (۲)

۳ (۳)

۴ (۴)

☆۱۷۴. با توجه به جدول مقابل (در دمای $427^\circ C$)، چند مورد از موارد زیر نادرست است؟

(آ) K در واکنش بین این مواد، در دمای ثابت، مقداری ثابت است.

(ب) K در این واکنش، در دمای ثابت، به مقدار اولیه واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها بستگی دارد.

(پ) K در واکنش $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ در دمای $427^\circ C$ برابر $5/408$ است.

(ت) اگر تعداد مول H_2 ، I_2 و HI در ظرف بسته دو لیتری به ترتیب برابر $0/2$ ، $0/8$ و 3 باشد،

سرعت واکنش رفت و برگشت در واکنش $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ برابر خواهد بود.

شماره آزمایش	غلظت مواد شرکت‌کننده در لحظه تعادل (مول بر لیتر)	$[HI]$	$[I_2]$	$[H_2]$
۱	۱/۰۴	۰/۲۰	۰/۱۰	
۲	۱/۴۷	۰/۲۰	۰/۲۰	
۳	۱/۶۶	۰/۱۷	۰/۳۰	

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

☆۱۷۵. واکنش برگشت‌پذیر $H^+(aq) + F^-(aq) \rightleftharpoons HF(aq)$ در حالت تعادل با غلظت‌های زیر در دمای ثابت، مفروض است. در چند مورد از موارد زیر این دو تعادل، مشابه یکدیگر هستند؟

۱) $\{[HF] = 7 \times 10^{-2}$ ، $[F^-] = 0/0035$ ، $[H^+] = 0/0035\}$

۲) $\{[HF] = 2/8 \times 10^{-5}$ ، $[F^-] = 7 \times 10^{-5}$ ، $[H^+] = 7 \times 10^{-5}\}$

(ب) سرعت واکنش برگشت

(آ) سرعت واکنش رفت

(ت) نسبت سرعت واکنش رفت به برگشت در هر واکنش

(پ) حاصل کسر $\frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$

(ث) شیب نمودار غلظت - زمان برای مواد شرکت‌کننده در واکنش

۵ (۴)

۴ (۳)

۳ (۲)

۲ (۱)

☆۱۷۶. در واکنش تعادلی $aA(aq) + bB(aq) \rightleftharpoons cC(aq) + dD(s)$ چند مورد از موارد زیر درست است؟

(آ) واحد ثابت تعادل برابر $(\frac{\text{mol}}{L})^{(c+d)-(a+b)}$ است.

(ب) با افزایش مقدار ثابت تعادل واکنش، میزان پیشرفت واکنش افزایش می‌یابد.

(پ) با افزایش مقدار ثابت تعادل، حاصل تقسیم غلظت C به A ، افزایش می‌یابد. (مقدار اولیه A و B را ثابت در نظر بگیرید.)

(ت) نسبت سرعت مصرف B ، به سرعت تولید C برابر $\frac{c}{b}$ است.

۳ (۴)

۲ (۳)

۱ (۲)

صفر (۱)

☆۱۷۷. در واکنش موازنه نشده و تعادلی $N_2O_5(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + O_2(g)$ ، پس از رسیدن به تعادل، غلظت گازهای N_2O_5 و NO_2 به ترتیب برابر $0/1$ و $0/2$ مولار است. اگر در لحظه شروع واکنش، فقط N_2O_5 در ظرف وجود داشته باشد، ثابت تعادل و واحد آن به ترتیب در کدام گزینه آمده است؟

(۴) $0/125$ ، $(\text{mol.L}^{-1})^3$

(۳) 8×10^{-3} ، $(\text{mol.L}^{-1})^3$

(۲) 8×10^{-3} ، mol.L^{-1}

(۱) $0/125$ ، mol.L^{-1}

«میشه به سوالای تعادل از این زاویه هم نگاه کرد.»

☆۱۷۸. واکنش برگشت‌پذیر $2A(aq) + B(aq) \rightleftharpoons 2C(aq)$ با ثابت تعادل 1 mol.L^{-1} در حال تعادل است. اگر تعداد مول A ، C و B به ترتیب برابر $1/5$ ، $0/75$ و $0/5$ باشد، حجم محلول چند لیتر است؟

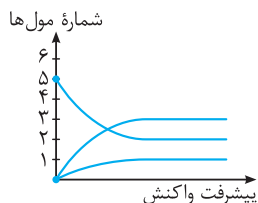
۶ (۴)

۳ (۳)

۴ (۲)

۲ (۱)

«این تستو ببینین که میشه نمودارهای غلظت - زمان رو با تعادل ترکیب کرد.»



☆ ۱۷۹. با توجه به نمودار روبه‌رو که به تجزیه تعادلی A(s) به فراورده‌های گازی مربوط است، مقدار K در

(فارج از کشور ۹۶)

$$3/375 \text{ mol.L}^{-1} \quad (2)$$

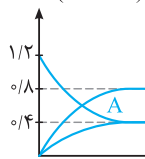
$$2/7 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \quad (4)$$

$$1 \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2} \quad (1)$$

$$9 \times 10^{-3} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3} \quad (3)$$

«برای حل به تست پالاب آماده بشین!!!»

غلظت (mol.L⁻¹)



مول (mol)



☆ ۱۸۰. با توجه به دو نمودار داده‌شده، حجم ظرف واکنش که در آن تعادل بین

محلول‌های A، B و C برقرار شده است و ثابت تعادل به ترتیب از راست به چپ

در کدام گزینه آمده است؟ (فرض کنید دما در هر دو نمودار یکسان است.)

$$1/6, 2 \quad (2)$$

$$1/6, 2 \quad (1)$$

$$1/6, 5/5 \quad (4)$$

$$1/8, 5/5 \quad (3)$$

مسائل تعادل - به‌دست آوردن ثابت تعادل

☆ ۱۸۱. ۲/۴۸ مول گاز N_۲ را با ۱/۶۸ مول گاز O_۲ در یک ظرف ۲ لیتری مخلوط و گرم می‌کنیم تا تعادل گازی $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ برقرار

شود. اگر در حالت تعادل ۰/۸ مول گاز NO در مخلوط وجود داشته باشد، ثابت تعادل این واکنش به تقریب کدام است؟

$$1/8 \times 10^{-2} \quad (4)$$

$$1/8 \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$1/6 \times 10^{-4} \quad (2)$$

$$1/6 \times 10^{-3} \quad (1)$$

☆ ۱۸۲. ۱/۶ مول گاز SO_۲Cl_۲ را در یک ظرف دو لیتری در بسته تا رسیدن به تعادل $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g})$ گرم می‌دهیم. اگر در

حالت تعادل مجموع شمار مول‌های گازی در ظرف واکنش برابر ۲/۴ مول باشد، ثابت تعادل در شرایط آزمایش چند mol.L⁻¹ است؟ (سراسری ۹۵)

$$0/4 \quad (4)$$

$$0/32 \quad (3)$$

$$1/6 \quad (2)$$

$$3/2 \quad (1)$$

☆ ۱۸۳. یک مول گاز اوزون را در یک ظرف یک لیتری در بسته تا رسیدن به حالت تعادل $3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(\text{g})$ گرم می‌کنیم. اگر در لحظه تعادل،

غلظت مولار گاز اوزون برابر ۱/۶ غلظت مولار گاز اکسیژن باشد، ثابت تعادل این واکنش کدام است؟ (سراسری ۹۶)

$$0/6 \text{ mol.L}^{-1} \quad (4)$$

$$0/6 \text{ L.mol}^{-1} \quad (3)$$

$$43/2 \text{ mol.L}^{-1} \quad (2)$$

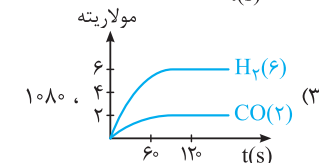
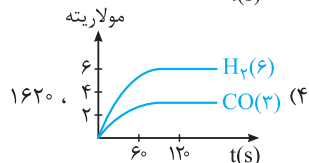
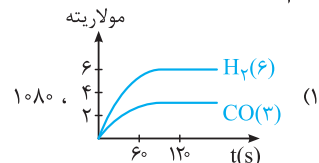
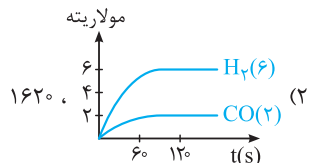
$$43/2 \text{ L.mol}^{-1} \quad (1)$$

☆ ۱۸۴. ۴ مول متان و ۲/۲ مول بخار آب را در یک ظرف یک لیتری وارد کرده و گرم می‌کنیم تا در یک واکنش تعادلی به گازهای هیدروژن و کربن مونوکسید

تبدیل شوند. اگر در لحظه تعادل، مقدار گاز متان برابر ۲ مول باشد، کدام نمودار برای تغییر غلظت فراورده‌های این واکنش درست و ثابت تعادل به تقریب

(فارج از کشور ۹۳)

کدام است؟



«اینم به سؤال ترکیبی از تعادل و سینتیک»

☆ ۱۸۵. دو مول گاز دی‌نیتروژن پنتاکسید در ظرف ۲ لیتری به گازهای اکسیژن و نیتروژن دی‌اکسید در یک واکنش تعادلی تجزیه می‌شود. اگر پس

از ۶۰ ثانیه، تعادل برقرار شود و نیم مول اکسیژن در ظرف وجود داشته باشد، مقدار عددی ثابت تعادل و سرعت متوسط واکنش تا رسیدن

(فارج از کشور ۹۵)

به تعادل، بر حسب mol.L⁻¹.min⁻¹ (به ترتیب از راست به چپ) کدام‌اند؟

$$0/5, 1 \quad (4)$$

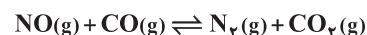
$$0/25, 0/25 \quad (3)$$

$$0/25, 1 \quad (2)$$

$$0/5, 0/25 \quad (1)$$

☆ ۱۸۶. اگر در واکنش ۶ مول گاز NO با ۴ مول گاز CO در یک ظرف در بسته ۲ لیتری در دمای معین، در لحظه تعادل ۴۲ گرم گاز نیتروژن وجود داشته باشد،

مقدار K با یکای L.mol⁻¹ و مجموع شمار مول‌های گاز در ظرف واکنش، به ترتیب از راست به چپ، کدام است؟ (سراسری ۹۶)



$$8/5, 3 \quad (4)$$

$$4/25, 1/5 \quad (3)$$

$$8/5, 1/5 \quad (2)$$

$$4/25, 3 \quad (1)$$

۱۶۱ ۱ ۲ ۳ ۴

«دسته‌ای از واکنش‌ها در علم شیمی، می‌توانند در هر دو جهت پیشرفت کنند. این واکنش‌ها را که با فلش دو طرفه ($\rightleftharpoons$) نمایش می‌دهند، واکنش‌های تعادلی یا برگشت پذیر (برگشت پذیر) می‌نامند. در این واکنش‌ها اگر تعداد مول یکی از مواد شرکت‌کننده صفر باشد، واکنش در جهت تولید آن پیش خواهد رفت. به عنوان مثال، اگر در ظرفی فقط گاز SO_2 وارد کنیم، سرعت واکنش رفت و برگشت در آن $(2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3)$ به ترتیب $\downarrow$ (صفر) و صفر خواهد بود. در این دسته از واکنش‌ها، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت پس از گذشت زمان طولانی برابر می‌شود، ولی قبل از آن فقط به غلظت واکنش دهنده‌ها (واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها) بستگی دارد.

۱۶۲ ۱ ۲ ۳ ۴

در واکنش تعادلی، اگر غلظت ماده‌ای برابر صفر باشد، واکنش در جهت تولید آن حرکت کرده و مقدار سایر موادی که در همان سمت فلش واکنش هستند، افزایش و سمت دیگر کاهش می‌یابند.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): نادرست است. در لحظه تعادل (پس از گذشت زمان طولانی) لزومی به برابر شدن غلظت یا مول مواد نیست، بلکه مقدار آن‌ها ثابت می‌شود.
گزینه (۲): نادرست است. در لحظه تعادل (گذشت زمان طولانی) سرعت واکنش رفت و برگشت با یکدیگر برابر می‌شود، ولی قبل از آن الزاماً تغییر سرعت‌ها با یکدیگر برابر نیست.
گزینه (۴): نادرست است. فقط در لحظه تعادل سرعت واکنش‌های رفت و برگشت برابر می‌شود.

۱۶۳ ۱ ۲ ۳ ۴

«در یک واکنش برگشت پذیر تعادلی، واکنش‌های رفت و برگشت با سرعت‌های یکسان (غیر یکسان) در ابتدای کار انجام می‌شوند. پس از گذشت مدت زمان کافی، زمانی فرا خواهد رسید که واکنش به تعادل می‌رسد. از این لحظه به بعد، مقدار یا غلظت مولی واکنش دهنده‌ها و محصولات با هم یکسان (لزوماً یکسان نیستند) می‌شود. در این حالت سرعت واکنش‌های رفت و برگشت به $\downarrow$ (به یک مقدار ثابت و برابر) می‌رسد و دیگر تغییری در تعداد مول واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها رخ نمی‌دهد.

از این زمان به بعد، شیب نمودار غلظت - زمان برای واکنش دهنده‌ها و محصولات برابر صفر خواهد بود.» (زیرا دیگر غلظت مولی یا تعداد مول مواد تغییر نمی‌کند).

۱۶۴ ۱ ۲ ۳ ۴

با شروع واکنش تعادلی $(2\text{SO}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons[\text{(۲)}]{\text{(۱)}} 2\text{SO}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}))$ ، رفت و برگشت از غلظت SO_2 کاسته شده و بر غلظت SO_3 و O_2 افزوده می‌شود و از طرفی چون سرعت واکنش با غلظت واکنش دهنده‌های آن رابطه مستقیم دارد، سرعت رفت (R_1) به تدریج کاهش و سرعت برگشت (R_2) به تدریج افزایش می‌یابد. در نهایت با برابر شدن سرعت واکنش‌های رفت و برگشت $(R_1 = R_2)$ ، واکنش به تعادل می‌رسد.

۱۶۵ ۱ ۲ ۳ ۴

با شروع واکنش، غلظت ماده A (واکنش دهنده) کاهش می‌یابد، تا جایی که مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود. به این ترتیب واکنش در جهت رفت، پیشرفت قابل توجهی دارد و تقریباً تمام A به B تبدیل می‌شود.

بررسی سایر گزینه‌ها:

گزینه (۱): نادرست است. چون در لحظه تعادل غلظت B بسیار بیش‌تر از A است، پس $K > 1$ خواهد بود:

$$K = \frac{[B]}{[A]} \quad [B] > [A] \rightarrow K > 1$$

گزینه (۴): نادرست است. در لحظه تعادل، غلظت واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها ثابت می‌شود ولی لزومی به برابر شدن غلظت آنها نیست.

۱۵۷ ۱ ۲ ۳ ۴

مورد (آ): نادرست است. پس از رسیدن به تعادل، سرعت مصرف و تولید هر ماده با یکدیگر برابر می‌شود و از نظر ظاهری این‌طور به نظر می‌رسد که سرعت واکنش صفر شده است ولی هم‌چنان واکنش‌های رفت و برگشت با سرعت برابر در حال انجام هستند.

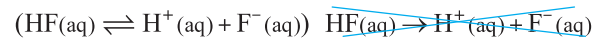
مورد (ب): درست است.

مورد (پ): نادرست است. واکنش‌های برگشت پذیر (تعادلی) تحت شرایط مناسب می‌توانند در دو جهت رفت و برگشت پیشرفت کنند.

مورد (ت): نادرست است. پس از رسیدن به تعادل، سرعت مصرف و تولید یک ماده برابر می‌شود. اما هم‌چنان نسبت سرعت تولید و یا مصرف مواد به یکدیگر، متناسب با ضرایب آن‌ها هستند.

۱۵۸ ۱ ۲ ۳ ۴

«فرایند یونش تمام اسیدهای ضعیف، نمونه‌ای از سامانه‌های تعادلی است. در یونش این اسیدها، واکنش‌های رفت و برگشت پس از گذشت زمان کافی، با سرعت برابر انجام می‌شوند. در لحظه تعادل در این اسیدها، غلظت H_3O^+ با غلظت اسید باقی‌مانده در محلول، با یکدیگر برابر می‌شود (غلظت H_3O^+ کم‌تر از اسید باقی‌مانده می‌شود). در این لحظه دیگر تغییری در غلظت مواد رخ نمی‌دهد و این‌طور به نظر می‌آید که واکنش به طور کامل متوقف شده است. این سامانه‌ها را می‌توان با کمیتی به نام ثابت تعادل توصیف کرد که حاصل تقسیم تعداد مول (غلظت) تعادلی فراورده‌ها بر واکنش دهنده‌ها است. به عنوان مثال، فلئوریدیک اسید (هیدروفلئوریک اسید)، مانند HF (برخلاف HCl ، یک اسید ضعیف است و فرایند یونش آن به صورت



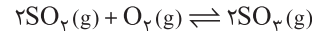
نمایش داده می‌شود.»

۱۵۹ ۱ ۲ ۳ ۴

تنها عاملی که بر روی ثابت تعادل (K) در یک واکنش تعادلی تأثیرگذار است، دمای واکنش (محلول) است.

۱۶۰ ۱ ۲ ۳ ۴

مورد (آ): نادرست است. طبق واکنش تعادلی زیر، چون ضریب SO_2 ، دو برابر ضریب O_2 است، میزان کاهش غلظت مولی SO_2 ، دو برابر O_2 است:



مورد (ب): نادرست است. در واکنش تعادلی، ضریب SO_2 و SO_3 با یکدیگر برابر است و تغییرات تعداد مول آن‌ها نیز یکسان خواهد بود.

مورد (پ): درست است. طبق شکل، تعداد مول SO_2 ، دو برابر O_2 است. چون ضریب SO_2 نیز دو برابر O_2 است، میزان کاهش تعداد مول SO_2 نیز دو برابر O_2 خواهد بود که به این ترتیب هیچ‌گاه تعداد مول این دو ماده با یکدیگر برابر نخواهد شد.

مورد (ت): نادرست است. در واکنش‌های تعادلی (برگشت پذیر) هیچ‌گاه غلظت یا مقدار مول هیچ‌یک از مواد به صفر نمی‌رسد.

مورد (ث): نادرست است. چون در ابتدای واکنش، تنها گازهای SO_2 و O_2 در ظرف وجود داشته است، در تعادل $(2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}))$ در لحظه اول تنها واکنش رفت رخ می‌دهد و مقدار این دو ماده هیچ‌گاه افزایش نخواهند یافت.

۱۶۸ ۱ ۲ ۳ ۴

مورد (آ): $K = [\text{CO}_2]$, K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{(1-0)} = \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ✓

مورد (ب): $K = \frac{[\text{SO}_2]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{(2-2)} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{-1} = \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}$ ✗

مورد (پ): $K = \frac{[\text{H}_2\text{O}^+][\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]}$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{2-1} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^1 = \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ✓

مورد (ت): $K = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{(1-2)} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{-1} = \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}$ ✗

مورد (ث): $K = [\text{SO}_4^{2-}][\text{Ba}^{2+}]$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{(2-0)} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^2 = \text{mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ ✓

۱۶۹ ۱ ۲ ۳ ۴

چون دمای محلول واکنش تغییر نکرده است، ثابت تعادل (K) در واکنش یونش هیدروفلوئوریک اسید، عددی ثابت خواهد بود. از طرف دیگر چون ضرایب H^+ و F^- برابر است، غلظت این دو ماده، با یکدیگر برابر می‌شود.

$\text{HF}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{F}^-(\text{aq})$, $K = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$

ردیف اول: $K = \frac{3 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-3}}{10^{-2}} = 9 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = A$

ردیف دوم: $K = 9 \times 10^{-4} = \frac{6 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-4}}{[\text{HF}]} \Rightarrow [\text{HF}] = 4 \times 10^{-4} = B$

ردیف سوم: $K = 9 \times 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{1/6 \times 10^{-7}} \Rightarrow [\text{H}^+] = [\text{F}^-] = 1/2 \times 10^{-5} = C$

۱۷۰ ۱ ۲ ۳ ۴

چون دمای محلول تغییر نکرده است، ثابت تعادل (K) یونش این اسید تغییر نمی‌کند. در ردیفی که مقدار K در آن با مقدار K در ردیف (۱) برابر شود، واکنش در تعادل خواهد بود.

ردیف اول:

$K = \frac{[\text{H}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = \frac{2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{10^{-2}} = 4 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ✓ ردیف دوم:

$K = \frac{[\text{H}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = \frac{6 \times 10^{-10} \times 6 \times 10^{-10}}{9 \times 10^{-10}} = 4 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ردیف سوم: ✗

$K = \frac{[\text{H}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = \frac{4 \times 10^{-7} \times 4 \times 10^{-7}}{4 \times 10^{-7}} = 4 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

مقدار K در این ردیف، با مقدار K در ردیف اول برابر نشد و واکنش به تعادل نرسیده است.

ردیف چهارم: ✓ $K = \frac{1/6 \times 10^{-5} \times 1/6 \times 10^{-5}}{0/64} = 4 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

گزینه‌های (۳) و (۴): نادرست است. در لحظه تعادل سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با یکدیگر برابر و مخالف صفر است. دقت کنید که غلظت A در لحظه تعادل به صفر نرسیده است.

۱۶۶ ۱ ۲ ۳ ۴

مورد (آ): درست است. در ثابت تعادل یک واکنش (K)، غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها به صورت محلول در آب یا گاز وارد می‌شود. زیرا مولاریته برای مواد جامد و مایع، بدون توجه به مقدارشان یک عدد ثابت است. (d و M برای یک ماده جامد یا مایع خالص، عددی ثابت است.)

$\frac{\text{mol}}{\text{L}} = \frac{\text{g}}{\text{جرم مولی} \times \text{L}} = \frac{\text{چگالی}}{\text{جرم مولی}} = \frac{d}{M}$

مورد (ب): نادرست است. واحد ثابت تعادل (K) به ضرایب مواد گازی و محلول در واکنش بستگی دارد.

$aA(g) + bB(aq) \rightleftharpoons cC(g)$

$K = \frac{[C]^c}{[A]^a[B]^b} (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{c-(a+b)}$

مورد (پ): نادرست است. مقدار ثابت تعادل (K) یک واکنش به مقدار واکنش‌دهنده‌ها و محصولات بستگی ندارد، بلکه فقط به دمای واکنش وابسته است. در واقع غلظت مولی مواد باید به گونه‌ای تغییر کند که حاصل کسر ثابت تعادل برابر K شود.

مورد (ت): نادرست است. K فقط وابسته به دمای واکنش تعادلی است. با تغییر دما، ثابت تعادل (K) تغییر می‌کند.

نکته: توضیحات ثابت تعادل:

(۱) فقط غلظت مولی مواد محلول و گازی در آن وارد می‌شود.

(۲) واحد آن به صورت زیر است:

$(\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{\text{مجموع ضرایب واکنش‌دهنده‌های محلول و محصولات گازی} - \text{مجموع ضرایب واکنش‌دهنده‌های محلول و محصولات گازی}}$

(۳) K فقط وابسته به دمای واکنش است و به حجم و مقدار مواد اولیه بستگی ندارد.

(۴) رابطه آن در واکنش تعادلی به صورت زیر است:

$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g)$

$K = \frac{[C]^c}{[A]^a[B]^b} (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{c-(a+b)}$

۱۶۷ ۱ ۲ ۳ ۴

گزینه (۱): $\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{HI}(g)$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{2-2} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^0 = 1$ ✗

گزینه (۲): $\text{CO}(g) + \text{MgO}(s) \rightleftharpoons \text{Mg}(s) + \text{CO}_2(g)$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{1-1} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^0 = 1$ ✗

گزینه (۳): $\text{CO}(g) + \text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{CO}_2(g) + \text{NO}(g)$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{(2-2)} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^0 = 1$ ✗

گزینه (۴): $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(g)$

K واحد $= (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{(2-4)} = (\frac{\text{mol}}{\text{L}})^{-2}$ ✓