



کتاب آنلاین®

مرجع تخصصی عرضه آنلاین کتاب

www.ketabonline.ir

سلام دوست من!

امیرحسین کریمی هستم و خیلی خوشحالم که در حال مطالعه این مقدمه هستی 😊 قراره که با دو تا سوال و جواب دادن به آن‌ها، اهمیت امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۵ و از اون مهم‌تر، اهمیت مطالعه شیمی فرمول ۲۰ رو براتون توضیح بدهم.

امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۴ چطور بود؟

با توجه به تأثیر قطعی امتحانی‌های نهایی در نتیجه قبولی، اهمیت آن بر کسی پوشیده نیست ولی نکته اصلی اینیه که وقتی آزمونی تأثیر قطعی (نه مثبت) داشته باشد، به تدریج مفهومی‌تر و سخت‌تر شده و اصطلاحاً «بالغ‌تر» می‌شود. مثل روندی که در خرداد ۱۴۰۴ در امتحان نهایی دیده شد و خدا رو شکر که با درسنامه‌ها و سؤالات این کتاب، پوشش ۱۰۰ درصدی در سؤالات خرداد ۱۴۰۴ داشتیم. پس، در نهایی خرداد ۱۴۰۵ چه انتظاری داریم؟ ریزتر، مفهومی‌تر و حتی محاسباتی‌تر شدن امتحان!

چرا شیمی فرمول ۲۰؟

در چاپ جدید این کتاب، اتفاق‌ها و سوپرایزهای خفنی منتظر شما هستند:

- ۱ درسنامه‌ها به طور کامل و ریز به ریز تمام مطالب و نکات کتاب درسی را با زبانی روان توضیح می‌دهند. هر جا نیاز به تمرین بوده، از «سین جیم»‌ها استفاده کردم که مشابه یا کامل‌تر شده تمرین‌های کتاب درسی است.
- ۲ تمام (دقت کنید، تمام) پرسش‌های کتاب درسی (تمرین‌های دوره‌ای، خود را بیازمایید و باهم بیندیشیم‌ها) را در این کتاب آوردم و حتی مثالی مشابه از آن طرح کرده‌ام تا تمرین بیشتری روی آن داشته باشید.
- ۳ در ویرایش جدید، به مسائل شیمی دوازدهم نگاه ویژه‌ای شده است. تمام تیپ‌های مسائل احتمالی و قطعی امتحان نهایی را در «کارگاه محاسبات» برایتان موشکافی کردم تا دغدغه مسائل نیز به طور کامل برطرف شود.
- ۴ در این کتاب، بیش از ۹۰۰ پرسش تشریحی آورده شده است تا هم بعد از تدریس معلم عزیزتان، تمرین کافی برای حل کردن داشته باشید و هم تمام سوال‌های احتمالی و مهم نهایی خرداد ۱۴۰۴ را در این کتاب، از قبل، دیده باشید. 😊 در ضمن برخی از سؤالات با علامت 🌟 نمایش داده شده‌اند که ایده‌هایی کمی بالاتر از سطح نهایی دارند که در امتحان‌های سخت ممکن است مورد پرسش قرار بگیرند.
- ۵ اگر به هر دلیلی وقت کافی برای حل کل سؤالات را ندارید، بعد از مطالعه دقیق درسنامه‌ها، کافی ست به حل سؤالات مهم‌تر که با علامت ☆ نمایش داده شدند، بپردازید.

و در پایان ...

از خانواده خوبم، مهندس محمد جوکار و خانواده بزرگ و محترم گاج تشکر می‌کنم، زحمت کشیدید و دمتون گرم راستی، دانش‌آموزان عزیز می‌توانید با عضویت در کانال تلگرامی Karimi-Shimi از مطالب شیمی و ویدیوهای مرتبط با تدریس شیمی لذت ببرید.

تکلیف دست ماست، نتیجه دست خداست

امیرحسین کریمی

 Karimi-Shimi

پاسخ	سؤالات	درسنامه
۱۹۲	۱۷	۶
۲۲۲	۸۸	۷۷
۲۳۸	۱۳۹	۱۳۱
۲۴۴	۱۶۵	۱۵۹

فصل اول: مولکول‌ها در خدمت تندرستی
فصل دوم: آسایش و رفاه در سایه شیمی
فصل سوم: شیمی جلوه‌ای از هنر، زیبایی و ماندگاری
فصل چهارم: شیمی، راهی به سوی آینده‌ای روشن‌تر

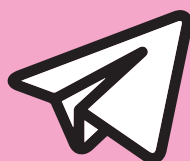
امتحان نهایی



جدول بارم‌بندی درس شیمی ۳		
فصل	نوبت اول	نوبت دوم
اول	۱۱/۵	۶/۵
دوم	۸/۵	۵
سوم	—	۴
چهارم	—	۴/۵
مجموع	۲۰	۲۰

آزمون ۱: آذر ماه ۱۴۰۱ (نوبت اول)	۲۵۴
آزمون ۲: آذر ماه ۱۴۰۱ (نوبت اول)	۲۵۶
آزمون ۳: دی ماه ۱۴۰۱	۲۵۸
آزمون ۴: خرداد ماه ۱۴۰۲	۲۶۱
آزمون ۵: شهریور ماه ۱۴۰۲	۲۶۴
آزمون ۶: دی ماه ۱۴۰۲	۲۶۷
آزمون ۷: خرداد ماه ۱۴۰۳	۲۷۰
آزمون ۸: مرداد ماه ۱۴۰۳	۲۷۳
پاسخ‌نامه تشریحی آزمون ۱ تا ۸	۲۷۷

برای دسترسی سریع به
این آیدی QR-Code
مقابل را اسکن کنید.



برای دریافت سؤالات
دبیرخانه شیمی کلمه
«شیمی» را به این
آیدی تلگرام
ارسال کنید.
@gajlive_bot



مدرسہ
اینٹرنی
گاج

گاج لایو



۳۵
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۸۴ تا ۸۱



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۸۰ تا ۴۳



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۴۲ تا ۱



۷۵
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۱۳۳ تا ۱۱۵



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۱۱۴ تا ۹۷



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۹۶ تا ۸۵



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۲۲۹ تا ۲۱۱



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۲۱۰ تا ۱۹۲



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۱۹۱ تا ۱۳۴



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۴
سؤالات
۳۲۷ تا ۲۸۶



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۳
سؤالات
۲۸۵ تا ۲۶۹



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۳
سؤالات
۲۶۸ تا ۲۳۰



۵۰
دقیقه

جلسه



بسته ۴
سؤالات
۳۷۸ تا ۳۶۶



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۴
سؤالات
۳۶۵ تا ۳۴۵



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۴
سؤالات
۳۴۴ تا ۳۲۸



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۵
سؤالات
۴۰۵ تا ۳۹۷



۷۵
دقیقه

جلسه



بسته ۵
سؤالات
۳۹۶ تا ۳۷۹





۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۴۳۷ تا ۴۶۱



۷۵
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۴۰۶ تا ۴۳۶



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۴۷۴ تا ۴۸۷



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۴۶۲ تا ۴۷۳



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۴۹۷ تا ۵۳۷



۴۵
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۴۸۸ تا ۴۹۶



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۵۵۱ تا ۵۶۶



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۵۳۸ تا ۵۵۰



۳۵
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۵۸۴ تا ۵۹۲



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۵۶۷ تا ۵۸۳



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۳
سؤالات
۶۳۰ تا ۶۵۴



۷۰
دقیقه

جلسه



بسته ۳
سؤالات
۵۹۳ تا ۶۲۹



۵۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۶۹۳ تا ۷۰۹



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۶۵۵ تا ۶۹۲



۸۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۷۵۷ تا ۷۷۹



۶۵
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۷۱۰ تا ۷۵۶



۸۵
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۸۲۷ تا ۸۵۵



۸۵
دقیقه

جلسه



بسته ۱
سؤالات
۷۸۰ تا ۸۲۶



۶۰
دقیقه

جلسه



بسته ۳
سؤالات
۸۷۳ تا ۹۱۷



۸۰
دقیقه

جلسه



بسته ۲
سؤالات
۸۵۶ تا ۸۷۲

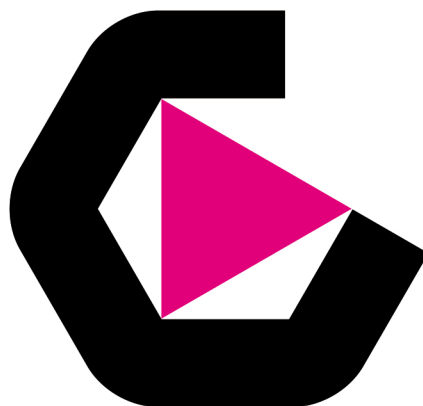


شیمی ۳

حل تصویری تک تک سؤالات
کتاب فرمول ۲۰ در ۴۰ ساعت



برای مشاهده ویدیوها در سایت gajlive.ir
برچسب را خراش داده و از کد زیر استفاده کنید



پشتیبانی
۰۲۱-۶۴۲۰

www.gajlive.ir

۱

بخش



درستنامه

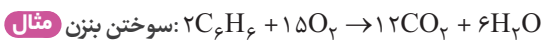
و سؤالات تشریحی

سامانه های تعادلی

راستشو بخواین «واکنش های تعادلی» بخش کوچکی از «تعادل و اصل لوشاتلیه» در فصل چهارم همین کتابه. برای همین توی این فصل بیشتر روی مفهوم تعادل مانور خواهیم داد.

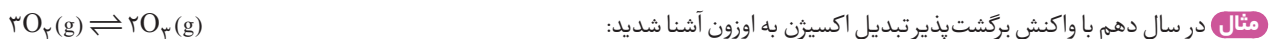
یادآوری واکنش های شیمیایی را می توان به دو دسته واکنش های برگشت ناپذیر (یک طرفه) و برگشت پذیر (دو طرفه) تقسیم کرد.

• به واکنش هایی که تنها در جهت رفت (تبدیل واکنش دهنده ها به فراورده ها) پیشروی می کنند، واکنش های برگشت ناپذیر گفته می شود. واکنش سوختن هیدروکربن ها تنها در جهت رفت انجام شده و جزء واکنش های برگشت ناپذیر محسوب می شود. دقت کنید که در واکنش های برگشت ناپذیر از نماد $\rightarrow$ استفاده می شود.



تذکر به واکنش های برگشت ناپذیر، واکنش های کامل نیز گفته می شود، زیرا تا مصرف کامل حداقل یکی از واکنش دهنده ها پیش می رود.

• به واکنش هایی که هم در جهت رفت (تبدیل واکنش دهنده ها به فراورده ها) و هم در جهت برگشت (تبدیل فراورده ها به واکنش دهنده ها) انجام می شوند، واکنش های برگشت پذیر گفته می شود. در این واکنش ها، همه واکنش دهنده ها به فراورده ها تبدیل نمی شوند. در واکنش های برگشت پذیر از نماد $\rightleftharpoons$ استفاده می شود.



۱ در واکنش های برگشت پذیر، در شرایط مناسب (ظرف دربسته و ...) سرانجام لحظه ای فرا می رسد که سرعت واکنش رفت با برگشت برابر می شود، در این حالت هر مقداری از واکنش دهنده ها که در واحد زمان مصرف می شود، هم زمان به همان مقدار تولید می شود. در شیمی به چنین سامانه هایی، سامانه تعادلی گفته می شود. یکی از ویژگی های سامانه های تعادلی، ثابت ماندن مقدار یا غلظت واکنش دهنده ها و فراورده ها است. دقت کنید که غلظت ها «ثابت می مانند» نه این که لزوماً «برابر می شوند»! (شهریور ۹۸)

نکته شرط برقراری تعادل در سامانه هایی که حداقل یکی از اجزا گازی شکل است، عدم مبادله ماده میان سامانه و محیط است، یعنی به طور کلی واکنش برگشت پذیری به تعادل می رسد که ظرف آن سرپسته باشد.

۲ نمونه ای از سامانه های تعادلی، محلول اسیدهای ضعیف در آب است. در این محلول ها به دلیل یونش ناچیز اسیدهای ضعیف، میان اندک یون های حاصل از یونش و مولکول های یونیده نشده، تعادل برقرار است.

مثال به یونش اسید ضعیف CH_3COOH در آب توجه کنید:



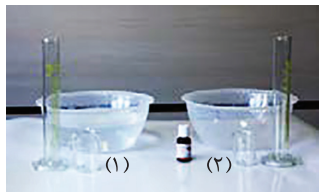
برای این سامانه تعادلی در دمای ثابت، غلظت تعادلی گونه های موجود در محلول ثابت می ماند، زیرا سرعت تولید هرگونه با سرعت مصرف آن برابر است. غلظت گونه های این سامانه تعادلی به صورت: $[CH_3COO^-] = [H^+] < [CH_3COOH]$ است، یعنی لزوماً غلظت مواد در حال تعادل با هم برابر نیست اما با برقراری تعادل، غلظت هرگونه ثابت می ماند و تغییری نمی کند.

«کاوش کنید» کتاب درسی

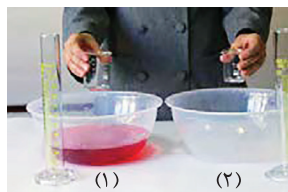
با توجه به اهمیت «آزمایش» در امتحان نهایی و احتمال طرح آن ها، «کاوش کنید» های کتاب درسی را با دقتی دو چندان بخوانید. در این قسمت مولف های کتاب درسی سعی دارند تا با یک آزمایش ساده مفهوم تعادل و نتایج آن را به شما آموزش دهند.

• دو ظرف پلاستیکی با حجم یکسان را در نظر بگیرید. به یکی از آن ها (ظرف ۱) مقداری آب به همراه چند قطره رنگ خوراکی (برای بهتر دیده شدن) اضافه می کنیم. برای برداشتن محتویات ظرف (۱) و انتقال به ظرف (۲) از یک بشر ۱۰۰ میلی لیتری و به طور همزمان برای برداشتن محتویات ظرف (۲) و انتقال به ظرف (۱) از یک بشر ۵۰ میلی لیتری استفاده خواهیم کرد.

تذکر دقت کنید که در بار اول، چون ظرف (۲) پر از فالیه! هیچ محلولی به ظرف (۱) منتقل نمی شود.



• از آن‌جا که در ابتدای فرایند، ظرف (۱) بر خلاف ظرف (۲) دارای محتویات است، پس می‌توان ظرف (۱) را نشان‌دهنده واکنش‌دهنده‌ها و ظرف (۲) را نشان‌دهنده فراورده‌ها در نظر گرفت. با انتقال محلول میان این دو ظرف، از حجم ظرف (۱) یعنی مقدار واکنش‌دهنده‌ها کم شده و به حجم ظرف (۲) یعنی مقدار فراورده‌ها افزوده می‌شود.



نکته! در این آزمایش منظور از بشرهای ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌لیتری همان سرعت واکنش‌های رفت و برگشت هستند. (۱۰۰ mL برای واکنش رفت و ۵۰ mL برای واکنش برگشت). با کم شدن حجم ظرف (۱)، بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری نیز به‌طور کامل از محلول پر نمی‌شود و هر بار خالی‌تر می‌شود. از طرفی با افزایش حجم ظرف (۲)، بشر ۵۰ میلی‌لیتری نیز به‌تدریج پرتر می‌شود. *از این‌جای نتیجه می‌گیریم...* با گذشت زمان از شروع واکنش، سرعت واکنش رفت کم و سرعت واکنش برگشت زیاد می‌شود.

الان هر بار که می‌خواهیم محتویات رو منتقل کنیم، بشرها به‌طور کامل از محلول پر نمی‌شن؟
خب اگر هر بار پر شوند، برقراری تعادل بی‌معنی است! دقت کنید که چون حجم محلول در ظرف (۱) به مرور کم می‌شود و دیگر بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری به‌کار نمی‌آید، بهتر است از استوانه مدرج استفاده کنیم.



• با گذشت زمان، لحظه‌ای فرا می‌رسد که حجم محلول جابه‌جا شده میان ظرف‌ها (یعنی حجم محلولی که در بشرهای ۱۰۰ mL و ۵۰ mL وجود دارند) برابر شده و مقدار حجم و محتویات هر ظرف ثابت می‌ماند. به زبان شیمی یعنی سرعت واکنش‌های رفت و برگشت برابر شده که باعث ثابت ماندن غلظت مواد واکنش‌دهنده و فراورده می‌شود.

در این‌جا واکنش متوقف می‌شه؟
اصلاً و ابداً! با منتقل کردن محتویات دو ظرف به کمک بشرها، تغییری در حجم محتویات داخل ظرف‌ها نمی‌شود. یعنی با برقراری تعادل، واکنش‌های رفت و برگشت در حال انجام‌اند، اما چون سرعت انجام آن‌ها برابر است، انگار از نظر ظاهری واکنشی رخ نمی‌دهد که **فطای دید هستش!** حالا به سؤال، حجم محلول‌ها در دو ظرف با هم برابره یا متفاوت از هم هستن؟

من خوب گوش دادم! چون حجم دو بشر اولیه که داشتیم (۵۰ mL و ۱۰۰ mL) متفاوت بود، حجم نهایی محلول در دو ظرف با یکدیگر برابر نمی‌شه. آفرین! حالا به نظرت حجم محلول در کدام ظرف بیشتره؟

ظرف (۲)، چون برای انتقال محتویات به ظرف (۲) از بشر حجیم‌تر (۱۰۰ mL) استفاده کردیم.



حجم نهایی: ظرف ۲ < ظرف ۱

مفهوم سرعت در واکنش تعادلی

۱ واکنش تعادلی و گازی $3B \rightleftharpoons 2A$ را در نظر بگیرید که در یک ظرف در بسته و با دو مول گاز A شروع می‌شود.

• با گذشت زمان از شروع واکنش، برای رسیدن به تعادل، سرعت واکنش رفت کاهش (به دلیل کم شدن غلظت واکنش‌دهنده‌ها) و سرعت واکنش برگشت افزایش (به دلیل افزایش غلظت فراورده‌ها) می‌یابد.

من مشکلم اینه که نمی‌دونم سرعت واکنش رفت یا سرعت واکنش برگشت چی هست اصلاً!

سرعت واکنش رفت یعنی «سرعت مصرف واکنش‌دهنده‌ها» و «سرعت تولید فراورده‌ها» و سرعت واکنش برگشت یعنی «سرعت مصرف فراورده‌ها» و «سرعت تولید واکنش‌دهنده‌ها».

۲ با برقراری تعادل، سرعت واکنش‌های رفت و برگشت با هم برابر می‌شود. همان‌طور که از سینتیک سال یازدهم به خاطر دارید، سرعت واکنش از تقسیم سرعت تولید یا مصرف مواد بر ضریب استوکیومتری‌شان به دست می‌آید:

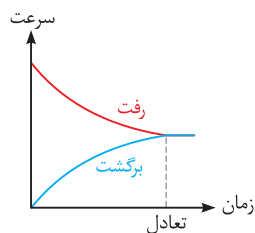
۲A $\rightleftharpoons$ ۳B تعادل فرضی

$$\left. \begin{aligned} R_{\text{رفت}} &= \frac{\bar{R}_A \text{ مصرف}}{2} = \frac{\bar{R}_B \text{ تولید}}{3} \\ R_{\text{برگشت}} &= \frac{\bar{R}_B \text{ مصرف}}{3} = \frac{\bar{R}_A \text{ تولید}}{2} \end{aligned} \right\} \xrightarrow{\text{در تعادل}} R_{\text{رفت}} = R_{\text{برگشت}} \Rightarrow \frac{\bar{R}_A \text{ مصرف یا تولید}}{2} = \frac{\bar{R}_B \text{ مصرف یا تولید}}{3}$$

نکته! با اینکه سرعت واکنش رفت با سرعت واکنش برگشت در زمان تعادل، برابر است اما سرعت تولید یا مصرف هر ماده، هم‌چنان به ضریب استوکیومتری آن‌ها وابسته است. در مثال بالا، سرعت تولید یا مصرف B در هنگام تعادل، ۱/۵ برابر سرعت تولید یا مصرف A است.

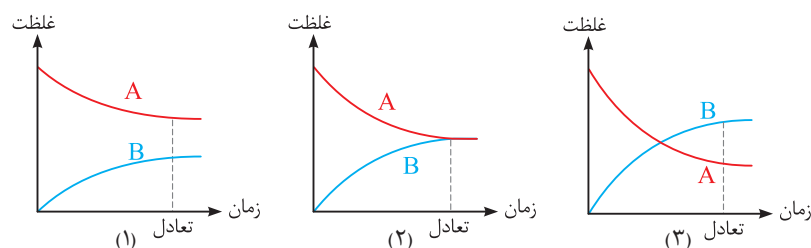
نمودارهای تعادلی

حالت اول مواد شرکت‌کننده گازی شکل (g) و یا محلول اند (aq).

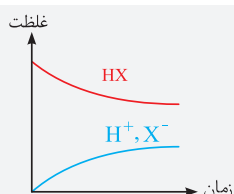


• تعادل $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ را در نظر بگیرید. با فرض نبود فراورده در ظرف واکنش و شروع آن با واکنش‌دهنده، می‌توان گفت که در لحظه شروع واکنش، بیشترین غلظت واکنش‌دهنده را داریم، پس سرعت واکنش رفت بیشینه است. با گذشت زمان و مصرف واکنش‌دهنده‌ها، از سرعت واکنش رفت کاسته شده و با افزایش غلظت فراورده‌ها، به سرعت واکنش برگشت افزوده می‌شود تا لحظه‌ای که تعادل برقرار شده و سرعت واکنش رفت و برگشت با هم برابر می‌شود.

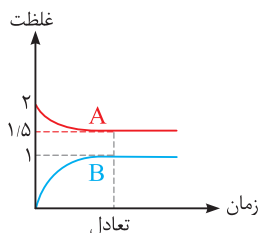
• با برقراری تعادل، غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها ثابت می‌ماند (تغییری نمی‌کند)، پس در تعادل $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ سه حالت ممکن است رخ دهد:



نمودارهای بالا نشان می‌دهد که میزان پیشرفت واکنش‌ها (درصد تبدیل واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها) تا رسیدن به تعادل متفاوت از یکدیگر است. در برخی از واکنش‌ها، تمایل تبدیل واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها کم بوده و پس از پیشرفت کمی، واکنش به تعادل می‌رسد (مانند نمودار (۱)). در برخی دیگر از واکنش‌ها، تمایل زیادی برای تبدیل واکنش‌دهنده‌ها به فراورده‌ها وجود دارد که باعث درصد پیشرفت بالای آن واکنش تا زمان برقراری تعادل می‌شود (مانند نمودار (۳)). اگر واکنش در میانه باشد و درصد پیشرفت حدود ۵۰٪ باشد، نمودار (۲) حاصل می‌شود.



نکته! خواندید که سامانه یونش اسیدهای ضعیف در آب، تعادلی است. از آن‌جا که اسیدهای ضعیف به میزان کم یونیده می‌شوند و یونش آن‌ها پیشرفت بالایی ندارد، پس نمودار «غلظت - زمان» آن‌ها مانند نمودار (۱) است. برای مثال به نمودار غلظت - زمان یونش اسید ضعیف HX از زمان حل شدن تا رسیدن به تعادل، دقت کنید:

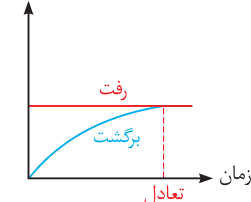


توی نمودار اخیر، چرا H^+ و X^- به منحنی دارن؟

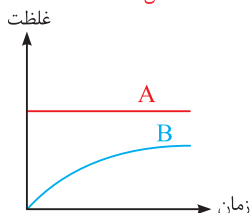
مطابق معادله یونش: $HX(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + X^-(aq)$ ، ضرایب H^+ و X^- با هم برابر است. یادتون نرفته که تغییرات غلظت مواد (g) و (aq) متناسب با ضرایب استوکیومتری آن‌ها بود! مثلاً در تعادل $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ ، با تغییر یک واحد غلظت B، غلظت A فقط نیم واحد تغییر می‌کند و نمودار پیشرفت آن از ابتدا تا رسیدن به تعادل می‌تواند به صورت مقابل باشد:

حالت دوم حداقل یکی از مواد شرکت‌کننده به حالت جامد (s) یا مایع خالص (l) است.

همان طور که در سال یازدهم خواندید، غلظت مواد جامد یا مایع خالص در دمای معین، عددی ثابت است و تغییر نمی‌کند. حالا اگر یکی از مواد شرکت‌کننده جامد یا مایع خالص باشد و یکای بیان سرعت $mol.L^{-1}.time^{-1}$ (غلظت بر زمان) باشد، نمودار آن به صورت افقی رسم می‌شود.



برای مثال در تعادل $A(l) \rightleftharpoons B(g)$ که در یک ظرف دربسته برقرار است، سرعت واکنش رفت بر حسب $mol.L^{-1}.time^{-1}$ عددی ثابت است (با فرض دمای ثابت)، زیرا سرعت واکنش رفت تابع غلظت واکنش دهنده بوده که مایع است و تغییر غلظت برای آن مفهومی ندارد، بنابراین نمودار سرعت - زمان این تعادل به صورت مقابل است:



در مورد نمودار غلظت - زمان تعادل فرضی $A(l) \rightleftharpoons B(g)$ ، قاعدتاً شیب غلظت ماده A صفر است (غلظت مواد مایع یا جامد خالص در دمای معین ثابت است) و به صورت خطی کشیده می‌شود. از آن جا که مفهوم کلی غلظت، میزان تراکم ذرات سازنده ماده در حجم معین است، غلظت مواد جامد یا مایع به طور کلی بیشتر از غلظت مواد گازی شکل بوده (تراکم ذرات در حالت فیزیکی مایع بسیار بیشتر از حالت فیزیکی گاز است) و نمودار غلظت - زمان این تعادل به صورت مقابل خواهد بود:

ثابت یونش اسیدی

در این قسمت قراره با یه کمیت خیلی مهم در تعادل‌ها آشنا شویم، هم کاربرد مفهومی داره هم سؤال‌های محاسباتی!

1) برای یک واکنش تعادلی، در یک دمای معین، نسبت حاصل ضرب غلظت تعادلی فراورده‌ها هریک به توان ضریب استوکیومتری تقسیم بر حاصل ضرب غلظت تعادلی واکنش دهنده‌ها هریک به توان ضریب استوکیومتری همواره مقدار ثابتی است. این مقدار ثابت را ثابت تعادل می‌نامند.

طبق این تعریف، برای واکنش تعادلی کلی: $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ ، عبارت ثابت تعادل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

مثال $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ ، $K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$

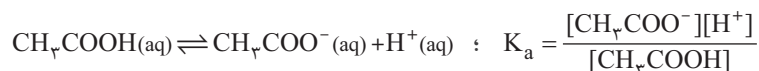
نکته امتحانی

ثابت تعادل (K) در دمای ثابت، مقداری ثابت است. در واقع ثابت تعادل هر واکنش، فقط به دما بستگی دارد. (خرداد ۱۴۰۳ + ۵ تکرار)

تذکره غلظت مواد جامد یا مایع خالص بدون توجه به مقدار آن‌ها ثابت است و هنگام نوشتن عبارت ثابت تعادل از نوشتن غلظت آن‌ها صرف نظر می‌کنیم. از این رود نوشتن عبارت ثابت تعادل تنها به غلظت گازها (g) و محلول‌ها (aq) توجه می‌کنیم.

مثال $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ ؛ $K = [CO_2(g)]$

2) در این فصل با ثابت تعادل واکنش یونش اسیدها که به ثابت یونش اسیدی (K_a) معروف است، آشنا می‌شویم. برای مثال رابطه ثابت یونش (K_a) استیک اسید به صورت زیر نوشته می‌شود:



بنابراین به طور کلی ثابت یونش اسید HA به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

نکته منظور از [HA] در رابطه بالا غلظت مولی اسیدی است که یونیده نشده و به صورت مولکولی پس از یونش باقی مانده است که به آن غلظت تعادلی اسید نیز گفته می‌شود.

در صورت کسر K_a ، غلظت‌های تعادلی اسید اولیه وجود دارد. بنابراین K_a ، می‌تواند نشان دهنده میزان پیشرفت واکنش یونیده شدن اسید تا رسیدن به تعادل باشد. هرچه مقدار K_a در دمای معین بزرگ‌تر باشد، اسید مورد نظر میزان بیش تری از یون هیدرونیوم را تولید کرده و قدرت اسیدی بیش تری دارد. (خرداد ۱۴۰۰)

برای مقایسه قدرت اسیدها، از درجه یونش (α) هم می‌تونیم استفاده کنیم، درسته؟

فقط به یک شرط! علاوه بر یکسان بودن دما، غلظت مولی آغازین اسیدها نیز یکسان باشد. اگر دما و غلظت در محلول اسیدی یکسان باشد، اسیدی که α بیشتری دارد، قوی‌تر است. اما چون غلظت بر روی درجه یونش تأثیر دارد، در صورت نابرابر بودن غلظت اولیه اسیدها، با قطعیت نمی‌توانیم در مورد قدرت اسیدها صحبت کنیم که البته مشکلی هم نداره! چون در دمای یکسان و با هر غلظتی، از K_a استفاده می‌کنیم.

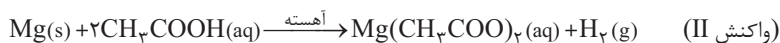
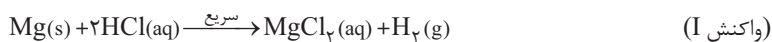
۳ در دما و غلظت اولیه یکسان، هر چه K_a اسیدی بیش‌تر باشد، رسانایی الکتریکی محلول آبی آن نیز بیش‌تر است، زیرا رسانایی الکتریکی یک محلول به مقدار یون‌های موجود در آن بستگی دارد. در شرایط یکسان هر چه K_a بیش‌تر باشد، اسید موردنظر بیش‌تر یونیده شده و یون‌های بیش‌تری پدید می‌آورد.

۴ اغلب فلزها، با محلول اسیدها واکنش می‌دهند و گاز هیدروژن آزاد می‌کنند. هر چه اسیدی سریع‌تر با یک فلز در شرایط معین واکنش دهد، در دما و غلظت یکسان، قدرت اسیدی بیش‌تری دارد.

نکته امتحانی

سرعت واکنش اسید با فلز، به غلظت یون‌های هیدرونیوم موجود در محلول بستگی دارد. هر چه غلظت یون هیدرونیوم بیش‌تر باشد، در شرایط یکسان سرعت واکنش نیز بیش‌تر خواهد بود. (خرداد ۱۴۰۰)

مثال هرگاه دو قطعه یکسان از نوار منیزیم را در حجم‌های مساوی از محلول ۱٪ مولار استیک اسید و ۱٪ مولار هیدروکلریک اسید بیندازیم، در دمای اتاق ضمن انجام واکنش، گاز هیدروژن آزاد می‌شود:



از آن‌جا که غلظت یون هیدرونیوم در محلول اسید قوی (هیدروکلریک اسید) بیش‌تر می‌باشد، سرعت واکنش (I) از واکنش (II) بیش‌تر است. بنابراین عامل مؤثر در اختلاف سرعت این دو واکنش، تفاوت در غلظت یون هیدرونیوم موجود در محلول‌های اسیدی است.

اگر ثابت یونش هیدروکلریک اسید و استیک اسید را به ترتیب K_{a1} و K_{a2} در نظر بگیریم، می‌توان گفت که $K_{a1} > K_{a2}$ است.

۵ در کتاب درسی، جدولی به صورت زیر آورده شده است که K_a چند اسید قوی و ضعیف را در دمای اتاق با هم مقایسه می‌کند:

نام اسید	فرمول شیمیایی	ثابت یونش (K_a)	معادله یونش در آب
هیدرویدیک اسید	HI	بسیار بزرگ	$\text{HI(aq)} \rightarrow \text{H}^+\text{(aq)} + \text{I}^-\text{(aq)}$
هیدروبرمیک اسید	HBr	بسیار بزرگ	$\text{HBr(aq)} \rightarrow \text{H}^+\text{(aq)} + \text{Br}^-\text{(aq)}$
هیدروکلریک اسید	HCl	بسیار بزرگ	$\text{HCl(aq)} \rightarrow \text{H}^+\text{(aq)} + \text{Cl}^-\text{(aq)}$
سولفوریک اسید	H_2SO_4	بسیار بزرگ	$\text{H}_2\text{SO}_4\text{(aq)} \rightarrow \text{H}^+\text{(aq)} + \text{HSO}_4^-\text{(aq)}$
نیتریک اسید	HNO_3	بزرگ	$\text{HNO}_3\text{(aq)} \rightarrow \text{H}^+\text{(aq)} + \text{NO}_3^-\text{(aq)}$
هیدروفلوئوریک اسید	HF	5.9×10^{-4}	$\text{HF(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+\text{(aq)} + \text{F}^-\text{(aq)}$
نیترواسید	HNO_2	4.5×10^{-4}	$\text{HNO}_2\text{(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+\text{(aq)} + \text{NO}_2^-\text{(aq)}$
فورمیک اسید	HCOOH	1.8×10^{-4}	$\text{HCOOH(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+\text{(aq)} + \text{HCOO}^-\text{(aq)}$
استیک اسید	CH_3COOH	1.8×10^{-5}	$\text{CH}_3\text{COOH(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+\text{(aq)} + \text{CH}_3\text{COO}^-\text{(aq)}$
کربنیک اسید	H_2CO_3	4.5×10^{-7}	$\text{H}_2\text{CO}_3\text{(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+\text{(aq)} + \text{HCO}_3^-\text{(aq)}$
هیدروسیانیک اسید	HCN	4.9×10^{-10}	$\text{HCN(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+\text{(aq)} + \text{CN}^-\text{(aq)}$

اسیدهای قوی

اسیدهای ضعیف

• اگر حلال آب نباشد، قدرت اسیدی اسیدهای قوی به صورت روبه‌رو مقایسه می‌شود: $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl} > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HNO}_3$: قدرت اسیدی قوی‌ها من نفهمیدم! اگر حلال آب باشه، چه مشکلی پیش میاد؟

اگر خیلی ساده بخوام بگم، قوی‌ترین اسیدی که در آب وجود دارد، یون هیدرونیوم (H_3O^+) است و چون تمام پنج اسید قوی گفته شده، قوی‌تر از هیدرونیوم هستند، پس در محیط آبی از لحاظ قدرت اسیدی با هم فرقی ندارند. برای مثال فرض کنید اگر تویی رو ۱۰ متر پرت کنید، جزء پرتاب‌کننده‌های حرفه‌ای هستید. حالا پنج نفر داریم که همگی بالای ۱۰ متر پرتاب می‌کنند (مهم نیست چه قدر پرتاب میشه، مهم اینه که بالای ۱۰ متره) پس نمی‌تونیم بگیم کی از بین این پنج نفر پرتاب‌کننده حرفه‌ای تریه 😊

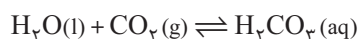
• در میان اسیدهای ضعیف و با توجه به K_a آن، می‌توانیم مقایسه زیر را انجام دهیم:

$\text{HF} > \text{HNO}_2 > \text{HCOOH} > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCN}$: قدرت اسیدی ضعیف‌ها
 ← قوی‌ترین اسید ضعیف ← ضعیف‌ترین اسید ضعیف

نکته! در کربوکسیلیک اسیدها (RCOOH)، با افزایش شمار کربن‌ها در زنجیر هیدروکربنی R ، قدرت اسیدی کاهش می‌یابد. به همین دلیل است که اولین عضو آن‌ها یعنی فورمیک اسید (HCOOH) بیشترین K_a را در کل خانواده‌شان دارد.

باران اسیدی

۱ باران معمولی (یا طبیعی) کمی خاصیت اسیدی داشته به طوری که pH آن کمتر از ۷ است (در حدود ۵/۵). حالا به سؤال، چرا باران طبیعی خاصیت اسیدی دارد؟ به این دلیل که آب باران، گاز CO_2 موجود در هوا را در خود حل کرده و تشکیل کربنیک اسید (H_2CO_3) می‌دهد. از آن جا که H_2CO_3 اسیدی ضعیف است، باران معمولی کمی خاصیت اسیدی دارد.



۲ خودروها و مراکز صنعتی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند باعث وارد شدن آلاینده‌های NO_x (یعنی NO و NO_2) و SO_2 به هوا کره می‌شوند. با بارش باران در هوای این اکسیدها و واکنش میان NO_x و SO_2 با آب باران، دو اسید قوی سولفوریک اسید (H_2SO_4) و نیتریک اسید (HNO_3) تولید می‌شوند که میزان اسیدی بودن آب باران را بسیار افزایش می‌دهند. به همین دلیل باران حاصل در هوای آلوده را باران اسیدی می‌نامند.

جمع‌بندی از آن جا که باران اسیدی دارای دو اسید قوی HNO_3 و H_2SO_4 است، نسبت به باران معمولی (دارای اسید ضعیف H_2CO_3)، دارای غلظت بیشتری از یون هیدرونیوم است و مقدار pH آن نیز به مراتب کم‌تر است.

سین جیم

سؤال با توجه به جدول زیر که ثابت یونش چند اسید مقایسه شده است، پاسخ دهید.

نام اسید	فرمول شیمیایی	ثابت یونش اسید
هیدروسیانیک اسید	HCN	$4/9 \times 10^{-10}$
هیدروفلوئوریک اسید	HF	$5/9 \times 10^{-4}$
نیترواسید	HNO_2	$4/5 \times 10^{-4}$

۱ کدام اسید قوی‌تر است؟ چرا؟

۲ در دما و غلظت یکسان رسانایی الکتریکی کدام اسید کم‌تر است؟ چرا؟

۳ در شرایط یکسان سرعت واکنش فلز منیزیم با یک لیتر محلول ۱ مولار کدام اسید جدول زیر بیش‌تر است؟

جواب ۱ هرچه K_a یک اسید بیش‌تر باشد، آن اسید قوی‌تر است. بنابراین در میان اسیدهای داده شده، HF قوی‌ترین اسید است.

۲ هیدروسیانیک اسید، زیرا هر چه K_a کم‌تر باشد، در دما و غلظت یکسان، شمار یون‌های موجود در محلول آن اسید کم‌تر بوده و رسانایی الکتریکی محلول آن اسید نیز کم‌تر است.

۳ HF (چون K_a بزرگ‌تری دارد) و غلظت یون هیدرونیوم در محلول آن بیشتر است.

کارگاه محاسبات: ثابت یونش (K_a)

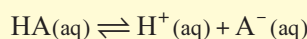
معمولاً در امتحان‌های نهایی، مسائلی خیلی ساده از K_a مطرح می‌شود. در کارگاه امروز، قراره با دو روش مسائل K_a را حل کنید. به‌طور کلی هر دو روش برای مسائل جوابگو هستند، اما در سطح امتحان نهایی، توصیه من استفاده از روش اول (جدولی) است.

روش اول: جدولی

• فرض کنید محلولی آبی از یک اسید ضعیف (با نماد HA) با غلظت اولیه M داریم. در شرایط مناسب و با برقراری تعادل در سامانه یونش آن، شمار کمی از مولکول‌های آن، یونیده شده و مابقی به‌صورت مولکولی در سامانه باقی می‌ماند. اگر فرض کنیم x مولار از اسید یونیده شده است ($x < M$)، به راحتی نتیجه گرفته می‌شود که غلظت مولی یون‌های H^+ و A^- در این سامانه به x و غلظت مولی اسید یونیده نشده به $M - x$ می‌رسد. پس می‌توان جدول مقابل را تشکیل داد:

گونه‌ها	HA	H^+	A^-
غلظت اولیه	M	$\circ$	$\circ$
تغییرات تا به تعادل رسیدن	$-x$	$+x$	$+x$
غلظت تعادلی	$M - x$	x	x

از طرفی می‌دانیم که K_a برای سامانه تعادلی یونش اسید HA به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:



$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \xrightarrow{\text{جای‌گذاری از ردیف سوم جدول}} K_a = \frac{x \times x}{M - x} \xrightarrow{x \text{ همان } [H^+] \text{ است}} K_a = \frac{[H^+]^2}{M - [H^+]}$$

• منظور از M ، غلظت اولیه اسید و منظور از $[H^+]$ ، غلظت اسید یونیده شده است. در نتیجه $M - [H^+]$ نشان‌دهنده غلظت اسید یونیده نشده یا تعادلی است.

$$\alpha = \frac{x}{M} \text{ یا } \alpha = \frac{[H^+]}{M}$$

• اگر درجه یونش (α) از شما خواسته شد، با تقسیم x بر M آن را به‌دست می‌آورید:

مهم‌ترین مرحله در حل مسائل K_a (به هر روشی)، شناسایی نوع غلظت اشاره شده در سؤال است. اگر گفته شود: «غلظت اولیه اسید» یا حتی «غلظت اسید» منظور همان غلظت اولیه (M) می‌باشد. در عوض اگر در سؤال اشاره شود «غلظت تعادلی»، «غلظت اسید یونیده نشده» یا «غلظت مولکول‌های یونیده نشده»، منظور غلظت تعادلی اسید ($M - [H^+]$) است. **آگه طراح فواست سورپرایزتون کنه** و از «غلظت اسید یونیده شده» استفاده کرد، دقت کنید که این غلظت همان $[H^+]$ می‌باشد.

روش دوم: فرمولی

• از قبل می‌دانید که $[H^+] = M\alpha$ است، پس می‌توان نوشت:

$$K_a = \frac{[H^+]^2}{M - [H^+]} \xrightarrow{[H^+] = M\alpha} K_a = \frac{(M\alpha)^2}{M - M\alpha} = \frac{M \times M\alpha^2}{M(1 - \alpha)} \Rightarrow K_a = \frac{M\alpha^2}{1 - \alpha}$$

• در روش فرمولی نیازی به غلظت تعادلی اسید نداریم و با داشتن غلظت اولیه اسید (M) و درجه یونش (α)، به راحتی K_a محاسبه می‌شود.

🔥 در هر دو روش، اگر درجه یونش کم‌تر از ۵٪ یا K_a از 10^{-5} کوچک‌تر یا سؤال بر تقریبی بودن جواب اصرار داشته باشد، می‌توان غلظت تعادلی اسید را هم‌ارز غلظت اولیه اسید در نظر گرفت و روابط زیر را به‌دست آورد:

$$K_a < 10^{-5} \text{ یا } \alpha < 5\% \Rightarrow M - [H^+] \approx M \Rightarrow K_a = \frac{[H^+]^2}{M}$$

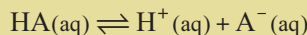
$$K_a < 10^{-5} \text{ یا } \alpha < 5\% \Rightarrow 1 - \alpha \approx 1 \Rightarrow K_a = M\alpha^2$$

❓ اگر در محلول ۰/۲ مولار اسید فرضی HA، غلظت مولی آنیون برابر ۰/۰۲ مولار باشد:

آ درصد یونش این اسید را حساب کنید.

ب) ثابت یونش اسیدی آن چقدر است؟

✔️ آ) به سامانه یونش این اسید دقت کنید:



$$\text{درصد یونش HA} = \frac{[\text{A}^-][\text{H}^+]}{M} \times 100 = \frac{0.02}{0.2} \times 100 = 10\%$$

ب) روش جدولی: از آن جاکه می‌دانیم در اسیدهای تک پروتون‌دار $[\text{H}^+] = [\text{A}^-]$ است، می‌توان نوشت (چون در این اسید $\alpha > 0.05$ است، پس $[\text{H}^+] = M - [\text{H}^+]$ را باید به‌طور دقیق به‌دست آوریم):

$$\left. \begin{aligned} [\text{H}^+] &= [\text{A}^-] = 0.02 \\ M &= 0.2 \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow M - [\text{H}^+] = 0.2 - 0.02 = 0.18 \end{aligned} \right\} \Rightarrow K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{M - [\text{H}^+]} = \frac{(0.02)^2}{0.18} \approx 2.2 \times 10^{-3}$$

روش فرمولی: از آن جاکه در قسمت آ)، درجه یونش (α) را برابر ۰/۱ به‌دست آوردیم (چون در اسید $\alpha > 0.05$ است، پس $1 - \alpha$ را نمی‌توانیم حذف کنیم):

$$\left. \begin{aligned} M &= 0.2 \\ \alpha &= 0.1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow K_a = \frac{M\alpha^2}{1 - \alpha} = \frac{0.2 \times (0.1)^2}{1 - 0.1} \approx 2.2 \times 10^{-3}$$

❓ در محلول ۰/۴ مولار هیدروفلوئوریک اسید در شرایط معین، درصد یونش برابر ۰/۴ است، K_a را در این شرایط به‌دست آورید.

✔️ روش جدولی: به رابطه اصلی دقت کنید:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{M - [\text{H}^+]}$$

در این روش برای محاسبه K_a ، علاوه بر غلظت اولیه (M) یا تعادلی اسید (HA)، به غلظت یون هیدرونیوم (H^+) نیز نیاز داریم، پس ابتدا با استفاده از درصد یونش، $[\text{H}^+]$ را حساب می‌کنیم:

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{M} \times 100 \Rightarrow 4 = \frac{[\text{H}^+]}{0.4} \times 100 \Rightarrow [\text{H}^+] = 0.016 \text{ mol.L}^{-1}$$

از آن جاکه درجه یونش این اسید از ۰/۰۵ کوچک‌تر است ($0.04 < 0.05$)، پس می‌توانیم $M - [\text{H}^+] \approx M$ را با تقریب خوبی همان M در نظر بگیریم:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{M - [\text{H}^+]} \xrightarrow{\alpha < 0.05 \Rightarrow M - [\text{H}^+] \approx M} K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{M} = \frac{(0.016)^2}{0.4} = 6.4 \times 10^{-4}$$

روش فرمولی: از آن جاکه $\alpha < 0.05$ است، عبارت $1 - \alpha$ را برابر ۱ در نظر گرفته و به رابطه زیر می‌رسیم:

$$K_a = \frac{M\alpha^2}{1 - \alpha} \xrightarrow{\alpha < 0.05 \Rightarrow 1 - \alpha \approx 1} K_a = M\alpha^2 = 0.4 \times (0.04)^2 = 6.4 \times 10^{-4}$$

● عبارت‌های زیر را با انتخاب یکی از موارد داده شده، کامل کنید.

۲۳۰ | ثابت تعادل یک واکنش به (دمای انجام واکنش / غلظت مواد شرکت‌کننده) بستگی ندارد.

۲۳۱ | در یک سامانه تعادلی، خواص (ماکروسکوپی / میکروسکوپی) ثابت می‌ماند و تغییری در آن مشاهده نمی‌شود.

۲۳۲ | تنها عاملی که تغییر آن می‌تواند بر روی ثابت تعادل اثرگذار باشد، (غلظت / دما) است.

۲۳۳ | برای یک سامانه تعادلی در دمای ثابت، غلظت تعادلی گونه‌های شرکت‌کننده در هنگام تعادل (برابر / ثابت) می‌شود.

(شهریور ۹۸)

۲۳۴ | هرچه ثابت یونش بیش‌تر بزرگ‌تر باشد، تمایل یونش اسید (بیش‌تر / کم‌تر) است.

۲۳۵ | در شرایط یکسان، سرعت واکنش فلز منیزیم با (هیدروکلریک اسید / هیدروفلوئوریک اسید) بیش‌تر است.

۲۳۶ | در دمای یکسان، K_a (HF) (بزرگ‌تر / کوچک‌تر) از K_a (HCN) است که نشان می‌دهد، HF اسیدی (قوی‌تر / ضعیف‌تر) به‌شمار می‌رود.

۲۳۷ | ثابت یونش اسید فرضی HA، نسبت حاصلضرب غلظت تعادلی یون‌های حاصل از یونش را به غلظت (تعادلی اسید / اولیه اسید) نشان می‌دهد.

۲۳۸ | باران اسیدی حاوی اسیدهای (HNO_3 و H_2CO_3 / HNO_3 و H_2SO_4) بوده و در باران معمولی (H_2CO_3 / H_2SO_4) یافت می‌شود.

۲۳۹ | در شرایط یکسان دما و غلظت، حجم گاز تولید شده از واکنش منیزیم با هیدروکلریک اسید، (کم‌تر از / برابر با / بیش‌تر از) حجم گاز تولید شده از

واکنش همان مقدار منیزیم با استیک اسید است.

۲۴۰ | ثابت یونش، بیانی از میزان پیشرفت فرایند یونش (تا رسیدن به / پس از رسیدن به) تعادل است.

۲۴۱ | اسیدهای با ثابت یونش کوچک، انواعی از الکترولیت‌های (ضعیف / قوی) به‌شمار می‌روند.

• درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را تعیین کنید و در صورت نادرست بودن، علت یا شکل درست آن را بنویسید.

۲۴۲ | در یک واکنش برگشت پذیر شرط برقراری تعادل، برابر شدن غلظت واکنش دهنده‌ها با غلظت فراورده‌هاست.

۲۴۳ | ثابت یونش محلول ۱ مولار اسید ضعیف HX در دمای معین ۱۰ برابر ثابت یونش همان اسید با غلظت ۰/۱ مولار است.

۲۴۴ | با افزایش غلظت‌های تعادلی مواد شرکت‌کننده در یک واکنش، ثابت تعادل افزایش می‌یابد.

۲۴۵ | در زندگی روزمره با انواع اسیدها سروکار داریم که برخی ضعیف اما اغلب آن‌ها قوی هستند.

۲۴۶ | در سامانه تعادلی یونش اسیدهای ضعیف، سرعت تولید هرگونه با سرعت مصرف آن، برابر است.

۲۴۷ | در محلول استیک اسید، غلظت یون استات از غلظت یون هیدرونیوم و استیک اسید یونیده نشده کم‌تر است.

۲۴۸ | عبارت ثابت یونش اسیدی برای نیترو اسید به صورت $\frac{[H^+] + [NO_2^-]}{[HNO_2]}$ نوشته می‌شود.

۲۴۹ | چنانچه غلظت تعادلی یون هیدرونیوم در محلول استیک اسید ($K_a = 1/8 \times 10^{-5}$)، برابر با $1/8 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ باشد، غلظت تعادلی استیک اسید برابر با $1/8 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ خواهد بود.

۲۵۰ | معادله یونش HNO_3 یک طرفه ولی معادله یونش HCN برگشت پذیر است.

۲۵۱ | حضور هم‌زمان واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها در مخلوط واکنش را می‌توان نشانه‌ای از برگشت پذیر بودن واکنش‌ها دانست.

۲۵۲ | در اسیدهای نیتروژن دار، با افزایش شمار اتم‌های اکسیژن، مقدار K_a کاهش می‌یابد.

۲۵۳ | اسیدهای قوی، محلول شامل یون‌های آبپوشیده محسوب می‌شود که تقریباً در آن‌ها مولکول‌های یونیده نشده یافت نمی‌شود.

۲۵۴ | واکنش‌های تعادلی تا حدی پیشروی می‌کنند اما پس از آن، مقدار مواد شرکت‌کننده در مخلوط واکنش دیگر تغییر نخواهد کرد.

۲۵۵ | رسانایی الکتریکی محلول یک اسید قوی، به یقین بیشتر از رسانایی الکتریکی محلول یک اسید ضعیف است.

۲۵۶ | هرچه آنتالپی پیوند $H-X$ در گروه هالوژن‌ها افزایش یابد، قدرت اسیدی محلول آبی آن‌ها افزایش می‌یابد.

۲۵۷ | در محلول‌های یک مولار HCl و HF، غلظت یون کلرید بیش‌تر از یون فلوئورید است.

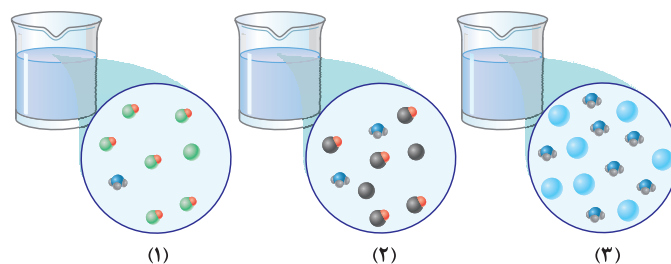
۲۵۸ | یونش اسیدهای ضعیف در آب، در دمای اتاق، یک سامانه تعادلی به‌شمار می‌رود.

۲۵۹ | در دما و غلظت یکسان، هریک از شکل‌های زیر به کدام یک از محلول تعلق دارد؟ چرا؟

ا) محلول استیک اسید ($K_a = 1/8 \times 10^{-5}$)

ب) محلول هیدروبرمیک اسید (K_a بسیار بزرگ)

پ) محلول هیدروسیانیک اسید ($K_a = 4/9 \times 10^{-10}$)

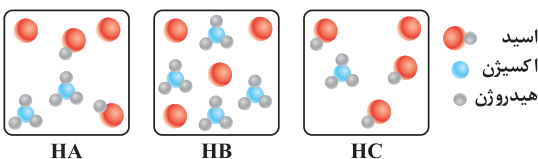


۲۶۰ | ثابت یونش محلول اسیدهای CH_3COOH و HNO_3 در دمای اتاق، به ترتیب برابر $1/8 \times 10^{-5}$ و $4/5 \times 10^{-4}$ است.

ا) کدام یک، اسید قوی‌تری است؟ چرا؟

ب) اگر به محلول تعادلی استیک اسید (CH_3COOH) مقداری آب خالص افزوده شود، ثابت یونش اسید کدام مقدار خواهد بود؟ چرا؟
($1/3 \times 10^{-5}$, $1/8 \times 10^{-5}$, $3/5 \times 10^{-4}$)

۲۶۱ | شکل‌های مقابل محلول سه اسید تک‌پروتون دار «HA، HB و HC» را در دما و غلظت یکسان در یک لیتر آب نشان می‌دهد. (هر ذره را یک مول از آن گونه در نظر بگیرید.)



ا) کدام محلول رسانایی الکتریکی بیش‌تری دارد؟ چرا؟

ب) درصد یونش HA را محاسبه کنید.

پ) کم‌ترین ثابت یونش مربوط به کدام اسید است؟

فرمول شیمیایی اسید	ثابت یونش اسید در 25°C
H_2SO_4	بسیار بزرگ
HNO_3	بزرگ
HCOOH	$1/8 \times 10^{-4}$

(خرداد ۱۴۰۱)

۲۶۲ | با توجه به جدول داده‌شده به پرسش‌ها پاسخ دهید.

۱ باران اسیدی حاوی کدام اسیدها است؟

۲ در شرایط یکسان، محلول کدام اسید رسانایی الکتریکی کم‌تری دارد؟ چرا؟

۳ در دمای اتاق سرعت واکنش یک قطعه نوار منیزیم با ۱۰۰ میلی لیتر محلول

۰/۱ مولار کدام اسید (HNO_3 یا HCOOH) بیش‌تر خواهد بود؟ چرا؟

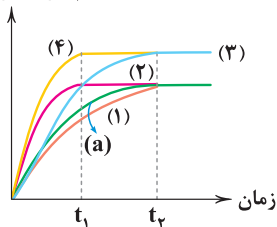
۲۶۳ | جدول زیر، غلظت گونه‌های پس از یونش را در دو محلول جداگانه از اسید HX در دمای 25°C ولی با غلظت‌های متفاوت نشان می‌دهد. با توجه به آن، حاصل $\frac{A \times C}{B}$ را به دست آورید.

غلظت تعادلی گونه‌های شرکت کننده (مول بر لیتر)			شماره محلول
$[\text{H}^+]$	$[\text{X}^-]$	$[\text{HX}]$	
۰/۰۶	A	۰/۳۶	۱
B	۰/۲	C	۲

۲۶۴ | اگر نمودار (a) نشان دهنده حجم گاز هیدروژن تولید شده بر حسب زمان در واکنش تیغه‌ای از فلز پتاسیم با ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۱ مولار استیک اسید

باشد (جواب تکراری در این پرسش ایرادی ندارد):

حجم گاز هیدروژن



گاز هیدروژن + نمک $\rightarrow$ اسید + فلز : واکنش کلی

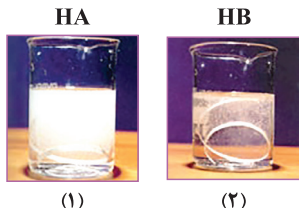
۱ نمودار مربوط به واکنش همان تیغه از فلز پتاسیم با ۱۰۰ mL محلول ۰/۱ مولار HCl کدام است؟

۲ نمودار مربوط به واکنش تیغه‌ای از فلز کلسیم با ۱۰۰ mL محلول ۰/۱ مولار HCl کدام است؟

(شمار مول فلز پتاسیم و فلز کلسیم اولیه با هم برابر است.)

۲۶۵ | در شکل زیر، واکنش دو نوار منیزیمی یکسان را با دو اسید متفاوت (HA و HB) در دما و غلظت یکسان نشان می‌دهند. با توجه به آن، به

پرسش‌های زیر پاسخ دهید.



۱ چه گازی در این دو واکنش آزاد می‌شود؟

۲ سرعت کدام واکنش بیشتر است؟ دلیل بنویسید.

۳ ثابت یونش اسیدی HA و HB را با دلیل، با هم مقایسه کنید.

۴ نسبت $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{B}^-]}$ قبل از شروع واکنش، کدام است؟ (کوچکتر از یک / برابر با یک / بزرگتر از یک)

۵ آیا پس از گذشت ۳۰ ثانیه از واکنش (قبل از اتمام واکنش) می‌توان ادعا کرد که حجم گاز تولید شده در ظرف (۱) بیشتر است؟ چرا؟

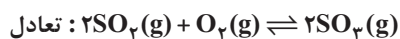
۶ آیا پس از اتمام واکنش، می‌توان ادعا کرد که حجم گاز تولید شده در ظرف (۱) بیشتر است؟ چرا؟

غلظت (mol.L^{-1})

۲۶۶ | ۲ مول از هریک از مواد SO_3 و O_2 را در ظرفی ۲ لیتری وارد می‌کنیم تا در شرایط مناسب به تعادل زیر

برسند. منحنی تغییر غلظت هریک از گونه‌ها را از زمان شروع واکنش تا پس از رسیدن به تعادل در نمودار

مقابل مشخص کنید.



۲۶۷ | اگر در دمای اتاق، $K_a(\text{HA}) = 4 \times 10^{-2}$ و $K_a(\text{HB}) = 8 \times 10^{-4}$ باشد، درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کرده و در صورت نادرست

بودن، علت نادرستی را بنویسید.

۱ غلظت یون هیدرونیوم در محلول اسیدی HA همواره بیشتر است.

۲ در غلظت‌های یکسان، خاصیت اسیدی محلول HA بیشتر است.

۳ می‌توان محلولی از HB را یافت که غلظت یون B^- بیشتر از غلظت یون هیدرونیوم باشد.

۴ رسانایی الکتریکی محلول HA همواره بیشتر از محلول HB است.

۵ سرعت واکنش اسید HA با نوار منیزیم همواره بیش‌تر از سرعت واکنش اسید HB با همان نوار است.

۲۶۸ | غلظت تعادلی یون هیدرونیوم در محلول استیک اسید در دمای 25°C برابر $3 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ است. با توجه به معادله یونش این اسید در آب به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.



ا عبارت ثابت یونش اسیدی (K_a) را برای این اسید بنویسید.

ب غلظت یون استات $\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$ در محلول چقدر است؟ چرا؟

پ اگر غلظت مولکول‌های یونیده نشده در محلول 0.05 mol.L^{-1} مول بر لیتر باشد، ثابت یونش اسید را به دست آورید.

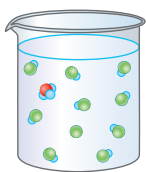
(شهریور ۱۴۰۲)

۲۶۹ | در دمای معین ۲ لیتر محلول نیترواسید (HNO_3)، دارای 0.3 mol نیتريت (NO_2^-) است.

ا معادله یونش HNO_3 را در آب بنویسید.

ب غلظت تعادلی HNO_3 را حساب کنید؟ ($K_a = 4.5 \times 10^{-4}$)

۲۷۰ | اگر غلظت تعادلی استیک اسید برابر 0.45 mol.L^{-1} مولار و ثابت تعادل آن $K_a = 1/8 \times 10^{-5}$ باشد، غلظت یون استات را در این محلول به دست آورید.

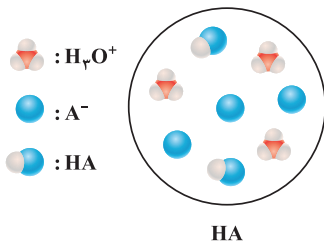


۲۷۱ | در شکل مقابل، اگر حجم محلول برابر ۵۰۰ میلی لیتر و هر ذره را معادل 0.01 mol در نظر بگیریم، ثابت یونش (K_a) اسید HA را به دست آورید.

۲۷۲ | اگر غلظت یون هیدرونیوم و مولکول یونیده نشده یک اسید در محلولی از آن در دمای معین، به ترتیب برابر $5/5 \times 10^{-4}$ و $2/5 \times 10^{-2}$ مول بر لیتر باشد، ثابت تعادل یونش این اسید را با انجام محاسبات به دست آورید.

۲۷۳ | ثابت یونش استیک اسید در دمای معین برابر $1/8 \times 10^{-5}$ مول بر لیتر است. اگر غلظت استیک اسید در محلولی از آن در دمای آزمایش برابر 0.2 mol.L^{-1} مولار باشد، درجه یونش محلول این اسید را در شرایط یاد شده به دست آورید.

۲۷۴ | تصویر مقابل، نمای ذره‌ای از محلول 0.2 mol.L^{-1} مولار اسید HA را نشان می دهد. ثابت یونش اسیدی را در این محلول محاسبه کنید.

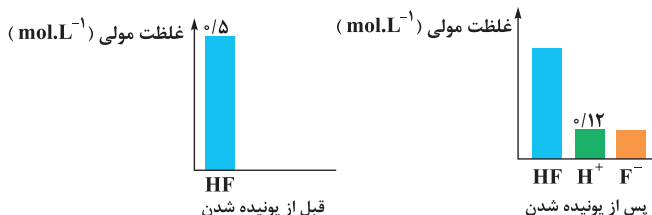


HA

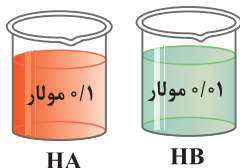
۲۷۵ | دانش آموزی به کمک نمودارهای ستونی، فرایند یونیده شدن

هیدروفلوئوریک اسید در آب را در دمای معین به صورت مقابل

نشان داده است. ثابت یونش این اسید را به دست آورید. (دی ۹۸)



۲۷۶ | اگر غلظت یون هیدرونیوم در دو محلول مقابل برابر باشد، با فرض دمای ثابت به پرسش‌های زیر پاسخ دهید (حجم هر دو محلول یکسان و برابر 100 mL میلی لیتر است).



HA

HB

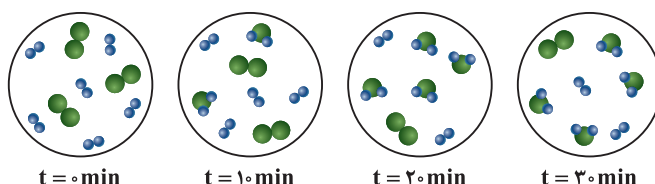
ا رسانایی الکتریکی این دو محلول اسیدی را مقایسه کنید.

ب نسبت درجه یونش محلول HA به HB را به دست آورید.

پ اگر دو اسید فرضی HA و HB بسیار ضعیف باشند، نسبت ثابت یونش HB به ثابت یونش HA را به دست آورید.

ت اگر HB فورمیک اسید (HCOOH) فرض شود، HA کدام اسید (HF یا HCN) می تواند باشد؟

۲۷۷ | با توجه به شکل‌های زیر که پیشرفت واکنش موازنه نشده $\text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{A}_2\text{B}(\text{g})$ را تا رسیدن به تعادل نشان می دهند، مقدار ثابت تعادل این واکنش در دمای آزمایش را به دست آورید. (هر ذره معادل 0.8 mol و حجم ظرف ۴ لیتر است).



$t = 0 \text{ min}$

$t = 10 \text{ min}$

$t = 20 \text{ min}$

$t = 30 \text{ min}$

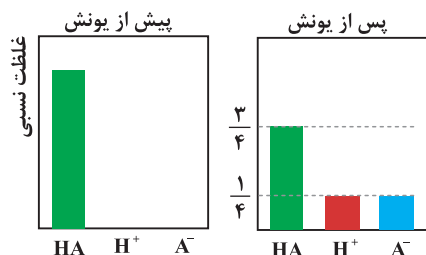
۲۷۸ | در یک محلول ۵٪ لیتری از اسید ضعیف و فرضی HA، غلظت مولی اسید پس از یونش ۳٪ مول بر لیتر است. اگر بدانیم غلظت مولی آنیون حاصل از یونش (A^-) نیز ۶٪ مول بر لیتر است، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

ا معادله یونش این اسید را بنویسید.

ب درجه یونش محلول این اسید را محاسبه کنید.

پ ثابت یونش اسیدی HA را در دمای آزمایش به دست آورید.

۲۷۹ | شکل زیر، غلظت نسبی گونه‌های موجود در محلول اسید HA را پیش و پس از یونش نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.



ا از نظر ضعیف یا قوی بودن، اسید HA همانند کدام اسید (HNO_3 / HNO_2) است؟

ب درجه یونش محلول این اسید را به دست آورید.

پ ثابت یونش اسیدی (K_a) این اسید در دمای آزمایش برابر چه عددی است؟

ت آیا عبارت «A در HA می‌تواند فعال‌ترین نافلز گروه خود باشد» درست است؟

توضیح دهید.

۲۸۰ | در محلولی از اسید ضعیف HA غلظت مولی اسید یونیده نشده برابر با ۲٪ مول بر لیتر است. اگر غلظت یون هیدرونیوم در این محلول ۲۰۰ برابر مقدار K_a باشد، درصد یونش این محلول اسیدی را محاسبه کنید.

۲۸۱ | اگر درجه یونش اسید HF در محلول ۳٪ مولار آن برابر ۱٪ باشد، ثابت یونش اسید HF را به دست آورید.

۲۸۲ | مقداری گاز هیدروژن فلوئورید را در آب خالص حل می‌کنیم تا ۲/۵ لیتر محلول آبی هیدروفلوئوریک اسید با درصد یونش ۲/۵٪ تهیه شود. اگر اختلاف غلظت HF و یون‌های هیدرونیوم در این محلول در لحظه تعادل برابر با ۱۹٪ مولار باشد، چند لیتر HF(g) در شرایط STP در آب حل شده است؟ (پاسخ خود را تا دو رقم پس از اعشار گزارش کنید.)

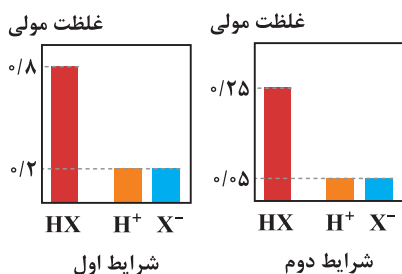
چند تا سؤال آخرمون، به سروگردن خفن تراز امتحان نهاییه ولی حل کردنش خیلی برات مفیده! 😊

۲۸۳ | در محلول ۲٪ مولار اسید HA، اگر K_a برای این اسید برابر ۱٪ باشد، به دو سؤال زیر پاسخ دهید.

ا غلظت یون هیدرونیوم را در این محلول به دست آورید.

ب درصد یونش این اسید را در شرایط آزمایش محاسبه کنید.

۲۸۴ | نمودارهای مقابل، غلظت مولی گونه‌های پس از یونش اسید ضعیف (HX) را در دو شرایط مختلف نشان می‌دهد:



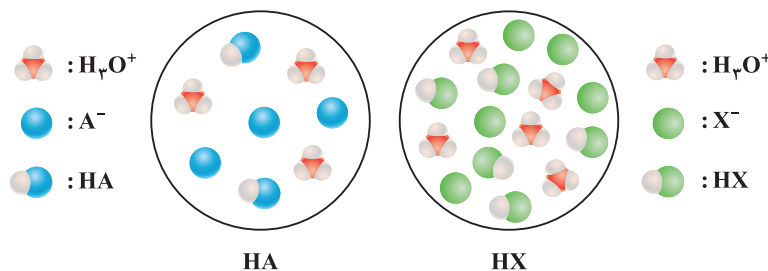
ا درجه یونش اسید را در هر دو شرایط با انجام محاسبات، مقایسه کنید.

ب اسید مورد نظر در کدام شرایط (اول یا دوم) رسانایی الکتریکی بیشتری دارد؟ دلیل بنویسید.

پ دما در کدام شرایط بالاتر است؟ توضیح دهید. (+فصل چهارم)

ت نسبت ثابت یونش اسیدی در شرایط اول (K_{a1}) به شرایط دوم (K_{a2}) را محاسبه کنید.

۲۸۵ | دو شکل زیر، نمای ذره‌ای محلول اسیدهای HA و HX را در دمای اتاق نشان می‌دهد. با انجام محاسبات، به پرسش‌های داده شده پاسخ دهید. (هر ذره معادل ۲٪ مول و حجم هر ظرف یک لیتر است.)



ا درجه یونش محلول اسید HA و HX را با هم مقایسه کنید.

ب کدام اسید (HA یا HX) قوی‌تر است؟ توضیح دهید.

۲ بخش

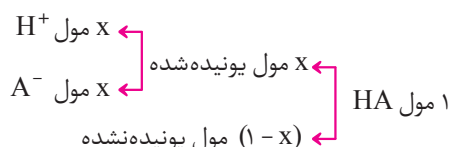


پاسخ نامه

از آن جا که شمار مول اسید HA تغییری نکرده است، از فرمول رقیق $(M \times V)_{\text{غلظت}} = (M \times V)_{\text{استفاده می کنیم}}$:

$$(M \times V)_{\text{غلظت}} = (M \times V)_{\text{رقیق}} \Rightarrow 0.05 \times 10 = 0.025 \times V_{\text{رقیق}} \\ \Rightarrow V_{\text{رقیق}} = 20 \text{ mL}$$

۲۲۸ فرض می کنیم از یک مول HA حل شده در آب، X مول یونیده می شود:



با توجه به فرض سؤال، مجموع یون یونیده نشده و یون های تولید شده، برابر ۱۸ است:

$$18 = (1-x) + x + x \Rightarrow x = 0.1 \text{ mol}$$

$$\%10 = \frac{0.1}{1} \times 100 = \frac{\text{شمار مول HA یونیده شده}}{\text{شمار مول HA حل شده}} \times 100 = \text{درصد یونش HA}$$

۲۲۹ آ از آن جا که هر دو اسید HA و HB جزء اسیدهای ضعیف هستند، در نتیجه محلول آن ها الکترولیت ضعیف بوده و رسانایی کمی دارند ولی فب باید انتقاب کنیم رسانایی کم و پوتره! چون غلظت اولیه اسیدها با هم برابر، اما درجه یونش HB بیشتر است، به یقین غلظت یون ها در محلول HA کم تر بوده و رسانایی الکتریکی این دو محلول به صورت $HA < HB$ مقایسه می شود.

ب از آن جا که در اسیدهای تک پروتون دار، [آنیون حاصل از یونش] $[H^+] =$ است، به جای نسبت $\frac{[B^-]}{[A^-]}$ ، نسبت غلظت یون هیدرونیوم را در دو ظرف حساب می کنیم. با توجه به رابطه $[H^+] = M\alpha$ می توان نوشت:

$$\frac{[H^+](HB)}{[H^+](HA)} = \frac{M(HB)}{M(HA)} \times \frac{\alpha(HB)}{\alpha(HA)} = 2$$

پ خیر، لزوماً درست نیست. با توجه به $\alpha(HB) = 2\alpha(HA)$ فقط می توان گفت که شمار مولکول های یونیده شده HB، دو برابر HA است. اما در مورد مولکول های یونیده نشده، مقدار α نیز تأثیرگذار است:

$$\frac{[HB]_{\text{تعدالی}}}{[HA]_{\text{تعدالی}}} = \frac{M - [H^+]_{HB}}{M - [H^+]_{HA}} = \frac{M - M\alpha_{HB}}{M - M\alpha_{HA}}$$

$$\xrightarrow{\text{فاکتورگیری از M}} \frac{1 - \alpha_{HB}}{1 - \alpha_{HA}}$$

از آن جا که $\alpha_{HB} = 2\alpha_{HA}$ است، رابطه بالا را می توان براساس α_{HA} به صورت $\frac{1 - 2\alpha_{HA}}{1 - \alpha_{HA}}$ بازنویسی کرد که به مقدار α وابسته است.

۲۳۰ غلظت مواد شرکت کننده

۲۳۱ ماکروسکوپی

۲۳۳ ثابت

۲۳۴ بیش تر

۲۳۵ دما

۲۳۵ هیدروکلریک اسید

۲۳۶ بزرگتر - قوی تر

۲۳۷ تعادلی اسید

۲۳۸ HNO_3 و $H_2CO_3 - H_2SO_4$

۲۳۹ برابر با

۲۴۰ تا رسیدن به

۲۴۱ ضعیف

۲۴۲ نادرست - شرط برقراری تعادل، برابر شدن سرعت واکنش های رفت و برگشت و در نتیجه ثابت ماندن غلظت واکنش دهنده ها و فراورده هاست.

۲۴۳ نادرست - تنها عامل مؤثر بر K_a ، دما است و تغییر غلظت گونه ها، تأثیری بر مقدار ثابت یونش ندارد.

۲۴۴ نادرست - ثابت تعادل (K) تنها به دما وابسته است.

۲۴۵ نادرست - شمار اسیدهای قوی بسیار کم تر از شمار اسیدهای ضعیف است.

۲۴۶ درست

۲۴۷ نادرست - در محلول اسیدهای ضعیف مانند استیک اسید، غلظت اسید یونیده نشده بیشتر از غلظت اسید یونیده شده است. از طرفی در یونش اسیدهای تک پروتون دار HX، مقدار $[H^+] = [X^-]$ است.

۲۴۸ نادرست - حاصل ضرب نه حاصل جمع! عبارت درست به صورت

$$\frac{[H^+][NO_2^-]}{[HNO_2]} \text{ است.}$$

۲۴۹ درست - به محاسبات توجه کنید:

$$K_a = \frac{[H^+]^2}{[اسید]_{\text{تعدالی}}} \Rightarrow 1.8 \times 10^{-5} = \frac{(1.8 \times 10^{-4})^2}{x} \\ \Rightarrow x = 1.8 \times 10^{-3}$$

۲۵۰ درست

۲۵۱ درست

۲۵۲ نادرست - منظور از اسیدهای نیتروژن دار، HNO_3 و HNO_2 است که با افزایش شمار اتم اکسیژن در مولکول آن ها (از ۲ به ۳)، مقدار K_a افزایش می یابد.

۲۵۳ درست

۲۵۴ درست

۲۵۵ نادرست - به سی ترین دام این بسته فوش اومیرد! چون از غلظت اولیه اسیدها حرفی زده نشده است، پس نمی توان به طور دقیق در مورد میزان یون های تولید شده در محلول هر اسید اظهار نظر کرد.

۲۵۶ نادرست - آنتالپی پیوند HF از HI بیش تر است، ولی قدرت اسیدی محلول آبی HI بسیار بیش تر از HF می باشد.

۲۵۷ درست - HCl اسیدی قوی تر است و در شرایط یکسان، یون های

بیش تری در آب نسبت به HF تولید می کند.

درست | ۲۵۸ |

۲۶۲ | آ | HNO_3 و H_2SO_4

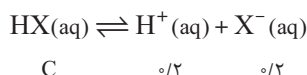
(ب) HCOOH ، زیرا یک اسید ضعیف است و در آب به‌طور کامل یونیده نمی‌شود.

(پ) HNO_3 ، زیرا K_a یا قدرت اسیدی بیشتری دارد.

۲۶۳ | از آن جا که K_a مانند ثابت تعادل‌های دیگر، فقط به دما وابسته بوده و دما در هر دو حالت، یکسان بوده، پس K_a در هر دو حالت داده شده، عددی یکسان است. ابتدا K_a در محلول (۱) را به‌دست می‌آوریم: [آنیون حاصل از یونش] = $[\text{H}^+]$: در اسیدهای تک پروتون‌دار

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{X}^-]}{[\text{HX}]} = \frac{(\frac{0.06}{0.36})^2}{0.01} = 0.01$$

K_a در محلول (۲) نیز برابر ۰/۰۱ است:

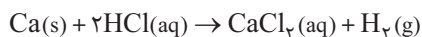
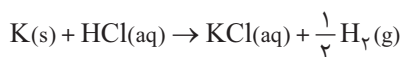


$$K_a = 0.01 = \frac{(\frac{0.2}{C})^2}{C} \Rightarrow C = 4$$

بنابراین $A = 0.06$ ، $B = 0.2$ و $C = 4$ به‌دست آمد که نسبت خواسته شده برابر $\frac{A \times C}{B} = \frac{0.06 \times 4}{0.2} = 1.2$ می‌شود.

۲۶۴ | آ | نمودار (۲)، زیرا اسید قوی‌تر شده، پس سرعت (شیب نمودار) بیشتر اما حجم گاز تولید شده نهایی تغییر نمی‌کند.

(ب) واکنش فلز پتاسیم و کلسیم با اسید HCl به‌صورت زیر است:



به ازای مول یکسان از پتاسیم و کلسیم، حجم گاز تولید شده در واکنش کلسیم، بیشتر است (به ضرایب H_2 در معادله بالا دقت کنید). اما دقت کنید که خلصت فلزی کلسیم از پتاسیم کم‌تر بوده، در نتیجه میزان واکنش‌پذیری و سرعت واکنش آن در شرایط یکسان نسبت به پتاسیم کم‌تر است. اگر در قسمت (آ) جواب نمودار (۲) شده، پس باید در این قسمت نموداری جواب باشد که نسبت به نمودار (۲)، شیب کم‌تر (سرعت کم‌تر) اما ارتفاع بالاتر (حجم گاز تولید شده بیشتر) را دارد که همان نمودار (۳) است.

۲۶۵ | آ | هیدروژن (H_2)

(ب) واکنش در ظرف (۱)، زیرا در بازه زمانی یکسان، میزان حباب بیشتری در آن تولید شده است.

(پ) سرعت واکنش فلز با اسید به غلظت یون هیدرونیوم محلول وابسته است. شرایط دما و غلظت در دو ظرف یکسان است، به همین دلیل هر محلولی که $[\text{H}^+]$ بیشتری داشته باشد، اسید قوی‌تری محسوب می‌شود. در نتیجه $K_a[\text{HA}]$ بزرگ‌تر از $K_a(\text{HB})$ خواهد بود.

(ت) بزرگ‌تر از یک، از آن جا که اسید HA قوی‌تر بوده، در غلظت برابر، یون هیدرونیوم و آنیون حاصل از یونش (A^-) بیشتری نسبت به اسید ضعیف‌تر HB تولید می‌کند.

۲۵۹ | شکلی که تقریباً تمام مولکول‌های حل شده در آن به‌صورت یون درآمده‌اند و مولکول یونیده‌نشده‌ای یافت نمی‌شود، متعلق به یک اسید قوی است. بنابراین شکل (۳) که در آن مولکول اسید اولیه یافت نمی‌شود و تمام ذره‌ها یون (H_3O^+ و Br^-) هستند، متعلق به هیدروبرمیک اسید با K_a بسیار بزرگ است.

در دو شکل دیگر که مولکول‌های یونیده نشده اسید نیز حضور دارند، باید درجه یونش اسید را مدنظر قرار دهید. هر اسیدی که درجه یونش بیشتری داشته باشد، متعلق به اسید قوی‌تر (با K_a بزرگ‌تر) است. در شکل (۲)، $\alpha = \frac{2}{V}$ و در شکل (۱)، $\alpha = \frac{1}{V}$ است، بنابراین شکل (۲) متعلق به محلول استیک اسید (با K_a بزرگ‌تر نسبت به هیدروسیانیک اسید) است.

۲۶۰ | آ | HNO_3 - زیرا ثابت یونش یا K_a بزرگ‌تری دارد یا یونش آن بیشتر است

(ب) $10^{-5} \times \frac{1}{8}$ - زیرا K_a برای یک واکنش تعادلی در دمای معین مقداری ثابت است. (یا تغییر غلظت و مقدار بر روی K_a تأثیری ندارد یا ثابت یونش فقط تابع دماست.)

۲۶۱ | آ | HB ، زیرا به‌طور کامل یونیده شده است و در آن مولکولی یافت نمی‌شود.

(ب) در محلول HA ، مطابق شکل داده شده، در ابتدا ۴ مولکول HA حل شده و با یونش یافتن دو مولکول از این ۴ مولکول، ۴ یون H^+ و ۲ یون A^- تولید شده است.

$$\alpha = \frac{\text{شمار مولکول‌های یونیده شده}}{\text{شمار مولکول‌های حل شده}} \times 100 = \frac{2}{4} \times 100 = 50\%$$

(پ) HC ، زیرا در شرایط یکسان، درجه یونش کم‌تری دارد.

خوبه بدونی!

- درجه یونش (α) به نوع اسید، دمای محلول و غلظت آن اسید در محلول وابسته است. در حالی که ثابت یونش (K_a)، به نوع اسید و دما وابسته است و به غلظت بستگی ندارد.
- اگر شرایط دو یا چند محلول اسیدی، تنها از نظر دما یکسان ولی از نظر غلظت متفاوت باشد، مثلاً محلول یک مولار HCl و محلول ۰/۱ مولار HNO_3 در دمای 25°C ، در این حالت فقط با استفاده از K_a باید قدرت اسیدی را با هم مقایسه کرد.
- اگر شرایط دما و غلظت دو یا چند محلول اسیدی یکسان باشد، مثلاً محلول یک مولار HCl و یک مولار HNO_3 در دمای 25°C ، در این حالت برای مقایسه قدرت اسیدی می‌توان از α نیز به جای K_a استفاده کرد. دقیقاً مثل مورد (پ) همین سوالی که حل کردیم!

پ) نادرست - نه تنها در HB بلکه در هیچ اسید تک پروتون داری این عبارت درست نیست. غلظت H^+ و B^- در محلول، همواره با هم برابر است.

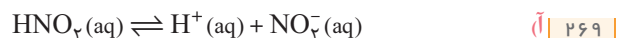
ث) نادرست - همانند مورد (آ)، از آن جا که به غلظت اسید اشاره ای نشده است، این عبارت همواره درست نیست.

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \quad \text{آ} \quad \text{۲۶۸}$$

ب) از آن جا که ضرایب فراورده یعنی H^+ و CH_3COO^- در یونش آن، برابر است، بنابراین غلظت یون استات همانند یون هیدرونیوم برابر $0.0003 \text{ mol.L}^{-1}$ است.

پ) منظور از غلظت مولکول های یونیده نشده همان تعادلی $[CH_3COOH]$ است:

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = \frac{(3 \times 10^{-4})^2}{5 \times 10^{-3}} = 1.8 \times 10^{-5}$$



ب) $[H^+] = [NO_3^-] = \frac{0.03 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.015 \text{ mol.L}^{-1}$

$$K_a = \frac{[H^+][NO_3^-]}{[HNO_3]} \Rightarrow \frac{(0.015)^2}{[HNO_3]} = \frac{(0.015)^2}{4.5 \times 10^{-4}} = \frac{(0.015)^2}{[HNO_3]}$$

$$\Rightarrow [HNO_3] = 0.05 \text{ mol.L}^{-1}$$

۲۷۰ در اسیدهای تک پروتون دار، غلظت یون هیدرونیوم و آنیون حاصل از یونش (اینجا استات) باهم برابر است. فرض می کنیم $[H^+] = [CH_3COO^-] = x$ می توان نوشت:



$$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} \Rightarrow \frac{x^2}{4.5 \times 10^{-3}} = \frac{x^2}{1.8 \times 10^{-5}}$$

$$\Rightarrow x^2 = 8.1 \times 10^{-8} \Rightarrow x = 9 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

۲۷۱ برای محاسبه K_a به غلظت تعادلی H^+ ، A^- و HA نیاز داریم.

در ظرف مورد نظر یک ذره H^+ ، یک ذره A^- و ۹ ذره HA یونیده نشده (تعادلی) وجود دارد.

$$? \text{ mol } H^+ = 1 \text{ (ذره)} \times \frac{0.001 \text{ mol } H^+}{1 \text{ (ذره)}} = 0.001 \text{ mol } H^+$$

$$[H^+]_{\text{تعادلی}} = [A^-]_{\text{تعادلی}} = \frac{0.001 \text{ mol } H^+}{0.1 \text{ L}} = 0.002 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$? \text{ mol } HA = 9 \text{ (ذره)} \times \frac{0.001 \text{ mol } HA}{1 \text{ (ذره)}} = 0.009 \text{ mol } HA$$

$$[HA]_{\text{تعادلی}} = \frac{0.009 \text{ mol } HA}{0.1 \text{ L}} = 0.018 \text{ mol.L}^{-1}$$

ث) بله، زیرا قبل از اتمام واکنش و در بازه های زمانی یکسان، به علت سرعت بیشتر واکنش در ظرف (۱)، میزان گاز H_2 تولید شده بیشتر است.

ج) خیر، زیرا در هر دو واکنش مول و غلظت فلز و اسید استفاده شده یکسان بوده که نشان می دهد مطابق استوکیومتری واکنش و پس از اتمام آن، حجم گاز H_2 تولید شده در دو ظرف باید برابر باشد. در واقع در ظرف (۱)، به علت سرعت بیشتر، در زمان کوتاه تری نسبت به ظرف (۲) به همان مقدار گاز هیدروژن می رسیم.

۲۶۶ با توجه به معادله $2SO_3 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_2$ ، به ازای مصرف هر مول O_2 ، به دو مول SO_2 نیاز است. یعنی اگر یک مول O_2 و دو مول SO_3 در سامانه با هم واکنش بدهند (به نسبت ضرایب استوکیومتری) تمام O_2 و SO_3 به طور کامل مصرف شده و دو مول SO_2 (مطابق معادله موازنه شده) تولید می شود.

در سؤال، دو مول O_2 و دو مول SO_3 در سامانه با هم واکنش می دهند. در این حالت بهتر است جدول زیر را تشکیل دهیم:

گونه ها	$2SO_3$	$O_2 \rightleftharpoons 2SO_2$	
مواد اولیه	۲	۲	۰
تغییرات	-۲x	-x	+۲x
مول نهایی	$2-2x$	$2-x$	$2x$

اگر ۲ مول O_2 داشته باشیم، برای رعایت نسبت استوکیومتری میان واکنش دهنده ها، باید ۴ مول SO_3 در سامانه باشد، از آن جا که به جای ۴ مول SO_3 ، ۲ مول از آن موجود است، به راحتی می توان نتیجه گرفت که SO_3 باید تمام شود و مقدار آن به صفر برسد.

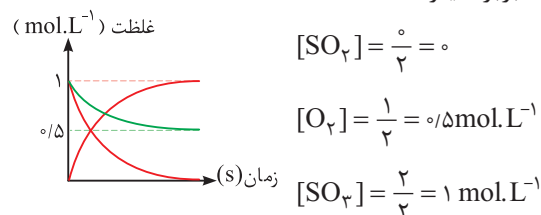
$$2-2x=0 \Rightarrow x=1 \text{ mol}$$

بنابراین شمار مول دیگر اجزا به صورت زیر به دست می آید:

$$O_2 \text{ شمار مول} = 2-x = 2-1 = 1 \text{ mol};$$

$$SO_3 \text{ شمار مول} = 2x = 2(1) = 2 \text{ mol}$$

حجم ظرف برابر ۲ لیتر است:



۲۶۷ با توجه به مقادیر K_a ، HA اسیدی قوی تر نسبت به HB است.

آ و ت) نادرست - دقت کنید که در مورد غلظت های اولیه دو محلول اطلاعاتی داده نشده است، پس می توان غلظتی بسیار بیشتر از اسید ضعیف تر داشت تا غلظت یون هیدرونیوم و رسانایی الکتریکی محلول آن بیشتر باشد. پس همواره نمی توان این عبارت را درست در نظر گرفت.

ب) درست - اسید قوی تر در شرایط یکسان دما و غلظت، یون هیدرونیوم بیشتری تولید می کند.

حالا می‌توان K_a را محاسبه کرد:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{(0.02)^2}{0.18} = 2.2 \times 10^{-4}$$

اسید مورد نظر را HX در نظر می‌گیریم. یونش HX به صورت

زیر است:



ضریب استوکیومتری H^+ و X^- با هم برابر است، در نتیجه غلظت تعادلی آن‌ها نیز با هم یکسان است:

$$[H^+]_{\text{تعادلی}} = [X^-]_{\text{تعادلی}} = 5/5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[HX] = 2/5 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]} = \frac{5/5 \times 10^{-4} \times 5/5 \times 10^{-4}}{2/5 \times 10^{-2}} = 12.1 \times 10^{-6}$$

غلظت تعادلی استیک اسید (CH_3COOH) را برابر 0.02 مول

بر لیتر در نظر می‌گیریم و می‌توان نوشت:

$$K_a = \frac{[H^+]^2}{[CH_3COOH]} \Rightarrow 1.8 \times 10^{-5} = \frac{[H^+]^2}{(0.02)}$$

$$\Rightarrow [H^+]^2 = 3.6 \times 10^{-8} \Rightarrow [H^+] = 6 \times 10^{-4}$$

$$\alpha = \frac{[H^+]}{M} = \frac{6 \times 10^{-4}}{0.02} = 3 \times 10^{-2}$$

با استفاده از رابطه $K_a = M\alpha^2$ سریع‌تر به α می‌رسیم:

$$K_a = M\alpha^2 \Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{M}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.02}} = 3 \times 10^{-2}$$

مطابق شکل، شمار هر کدام از یون‌های H^+ و A^- برابر ۳ و

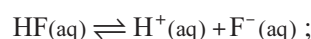
شمار مولکول‌های یونیده نشده HA برابر ۲ است. به این ترتیب شمار مولکول‌های اولیه HA برابر ۵ بوده که با توجه به غلظت 0.2 مولاری گزارش شده، می‌توان نتیجه گرفت که هر ذره معادل 0.04 مولار است.

$$K_a = \frac{[H][A^-]}{[HA]} = \frac{(3 \times 0.04)(3 \times 0.04)}{2 \times 0.04} = 0.18$$

با توجه به نمودار ستونی پس از یونیده شدن، می‌توان فهمید

که $[H^+] = [F^-] = 0.12 M$ است. از طرفی غلظت تعادلی HF هم برابر $[HF] = 0.5 - 0.12 = 0.38 M$ است.

بپه‌ها دقت کنین که در رابطه ثابت تعادل باید غلظت تعادلی همه گونه‌ها رو قرار بدیم نه غلظت اولیه پی‌زی رو، برای همین اون 0.5 مولار برای HF که غلظت اولیه‌ش هست رو نباید در رابطه قرار بدین!



$$K_a = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]} = \frac{(0.12)^2}{0.38} \approx 0.38$$

است، پس رسانایی الکتریکی آن‌ها نیز برابر خواهد بود.

(ب) بدون محاسبه هم می‌توان فهمید که درجه یونش اسید HB بیشتر

است، زیرا در غلظت کم‌تر، شمار یون هیدرونیوم برابر با محلول HA

تولید کرده است. اما سؤال نسبت $\frac{\alpha(HA)}{\alpha(HB)}$ را خواسته است:

$$\alpha = \frac{[H^+]}{M} \Rightarrow \frac{\alpha(HA)}{\alpha(HB)} = \frac{[H^+]_{HA}}{[H^+]_{HB}} \times \frac{M_{HB}}{M_{HA}}$$

$$= 1 \times \frac{0.01}{0.1} = 0.1 \Rightarrow \frac{\alpha(HA)}{\alpha(HB)} = 0.1$$

(پ) از آن‌جا که به ضعیف بودن هر دو اسید اشاره و تأکید شده است، از

رابطه $K_a = M\alpha^2$ برای این دو اسید استفاده می‌کنیم:

$$\frac{K_a(HB)}{K_a(HA)} = \frac{M_{HB}}{M_{HA}} \times \left(\frac{\alpha(HB)}{\alpha(HA)} \right)^2$$

در قسمت (ب)، عبارت $\frac{\alpha(HA)}{\alpha(HB)}$ برابر 0.1 به دست آمد، پس $\frac{K_a(HB)}{K_a(HA)} = \left(\frac{0.01}{0.1} \right) \times (0.1)^2 = 10$ برابر ۱۰ خواهد بود:

$$\frac{K_a(HB)}{K_a(HA)} = \left(\frac{0.01}{0.1} \right) \times (0.1)^2 = 10$$

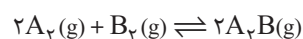
(ت) از آن‌جا که $K_a(HB)$ ده برابر $K_a(HA)$ است، اسیدی قوی‌تر

به شمار می‌رود، پس اگر HB فورمیک اسید فرض شود، HA (اسید ضعیف‌تر) باید هیدروسیانیک اسید (HCN) باشد.

در لحظه $t = 20 \text{ min}$ واکنش به تعادل رسیده است، زیرا پس

از آن غلظت مواد ثابت مانده است.

معادله موازنه شده به صورت زیر است:



برای محاسبه K ، به غلظت تعادلی گونه‌های گازی یا محلول نیاز داریم.

$$[A_2]_{\text{تعادلی}} = \frac{2 \times 0.08 \text{ mol}}{4L} = 0.04 \text{ mol.L}^{-1};$$

$$[B_2]_{\text{تعادلی}} = \frac{1 \times 0.08 \text{ mol}}{4L} = 0.02 \text{ mol.L}^{-1};$$

$$[A_2B]_{\text{تعادلی}} = \frac{4 \times 0.08 \text{ mol}}{4L} = 0.08 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[A_2B]^2}{[A_2]^2[B_2]} = \frac{(0.08)^2}{(0.04)^2(0.02)} = 200$$

منظور از «غلظت مولی اسید پس از یونش» یعنی همان غلظت

تعادلی اسید که برابر 0.3 مولار است.



(ب) برای محاسبه درجه یونش (α) نیاز به غلظت اولیه اسید داریم:

$$[H^+] = 0.3 + 0.06 = 0.36$$

$$\alpha = \frac{[H^+]}{M} = \frac{0.06}{0.36} = \frac{1}{6} \text{ یا } 0.167$$

پ) برای محاسبه ثابت یونش اسیدی (K_a) نیاز به غلظت‌های تعادلی داریم:

$$K_a = \frac{[H^+]}{[HA]} = \frac{(0.06)^2}{0.3} = 0.012$$

۲۷۹ | آ) با توجه به یونش ناقص اسید HA، این اسید حتماً ضعیف بوده و از این نظر همانند HNO_3 است.

ب)
$$\alpha = \frac{[H^+]}{M} = \frac{1}{4} = 0.25$$

پ)
$$K_a = \frac{[H^+]}{[HA]} = \frac{(\frac{1}{4})^2}{\frac{3}{4}} = \frac{1}{12} \text{ یا } 0.083$$

ت) درست است، زیرا HA یک اسید ضعیف مانند HF می‌تواند باشد که عنصر فلئور (F)، فعال‌ترین (بیشترین خصلت نافلز) را در گروه خود دارد.

۲۸۰ | غلظت تعادلی اسید برابر ۰/۲ مولار بوده و $[H^+] = 200 K_a$ است.

$$[H^+] = 200 K_a \Rightarrow K_a = \frac{[H^+]}{200}$$

$$K_a = \frac{[H^+]}{[HA]} \Rightarrow \frac{[H^+]}{200} = \frac{[H^+]}{0.2} \Rightarrow [H^+] = 0.001$$

غلظت اولیه اسید برابر ۰/۲ + ۰/۰۰۱ است که تفاوتی با ۰/۲ تعادلی نمی‌کند، به همین دلیل غلظت تعادلی اسید را به عنوان غلظت اولیه اسید نیز استفاده می‌کنیم ($M = 0.2$):

$$\alpha = \frac{[H^+]}{M} \times 100 = \frac{0.001}{0.2} \times 100 = 0.5\%$$

۲۸۱ | همان‌طور که می‌دانید، برای به دست آوردن ثابت یونش (K_a) به غلظت‌های تعادلی مواد نیاز است. می‌دانیم که غلظت یون هیدرونیوم و آنیون حاصل از یونش را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$[H^+] = [F^-] = M\alpha = 0.3 \times 0.1 = 3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

برای به دست آوردن غلظت تعادلی اسید، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$HF \text{ تعادلی} = \underbrace{M}_{\text{غلظت اسید یونیده شده}} - \underbrace{M\alpha}_{\text{غلظت یونیده شده}} = 0.3 - (3 \times 10^{-2}) = 0.27$$

$$K_a = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]} = \frac{(3 \times 10^{-2})(3 \times 10^{-2})}{0.27 \times 10^{-2}} \approx 3.3 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

۲۸۲ | با توجه به داده‌های سؤال: $[H^+]_{\text{تعادلی}} - [HF]_{\text{تعادلی}} = 0.019$

از طرفی می‌دانیم که: $[HF]_{\text{تعادلی}} = [HF]_{\text{اولیه}} - [H^+]_{\text{تعادلی}}$

$$[HF]_{\text{تعادلی}} - [H^+]_{\text{تعادلی}} = 0.019$$

$$2[H^+]_{\text{تعادلی}} = [HF]_{\text{اولیه}} - 0.019$$

$$\Rightarrow [H^+]_{\text{تعادلی}} = \frac{[HF]_{\text{اولیه}} - 0.019}{2}$$

درصد یونش برابر است با:

$$\alpha = 2/5 \Rightarrow \frac{[H^+]}{[HF]_{\text{اولیه}}} \times 100 = 2/5$$

$$\Rightarrow \frac{[HF]_{\text{اولیه}} - 0.019}{2} = 0.25 \Rightarrow [HF]_{\text{اولیه}} = 0.2 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

حالا می‌توان نوشت:

$$LHF = 2/5 L (\text{محلول}) \times \frac{0.2 \text{ mol HF}}{1 L (\text{محلول})} \times \frac{22.4 L HF}{1 \text{ mol HF STP}} = 1.12 L HF$$

۲۸۳ | آ) اولش بگیم که این سؤال هم سفت‌تر از امتحان نهاییه و هم این‌که فیلپا

توجه نمی‌کنن که اون ۰/۲ غلظت اولیه اسیده نه غلظت تعادلی! اصولاً در این مدل سؤال، فرض می‌کنیم غلظت تعادلی یون‌های هیدرونیوم و A^- برابر x مولار باشند، پس غلظت تعادلی اسید HA به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$HA \text{ تعادلی} = 0.2 - x$$

حالا می‌توانیم رابطه ثابت تعادل را بنویسیم:

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \Rightarrow 0.1 = \frac{x^2}{0.2 - x} \Rightarrow x^2 + 0.1x - 0.2 = 0$$

برای حل معادله $ax^2 + bx + c = 0$ می‌توانید ابتدا $\Delta = b^2 - 4ac$ و سپس $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$ را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} x^2 + 0.1x - 0.2 &= 0 \\ \Delta = b^2 - 4ac &= 0.1^2 + 4(0.1)(1) = 0.9 \\ x_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-0.1 \pm \sqrt{0.9}}{2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow x_1 = -0.2 \text{ و } x_2 = +0.1$$

دو جواب معادله بالا به ترتیب ۰/۲ و ۰/۱ است که x چون غلظت مولاری باشد، هیچ وقت نمی‌تواند عدد منفی شود، پس $x = [H^+] = 0.1 M$ می‌باشد.

$$\alpha = \frac{[H^+]}{M} \times 100 = \frac{0.1}{0.2} \times 100 = 50\% \quad \text{ب)}$$

۲۸۴ | آ) دقت کنید که شکل برای پس از یونش است و برای محاسبه درجه یونش، به غلظت اولیه اسید نیاز داریم:

$$[H^+] + \text{غلظت تعادلی اسید} = M_1 (\text{غلظت اولیه}) : \text{شرایط اول}$$

$$= 0.1 + 0.2 = 1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

$$[H^+] + \text{غلظت تعادلی اسید} = M_2 (\text{غلظت اولیه}) : \text{شرایط دوم}$$

$$= 0.25 + 0.05 = 0.3 \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

شرایط اول را با اندیس ۱ و شرایط دوم را با اندیس ۲ نمایش می‌دهیم:

$$\alpha_1 = \frac{[H^+]_1}{M_1} = \frac{0.2}{1} = 0.2$$

$$\alpha_2 = \frac{[H^+]_2}{M_2} = \frac{0.05}{0.3} \approx 0.16$$

درجه یونش در شرایط اول بزرگتر است.