سرعت تولید یا مصرف مواد شرکت کننده در واکنش از دیدگاه کمی

آهنگ واکنش – سرعت واکنش

آهنگ واکنش معیاری برای زمان ماندگاری مواد است، و کمیتی است که نشان می دهد هر تغییر شیمیایی در چه گستره ای از زمان رخ می دهد. به این صورت که:

هر چه گستره زمان انجام واکنش کوچک تر باشد ← آهنگ انجام واکنش تندتر است ← واکنش سریعتر است

و برعکس:

هر چه گستره زمان انجام واکنش بزرگ تر باشد ← آهنگ انجام واکنش کندتر است ← واکنش کندتر است

برای مثال، آهنگ فرایند فاسد شدن غذا در دمای اتاق، کندتر از آهنگ فرایند زنگ زدن آهن در شرایط مشابه است، و زمان ماندگاری آهن در این شرایط بیشتر است.

سرعت واکنش **آهنگ انجام واکنش در گستره معینی از زمان سرعت واکنش را بیان می کند.**

برای واکنش های گوناگون گستره زمان می تواند بسیار کوچک و یا بسیار بزرگ باشد. سرعت یک واکنش شیمیایی نشان می دهد که واکنش با چه سرعتی انجام می گیرد. اگر یک واکنش شیمیایی سریع باشد، درصد بزرگی از مولکول های واکنش دهنده در زمان معین به فراورده ها تبدیل می شوند. اگر سرعت واکنش کم باشد، فقط بخش کوچکی از مولکول های واکنش دهنده در زمان معین به فراورده ها تبدیل می شوند.

سرعت متوسط سرعت مصرف یا تولید یک ماده شرکت کننده در واکنش در گستره زمانی قابل اندازه گیری را سرعت متوسط آن ماده می گویند و آن را با نماد $\overline{\mathbf{R}}$ نمایش می دهند.

واکنش فرضی زیر را در نظر بگیرید.

$$\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$$

$\overline{\mathbf{R}}(\mathbf{A})$ سرعت متوسط مصرف ماده $\mathbf{A}$ را نشان می دهد، و $\overline{\mathbf{R}}(\mathbf{B})$ سرعت متوسط تولید ماده $\mathbf{B}$ را نشان می دهد.

سرعت واکنش چگونه اندازه گیری می شود

سرعت واکنش یک کمیت تجربی است، و با انجام آزمایش برای یک واکنش تعیین می شود. سرعت یک واکنش را با اندازه گیری کمیت هایی مانند غلظت (برای محلول ها و گازها)، جرم (برای مواد جامد و مایعات خالص)، فشار (برای گازها)، رنگ (برای واکنش هایی که در آن ها تغییر رنگ دیده می شود) و کمیت های قابل اندازه گیری دیگر می توان اندازه گیری کرد.

اندازه گیری سرعت متوسط تولید یا مصرف یک ماده در واکنش

سرعت تولید یا مصرف یک ماده در واکنش بر حسب تغییر مقدار واکنش دهنده ها یا فراورده ها، تقسیم بر تغییر زمان انجام واکنش بیان می شود. دوباره واکنش فرضی زیر را در نظر بگیرید.

$$\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$$

می خواهیم سرعت متوسط مصرف ماده $\mathbf{A}$ (واکنش دهنده) را بین دو زمان (t_1) و (t_2) به دست آوریم. تعداد مول های $\mathbf{A}$ در زمان t_1 را برابر با n_1 و تعداد مول های $\mathbf{A}$ در زمان t_2 را برابر با n_2 در نظر می گیریم.

benzad mirzaie

با توجه به تعریف سرعت واکنش **" تغییر مقدار واکنش دهنده ها یا فراورده ها تقسیم بر تغییر زمان انجام واکنش "** معادله سرعت واکنش برای مصرف **A** به صورت زیر نوشته می شود.

$$\overline{R}(\mathrm{A}) = -\frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

علامت Δ در معادله سرعت، تغییر را نشان می دهد. $\Delta \mathrm{n}$ تغییر تعداد مول های ماده و $\Delta \mathrm{t}$ تغییر زمان را مشخص می کنند.

هنگامی که سرعت واکنش بر حسب واکنش دهنده ها تعیین شود، سرعت واکنش عبارت است از منفی تغییر غلظت واکنش دهنده ها تقسیم بر تغییر زمان. علامت منفی جزئی از عبارت‌سرعت است، زیرا در طی انجام واکنش مقدار واکنش دهنده ها کم می شود؛ بنابر این، تغییر مقدار واکنش دهنده ها منفی خواهد شد. در نتیجه علامت منفی موجب می شود سرعت واکنش مقداری مثبت نشان داده شود. (بر حسب قرارداد، سرعت واکنش را به صورت کمیتی مثبت گزارش می کنیم.)

حالا می خواهیم سرعت متوسط تولید ماده **B** (فراورده) را بین دو زمان (t_1) و (t_2) به دست آوریم. تعداد مول های **B** در زمان t_1 را برابر با n_1 و تعداد مول های **B** در زمان t_2 را برابر با n_2 در نظر می گیریم.

با توجه به تعریف سرعت واکنش **" تغییر مقدار واکنش دهنده ها یا فراورده ها تقسیم بر تغییر زمان انجام واکنش "** معادله سرعت واکنش برای تولید **B** به صورت زیر نوشته می شود.

$$\overline{R}(\mathrm{B}) = +\frac{\Delta n}{\Delta t} = +\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

چون مقدار فراورده ها در طی واکنش افزایش می یابد، تغییر مقدار فراورده ها مثبت می شود. بنابر این، هنگامی که سرعت را برای فراورده ها تعیین می کنیم، نیاز نیست در عبارت سرعت علامت منفی قرار دهیم زیرا سرعت به طور طبیعی مثبت به دست می آید.

برای مثال از یک واکنش شیمیایی، واکنش گازی بین $\mathrm{H_2(g)}$ و $\mathrm{I_2(g)}$ را در نظر بگیرید:

$$\mathrm{H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)}$$

می خواهیم سرعت متوسط مصرف گاز $\mathrm{H_2}$ را بین دو زمان (t_1) و (t_2) به دست آوریم. تعداد مول های گاز $\mathrm{H_2}$ در زمان t_1 را برابر با n_1 و تعداد مول های گاز $\mathrm{H_2}$ در زمان t_2 را برابر با n_2 در نظر می گیریم.

معادله سرعت مصرف گاز $\mathrm{H_2}$ به صورت زیر نوشته می شود.

$$\overline{R}(\mathrm{H_2}) = -\frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

معادله سرعت را برای مصرف ید $\mathrm{I_2}$ می نویسیم. مشاهده می کنید، برای $\mathrm{I_2}$ که یک واکنش دهنده است، سرعت متوسط عبارت است از، منفی تغییر مقدار $\mathrm{I_2}$ تقسیم بر تغییر زمان انجام واکنش.

$$\overline{R}(\mathrm{I_2}) = -\frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

معادله سرعت را برای تولید **HI** می نویسیم.

$$\overline{R}(\mathrm{HI}) = +\frac{\Delta n}{\Delta t} = +\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

behzad mirzaie

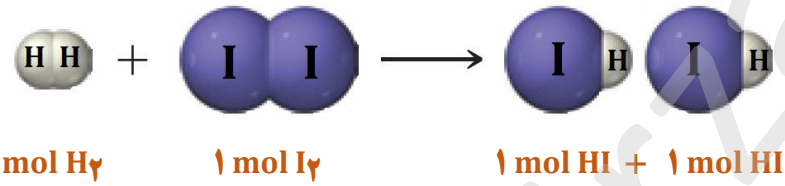
مشاهده می کنید، چون HI فراورده واکنش است، در معادله سرعت آن علامت مثبت نوشته شده است.

وابستگی سرعت تولید یا مصرف هر یک از شرکت کننده ها در واکنش با ضریب استوکیومتری

با گذشت زمان غلظت واکنش دهنده ها کاهش می یابد زیرا واکنش دهنده ها در واکنش مصرف می شوند. همچنین با گذشت زمان غلظت فراورده ها افزایش می یابد زیرا در واکنش تولید می شوند. سرعت افزایش غلظت HI دقیقا دو برابر سرعت کاهش غلظت H_2 است زیرا طبق استوکیومتری واکنش:

با مصرف هر ۱ مول H_2، مقدار ۲ مول HI تولید می شود.

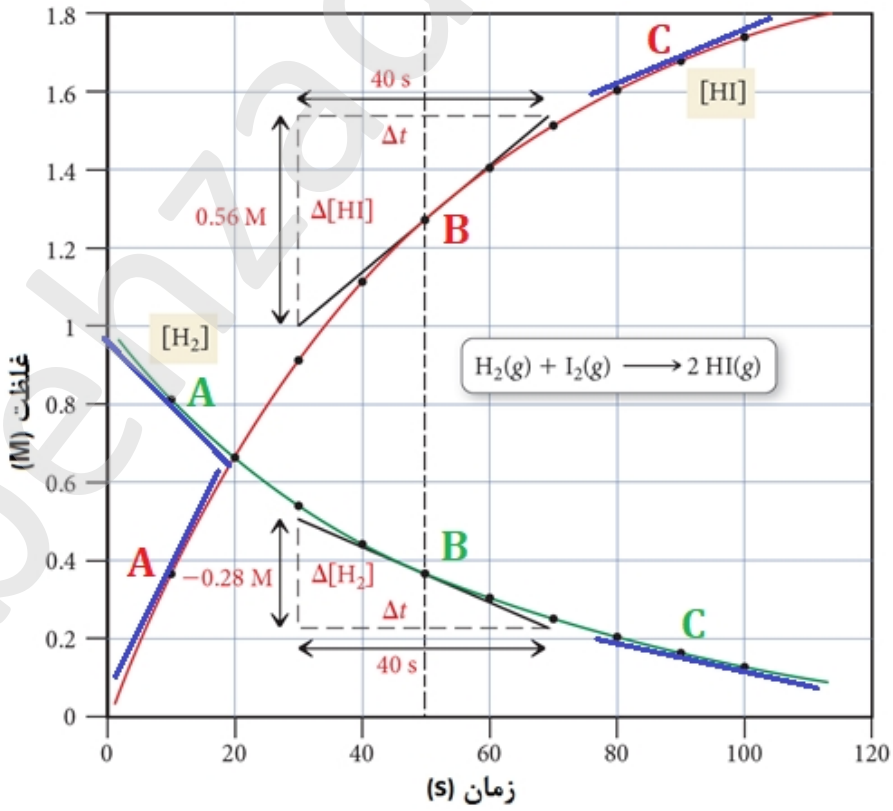
در این واکنش ۲ مول HI از ۱ مول H_2 و ۱ مول I_2 تولید می شود:



افزایش غلظت HI دو برابر کاهش غلظت H_2 یا I_2 است. به عبارت دیگر، اگر در یک ثانیه ۱۰۰ مولکول I_2 در واکنش شرکت کند، ۲۰۰ مولکول HI در یک ثانیه تولید می شود.

نمودارهای مول (غلظت) – زمان برای سرعت واکنش

نمودار زیر را در نظر بگیرید، که تغییر غلظت H_2 (یکی از واکنش دهنده ها) و HI (فراورده) را بر حسب زمان نشان می دهد. مشاهده می کنید با گذشت زمان شیب نمودار برای هر دو ماده H_2 و HI کم می شود، که نشان دهنده کاهش سرعت واکنش با گذشت زمان است. با استفاده از این نمودارها می توان سرعت متوسط واکنش را بین دو زمان معین اندازه گیری کرد.



behzad mirzaie

سرعت واکنش

اگر در یک واکنش شیمیایی ضریب استوکیومتری مواد شرکت کننده در واکنش یکسان نباشد، سرعت متوسط تولید یا مصرف آن ها متفاوت خواهد بود. به همین دلیل شیمی دان ها برای درک آسان پیشرفت واکنش از یک مفهوم کاربردی به نام سرعت واکنش استفاده می کنند.

سرعت واکنش طبق رابطه زیر تعریف می شود.

$$\text{سرعت واکنش } R = \frac{\text{سرعت ماده شرکت کننده در واکنش}}{\text{ضریب استوکیومتری آن ماده}}$$

می توانیم سرعت واکنش را با استفاده از معادله فرضی زیر تعریف کنیم.

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

در این معادله A و B واکنش دهنده ها، C و D فراورده ها، و a، b، c و d ضریب های استوکیومتری هستند. سرعت واکنش به صورت زیر است.

$$\text{سرعت واکنش } R = \frac{\overline{R}_{(A)}}{a} = \frac{\overline{R}_{(B)}}{b} = \frac{\overline{R}_{(C)}}{c} = \frac{\overline{R}_{(D)}}{d}$$

معادله سرعت برای هر یک از مواد A، B، C و D به صورت زیر نوشته می شود.

$$\overline{R}(A) = \frac{\Delta n_{(A)}}{\Delta t} \quad ، \quad \overline{R}(B) = \frac{\Delta n_{(B)}}{\Delta t} \quad ، \quad \overline{R}(C) = \frac{\Delta n_{(C)}}{\Delta t} \quad ، \quad \overline{R}(D) = \frac{\Delta n_{(D)}}{\Delta t}$$

اگر در معادله سرعت واکنش، به جای سرعت متوسط ($\overline{R}$)، مقدار آن را از رابطه های بالا جای گذاری کنیم، معادله سرعت واکنش به صورت زیر خواهد شد.

$$\text{سرعت واکنش} = -\frac{1}{a}\frac{\Delta n_{(A)}}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta n_{(B)}}{\Delta t} = +\frac{1}{c}\frac{\Delta n_{(C)}}{\Delta t} = +\frac{1}{d}\frac{\Delta n_{(D)}}{\Delta t}$$

مثال معادله سرعت را برای واکنش $۲A(g) + B(g) \rightarrow ۳C(g)$، بنویسید.

پاسخ

از رابطه مقابل استفاده می کنیم. $\text{سرعت واکنش } R = \frac{\overline{R}_{(A)}}{a} = \frac{\overline{R}_{(B)}}{b} = \frac{\overline{R}_{(C)}}{c} = \frac{\overline{R}_{(D)}}{d}$

$$۲A(g) + B(g) \rightarrow ۳C(g)$$

$$\text{سرعت واکنش}(R) = -\frac{1}{2}\frac{\Delta n_{(A)}}{\Delta t} = -\frac{\Delta n_{(B)}}{\Delta t} = +\frac{1}{3}\frac{\Delta n_{(C)}}{\Delta t}$$

از این عبارت، می توانیم، بر اساس معادله موازنه شده واکنش، تغییر سرعت هر یک از واکنش دهنده ها و فراورده ها را در هر لحظه از زمان نسبت به تغییر سرعت واکنش دهنده ها یا فراورده های دیگر در همان زمان نتیجه بگیریم در هر حال، پیش بینی سرعت برای زمان های بعدی واکنش با استفاده از معادله موازنه شده غیر ممکن است.

behzad mirzaie

برای مثال، واکنش گازی بین $H_2(g)$ و $I_2(g)$ را در نظر بگیرید:

$$H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$$

می توانیم سرعت این واکنش را بر اساس مصرف گاز H_2 طبق رابطه زیر به دست آوریم.

$$\text{سرعت واکنش } R = -\frac{\Delta n_{(H_2)}}{\Delta t}$$

به طور مشابه، می توانیم سرعت واکنش را بر اساس مصرف ید I_2 اندازه گیری کنیم.

$$\text{سرعت واکنش } R = -\frac{\Delta n_{(I_2)}}{\Delta t}$$

چون ۱ مول H_2 با ۱ مول I_2 واکنش داده اند، سرعت واکنش برای هر دو به طور مشابه تعیین می شود.

همچنین می توانیم سرعت واکنش را بر اساس تولید HI اندازه گیری کنیم.

$$\text{سرعت واکنش } R = +\frac{1}{2}\frac{\Delta n_{(HI)}}{\Delta t}$$

ضریب $\frac{1}{2}$ در عبارت سرعت مربوط به استوکیومتری واکنش است. در عبارت سرعت برای هر یک از واکنش دهنده ها و فراورده ها ضریب های استوکیومتری واکنش در نظر گرفته می شوند.

حل مسئله در سرعت واکنش

در محدوده کتاب درسی شیمی یازدهم مسئله های سرعت واکنش را می توان در سه نوع دسته بندی کرد. در ادامه مسئله های سرعت واکنش را بررسی می کنیم.

نوع اول مسئله های سرعت واکنش

مسئله هایی که در آن ها، تغییر غلظت (یا تغییر مول، تغییر جرم و یا تغییر حجم) یکی از اجزای واکنش و تغییر زمان داده می شود، و باید سرعت متوسط تولید یا مصرف آن ماده را به دست آورد. برای حل این نوع مسئله ها از رابطه $R = \pm\frac{\Delta n}{\Delta t}$ استفاده می کنیم. به مثال زیر توجه کنید.

مثال معادله شیمیایی موازنه شده زیر را در نظر بگیرید:

$$H_2O_2(aq) + 3I^-(aq) + 2H^+(aq) \rightarrow + I_3^-(aq) + 2H_2O(l)$$

در ۱۰ ثانیه نخست از شروع واکنش، غلظت I^- از ۱ مولار به ۰/۸ مولار کاهش می یابد. سرعت متوسط مصرف یون های ید I^- در زمان داده شده حساب کنید.

راه حل از رابطه سرعت متوسط واکنش استفاده می کنیم.

$$\text{سرعت مصرف } I^- = -\frac{\Delta[I^-]}{\Delta t} = -\frac{(0.8\ M - 1\ M)}{10\ s} = ۰/۰۲\ M.s^{-1}$$

نوع دوم مسئله های سرعت واکنش

محاسبه سرعت متوسط تولید یا مصرف یکی از مواد شرکت کننده در واکنش، با داشتن سرعت متوسط تولید یا مصرف یک ماده دیگر در همان واکنش

behzad mirzaie

این نوع مسئله ها با استفاده از رابطه " **نسبت سرعت واکنش با نسبت ضریب استوکیومتری** " در معادله موازنه شده واکنش حل می شوند.

مثال برای واکنش $2A(g) + B(g) \rightarrow 3C(g)$، وقتی غلظت A با سرعت $0/1\ M.s^{-1}$ کاهش می یابد، غلظت B با چه سرعتی کاهش خواهد یافت؟ سرعت افزایش غلظت C چقدر است؟

راه حل طبق معادله سرعت، سرعت هر جزء واکنش با ضریب استوکیومتری آن رابطه مستقیم دارد. بنابر این، نسبت سرعت دو جزء واکنش $(\frac{R_{(B)}}{R_{(A)}})$ با نسبت ضریب استوکیومتری آن ها در واکنش $(\frac{\text{ضریب استوکیومتری } B}{\text{ضریب استوکیومتری } A})$ متناسب است.

$$2A + B \rightarrow 3C$$

$$\frac{R_{(B)}}{R_{(A)}} = \frac{\text{ضریب استوکیومتری } B}{\text{ضریب استوکیومتری } A} \rightarrow \frac{R_{(B)}}{R_{(A)}} = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{R_{(B)}}{0.100} = \frac{1}{2} \rightarrow R(B) = 0/05\ M.s^{-1}$$

$$\frac{R_{(C)}}{R_{(A)}} = \frac{\text{ضریب استوکیومتری } C}{\text{ضریب استوکیومتری } A} \rightarrow \frac{R_{(C)}}{R_{(A)}} = \frac{3}{2} \rightarrow \frac{R_{(C)}}{0.100} = \frac{3}{2} \rightarrow R(C) = 0/15\ M.s^{-1}$$

نوع سوم مسئله های سرعت واکنش

مسئله هایی که در آن ها با داشتن سرعت متوسط یکی از اجزای واکنش، باید سرعت متوسط واکنش را حساب کنیم. یا عکس این حالت با داشتن سرعت متوسط واکنش، سرعت یکی از اجزای واکنش تعیین می شود. برای حل این نوع مسئله ها از معادله سرعت واکنش استفاده می شود.

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

$$R(\text{سرعت واکنش}) = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = +\frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = +\frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

مثال واکنش زیر را در نظر بگیرید:

$$2HBr(g) \rightarrow H_2(g) + Br_2(g)$$

در ۲۵ ثانیه نخست واکنش، غلظت HBr از ۰/۶۰۰ مولار به ۰/۴ مولار کاهش می یابد. سرعت متوسط واکنش را در این بازه از زمان حساب کنید.

راه حل با استفاده از داده های مسئله، سرعت مصرف HBr را حساب می کنیم.

$$R(HBr) = -\frac{\Delta[HBr]}{\Delta t} = -\frac{0.4-0.6}{25\ s} = 8 \times 10^{-3}\ mol.L^{-1}.s^{-1}$$

با توجه به معادله سرعت و معادله موازنه شده واکنش، $R(\text{واکنش}) = \frac{1}{2}R(HBr)$ است. محاسبات را انجام می دهیم.

$$R(\text{واکنش}) = \frac{1}{2}R(HBr) = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-3}\ mol.L^{-1}.s^{-1}$$

behzad mirzaie

بررسی یک تست کنکور سراسری سال ۹۸

در واکنش: (معادله موازنه شود) $PI_3(s) + H_2O(l) \rightarrow H_3PO_3(aq) + HI(aq)$، اگر مقدار آغازین $PI_3(s)$ برابر ۲۰/۶ گرم درون یک لیتر آب بوده و پس از دو دقیقه به ۴/۱۲ گرم برسد، سرعت متوسط مصرف این ماده، به تقریب به چند مول بر ثانیه و غلظت $HI(aq)$ به چند مول بر لیتر می رسد؟ ($g.mol^{-1}$: $I = ۱۲۷$ ، $P = ۳۱$ ؛ از تغییر حجم صرف نظر شود.)

(کنکور ریاضی ۹۸ نظام جدید)

۱) $۳/۳ \times ۱۰^{-۴}$ ، ۰/۱۲ ۲) $۳/۳ \times ۱۰^{-۴}$ ، ۰/۰۸ ۳) $۶/۶۷ \times ۱۰^{-۴}$ ، ۰/۱۲ ۴) $۶/۶۷ \times ۱۰^{-۴}$ ، ۰/۰۸

چه اطلاعاتی در اختیار داریم

- جرم PI_3 اولیه = ۲۰/۶ g ، جرم PI_3 در پایان دقیقه دوم واکنش = ۴/۱۲ g
- حجم محلول = ۱ L
- $\Delta t = ۲\ min = ۱۲۰\ s$

چه چیز را باید به دست آوریم

- $\overline{R}(PI_3) = ?\ mol.s^{-1}$ (سرعت متوسط مصرف PI_3)
- $[HI] = ?\ mol.L^{-1}$ (غلظت محلول HI)

معادله موازنه شده واکنش را می نویسیم.

$$PI_3(s) + 3H_2O(l) \rightarrow H_3PO_3(aq) + 3HI(aq)$$

راه حل جرم PI_3 که در واکنش شرکت کرده است را به دست می آوریم (تغییر جرم PI_3)، و آن را به مول تبدیل می کنیم.

تغییر جرم PI_3 در مدت زمان واکنش: $۲۰/۶ - ۴/۱۲ \cong ۱۶/۵\ g$

$$۱۶/۵\ g\ PI_3 \times \frac{1\ mol\ PI_3}{412\ g\ PI_3} \cong ۰/۰۴\ mol\ PI_3 \quad \rightarrow \quad \text{تغییر تعداد مول } PI_3 : \Delta n = ۰/۰۴\ mol$$

با استفاده از معادله سرعت، سرعت مصرف PI_3 را حساب می کنیم.

$$R_{(PI_3)} = \frac{\Delta\ mol\ PI_3}{\Delta t} = \frac{0.04\ mol}{120\ S} = ۳/۳ \times ۱۰^{-۴}\ mol.s^{-1}$$

برای محاسبه غلظت HI تولید شده، باید تعداد مول های HI که در واکنش تولید می شود را حساب کنیم و با استفاده از رابطه غلظت محلول ها $C_M = \frac{n\ mol}{V_{(L)}}$ ، غلظت محلول را به دست آوریم.

با استفاده از نسبت سرعت ها در واکنش، سرعت تولید (HI) را حساب می کنیم.

$$\frac{R_{(HI)}}{R_{(PH_3)}} = \frac{3}{1} \quad \rightarrow \quad \frac{R_{(HI)}}{3.3 \times 10^{-4}} = \frac{3}{1} \quad \rightarrow \quad R_{(HI)} = ۹/۹ \times ۱۰^{-۴}$$

با جای گذاری در معادله سرعت، می توان تعداد مول های HI تولید شده را به دست آورد.

$$R_{(HI)} = \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad ۹/۹ \times ۱۰^{-۴} = \frac{\Delta n}{120\ S} \quad \rightarrow \quad \Delta n \cong ۰/۱۲\ mol\ HI$$

$$C_M = \frac{n\ mol}{V_{(L)}} = \frac{0.12\ mol\ HI}{\text{محلول } 1\ L} = ۰/۱۲\ mol.L^{-1}$$

behzad mirzaie