

KEMIJSKA KINETIKA

Kemijska kinetika jest područje (fizikalne) kemije koje se bavi proučavanjem brzine kemijske reakcije, utjecaja pojedinih čimbenika na kinetiku reakcije, a sve to kako bismo dobili uvid u mogući mehanizam reakcije. Brzina kemijske reakcije ovisi o nekoliko faktora, a neki su od njih temperatura, tlak, koncentracija sudionika reakcije i prisutnost katalizatora. Ona se može definirati kao umnožak recipročne vrijednosti volumena i promjene doseg u vremenu:

$$v = \frac{1}{V} \frac{\Delta \xi}{\Delta t} \quad (1)$$

gdje je v brzina kemijske reakcije, V volumen reakcijske smjese, ξ doseg reakcije, a t vrijeme reakcije.

Ovisnost brzine o koncentracijama reaktanata izražava se pomoću **zakona brzine kemijske reakcije**:

$$v = k c(A)^a c(B)^b \dots c(N)^n \quad (2)$$

gdje je k koeficijent brzine reakcije, $c(A)$, $c(A)$, ..., $c(A)$ jesu koncentracije reaktanata A, B, ..., N, a eksponenti a , b , ..., n jesu parcijalni redovi tih reaktanata koji su gotovo uvijek prirodni brojevi. Zbroj eksponenata daje ukupni red reakcije. Primjerice, za reakciju prvog reda (nužno samo jedan reaktant A) zakon brzine reakcije ima oblik:

$$v = k c(A) \quad (3)$$

Ponekad se, ako uvjeti to dopuštaju, za određivanje zakona brzine mjeri početna brzina reakcije kada koncentracija produkata/reaktanata linearno raste/pada s vremenom reakcije:

$$v_0 = k c(A)_0 \quad (4)$$

gdje je $c(A)_0$ početna koncentracija reaktanta A.

POKUS: KINETIKA RASPADA VODIKOVA PEROKSIDA

Raspad vodikova peroksida spor je proces, stoga se za ubrzavanje te reakcije često koriste katalizatori, a jedna od tvari koje kataliziraju raspad vodikova peroksida jest kalijev jodid. Raspad prati kinetiku prvog reda, što znači da se zakon brzine može zapisati kao:

$$v_0 = k c_0(\text{H}_2\text{O}_2) \quad (5)$$

S obzirom na to da je teško pratiti koncentraciju bilo reaktanata bilo produkata ove reakcije, promatranje kinetike raspada svodi se na mjerenje volumena nastalog kisika. Ovisnost volumena kisika o vremenu može se povezati sa zakonom brzine reakcije jednačbom:

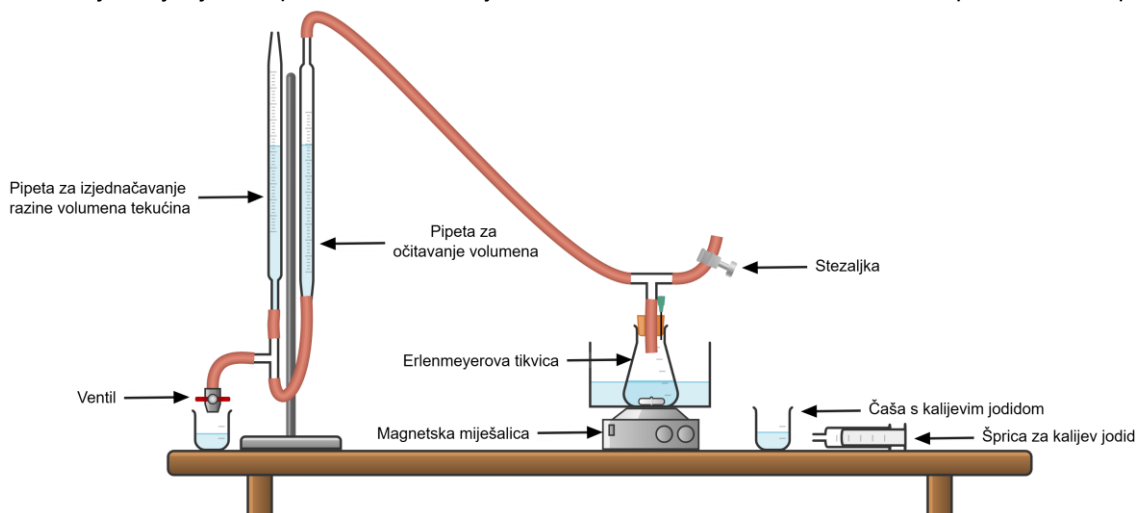
$$\frac{\Delta V(\text{O}_2)}{\Delta t} = k V_{\infty}(\text{O}_2) \quad (6)$$

gdje je $V_{\infty}(\text{O}_2)$ volumen kisika na kraju reakcije.

Pribor: aparatura za praćenje raspada vodikova peroksida, šprica, štoperica

Kemikalije: vodena otopina vodikova peroksida, vodena otopina kalijeva jodida

Opis aparature: Na slici 1 prikazana je shema aparature kojom ćete se koristiti za praćenje raspada vodikova peroksida na kojoj su navedeni najvažniji dijelovi aparature. Erlenmeyerova tikvica sadržava 20 mL vodene otopine vodikova peroksida.



Slika 1. Shema aparature za praćenje raspada vodikova peroksida.

POSTUPAK (*Pročitaj postupak u cijelosti prije negoli započneš s eksperimentom*):

Eksperiment će biti proveden na temperaturi od 22 °C i tlaku od 1013 hPa.

- Provjeri je li u **pipeti za očitavanje volumena** razina vode točno na oznaci od 0 mL. Ako nije, pozoviti člana povjerenstva.
- Gumenim čepom začepi Erlenmeyerovu tikvicu. Špricom odmjeri 5 mL vodene otopine kalijeva jodida i natakni špricu na iglu koja se nalazi na gumenom čepu.
- Upali miješalicu, provjeri vrti li se magnetič u **Erlenmeyerovoj tikvici** i nakon toga ugasi miješalicu.
- Istisni cijeli sadržaj šprice što brže, stisni stezaljku, **započni mjerenje na štoperici** i **uključi miješalicu**.
- Konstantno izjednačavajte** volumene tekućina u **pipeti za očitavanje volumena** i **pipeti za izjednačavanje razine volumena tekućina** otpuštanjem **ventila**. Na taj način osiguravamo da se reakcija odvija pri konstantnom, atmosferskom tlaku.
- Tijekom pokusa **očitavaj razinu vode u pipeti za očitavanje volumena** te je zapisuj u tablicu 1 u **Zadatku 1**. U početku očitavaj svaku minutu, a nakon toga procijeni interval mjerenja.

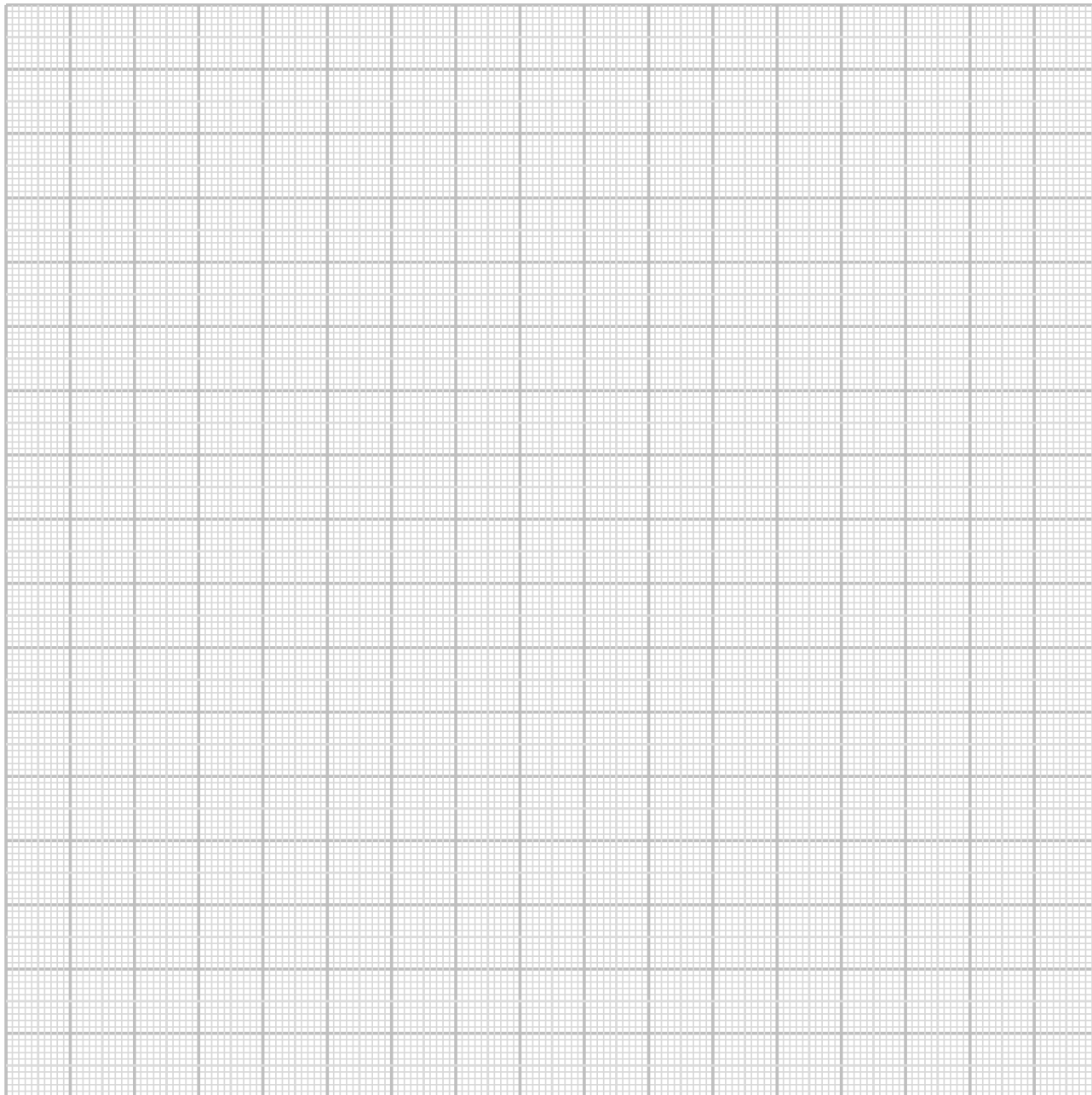
ostv.	maks.
	2

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 2. razred srednje škole

Zaporka: _____

2. Na milimetarskome papiru nacrtaj ovisnost očitano volumena o vremenu prema podacima iz Tablice 1.



Za točno označene osi s pripadajućom mjernom jedinicom
Za točno nacrtane točke (SVE)
Za nacrtanu krivulju

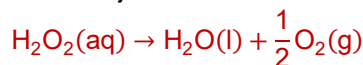
$2 \times 0,5 = 1$ bod
1 bod
1 bod

ostv.	maks.
	3

Ukupno bodova na stranici 4:

ostv.	maks.
	3

- 3.** 3. a) Napiši jednadžbu kemijske reakcije za raspad vodikova peroksida (**stehiometrijski broj vodikova peroksida –1!**) uz kalijev jodid kao katalizator pod uvjetima jednakima u vašem eksperimentu te obvezno naznači agregacijska stanja svih sudionika reakcije.



Za točno napisanu jednadžbu kemijske reakcije s točnim reaktantima i produktima (priznati i ako iznad strelice piše KI(aq))

0,5 bodova

Za izjednačenu jednadžbu kemijske po masi i naboju

0,5 bodova

Za točno napisana agregacijska stanja

0,5 bodova

3. b) Izvedi jednadžbu za ovisnost volumena nastalog kisika o vremenu (**jednadžba 6**) pomoću zakona brzine za raspad vodikova peroksida (**jednadžba 5**) i definicije brzine kemijske reakcije (**jednadžba 1**). Koristi se i jednadžbom kemijske reakcije iz **zadatka 3 a**).

$$v_0 = \frac{1}{V(\text{H}_2\text{O}_2)} \frac{\Delta \xi}{\Delta t} = k c_0(\text{H}_2\text{O}_2)$$

$$\frac{1}{V(\text{H}_2\text{O}_2)} \frac{\Delta n(\text{H}_2\text{O}_2)}{v(\text{H}_2\text{O}_2)\Delta t} = k c_0(\text{H}_2\text{O}_2)$$

$$\frac{1}{V(\text{H}_2\text{O}_2)} \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{v(\text{O}_2)\Delta t} = k c_0(\text{H}_2\text{O}_2)$$

Za opisivanje dosega reakcije preko množine kisika

0,5 bodova

$$p_{\text{atm}} \Delta V(\text{O}_2) = \Delta n(\text{O}_2) RT$$

$$\Delta n(\text{O}_2) = \frac{p_{\text{atm}} \Delta V(\text{O}_2)}{RT}$$

Za uočavanje da se $\Delta n(\text{O}_2)$ može dobiti iz opće plinske jednadžbe

0,5 bodova

Za dobar izvod za $\Delta n(\text{O}_2)$ iz opće plinske jednadžbe

0,5 bodova

Za dobro uvrštavanje izraza za $\Delta n(\text{O}_2)$ u gornju jednadžbu

0,5 bodova

$$\frac{p_{\text{atm}}}{V(\text{H}_2\text{O}_2)RT} \frac{\Delta V(\text{O}_2)}{v(\text{O}_2)\Delta t} = k c_0(\text{H}_2\text{O}_2)$$

Iz JKR:

$$n(\text{H}_2\text{O}_2):n(\text{O}_2) = 2:1$$

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = 2n(\text{O}_2)$$

$$c_0(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{V(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{2n_{\infty}(\text{O}_2)}{V(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{2p_{\text{atm}} V_{\infty}(\text{O}_2)}{V(\text{H}_2\text{O}_2)RT}$$

Za točan odnos između $n(\text{O}_2)$ i $n(\text{H}_2\text{O}_2)$ prema JKR

0,5 bodova

Za uočavanje da je $n_0(\text{H}_2\text{O}_2) = 2n_{\infty}(\text{O}_2)$

0,5 bodova

Za točan izraz za $c_0(\text{H}_2\text{O}_2)$ koji sadržava $V_{\infty}(\text{O}_2)$ u izrazu (NE PRIZNATI $V_0(\text{O}_2)$)

0,5 bodova

$$\frac{p_{\text{atm}}}{V(\text{H}_2\text{O}_2)RT} \frac{2\Delta V(\text{O}_2)}{\Delta t} = k \frac{2p_{\text{atm}} V_{\infty}(\text{O}_2)}{V(\text{H}_2\text{O}_2)RT}$$

$$\frac{\Delta V(\text{O}_2)}{\Delta t} = k V_{\infty}(\text{O}_2)$$

Za ispravno uvrštavanje izraza za $c_0(\text{H}_2\text{O}_2)$

0,5 bodova

Za ispravan krajnji rezultat

0,5 bodova

Priznati i slične izvode koji imaju fizikalnog i kemijskog smisla

ostv. maks.

6

- 4.** Iz krivulje ovisnosti volumena razvijenog kisika o vremenu pretpostavi iznos volumena nastalog kisika na kraju reakcije te izračunaj množinsku koncentraciju vodikova peroksida u mol L⁻¹ na samom početku reakcije.

$V_{\infty}(\text{O}_2) \approx 18 \text{ mL}$ (Može se uzeti posljednji očitani volumen ili produjiti krivulja dok ne postane paralelna s osi x te uzeti tako očitana vrijednost)

Za dobro očitano vrijednost volumena s ispravnom mjernom jedinicom
Ako je vrijednost V_{∞} između 17 i 19,5 mL

2 × 0,5 = 1 bod
1 bod

$$V_{\infty}(\text{O}_2) \approx 18,0 \text{ mL} = 18,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$p_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ J m}^{-3}$$

$$\vartheta = 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow T = (273,15 + 22) \text{ K} = 295 \text{ K}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}_2) = 20,0 \text{ mL} = 20,0 \cdot 10^{-3} \text{ L}$$

$$V(\text{KI}) = 5,0 \text{ mL} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ L}$$

$$c_0(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{V_{\text{uk}}}$$

Iz JKR: $n(\text{H}_2\text{O}_2):n(\text{O}_2) = 2:1$
 $n(\text{H}_2\text{O}_2) = 2n(\text{O}_2)$

$$c_0(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{V_{\text{uk}}} = \frac{2n_{\infty}(\text{O}_2)}{V(\text{H}_2\text{O}_2) + V(\text{KI})}$$

$$p_{\text{atm}} \Delta V(\text{O}_2) = \Delta n(\text{O}_2) RT$$

$$\Delta n(\text{O}_2) = \frac{p_{\text{atm}} \Delta V(\text{O}_2)}{RT}$$

$$c_0(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{V_{\text{uk}}} = \frac{2p_{\text{atm}} V_{\infty}(\text{O}_2)}{(V(\text{H}_2\text{O}_2) + V(\text{KI}))RT}$$

Za dobar odnos između $n(\text{O}_2)$ i $n(\text{H}_2\text{O}_2)$ prema JKR-u

0,5 bodova

Za uočavanje da je $n_0(\text{H}_2\text{O}_2) = 2n_{\infty}(\text{O}_2)$

0,5 bodova

Za uočavanje da je ukupni volumen jednak zbroju volumena vodikova peroksida i kalijeva jodida

0,5 bodova

Za uočavanje da se $n_{\infty}(\text{O}_2)$ može dobiti iz opće plinske jednadžbe

0,5 bodova

Za dobro izveden izraz za koncentraciju vodikova peroksida

0,5 bodova

$$c_0(\text{H}_2\text{O}_2) \approx \frac{2 \cdot 1,013 \cdot 10^5 \text{ J m}^{-3} \cdot 18,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{25,0 \cdot 10^{-3} \text{ L} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 295 \text{ K}}$$

$$c_0(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 0,059 \text{ mol L}^{-1}$$

Za točan rezultat s ispravnom mjernom jedinicom

2 × 0,5 = 1 bod

ostv.	maks.
	5,5

ostv.	maks.
	5,5

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 2. razred srednje škole

Zaporka: _____

- 5.** 5. a) S obzirom na to da zakon brzine reakcije (jednadžba 2) ovisi o redu reakcije, tako i koeficijent brzine reakcije k ima drugačiju mjernu jedinicu, ovisno o tome koliki je ukupni red reakcije. Pomoću **jednadžbe 3** odredi mjernu jedinicu koeficijenta brzine reakcije k za reakciju prvog reda.

$$v = k c(A)$$

$$\frac{1}{v} \frac{\Delta c(A)}{\Delta t} = k c(A)$$

$$\left[\frac{\text{mol L}^{-1}}{\text{s}} \right] = k [\text{mol L}^{-1}]$$

Za točno primijenjenu mjernu jedinicu brzine kemijske reakcije

0,5 bodova

Za točno primijenjenu mjernu jedinicu koncentracije

0,5 bodova

Za točno primijenjenu mjernu jedinicu vremena

0,5 bodova

$$k = [\text{s}^{-1}]$$

Za točno određenu mjernu jedinicu (priznaje se i postupak bez uglatih zagrada).

0,5 bodova

Priznaje se i odgovor poput (min^{-1} , h^{-1} ...).

Za mjernu jedinicu bez postupka ne dobijaju se bodovi.

5. b) Odredi jednadžbu pravca kroz dvije točke iz **dijela krivulje s linearnom ovisnosti** volumena razvijenog kisika o vremenu.

Pravac dobiti iz jednadžbe pravca kroz dvije točke, npr: $y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$

Za odabrane dvije točke na dijelu krivulje s linearnom ovisnosti

1 bod

Za dobro određenu jednadžbu pravca

1 bod

Priznati i ostale (matematički točne) načine određivanja jednadžbe pravca

5. c) Usporedi jednadžbu pravca dobivenu u zadatku 5.b) s **jednadžbom 6** i odredi vrijednost koeficijenta brzine reakcije k .

Jednadžba pravca: $y = ax + b$

Jednadžba 6: $\frac{\Delta V(\text{O}_2)}{\Delta t} = k V_{\infty}(\text{O}_2)$

S obzirom na to da je prikazana krivulja ovisnosti $V(\text{O}_2)$ o t , nagib pravca a odgovara $\frac{\Delta V(\text{O}_2)}{\Delta t}$

$$a = \frac{\Delta V(\text{O}_2)}{\Delta t} = k V_{\infty}(\text{O}_2)$$

$$k = \frac{a}{V_{\infty}(\text{O}_2)} = \dots \text{s}^{-1}$$

Za prepoznat odnos između nagiba pravca i $\Delta V(\text{O}_2) / \Delta t$

1 bod

Za dobro određen koeficijent brzine reakcije s ispravnom mjernom jedinicom

2 × 0,5 = 1 bod

ostv.	maks.
	6

Ukupno bodova na stranici 7:

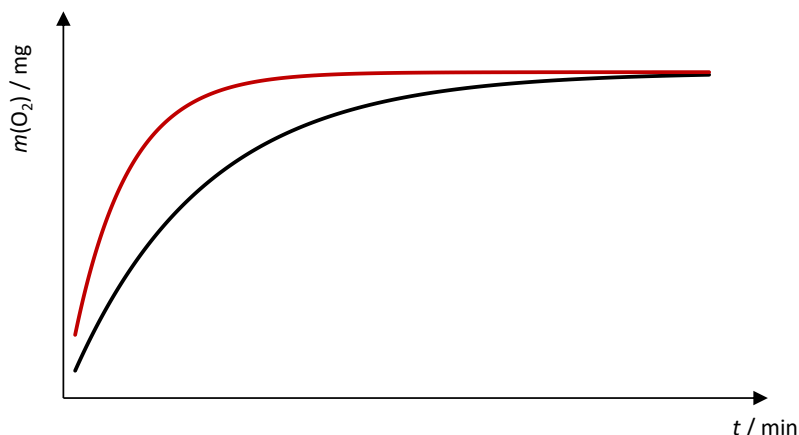
ostv.	maks.
	6

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 2. razred srednje škole

Zaporka: _____

- 6.** 6. a) Na slici je prikazana ovisnost mase nastalog kisika prilikom raspada vodikova peroksida uz katalizator na određenoj temperaturi. Nacrtaj kako bi izgledala ovisnost ako bi se ista reakcija provela na višoj temperaturi.



Ako je nacrtana krivulja iznad zadane krivulje

0,5 bodova

Ako nacrtana krivulja ima oblik hiperbole

0,5 bodova

Ako nacrtana krivulja vidljivo završava na istoj masi kao zadana

0,5 bodova

ostv.	maks.
	1,5

- 7.** Raspad vodikova peroksida u prisutnosti KI kao katalizatora prati se pri neutralnim uvjetima. Kada bi pratio raspad vodikova peroksida uz dodatak KI u kiselim uvjetima, ne bi uočio smanjenje razine vode u pipeti za očitavanje volumena, a reakcijska smjesa, nakon nekog vremena, poprimila bi izrazito žutu, pa čak i tamnosmeđu boju. U takvim uvjetima KI nema svojstvo katalizatora.

- 7. a)** Napiši jednadžbu kemijske reakcije vodikova peroksida s jodidnim anionom u kiselim uvjetima (primjerice dodatak HCl) ako, kao jedan od produkata, nastaje elementarna tvar koja se sastoji od dvoatomnih molekula, slabo topljiva u vodi, a dobro topljiva u nepolarnim otapalima poput heksana.



Za točno napisanu jednadžbu kemijske s točnim reaktantima i produktima

0,5 bodova

Za izjednačenu jednadžbu kemijske po masi i naboju

0,5 bodova

Za točno napisana agregacijska stanja

0,5 bodova

- 7. b)** Ako je KI u suvišku, dvoatomna molekula iz zadatka **7. a)** dalje reagira s jodidnim anionom pri čemu nastaje anion čija molarna masa iznosi $380,71 \text{ g mol}^{-1}$, ima 22 valentna elektrona, a s cezijevim kationom tvori spoj stehiometrijskog omjera 1:1. Napiši jednadžbu kemijske reakcije nastajanja tog aniona.



Za točno napisanu jednadžbu kemijske reakcije s točnim reaktantima i produktima

0,5 bodova

Za izjednačenu jednadžbu kemijske po masi i naboju

0,5 bodova

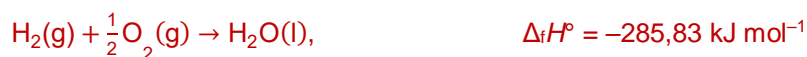
Za točno napisana agregacijska stanja

0,5 bodova

ostv.	maks.
	3

- 8.** Standardna entalpija nastajanja vodikova peroksida u vodenoj otopini iznosi $-191,17 \text{ kJ mol}^{-1}$ pri $298,15 \text{ K}$, a standardna entalpija nastajanja tekuće vode pri istoj temperaturi iznosi $-285,83 \text{ kJ mol}^{-1}$.

8. a) Napiši termokemijske jednadžbe tih dviju reakcija i odredi standardnu reakcijsku entalpiju raspada vodikova peroksida pri $298,15 \text{ K}$.



$$\Delta_r H^\circ = \sum_i \nu_i \Delta_f H^\circ = (-1)\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}_2, \text{aq}) + (1) \cdot \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{aq}) + \frac{1}{2} \cdot \Delta_f H^\circ(\text{O}_2, \text{g})$$

$$\Delta_r H^\circ = (-1) \cdot (-191,17 \text{ kJ mol}^{-1}) + (1) \cdot (-285,83 \text{ kJ mol}^{-1}) + \frac{1}{2} \cdot (0 \text{ kJ mol}^{-1})$$

$$\Delta_r H^\circ = -94,66 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Za točno napisane JKR-ove s točnim reaktantima i produktima te standardnim entalpijama stvaranja

$2 \times 0,5 = 1$ bod

Za točno izjednačene JKR-ove po masi i naboju

$2 \times 0,5 = 1$ bod

Za točno napisana agregacijska stanja reaktanata i produkata

$2 \times 0,5 = 1$ bod

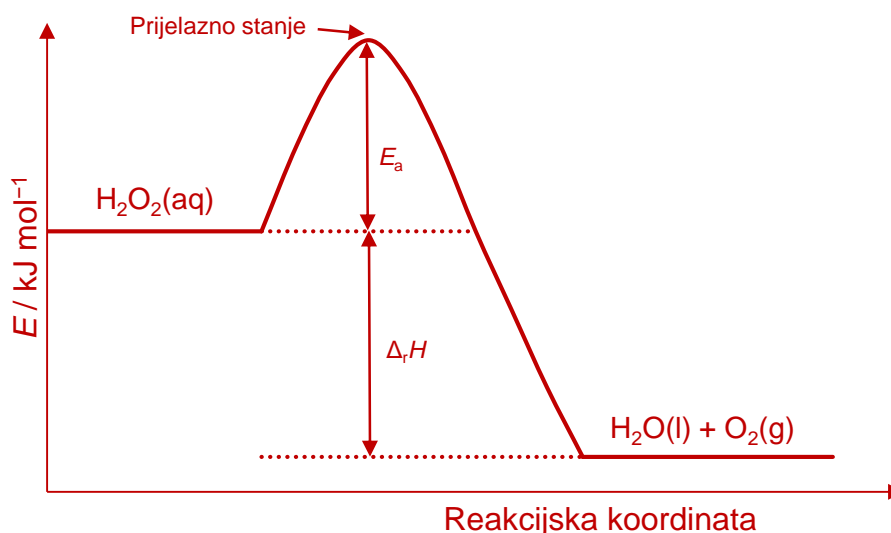
Za točan izraz za standardnu reakcijsku entalpiju iz standardnih entalpija stvaranja reaktanata i produkata

0,5 bodova

Za točno izračunatu standardnu reakcijsku entalpiju s ispravnom mjernom jedinicom

$2 \times 0,5 = 1$ bod

8. b) Nacrtaj reakcijski dijagram raspada H_2O_2 , naznači sve bitne komponente reakcijskog dijagrama, što uključuje prijelazno stanje, energiju aktivacije i reakcijsku entalpiju.



Za točno nacrtan koordinatni sustav s reaktantima i produktima

$2 \times 0,5 = 1$ bod

Za točno naznačeno prijelazno stanje

0,5 bodova

Za točno naznačenu (standardnu) reakcijsku entalpiju

0,5 bodova

Za točno naznačenu energiju aktivacije

0,5 bodova

ostv.	maks.
	7

Državna razina Natjecanja iz kemije u šk. god. 2024./2025.

Pokus za 2. razred srednje škole

Zaporka: _____

9. Sljedeće tvrdnje označi kao točne (zaokruži slovo **T**) ili netočne (zaokruži slovo **N**) i objasni odgovor.

Dovoljna kinetička energija čestica reaktanata jedini je uvjet za uspješan sudar čestica u plinovitom stanju.

T

(N)

Potrebna je i povoljna orijentacija čestica.

Brzina termostatisane reakcije ovisi o reakcijskoj entalpiji.

T

(N)

Reakcijska entalpija jest termodinamička veličina i ovisi o početnom i konačnom stanju reakcijske smjese, dok je brzina kemijske reakcije kinetička veličina koja ovisi o putu prema kojem iz reaktanata nastaju produkti.

Reakcija je brža ako krutinu koja sudjeluje u njoj usitnimo.

(T)

N

Reakcija u kojoj sudjeluje krutina događa se na površini krutine. Usitnjavanjem povećavamo ukupnu površinu i povećavamo brzinu reakcije.

Povećanjem koncentracije reaktanata povećava se brzina reakcije. (Ne koristiti se zakonom brzine reakcije kao objašnjenjem.)

(T)

N

Povećanjem koncentracije povećava se učestalost sudara čestica, a time i učestalost uspješnih sudara, što dovodi do povećanja brzine reakcije.

Za točno zaokružen T/N

Za točno objašnjenje (podcrtani dijelovi uvjet su za dobivanje bodova)

4 × 0,5 = 2 boda

4 × 1 = 4 boda

ostv.

maks.

6