ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Լ. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, Ա. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ,
Շ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱՅԻ
ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԺՈՂՈՎԱԾՈՒ

ԵՐԵՎԱՆ
ԵՊՀ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
2020

ՀՏԴ 544(076.1)
ԳՄԴ 24.5g7
Գ 124

*Հրատարակության է երաշխավորել
ԵՊՀ քիմիայի ֆակուլտետի
գիտական խորհուրդը։*

Գ 124 Գաբրիելյան Լ. Ս., Խաչատրյան Ա. Գ., Մարգարյան Շ. Ա.
Ֆիզիկական քիմիայի խնդիրների ժողովածու։ Ուսումնական ձեռնարկ/ Լ. Ս. Գաբրիելյան, Ա. Գ. Խաչատրյան, Շ. Ա. Մարգարյան։ -Եր., ԵՊՀ հրատ., 2020, 222 էջ։

Խնդրագիրքը կազմված է համաձայն ԵՊՀ «Ֆիզիկական քիմիա» առարկայի ծրագրի և ընդգրկում է քիմիական թերմոդինամիկայի և քիմիական կինետիկայի բաժինները։ Յուրաքանչյուր գլխում տրված են տեսական դրույթներ և հաշվարկային բանաձևեր, որոնք կարող են օգտագործվել խնդիրների լուծման ժամանակ։ Ներկայացված են նաև տիպային խնդիրների լուծման օրինակներ։ Խնդրագրքում զետեղված են բազմաթիվ ոչ բարդ խնդիրներ, ինչը հնարավորություն է ընձեռում, որ խնդրագրքից օգտվեն նաև ԵՊՀ այլ ֆակուլտետների ուսանողներ։ Առաջարկվող ձեռնարկը կարող է օգտակար լինել նաև ավագ դպրոցի և քիմիայի օլիմպիադաներին նախապատրաստվող աշակերտների, ինչպես նաև ուսուցիչների համար։

ՀՏԴ 544(076.1)
ԳՄԴ 24.5g7

ISBN 978-5-8084-2449-4

ՆԱԽԱԲԱՆ

Վերջին տարիներին էական փոփոխություններ են կատարվել ինչպես դպրոցական, այնպես էլ բուհական կրթական համակարգերում: Ներկայումս առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվում կրթության որակի բարձրացմանը, աշակերտակենտրոն և ուսանողակենտրոն համակարգերի ձևավորմանը:

Այս նպատակին հասնելու համար մայրենի լեզվով դասագրքերի հետ միասին անհրաժեշտ է ունենալ նաև խնդրագրքեր, որոնք կնպաստեն ինքնուրույն աշխատանքով առարկայի խորը յուրացմանը և մասնագիտական հմտությունների ձևավորմանը: Աշխարհի առաջատար համալսարաններում մեծ տեղ է հատկացվում խնդիրների լուծմանը և գործնական աշխատանքների կատարմանը: Պարտադիր պայման է դարձել դասագրքերում տեսական նյութի հետ միասին հարցերի, վարժությունների և խնդիրների ներկայացումը:

Շուրջ հինգ տասնամյակ Հայաստանում չի հրատարակվել խնդրագիրք՝ ֆիզիկական քիմիա առարկայից: Այդ բացը լրացնելու համար առաջարկվում է սույն խնդրագիրքը, որում ներառված են հեշտ և բարդ խնդիրներ ֆիզիկական քիմիայի տարբեր բաժիններից՝ քիմիական թերմոդինամիկա, էլեկտրաքիմիա, քիմիական կինետիկա: Խնդրագիրքը կարող են օգտագործել նաև Հայաստանի այլ բուհերի ֆիզիկական, անօրգանական և ընդհանուր քիմիա առարկաներն ուսումնասիրող ուսանողները:

Յուրաքանչյուր գլուխ սկսվում է տվյալ թեմային առնչվող տեսական դրույթներով և հաշվարկային բանաձևերով, որոնք առավել հաճախ կարող են օգտագործվել խնդիրների լուծման ժամանակ: Այնուհետև տրվում են տվյալ բաժնին բնորոշ տիպային խնդիրների լուծման օրինակներ, իսկ հետո՝ բուն խնդիրները:

Խնդիրների գերակշռող մասում ֆիզիկաքիմիական մեծությունների միավորները տրված են ըստ ՄԻ համակարգի՝ ճնշումը (p)՝ Պա, ծավալը (V)՝ մ^3, զանգվածը (m)՝ կգ, և այլն: Սակայն մի շարք խնդիրներում պահպանվել են հին միավորները՝ նկատի ունենալով, որ որոշ դասագրքերում և խնդրագրքերում դրանք դեռևս գործածվում են՝ մթն, մմ ս.ս., լ, գ, և այլն:

Գրքի վերջում տրված են բոլոր խնդիրների պատասխանները: Ձեռնարկում զետեղված են աղյուսակներ՝ տեղեկատու տվյալներով, ինչպես նաև ֆիզիկաքիմիական մեծությունների միավորների՝ մի համակարգից մյուսին անցնելու փոխադրական աղյուսակներ: Խնդիրներում ներկայացված գազերը, եթե չկան հատուկ նշումներ, դիտել որպես իդեալական:

Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ խնդիրների լուծման դասընթացներ անհրաժեշտ են նաև ոչ քիմիական մասնագիտացման խմբերի ուսանողների համար, ինչպես նաև այն, որ ասպարեզում չկան ֆիզիկաքիմիական ուղղության խնդիրների այլ ժողովածուներ, հարկ ենք համարել սույն խնդրագրքում ներառել բազմաթիվ հեշտ խնդիրներ: Բարդ խնդիրները հեշտերից տարանջատված են աստղանիշերով: Խնդիրները գերազանցապես վերցված են միջազգային հանրահայտ խնդրագրքերից և դասագրքերից, որոնց ցանկը բերված է վերջում:

Հեղինակները շնորհակալություն են հայտնում ԵՊՀ-ի ֆիզիկական և կոլոիդների քիմիայի ամբիոնի դոցենտ Գ. Գրիգորյանին՝ խնդրագրքի մանրակրկիտ գրախոսման և առաջարկությունների համար:

ԳԼՈՒԽ 1. ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՀԱՍԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ: ԻԴԵԱԼԱԿԱՆ ԵՎ ԻՐԱԿԱՆ ԳԱԶԵՐ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Քիմիական թերմոդինամիկան ֆիզիկական քիմիայի մի բաժինն է, որտեղ թերմոդինամիկական եղանակներն օգտագործվում են քիմիական և ֆիզիկաքիմիական երևույթների՝ քիմիական ռեակցիաների, ֆազային անցումների, լուծույթներում ընթացող գործընթացների ուսումնասիրության համար:

Թերմոդինամիկայի առարկան այն համակարգն է, որն առանձնացված է արտաքին միջավայրից իրական կամ երևակայական մակերևույթով և ի վիճակի է այլ մարմինների հետ փոխանակվելու էներգիայով և (կամ) նյութով:

Համակարգերը լինում են բաց, փակ և մեկուսացված:

- Բաց համակարգը կարող է շրջապատի հետ փոխանակվել էներգիայով և նյութով:
- Փակ համակարգը կարող է շրջակա միջավայրի հետ փոխանակվել միայն էներգիայով:
- Մեկուսացված համակարգը շրջապատի հետ չի կարող փոխանակվել ո՛չ էներգիայով, ո՛չ նյութով:

Պարամետրը համակարգի վիճակը քանակապես բնութագրող ֆիզիկաքիմիական մեծությունն է: Տարբերում են էքստենսիվ և ինտենսիվ պարամետրեր:

- Էքստենսիվ են այն պարամետրերը, որոնք ուղիղ համեմատական են համակարգի զանգվածին կամ մասնիկների թվին, օրինակ՝ ծավալը՝ V, էներգիան՝ U, էնտրոպիան՝ S, ջերմունակությունը՝ C:

- Ինտենսիվ պարամետրերը կախված չեն համակարգի զանգվածից կամ մասնիկների թվից, օրինակ՝ ջերմաստիճանը՝ T, խտությունը՝ ρ , ճնշումը՝ p:

Բոլոր մոլային մեծությունները ինտենսիվ պարամետրեր են (V_m = V/n, C_m և այլն):

Իդեալական գազի *վիճակի (Մենդելեև-Կլապեյրոնի) հավասարումն է (1.1).*

$$pV = nRT \tag{1.1}$$

որտեղ n-ը նյութաքանակն է՝ արտահայտված մոլով, R-ը՝ գազային հաստատունը, որի միավորը ՍԻ համակարգում Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$-ն է:

$$R = 8.314 \text{ Ջ մոլ}^{-1}\text{ Կ}^{-1}$$

Որոշ խնդիրներում կարող են օգտագործվել նաև այլ միավորներով.

$$R = 0.082 \text{ լ մթն մոլ}^{-1}\text{ Կ}^{-1}, \quad R = 1.987 \text{ կալ մոլ}^{-1}\text{ Կ}^{-1}$$

Եթե գազի ճնշումը և ծավալը տրված են Պա-ով և մ^3-ով, ապա գործածվում է R-ի 8.314 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, իսկ եթե լ-ով և մթն-ով, ապա՝ 0.082 լ մթն մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ արժեքը:

Ստանդարտ պայմաններ (standard temperature and pressure, STP)՝ 273.15 Կ (0 ^{o}C), 1.013×10^5 Պա (1 մթն):

Ներկայացնենք նաև որոշ այլ օրինաչափություններ և առնչություններ:

Բոյլ-Մարիոտի օրենքը՝

$$p_1V_1 = p_2V_2 \qquad (T = \text{const})$$

Գեյ-Լյուսակի ՝

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const} \qquad (p = \text{const})$$

Շառլի օրենքը՝

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{const} \qquad (V = \text{const})$$

Ավոգադրոյի օրենքը՝

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (p, T = \text{const})$$

Գազի հաստատուն քանակության համար կարելի է օգտագործել նաև համակցված առնչությունը՝

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Դալթոնի օրենքը՝ $p_{ընդ} = p_1 + p_2 + \cdots + p_i$, որտեղ $p_{ընդ}$-ը համակարգի ընդհանուր ճնշումն է, իսկ p_i-ն i-րդ գազի պարցիալ ճնշումն է:

Իրական գազերի նկարագրության համար օգտագործվում են վանդերվալսյան (1.2), (1.3) և (1.4) հավասարումները.

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad \text{n մոլի համար} \qquad (1.2)$$

a (չափողականությունը՝ $լ^2$ մթն $մոլ^{-1}$) և b (լ $մոլ^{-1}$) վանդերվալսյան հաստատուններն են:

1 մոլի դեպքում մոլային ծավալը՝ $V_m = \dfrac{V}{n}$

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT \quad \text{1 մոլի համար} \qquad (1.3)$$

Իրական գազի՝ իդեալական վարքագծից ունեցած շեղման չափը որոշվում է սեղմելիության գործոնով (Z).

$$Z = pV/nRT \qquad (1.4)$$

Իդեալական գազի համար՝ Z = 1:

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Գազի ծավալի վերածումը ստանդարտ պայմանների

Խնդիր 1. Ի՞նչ ծավալ կզբաղեցնի 50 °C ջերմաստիճանում և 0.954×10^5 Պա ճնշման տակ գտնվող 4×10^{-4} մ³ գազը ստանդարտ պայմաններում:

Լուծում: Վիճակի հավասարումից ստանանք անհրաժեշտ հավասարումը երկու պայմանի համար՝ ստանդարտ պայմանի պարամետրերը նշանակելով (o) դասիչով:

$T = t + 273.15 = 50 + 273.15 = 323.15$ Կ

$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{pV}{T}$$

$$V_0 = \frac{T_0pV}{p_0T} = \frac{273.15\text{Կ} \times 0.954 \times 10^5\text{Պա} \times 4 \times 10^{-4}\text{մ}^3}{1.013 \times 10^5\text{Պա} \times 323.15\text{Կ}} = 3.184 \times 10^{-4}\text{մ}^3$$

Պատ.՝ 3.184×10^{-4} մ³:

Գազի հարաբերական խտության որոշումը մոլային զանգվածի միջոցով

Ավոգադրոյի օրենքից բխում է, որ գազի հարաբերական խտությունը (D) ըստ մի այլ գազի հավասար է այդ երկու գազերի (նշանակենք 1 և 2 դասիչներով) մոլային զանգվածների (նույնն է թե խտությունների՝ ρ կամ նույն ծավալով զանգվածների՝ m) հարաբերությանը: M-ը կարող է արտահայտել ինչպես գազի հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը, այնպես էլ գազի մոլային զանգվածը:

$$D_2(1) = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1 / V_m}{M_2 / V_m} = \frac{M_1}{M_2}$$

Խնդիր 2. Որոշել բութանի խտությունն ըստ ջրածնի և օդի:

Լուծում: Հիշենք, որ $M_{r,օդ} = 29$:

$$D_{H_2}(C_4H_{10}) = \frac{M_{C_4H_{10}}}{M_{H_2}} = \frac{58}{2} = 29 \qquad D_{օդ}(C_4H_{10}) = \frac{M_{C_4H_{10}}}{M_{օդ}} = \frac{58}{29} = 2$$

Պատ.՝ 29 և 2:

Գազային խառնուրդի ծավալային բաղադրության որոշումը խառնուրդի հարաբերական խտության միջոցով

Խնդիր 3. Տրված է ածխածնի(IV) օքսիդից և ազոտից բաղկացած 40 լ գազային խառնուրդ (ն.պ.): Որոշել խառնուրդի՝

ա) ծավալային բաղադրությունը (%), եթե խառնուրդի խտությունն ըստ հելիումի 7.8 է,

բ) զանգվածը:

Լուծում: ա)$\mathrm{M(խ) = D_{He}(խ) \times M(He) = 7.8 \times 4 = 31.2\ գ/մոլ}$

Օգտվենք գազային խառնուրդի միջին մոլային զանգվածի որոշման այն բանաձևից, որը կապված է ծավալների հետ․

$$\mathrm{M(խ) = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2}} \qquad \mathrm{31.2 = \frac{44V_1 + 28(40 - V_1)}{40}}$$

որտեղից $V(CO_2) = 8$ լ, $V(N_2) = 32$ լ:

$$\varphi(CO_2) = (8/40) \times 100\% = 20\% \qquad \varphi(N_2) = 100 - 20 = 80\%$$

բ) n = 1 մոլ իդեալական գազի համար՝

$$\mathrm{V_m = \frac{nRT}{p} = \frac{1մոլ \times 0.082\ լ\ մթն\ Կ^{-1}\ մոլ^{-1} \times 273.15Կ}{1մթն} = 22.4\ լ/մոլ}$$

$$\mathrm{M = \frac{V(խ)}{V_m} M(խ) = \frac{40լ}{22.4լ\ մոլ^{-1}} \times \frac{31.2գ}{մոլ} = 55.71\ գ}$$

Պատ.՝ ա) 20 % CO_2, 80 % N_2, բ) 55.71 գ:

Տրված ծավալով գազի մոլային զանգվածի որոշումը

Խնդիր 4. 11 գ զանգվածով գազը 20 °C ջերմաստիճանում և $2.53{\times}10^4$ Պա ճնշման տակ զբաղեցնում է $2.408{\times}10^{-2}$ մ³ ծավալ: Որոշել գազի մոլային զանգվածը:

Լուծում: Անհրաժեշտ է օգտվել իդեալական գազի վիճակի հավասարումից.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{11 \times 10^{-3}\text{կգ} \times 8.314\text{Ջ}\text{Կ}^{-1}\text{մոլ}^{-1} \times 293.15\text{Կ}}{2.53 \times 10^{4}\text{Պա} \times 2.408 \times 10^{-2}\text{մ}^3}$$
$$= 44 \times 10^{3}\text{կգ/մոլ} = 44\text{գ/մոլ}$$

Պատ.՝ 44 գ/մոլ:

Գազի պարցիալ ճնշման որոշումը գազային խառնուրդում

Խնդիր 5. 10 լ ծավալով գլանանոթում 27°C ջերմաստիճանում գտնվում է 24 գ թթվածնի և 22 գ ածխաթթու գազի խառնուրդ: Որոշել՝

ա) գազերի պարցիալ ճնշումները,

բ) ընդհանուր ճնշումը:

Լուծում: ա)

T = t + 273.15 = 27 + 273.15 = 300.15 K

$$p_{O_2} = \frac{n_{O_2}RT}{V} = \frac{24\text{գ} \times 0.082\text{ լ մթն Կ}^{-1}\text{ մոլ}^{-1} \times 300.15\text{Կ}}{32\text{ գ մոլ}^{-1} \times 10\text{ լ}} = 1.846\text{մթն}$$

$$p_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}RT}{V} = \frac{22\text{գ} \times 0.082\text{ լ մթն Կ}^{-1}\text{ մոլ}^{-1} \times 300.15\text{ Կ}}{44\text{ գ մոլ}^{-1} \times 10\text{լ}}$$
$$= 1.231\text{մթն}$$

բ) Համաձայն Դալթոնի օրենքի՝

$$p_{ընդ} = p_{O_2} + p_{CO_2} = 1.846 + 1.231 = 3.077 \text{ մթն}$$

Պատ.՝ ա) 1.846 մթն, 1.231 մթն, բ) 3.077 մթն:

Վանդերվալսյան պարամետրերի և սեղմելիության գործոնի որոշումը

Խնդիր 6. Մի ինչ-որ գազ ենթարկվում է Վան-դեր-Վալսի հավասարմանը, ընդ որում՝ $a = 0.76$ մ^6 Պա մոլ$^{-2}$: Պարզվել է, որ դրա մոլային ծավալը 288 Կ-ում և 4.0 ՄՊա ճնշման պայմաններում 4.00×10^{-4} մ^3 մոլ$^{-1}$ է: Հաշվել նշված հավասարման b պարամետրը: Ինչի՞ է հավասար այդ գազի սեղմելիության գործոնը նշված պայմաններում:

Լուծում: Հաշվենք Վան-դեր-Վալսի հավասարման b պարամետրը.

$$\left(p + \frac{a}{V_m^{\ 2}}\right)(V_m - b) = RT$$

$$b = V_m - \frac{RT}{p + a/V_m^2}$$
$$= 4 \times 10^{-4} \text{մ}^3 \text{մոլ}^{-1}$$
$$- \frac{8.314 \text{ Ջմոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1} \times 288\text{Կ}}{4 \times 10^6 \text{ Պա} + 0.76 \text{ մ}^3 \times \text{Պա} \times \dfrac{\text{մոլ}^{-2}}{\left(4 \times 10^{-4} \text{ մ}^3 \text{մոլ}^{-1}\right)^2}}$$
$$= 2.19 \times 10^{-4} \text{մ}^3 \text{մոլ}^{-1}$$

Սեղմելիության գործոնը նշված պայմաններում կլինի՝

$$Z = \frac{pV}{RT} = \frac{4 \times 10^6 \text{ Պա} \times 4 \times 10^{-4} \text{մ}^3 \text{մոլ}^{-1}}{8.314 \text{ Ջմոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1} \times 288\text{Կ}} = 0.67$$

Պատ.՝ $b = 2.19 \times 10^{-4}$ մ^3 մոլ$^{-1}$, $Z = 0.67$:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

1-1. 1.0×10^{-3} մ^3 ծավալով գազային պարզ նյութի (ստանդարտ պայմաններ) զանգվածը 1.251×10^{-3} կգ է: Հաշվել այդ գազի խտությունն ըստ ջրածնի և օդի:

1-2. 0.5×10^{-3} մ^3 գազի (ստանդարտ պայմաններ) զանգվածը 1.806×10^{-3} կգ է: Որոշել այդ գազի հարաբերական մոլեկուլային զանգվածը և խտություններն ըստ ածխածնի (IV) օքսիդի ու մեթանի:

1-3. Գազի խտությունն ըստ օդի 2.562 է: Հաշվել 1.0×10^{-3} մ^3 ծավալով այդ գազի զանգվածը:

1-4. Ջրածնից և թթվածնից բաղկացած գազային խառնուրդի խտությունն ըստ ջրածնի 12.5 է: Հաշվել թթվածնի ծավալային բաժինը (%) տրված խառնուրդում:

1-5. Առաձգական նյութից պատրաստված գնդակի սկզբնական ծավալը 1 մթն ճնշման տակ և 300 Կ ջերմաստիճանում եղել է 1.2 լ: Գնդակը բարձրացրել են ստրատոսֆերա, որտեղ ջերմաստիճանը 250 Կ է, իսկ ճնշումը՝ 3×10^{-3} մթն: Որքա՞ն կդառնա գնդակի ծավալը:

1-6. Ջրածնի խտությունը ստանդարտ պայմաններում 0.0899 գ/լ է: Ի՞նչ ճնշում պետք է գործադրել, որպեսզի դրա խտությունը նույն ջերմաստիճանում հասնի 1 գ/լ-ի:

1-7. Մինչև ո՞ր ջերմաստիճանը պետք է տաքացնել 15 $^\circ$C ջերմաստիճանում բաց ծորակով անոթում գտնվող գազը, որպեսզի մնա սկզբնական նյութաքանակի 1/4-ը:

1-8. Արտաշնչված օդը պարունակում է 5.4 % CO_2, 15.2 % O_2 (ըստ ծավալի): Որոշել այդ գազերի պարցիալ ճնշումները արտաշնչված օդում, եթե վերջինիս ընդհանուր ճնշումը 0.94 մթն է: Նկատի ունենալ, որ արտաշնչված օդը հագեցած է ջրային գոլորշիով, և որ մարմնի ջերմաստիճանում (310 Կ) դրա պարցիալ ճնշումը 4 մմ ս.ս. է:

1-9. Ի՞նչ ծավալով ացետիլեն կարելի է ստանալ 1.6 կգ մաքուր կալցիումի կարբիդից 17 ^oC ջերմաստիճանում և 720 մմ ս.ս. ճնշման պայմանում:

1-10. Մառախուղի ձևով քանի՞ գրամ քլորպիկրին (CCl_3NO_2) կարող է անջատվել, եթե դրանով հագեցած 1 $մ^3$ օդը սառեցվի 30-ից մինչև 15 ^oC ջերմաստիճան: P_{15}= 13.9 մմ ս.ս., P_{30}= 30.8 մմ ս.ս.:

1-11. Որոշել՝ արգոնի որքան ծավալում 20 ^oC և 1333 Պա պայմաններում կպարունակվի 5×10^{16} «մոլեկուլ»:

1-12. 10.5 լ արգոնով լցված օդապարիկը 18 ^0C ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ մթնոլորտում հասնում է այնպիսի բարձրության, որտեղ ճնշումը 278 տոր է, իսկ ջերմաստիճանը՝ -30.5 ^0C: Հաշվել օդապարիկի վերջնական ծավալը:

1-13. 6 լ տարողություն ունեցող պահեստարանում իրարից պատնեշով առանձնացված բաժանմունքներում առկա են հետևյալ գազերը: He-ը գտնվում է 1.5 մթն ճնշման տակ և զբաղեցնում է 2 լ ծավալ, Ne-ը՝ 2.5 մթն ճնշման տակ և զբաղեցնում է 3 լ ծավալ, Xe-ը՝ 1 մթն ճնշման տակ և զբաղեցնում է 1 լ ծավալ: Դիտելով գազերը որպես իդեալական՝ հաշվել ընդհանուր ճնշումը և առանձին գազերի պարցիալ ճնշումները 298 Կ ջերմաստիճանում պատնեշները հանելուց հետո:

1-14. Մեկ վայրկյանում թթվածնի քանի մոլեկուլ է հասնում մարդու օրգանիզմի յուրաքանչյուր միտոքոնդրիումին: Օգտագործել հետևյալ տվյալները. թթվածնի ծախսը մեկ րոպեում 300 Կ ջերմաստիճանում, 1 մթն ճնշման տակ մարդու մեկ կիլոգրամ քաշին կազմում է մոտ 40 մլ: 64 կգ միջին քաշով մարդն ունի մոտ 10^{12} բջիջ, իսկ յուրաքանչյուր բջիջ պարունակում է 800 միտոքոնդրիում:

1-15. Նորմալ շնչառության ժամանակ մարդը 1 մթն ճնշման տակ և 293 Կ ջերմաստիճանում ներշնչում է 0.5 լ օդ: Օդի թթվածնի մոտ 25 %-ը կլանվում է թոքերում և մտնում արյան շրջանառության մեջ: Քանի՞ մոլ թթվածին կկլանի օրգանիզմը մեկ րոպեի ընթացքում, եթե այդ ժամանակահատվածում իրականացվում է 18 ներշնչում: Թթվածնի մոլային բաժինն օդում ընդունել 0.21:

1-16. 0.5 $մ^3$ ծավալ ունեցող առաջին անոթը լցված է ջրածնով 20.5 ^0C ջերմաստիճանում և 611×10^3 Պա ճնշման տակ, իսկ 0.75 $մ^3$ ծավալով երկրորդ անոթը՝ արգոնով 31.2 ^0C ջերմաստիճանում և 433×10^3 Պա ճնշման տակ: Անոթները միացնող ծորակը բացելուց հետո գազերը սառեցվել են մինչև 14.5 ^0C ջերմաստիճան: Որքա՞ն է դարձել վերջնական ճնշումն անոթներում:

1-17. Նորմալ շնչառության ժամանակ մարդը մեկ ժամում արտաշնչում է մոտ 500 լ օդ, որը հագեցած է ջրային գոլորշիով 310 Կ ջերմաստիճանում: Այդ ջերմաստիճանում ջրային գոլորշու ճնշումը 0.062 մթն է: Նշված գոլորշին համարելով իդեալական գազ՝ հաշվել մեկ ժամում արտաշնչված ջրային գոլորշու զանգվածը:

1-18. Խմորասնկերը և մի շարք միկրոօրգանիզմներ կարող են գլյուկոզը վերածել էթանոլի: Սպիրտային խմորման ռեակցիան ունի հետևյալ տեսքը՝

$$C_6H_{12}O_{6(պ)} \rightarrow 2C_2H_5OH_{(հ)} + 2CO_{2(գ)}$$

Հաշվել, թե ինչ զանգվածով գլյուկոզ է անհրաժեշտ, որպեսզի 1 մթն ճնշման տակ և 300 Կ ջերմաստիճանում առաջանա 10^{-3} $մ^3$ ածխաթթու գազ:

1-19. Հաշվել 1 մթն ճնշման տակ և 310 Կ ջերմաստիճանում 0.25 գ ալանինի (CH_3CHNH_2COOH) լրիվ օքսիդացման ժամանակ անջատված գազերի ծավալը, եթե ռեակցիայի արգասիքներն են հեղուկ ջուրը, ազոտը և ածխածնի(IV) օքսիդը:

1-20. Ստրատոսֆերայում օզոնի մոլեկուլները կլանում են արևի վնասակար ճառագայթման մեծ մասը: Այդ տիրույթում օզոնի պարցիալ ճնշումը 250 Կ ջերմաստիճանում հավասար է 1×10^{-3} մթն: Որքա՞ն օզոնի մոլեկուլ է պարունակում այդ պայման-ներում 1 լ օդը:

1-21. Ազոտն առաջացնում է տարբեր գազային օքսիդներ, որոնցից մեկի խտությունը 1.27 գ/լ է՝ չափված 764 մմ ս.ս. և 150 ^0C ջերմաստիճանում: Որոշել ազոտի օքսիդի բանաձևը:

1-22. Իդեալական գազը 1.8×10^5 Պա ճնշման տակ զբաղեց-նում է 0.3 դմ^3 ծավալ: Ի՞նչ ծավալ կզբաղեցնի գազը նույն ջերմաս-տիճանում, եթե ճնշումը նվազի մինչև 1.15×10^5 Պա:

1-23. 150 կՊա ճնշման տակ և 298 Կ ջերմաստիճանում իդե-ալական գազի խտությունը 1.9 գ դմ$^{-3}$ է: Հաշվել տվյալ գազի մո-լային զանգվածը:

1-24. 101.325 կՊա ճնշման տակ և 298.15 Կ ջերմաստիճանում օդի խտությունը 1.159 գ դմ$^{-3}$ է: Հաշվել օդի մոլային զանգվածը՝ դիտելով օդը որպես իդեալական գազ:

1-25. 2.5 լ տարողության մեջ 25 ^0C ջերմաստիճանում ներ-մուծվել է 100 գ ազոտ և 100 գ ածխաթթու գազ: Հաշվել առաջա-ցած խառնուրդում ազոտի մոլային բաժինը և պարցիալ ճնշումը: Որքա՞ն է համակարգի լրիվ ճնշումը /մթն/:

1-26. Գլյուկոզի օքսիդացման ռեակցիան աերոբ պայմաննե-րում հետևյալն է՝

$$C_6H_{12}O_{6(պ)} + 6O_{2(գ)} \rightarrow 6CO_{2(գ)} + 6H_2O_{(հ)}$$

Հաշվել թթվածնի ծավալը 1 մթն ճնշման տակ և 273 Կ ջեր-մաստիճանում, որն անհրաժեշտ է 0.01 կգ գլյուկոզի օքսիդացման համար:

1-27. 1.5 մոլ ջրածնից և 2.5 մոլ ազոտից բաղկացած գազային խառնուրդը 5 ^0C ջերմաստիճանում զբաղվում է 30.4 լ ծավալ: Հաշվել խառնուրդի ընդհանուր ճնշումը և յուրաքանչյուր գազի պարցիալ ճնշումը:

1-28. 1 մթն ճնշման տակ և 34.4 ^{0}C ջերմաստիճանում չոր օդի խտությունը 1.15 գ/լ է: Հաշվել օդի բաղադրությունն ըստ զանգվածային բաժնի /%/՝ ընդունելով, որ օդը բաղկացած է միայն թթվածնից և ազոտից, որոնց վարքը մոտ է իդեալականին:

1-29. Ջրասուզակներն օգտագործում են թթվածնից և հելիումից բաղկացած խառնուրդ: Հաշվել թթվածնի ծավալային բաժինը նշված խառնուրդում, եթե ջրասուզակը իջնում է մինչև այնպիսի խորություն, որտեղ ընդհանուր ճնշումը 4.2 մթն է: Թթվածնի պարցիալ ճնշումն այդ խորությունում 0.2 մթն է:

* * *

1-30. *n* մոլ թթվածնից, 1.5 մոլ ջրածնից և 1 մոլ ազոտից բաղկացած գազային խառնուրդը 20 ^{o}C ջերմաստիճանում և 3.2 մթն ճնշման տակ զբաղվում է 30 լ ծավալ: Հաշվել խառնուրդում թթվածնի նյութաքանակը և յուրաքանչյուր գազի պարցիալ ճնշումը:

1-31. Գլանանոթում 120 մթն ճնշման տակ գտնվում է 8 կգ թթվածին: Գազի որոշ քանակ ծախսելուց հետո ճնշումը դարձել է 27 մթն: Որոշել ծախսված թթվածնի զանգվածը:

1-32. 1.7 գ ծծմբաջրածինը 1 մթն ճնշման տակ և 945 ^{o}C ջերմաստիճանում զբաղվում է 5.384 լ ծավալ: Հաշվել ծծմբաջրածնի ջերմային դիսոցման աստիճանը, եթե ռեակցիան ընթանում է ըստ հետևյալ հավասարման՝ $H_2S = H_2 + 1/2S_2$ (գոլորշի):

1-33. Ջրի էլեկտրոլիզից ստացված 43.2 գ շառաչող գազը գազաչափում 17 ^{o}C ջերմաստիճանում զբաղվում է 72 լ ծավալ: Հաշվել թթվածնի և ջրածնի պարցիալ ճնշումները:

1-34. Մթնոլորտային ստանդարտ ճնշումը սահմանված է որպես միավոր մակերեսի վրա 760 մմ սնդիկի սյան ցուցաբերած ուժը 0 ^{0}C ջերմաստիճանում. սնդիկի խտությունը 0 ^{0}C-ում 13.59511 գ սմ$^{-3}$ է: Հաշվել 1 մթն ճնշման արժեքը՝ արտահայտված կՊա-ով, եթե ազատ անկման արագացումը 9.80665 մ վ$^{-2}$ է:

1-35. Ի՞նչ ճնշման տակ կգտնվի 0.25 մոլ քլոր գազը 273 Կ ջերմաստիճանում, եթե դրա ծավալը 8×10^{-4} մ^3 է: Քլորը դիտել՝ ա) որպես իդեալական գազ, բ) որպես իրական գազ: Վան-դեր-Վալսի հաստատուններն են՝ a=6.579 լ^2 մթն մոլ$^{-2}$, b=0.0562 լ մոլ$^{-1}$:

1-36. Որոշել նյութի մոլեկուլային զանգվածը և բանաձևը, եթե դրա գոլորշու խտությունը 373 Կ-ում և 1.013×10^5 Պա ճնշման պայմանում 2.55 գ/լ է: Այդ միացությունում տարրերի զանգվածային հարաբերությունը այսպիսին է՝ m(C):m(H) =12:1:

1-37. Որտե՞ղ ավելի շատ մոլեկուլ կա՝ 1 լ քլորու՞մ, որը գտնվում է 23 ^{o}C և 98 500 Պա պայմաններում, թե՞ 55 ^{o}C և 106 000 Պա պայմաններում գտնվող 1 լ ածխածնի(IV) օքսիդում:

1-38. Ի՞նչ զանգվածով ածխածնի(IV) օքսիդը 5.066×10^5 Պա և 323 Կ պայմաններում կզբաղեցնի այնքան ծավալ, որքան զբաղեցնում է 1 գ հելիումը 1.013×10^4 Պա ճնշման տակ և 273.15 Կ ջերմաստիճանում: Որքա՞ն են հիշյալ գազերի խտությունները նշված պայմաններում:

1-39. Հետևյալ զանգվածային բաղադրությամբ՝ 67% Cl_2, 28% Br_2, 5% O_2, գազային խառնուրդի համար որոշել՝ ա) ծավալային բաղադրությունը, բ) բաղադրիչների պարցիալ ճնշումները, գ) 1 կգ խառնուրդի ծավալը: Ընդհանուր ճնշումը 1.013×10^5 Պա է, ջերմաստիճանը՝ 373 Կ:

1-40. Անոթում 25 ^{o}C-ում 0.182 մոլ գազային թթվածինը ստեղծում է 1.50 մթն ճնշում: Ի՞նչ նյութաքանակով թթվածին է անհրաժեշտ նույն անոթում 100 ^{o}C ջերմաստիճանում 17.2 մթն ճնշում ստեղծելու համար:

1-41. Հաշվել 273 Կ-ում 0.448×10^{-3} մ^3 ծավալ զբաղեցնող 1 մոլ ջրածնի ճնշումը: Վանդերվալսյան հաստատուններն են՝ a = 0.244 մթն լ^2 մոլ$^{-2}$, b = 0.27 լ մոլ$^{-1}$:

1-42. Հաշվել 485 Կ-ում և 1.85 լ ծավալ զբաղեցնող 1 մոլ հագեցած ջրային գոլորշու ճնշումը: a և b հաստատունները հավասար են, համապատասխանաբար, 5.464 մթն լ^2 մոլ$^{-2}$ և 0.03 լ մոլ$^{-1}$:

1-43. Հաշվել 40 ^oC ջերմաստիճանում 0.381 լ ծավալ զբաղեցնող 1 մոլ ածխածնի(IV) օքսիդի ճնշումը, եթե ածխաթթու գազը դիտվի որպես՝ ա) իդեալական գազ, բ) իրական գազ, որի վանդերվալսյան հաստատուններն են՝ 3.6 մթն լ^2 մոլ$^{-2}$, 0.0428 լ մոլ$^{-1}$:

1-44. Գազի մոլային ծավալը 250 Կ-ում և 15 մթն ճնշման տակ 12 %-ով փոքր է իդեալական գազի վիճակի հավասարումով հաշվածից: Որոշել՝ ա) սեղմելիության գործոնն այդ պայմաններում, բ) գազի մոլային ծավալը: Ինչպիսի՞ ուժեր են գերակշռում այդ դեպքում՝ ձգողությա՞ն, թե՞ վանողության:

1-45. 10.0 մոլ էթանը տեղավորել են 4.860 լ ծավալով անոթում 27 ^oC-ում: Գնահատել այդ գազի ստեղծած ճնշման արժեքը՝ ելնելով՝ ա) իդեալական գազի, բ) վիճակի Վան-դեր-Վալսի հավասարումից (a = 5.562 մթն լ^2 մոլ$^{-2}$, b = 0.0638 լ մոլ$^{-1}$): Հաշվել նաև սեղմելիության գործոնը:

1-46. Որոշ արդյունաբերական գործընթացում ազոտը տաքացնում են մինչև 500 Կ 1000 մ^3 ծավալով փոխարկիչում: Վերջինիս մեջ լցնում են ազոտ՝ 300 Կ և 100 մթն պայմաններում, որի զանգվածը 92.4 կգ է: Օգտագործելով Վան-դեր-Վալսի հավասարումը՝ որոշել փոխարկիչում գազի մոտավոր ճնշումը աշխատանքային ջերմաստիճանում՝ 500 Կ: Նշված հավասարման պարամետրերն են՝ a = 1.408 մթն լ^2 մոլ$^{-2}$, b = 39.13 սմ^3 մոլ$^{-1}$:

1-47. Ջրային գոլորշու խտությունը 327.6 մթն և 776.4 Կ պայմաններում 133.2 գ լ$^{-1}$ է: Որոշել՝ ա) ջրի մոլային ծավալը՝ V_m, և սեղմելիության գործոնը՝ Z, բ) Z-ը՝ Վան-դեր-Վալսի հավասարումից, որի պարամետրերն են՝ a = 5.536 մթն $լ^2$ $մոլ^{-2}$, b = 30.49 $սմ^3$ $մոլ^{-1}$:

1-48. Ֆոտոսինթեզի ընթացքում 298 Կ ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ 1 $մ^2$ անտառը կլանում է 1 կգ ածխածին: Ենթադրելով, որ օդում CO_2-ի զանգվածային բաժինը 0.046 % է, ի՞նչ ծավալով օդ է անհրաժեշտ 1 կգ ածխածին կապելու համար: Օդը դիտել խառնուրդ՝ բաղկացած 20 % թթվածնից և 80 % ազոտից՝ ըստ զանգվածի:

1-49. Թթվածնով հագեցած մեկ լիտր արյունը 273 Կ ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ կարող է տեղափոխել 0.2 լ թթվածին: Հաշվել 1 լ արյան կողմից տեղափոխված թթվածնի մոլեկուլների թիվը: Հեմոգլոբինը՝ արյան մեջ թթվածին տեղափոխող սպիտակուցը, կարող է միաժամանակ կրել 4 մոլեկուլ թթվածին: Որքա՞ն հեմոգլոբինի մոլեկուլ է անհրաժեշտ 1 լ արյան մեջ եղած թթվածինը տեղափոխելու համար:

1-50. 3.5 լ տարողությունում 5.2 ^0C ջերմաստիճանում գտնվում է հետևյալ գազային խառնուրդը՝ 2.5×10^{-3} գ O_2, 3.51×10^{-3} մոլ N_2 և 4.67×10^{20} մոլեկուլ CO: Հաշվել՝ ա) այդ համակարգի ընդհանուր ճնշումը, բ) յուրաքանչյուր գազի մոլային բաժինը և պարցիալ ճնշումը նշված խառնուրդում:

1-51. Գազը ենթարկվում է Վան-դեր-Վալսի հավասարմանը՝ a = 7.6 $լ^2$ մթն $մոլ^{-2}$: 15 ^0C ջերմաստիճանում և 4053 կՊա ճնշման տակ այդ գազի մոլային ծավալը 0.4 լ $մոլ^{-1}$ է: Հաշվել գազի b հաստատունը:

1-52. Որքա՞ն ճնշում /մթն/ կստեղծի արգոնը 300 Կ ջերմաստիճանում և 1.42 լ/մոլ մոլային ծավալի պայմաններում, եթե արգոնի Վան-դեր-Վալսի հաստատուններն են՝ a=1.355 մթն $դմ^3$ $մոլ^{-2}$, b=0.032 $դմ^3$ $մոլ^{-1}$: Նշված պայմաններում ի՞նչ ուժեր են գերակշռում՝ ձգողությա՞ն, թե՞ վանողության:

1-53. Ներշնչման ժամանակ թթվածինը թոքերի ալվեոլներից դիֆուզվում է արյան մեջ: Ալվեոլի միջին շառավիղը 0.005 սմ է, թթվածնի քանակը ալվեոլում (օդում)՝ 14 % է: Ենթադրելով, որ նշված միավորում ճնշումը 1 մթն է և ջերմաստիճանը 37 ^{0}C, հաշվել թթվածնի մոլեկուլների թիվը մեկ ալվեոլում:

1-54. 1.5 սմ շառավղով օդի պղպջակը ծովի հատակից, որտեղ ջերմաստիճանը 8.4 ^{0}C է, իսկ ճնշումը՝ 2.8 մթն, բարձրանում է ծովի մակերևույթ, որտեղ ջերմաստիճանը 25 ^{0}C է, իսկ ճնշումը՝ 1 մթն: Հաշվել պղպջակի շառավիղը ծովի մակերևույթին:

ԳԼՈՒԽ 2. ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ԱՌԱՋԻՆ ՕՐԵՆՔԸ: ՋԵՐՄԱՔԻՄԻԱ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Թերմոդինամիկայի առաջին օրենքը նույն էներգիայի պահպանման օրենքն է, որը կարելի է ձևակերպել այսպես:

1. Մեկուսացված համակարգում ներքին էներգիան հաստատուն է:

2. Ոչ մեկուսացված համակարգում ներքին էներգիան կարող է փոխվել՝ ա) աշխատանք կատարելով շրջապատի նկատմամբ կամ շրջապատի կողմից համակարգի նկատմամբ, բ) ջերմափոխանակություն իրականացնելով շրջապատի հետ:

Առաջին օրենքի մաթեմատիկական ձևակերպումն է՝

$$dU = \delta Q + \delta W \qquad\qquad \Delta U = Q + W \qquad (2.1)$$

որտեղ U-ն ներքին էներգիան է, Q-ն՝ ջերմությունը, W-ն՝ աշխատանքը:

Ջերմությունը և աշխատանքը, ի տարբերություն էներգիայի, վիճակի ֆունկցիաներ չեն և, հետևաբար, կախված են գործընթացի ուղուց:

IUPAC-ի (International Union of Pure and Applied Chemistry, Մաքուր և կիրառական քիմիայի միջազգային միություն) որոշման համաձայն դրական է համարվում այն աշխատանքը, որը կատարում է շրջապատը համակարգի նկատմամբ, քանի որ նպաստում է համակարգի ներքին էներգիայի մեծացմանը: Ծավալային աշխատանքը (այլ կերպ՝ pV-աշխատանքը) ներկայացվում է հետևյալ հավասարումներով.

$$\delta W = -pdV \qquad W = -\int_{V_1}^{V_2} pdV \qquad (2.2)$$

Իդեալական գազի մասնակցությամբ կատարվող աշխատանքի և ջերմության բանաձևերը, որոնց հիմքում գազի վիճակի հավասարումն է՝ pV=nRT՝ կախված գործընթացի ուղուց, ներկայացված են աղ. 1-ում:

Աղյուսակ 1

Աշխատանքի և ջերմության որոշման բանաձևերը տարբեր գործընթացներում

Գործընթաց	Աշխատանք՝ W	Ջերմություն՝ Q
Իզոբար դարձելի ընդարձակում	$p(V_1–V_2)$	$nC_{p,m}(T_2–T_1)$
Իզոթերմ դարձելի ընդարձակում	$nRTln(V_1/V_2)$	$nRTln(V_2/V_1)$
Ադիաբատ դարձելի ընդարձակում	$nC_{v,m}(T_2–T_1)$	0
Իզոխոր տաքացում	0	$nC_{v,m}(T_2–T_1)$

Քիմիական ռեակցիայի ջերմությունը հաստատուն ճնշման և ծավալի պայմաններում արտահայտվում է հետևյալ բանաձևերով.

$$\Delta H = H_{\text{վերջ}} – H_{\text{սկզբ}} \ (p=const), \quad \Delta U = U_{\text{վերջ}} – U_{\text{սկզբ}} \ (V=const) \quad (2.3)$$

որտեղ H-ը համակարգի էնթալպիան է (H=U+pV), իսկ U-ն՝ ներքին էներգիան:

Թերմոդինամիկայի առաջին օրենքից հետևում է, որ ջերմությունը դառնում է վիճակի ֆունկցիա, եթե գործընթացն իրականանում է կամ իզոբար, կամ իզոխոր պայմաններում.

$$Q_p = \Delta H \qquad Q_v = \Delta U \qquad (2.4)$$

Քիմիական ռեակցիայի որևէ թերմոդինամիկական մեծության փոփոխությունը նշանակում են (r) դասիչով, օրինակ՝ $\Delta_r H$, $\Delta_r U$, $\Delta_r C$ և այլն:

Եթե ռեակցիայում մասնակցում են գազեր, ապա հաստատուն ջերմաստիճանի պարագայում ստացվում է հետևյալ հավասարումը.

$$\Delta_r H = \Delta_r U + \Delta(pV) = \Delta_r U + \Delta \nu RT \qquad (2.5)$$

որտեղ $\Delta\nu$-ն գազային վերջնանյութերի և ելանյութերի քանակաչափական գործակիցների տարբերությունն է:

Եթե ռեակցիան ընթանում է լուծույթում կամ պինդ ֆազում, ապա՝

$$\Delta_r H = \Delta_r U + \Delta_r(pV) \approx \Delta_r U \qquad (2.6)$$

քանի որ $\Delta V \to 0$:

Հեսի օրենքի հետևանքները $\sum_i \nu_i \mathrm{A}_i = \sum_j \nu_j \mathrm{B}_j$ ռեակցիայի համար ներկայացվում են այսպես.

1. Ռեակցիայի ջերմությունը (ստանդարտ էնթալպիան)՝ $\Delta_r H^\circ$, հավասար է վերջանյութերի գոյացման (formation) էնթալպիաների գումարի և ելանյութերի գոյացման էնթալպիաների գումարի տարբերությանը.

$$\Delta_r H^o = \sum_j \nu_j \Delta_f H^o(B_j) - \sum_i \nu_i \Delta_f H^o(A_i) \qquad (2.7,\ \text{ա})$$

2. Ռեակցիայի ստանդարտ էնթալպիան հավասար է ելանյութերի այրման (combustion) ջերմությունների գումարի և վերջնանյութերի այրման ջերմությունների գումարի տարբերությանը.

$$\Delta_r H^o = \sum_i \nu_i \Delta_c H^o(A_i) - \sum_j \nu_j \Delta_c H^o(B_j) \qquad (2.7,\ \text{բ})$$

3. Ռեակցիայի ստանդարտ էնթալպիան հավասար է ելանյութերի մոլեկուլներում խզվող քիմիական կապերի էներգիանե-

րի ($E_{խզ}$) գումարի և վերջնանյութերի մոլեկուլներում գոյացող կապերի էներգիաների ($E_{գոյ}$) գումարի տարբերությանը․

$$\Delta_r H^0 = \sum_i E_{խզ} - \sum_j E_{գոյ} \qquad (2.8)$$

Տարբերում են տեսակարար և մոլային ջերմունակություններ (C)՝

$$C = \frac{\delta Q}{dT} \qquad \text{կամ} \qquad C = \frac{Q}{\Delta T} \qquad (2.9)$$

Տեսակարար ջերմունակությունը ջերմության այն քանակն է, որն անհրաժեշտ է 1 կգ նյութը 1 կելվինով տաքացնելու համար:

Մոլային ջերմունակությունը ՝ C_m, ջերմության այն քանակն է, որն անհրաժեշտ է 1 մոլ նյութը 1 կելվինով (կամ աստիճանով) տաքացնելու համար:

Հաստատուն ծավալի կամ հաստատուն ճնշման պարագայում ջերմունակությունը (իզոխորային կամ իզոբարային) նշանակում են C_v (իզոխորային) և C_p (իզոբարային) նշաններով, իսկ մոլային ջերմունակությունները $C_{v,m}$ և $C_{p,m}$ նշաններով՝

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \qquad C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \qquad (2.10)$$

Համաձայն Կիրխհոֆի օրենքի՝ ռեակցիայի ջերմության կախումը ջերմաստիճանից (T_1–T_2 սահմաններում) արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\Delta_r H(T_2) = \Delta_r H(T_1) + \int_{T_1}^{T_2} \Delta_r C_p dT \qquad (2.11)$$

որտեղ $\Delta_r C_p$-ն վերջնանյութերի ջերմունակությունների գումարի և ելանյութերի ջերմունակությունների գումարի տարբերությունն է.

$$\Delta_r C_p = \sum_j C_p\left(B_j\right) - \sum_i C_p\left(A_i\right) \qquad (2.12)$$

Խնդիրների լուծման ժամանակ հաճախ օգտագործվում են նաև հետևյալ առնչությունները՝ $C_{p,m} - C_{V,m} = R$, $C_V = (3/2)R$ (միատոմ մոլեկուլների համար), $C_V = (5/2)R$ (երկատոմ և գծային եռատոմ մոլեկուլների համար), $C_V = 3R$ (ոչ գծային եռատոմ և բազմատոմ մոլեկուլների համար):

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. 1.013×10^5 Պա հաստատուն ճնշման պայմանում գազը, ընդարձակվելով 0.01-ից մինչև 0.016 մ^3, կլանել է 126 Ջ ջերմություն: Որոշել ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

Լուծում: Ներքին էներգիայի փոփոխությունը որոշվում է (2.1) բանաձևով.

$$\Delta U = Q + W$$

Ըստ խնդրի պայմանների՝ ջերմությունը (Q) դրական է, իսկ աշխատանքը (W)՝ բացասական.

$W = -p\Delta V = 1.013 \times 10^5$ Պա $(0.016 - 0.01)$մ$^3 = -607.8$ Ջ

$\Delta U = 126 + (-607.8) = -481.8$ Ջ

Պատ.՝ -481.8 Ջ

Խնդիր 2. Որքա՞ն կփոխվի ներքին էներգիան, եթե 16 գ թթվածնի ջերմաստիճանը 1 մթն ճնշման պայմանում բարձրացվի 300-ից մինչև 500 Կ: Որքա՞ն ջերմություն կծախսվի դրա համար: Թթվածինը դիտել որպես իդեալական գազ:

Լուծում: Իդեալական գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը որոշվում է միայն սկզբնական և վերջնական ջերմաստիճաններով: Որպես երկատոմ գազ՝ թթվածնի $C_V = (5/2)R$:

$n(O_2) = 16/32 = 0.5$ մոլ:

$$\Delta U = nC_V(T_2 - T_1) = 0.5 \text{ մոլ} \times (5/2)\, 8.314 \text{ Ջ մոլ}^{-1} \text{ Կ}^{-1} \times (500 - 300)\text{Կ} = 2078.5 \text{ Ջ}$$

Իզոբար աշխատանքի բանաձևից հետևում է, որ

$W = -p\Delta V = -nR\Delta T = -0.5$ մոլ$\times 8.314$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}\times(500-300)$Կ$= -831.4$ Ջ

$Q = \Delta U - W = 2078.5 + 831.4 = 2909.9$ Ջ

Պատ.՝ $\Delta U = 2078.5$ Ջ, $Q = 2909.9$ Ջ

Խնդիր 3. 1 կգ եռացող ջուր պարունակող թեյամանը 1 մթն ճնշման տակ տաքացրել են մինչև ջրի լրիվ գոլորշացումը: Որոշել W, Q, ΔU, ΔH մեծությունները: Ջրի գոլորշացման մոլային ջերմությունը 40.6 կՋ/մոլ է:

Լուծում: Անջատվող գոլորշին 373 Կ-ում իզոբար պայմանում կարող է կատարել հետևյալ աշխատանքը, ընդ որում՝ հեղուկ ջրի ծավալը կարելի է անտեսել գոլորշու ծավալի նկատմամբ.

$$W = -p(V_2 - V_1)$$

Քանի որ գազային վիճակում նյութի ծավալը մի քանի կարգ մեծ է $V_2 >> V_1$, ապա V_1 կարելի է անտեսել.

$W = -pV_2 = -nRT$

$$W = -\frac{1000 \text{ գ} \times 8.314 \text{ Ջ մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1} \times 373 \text{ Կ}}{18 \text{ գ մոլ}^{-1}} = -172.3 \text{ կՋ}$$

Գոլորշացման մոլային ջերմության միջոցով հաշվենք ծախսվող ջերմության քանակը.

$$Q_p = n\Delta_v H_m = \frac{1000 \text{ գ} \times 40.6 \text{ կՋ մոլ}^{-1}}{18 \text{ գ մոլ}^{-1}} = 2255.6 \text{ կՋ}$$

Հաստատուն ճնշման պայմանում ջերմությունը հավասար է էնթալպիայի փոփոխությանը (2.4).

$$\Delta H = Q_p = 2255.6 \text{ կՋ}$$

Ներքին էներգիայի փոփոխությունը կորոշվի (2.1 բանաձևով).

$\Delta U = Q + W = 2255.6 - 172.3 = 2083.3$ կՋ

Պատ.՝ $W = -172.3$ կՋ, $Q = \Delta H = 2255.6$ կՋ, $\Delta U = 2083.3$ կՋ

Խնդիր 4. 25 °C և 1 մթն պայմաններում վերցրած 1 մոլ մեթանը հաստատուն ճնշման տակ տաքացվել է մինչև ծավալի կրկնապատկումը: Մեթանի մոլային ջերմունակությունը արտահայտվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$C_p = 5.34 + 0.0115\ T \quad (\text{կալ մոլ}^{-1}\ \text{Կ}^{-1})$$

Հաշվել այդ գործընթացի ΔU-ն և ΔH-ը: Մեթանը դիտել որպես իդեալական գազ:

Լուծում: Հաստատուն ճնշման պայմանում տաքացնելուց հետո մեթանի ջերմաստիճանը կդառնա՝

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \qquad T_2 = \frac{p_2V_2T_1}{p_1V_1} = \frac{2V_1T_1}{V_1} = 2T_1 = 596\ K$$

Ծախսված ջերմությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = \int_{298}^{596} (5.34 + 0.0115\ T)\, dT$$

$$Q = 5.34 \times (596 - 298) + 0.0115 \times \frac{596^2 - 298^2}{2} = 3129 \text{ կալ} = 13079 \text{ Ջ}$$

Հաստատուն ճնշման պայմաններում էնթալպիայի փոփոխությունը կորոշվի՝

$$\Delta H = Q_p = 13079 \text{ Ջ (կամ 3129 կալ)}$$

Մեթանի սկզբնական ծավալը եղել է՝

$$V_1 = \frac{nRT_1}{p} = \frac{1\ \text{մոլ} \times 8.314\ \text{Ջ մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1} \times 298\ \text{Կ}}{1.013 \times 10^5\ \text{Պա}} = 2445 \times 10^{-5} \text{մ}^3$$

Ներքին էներգիայի փոփոխությունը կորոշվի այսպես.

$\Delta U = Q + W = Q - p(V_2 - V_1) = Q - p(2V_1 - V_1) = Q - pV_1 =$

$= 13079$ Ջ -1.013×10^5 Պա$\times2445\times10^5$ մ^3 $= 10602$ Ջ (կամ 2536 կալ)

Պատ.՝ $\Delta U = 10602$ Ջ, $\Delta H = 13079$ Ջ:

Խնդիր 5. Հաշվել $CO_{(գ)}+H_2O_{(գ)}=CO_{2(գ)}+H_{2(գ)}$ ռեակցիայի (I) ջերմությունը 1000 Կ ջերմաստիճանում, եթե տրված են գրաֆիտի մասնակցությամբ հետևյալ ռեակցիաների ջերմությունները 500 Կ-ում՝

$C_{(գր)} + CO_{2(գ)} = 2CO_{(գ)}$ $\qquad \Delta_r H = 173.6$ կՋ $\qquad$ (II)

$C_{(գր)} + H_2O_{(գ)} = CO_{(գ)} + H_{2(գ)}$ $\qquad \Delta_r H = 133.9$ կՋ $\qquad$ (III)

և ռեակցիային մասնակցող նյութերի իզոբարային մոլային ջերմունակությունների կախումը ջերմաստիճանից.

$C_p(CO) = 28.41+4.1\times10^{-3}\,T - 0.46\times10^5\,T^{-2}$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

$C_p(H_2O_{(գ)})=30.0+10.71\times10^{-3}\,T-0.33\times10^5\,T^{-2}$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

$C_p(CO_2)=44.14+9.04\times10^{-3}\,T-8.53\times10^5\,T^{-2}$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

$C_p(H_2)= 27.28+3.26\times10^{-3}\,T+0.502\times10^5\,T^{-2}$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

Լուծում: Պահանջվող ռեակցիայի՝ (I), ջերմությունը 500 Կ-ում հաշվելու համար անհրաժեշտ է (III) հավասարումից հանել (II)-ը.

$$\Delta_r H_{500}(I) = \Delta_r H_{500}(III) - \Delta_r H_{500}(II) = 133.9 - 173.6 = -39.7 \text{ կՋ}$$

Ռեակցիայի ջերմության ջերմաստիճանային կախվածությունը որոշվում է Կիրխհոֆի օրենքով.

$$\Delta_r H_{1000}(I) = \Delta_r H_{500}(I) + \int_{500}^{1000} \Delta C_p(T)dT$$

$$\Delta C_p(T) = \Delta a + \Delta b T + \Delta c T^{-2}$$

որտեղ Δa-ն, Δb-ն և Δc-ն համապատասխան վերջնանյութերի և ելանյութերի ջերմունակությունների՝ վերը բերված հավասարումներում ջերմաստիճանային գործակիցների տարբերություններն են՝

$\Delta a = 44.14+27.28-28.41-30.0 = 13.01$

$\Delta b = (9.04+3.26-4.1-10.71)\times10^{-3} = -2.51\times10^{-3}$

$\Delta c = (-8.53+0.502+0.46+0.33)\times10^{5} = -7.238\times10^{5}$

Կիրխհոֆի հավասարումը, ինտեգրվելուց և արժեքները տեղադրվելուց հետո, ստանում է հետևյալ տեսքը.

$$\Delta_r H_{1000}(\mathrm{I}) = -39.7 + 13.01(1000-500) - \frac{2.51\times10^{-3}}{2}(1000^2-500^2) - 7.238 \times 10^5\left(\frac{1}{500}-\frac{1}{1000}\right) = -39.7 + 4.84 = -34.86 \text{ կՋ}$$

Պատ.՝ –34.86 կՋ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

2-1. Հեղուկ նիտրոբենզոլի գոյացման ջերմությունը 298 Կ-ում 49.04 կՋ/մոլ է: Գրել ռեակցիայի հավասարումը, որին վերաբերում է նշված ջերմությունը:

2-2. Գազը 101.3 կՊա հաստատուն ճնշման պայմանում, ընդարձակվելով 10-ից մինչև 16 լ, կլանել է 126 Ջ ջերմություն: Որոշել ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

2-3. Եթե 1 մ^3 ծավալով փակ անոթում 2 մոլ հելիումը տաքացվի 1°C–ով, ապա որքա՞ն կլինի կատարվող աշխատանքը:

2-4. 25 $^{\circ}$C և 100 մթն պայմաններում վերցված 1 մոլ իդեալական գազը դարձելի և իզոթերմ ընդարձակվել է մինչև 5 մթն: Հաշվել W-ն, Q-ն, ΔU-ն և ΔH-ը:

2-5. Հաշվել 1.013×10^5 Պա ճնշման պայմանում գազային համակարգի՝ 0.005 մ^3-ով ընդարձակվելու ժամանակ կատարվող աշխատանքը:

2-6. Թթվածինը նորմալ մթնոլորտային ճնշման պայմանում իզոբար ընդարձակվել է 80-ից մինչև 200 լ: Որոշել էնթալպիայի փոփոխությունը:

2-7. Հելիումը 1.96×10^5 Պա ճնշման պայմանում իզոբար ընդարձակվել է 0.005-ից մինչև 0.01 մ^3: Գտնել այդ գազի ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

2-8. Ջրի գոլորշացման ջերմությունը 373 Կ-ում 2.26×10^3 Ջ/կգ է: Փորձերից մեկի ժամանակ նշված ջերմաստիճանում խտացվել է 0.430 կգ ջրային գոլորշի: Հաշվել կատարված աշխատանքը, անջատված ջերմությունը և ներքին էներգիայի փոփոխությունը՝ ընդունելով, որ գոլորշին իդեալական գազ է:

2-9. $CH_3OH_{(գ)} + 3/2O_2 = CO_2 + 2H_2O_{(գ)}$ ռեակցիայի ջերմության կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է

$\Delta_r H^o$ (Ջ)$= -684.7 \times 10^3 + 36.77\ T - 38.56 \times 10^{-3}\ T^2 + 8.21 \times 10^{-6}\ T^3 + 2.88 \times 10^5 T^{-1}$

հավասարումով: Հաշվել նշված ռեակցիայի ջերմունակության փոփոխությունը ΔC_p, 500 Կ-ում:

2-10. Հաշվել 1 մոլ միատոմ գազի ադիաբատ ընդարձակման աշխատանքը, եթե ջերմաստիճանն իջեցվի 100-ից մինչև 25 ^oC:

2-11. 27 ^0C ջերմաստիճանում 20 դմ^3 ծավալ զբաղեցնող 3 մոլ իդեալական գազը ենթարկվում է մինչև 60 դմ^3 ծավալ իզոթերմ ընդարձակման: Հաշվել այդ գործընթացում կատարված աշխատանքը, եթե՝ ա) ընդարձակումը իրականացվում է 1×10^5 Պա հաստատուն արտաքին ճնշման հանդեպ, բ) դարձելի ընդարձակման պայմանում:

2-12. 5 մթն ճնշման տակ գտնվող 3 մոլ իդեալական գազը իզոթերմորեն սեղմվում է 60 լ-ից մինչև 20 լ ծավալ: Հաշվել ջերմությունը, աշխատանքը, ինչպես նաև ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները նշված գործընթացում:

2-13. 298 Կ ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ 10 գ ցինկի հատիկը գցել են նոսր ծծբական թթվի մեջ: Հաշվել այդ ռեակցիայի ընթացքում կատարվող աշխատանքը:

2-14. 7.24 գ էթանը գտնվում է 294 Կ ջերմաստիճանում և զբաղեցնում է 4.65 լ ծավալ: Հաշվել կատարվող աշխատանքը, ա) երբ գազը ենթարկվում է իզոթերմ ընդարձակման 0.5 մթն հաստատուն արտաքին ճնշման հանդեպ մինչև ծավալը դառնա 6.87 լ, բ) երբ ընդարձակումը իրականացվում է դարձելի իզոթերմ պայմանում:

2-15. 373.15 Կ ջերմաստիճանում հեղուկ ջրի և ջրային գոլորշու մոլային ծավալները համապատասխանաբար հավասար են 1.88×10^{-5} մ^3 և 3.06×10^{-2} մ^3: Հաշվի առնելով, որ ջրի գոլորշացման ջերմությունը 40.79 կՋ/մոլ է, հաշվել $H_2O_{(h)} \rightarrow H_2O_{(q)}$ փոխարկման ընթացքում էնթալպիայի և ներքին էներգիայի փոփոխությունները 1 մոլ ջրի համար:

2-16. 298 Կ ջերմաստիճանում գտնվող 1 մոլ իդեալական գազը ($C_{V,m} = 3R/2$) ենթարկվել է դարձելի ադիաբատ ընդարձակման 5 մ^3-ից մինչև 25 մ^3 ծավալ: Հաշվել կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-17. Սառույցի և ջրի խտությունները 0 ^{0}C ջերմաստիճանում հավասար են, համապատասխանաբար, 0.9168 և 0.9998 գ սմ$^{-3}$: Հաշվել հալման գործընթացում ներքին էներգիայի փոփոխությունը, եթե 1 մթն ճնշման տակ սառույցի հալման ջերմությունը (ΔH) հավասար է 6.025 կՋ մոլ$^{-1}$: Հաշվել համակարգի վրա կատարած աշխատանքը:

2-18. Հեղուկ ջրի խտությունը 100 ^{0}C ջերմաստիճանում 0.9584 գ սմ$^{-3}$ է, իսկ նույն ջերմաստիճանում ջրային գոլորշու խտությունը՝ 0.000596 գ սմ$^{-3}$: Հաշվել ջրի գոլորշացման ընթացքում ներքին էներգիայի փոփոխությունը, եթե 1 մթն ճնշման տակ ջրի գոլոր-շացման էնթալպիան (ΔH) հավասար է 40.63 կՋ մոլ$^{-1}$: Հաշվել նաև համակարգի կատարած աշխատանքը:

2-19. 25 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 6 մոլ իդեալական գազը իզոթերմորեն ընդարձակվել է 5 դմ^3-ից մինչև 15 դմ^3 ծավալ: Հաշվել կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

2-20. 70 կգ միջին քաշով մարդը մեկ օրվա ընթացքում ծախսում է մոտ 10460 կՋ էներգիա: Մարդու մարմնի ջերմաստիճանը 36.6 ^{0}C է, իսկ ջերմունակությունը 4.18 Ջ Կ$^{-1}$ գ$^{-1}$ է: Որքա՞ն կդառնա նրա ջերմաստիճանը 24 ժ անց, եթե մարդը պատկերացվի որպես մեկուսացված համակարգ:

2-21. 14.5 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 1 գ ջրին 1 կալ ջերմություն հաղորդելիս նրա ջերմաստիճանը բարձրացել է մինչև 15.5 ^{0}C: Հաշվել ջրի մոլային ջերմունակությունն այդ ջերմաստիճանային միջակայքում:

2-22. 25 ^{0}C ջերմաստիճանում 1 կգ ջուր պարունակող թեյամանը տաքացրել են մինչև ջրի եռալը: Որքա՞ն ջերմություն է հաղորդվել համակարգին այդ ընթացքում: Ջրի ջերմունակությունը հավասար է 75.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

2-23. $CO_{(գ)}+1/2O_{2(գ)}=CO_{2(գ)}$ ռեակցիայի ջերմէֆեկտը հաստատուն ճնշման տակ 298 Կ ջերմաստիճանում հավասար է -282.97 կՋ մոլ$^{-1}$: Հաշվել այդ ռեակցիայի ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

2-24. 273 Կ ջերմաստիճանում 2 մոլ թթվածինը զբաղեցնում է 11.35 դմ^3 ծավալ: Թթվածինը համարելով իդեալական գազ և նրա ջերմունակությունն ընդունելով $C_{p,m}$ = 29.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$՝ հաշվել գազի ճնշումը, իզոխորային ջերմունակությունը և pV արտադրյալը:

2-25. 0 ^{0}C ջերմաստիճանում և 5.065×10^5 Պա ճնշման տակ գտնվող 0.002 մ^3 ազոտը իզոթերմորեն ընդարձակվել է, որի հետնանքով ճնշումը դարձել է 1.013×10^5 Պա: Հաշվել կատարված աշխատանքը և կլանված ջերմությունը:

2-26. Որոշել 0.25 մոլ ջրածնի ադիաբատ սեղմման աշխատանքը, երբ դրա ջերմաստիճանը բարձրանում է 15-ից մինչև 25^0C: Ջրածնի տեսակարար իզոխորային ջերմունակությունը հավասար է 10.16 Ջ $գ^{-1}$ $Կ^{-1}$:

2-27. 2 մթն ճնշման տակ և 200 Կ ջերմաստիճանում գտնվող 3 մոլ իդեալական գազն ադիաբատ սեղմվել է, մինչև գազի ջերմաստիճանը դարձել է 250 Կ: Հաշվել այդ ընթացքում կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները: Գազի մոլային իզոբարային ջերմունակությունը հավասար է 35.8 Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$:

2-28. 1 բար ճնշման տակ և 273 Կ ջերմաստիճանում 35 գ սառույցն ավելացվել է մեկուսացված անոթում գտնվող 325 Կ ջերմաստիճան ունեցող 180 գ հեղուկ ջրին: Հաշվել համակարգի ջերմաստիճանը հավասարակշռության հաստատումից հետո: Ջրի իզոբարային ջերմունակությունն ընդունել հաստատուն՝ 75.3 Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$:

2-29. 373 Կ ջերմաստիճանում 1 մթն ճնշման տակ 20 գ ջրային գոլորշին ներթափանցել է 300 Կ ջերմաստիճանում գտնվող 250 գ հեղուկ ջրի մեջ: Հաշվել համակարգի ջերմաստիճանը հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո: Ջրի իզոբարային ջերմունակությունն ընդունել հաստատուն՝ 75.3 Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$:

2-30. Թթվածնի մոլային ջերմունակությունը (Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$) հաստատուն ճնշման տակ տրվում է $C_{p,m} = 25.7 + 0.013T$ հավասարմամբ: Հաշվել 1.46 մոլ թթվածնի՝ 298 Կ-ից մինչև 367 Կ ջերմաստիճան տաքացնելու ընթացքում էնթալպիայի փոփոխությունը:

2-31. Ազոտի մոլային իզոբարային ջերմունակությունը (Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) տրվում է $C_{p,m} = 27 + 5.6 \times 10^{-3}T - 0.34 \times 10^{-6}T^2$ հավասարումով: Հաշվել 1 մոլ ազոտի 25 ^{0}C-ից մինչև 125 ^{0}C տաքացման ընթացքում էնթալպիայի փոփոխությունը:

2-32. Իդեալական գազի ջերմունակությունների հարաբերությունը հավասար է 1.38-ի: Հաշվել գազի մոլային իզոբարային և իզոխորային ջերմունակությունները:

2-33. Օգտագործելով հետևյալ նյութերի գոյացման ստանդարտ ջերմությունները՝ հաշվել 1 մոլ սախարոզի լրիվ օքսիդացման ընթացքում անջատված ջերմության քանակը 1 մթն ճնշման պայմանում.

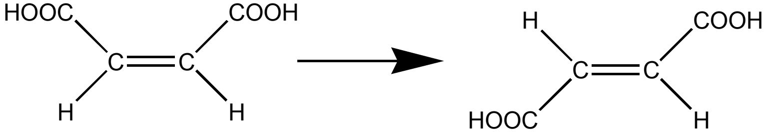
$$\Delta_f H^0(C_{12}H_{22}O_{11}, \text{պ}) = -2226.1 \text{ կՋ մոլ}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0(CO_2, \text{գ}) = -412.9 \text{ կՋ մոլ}^{-1}$$

$$\Delta_f H^0(H_2O, \text{հ}) = -285.8 \text{ կՋ մոլ}^{-1}$$

2-34. 298 Կ ջերմաստիճանում պինդ նատրիումի սուլֆատի նմուշը լուծվել է 225 գ ջրում՝ առաջացնելով 0.2 մոլ/լ կոնցենտրացիայով լուծույթ: Այդ ընթացքում դիտվել է ջերմաստիճանի բարձրացում 0.101 ^{0}C-ով: Հաշվել աղի լուծման էնթալպիան, եթե կալորիաչափի հաստատունը 330 Ջ Կ$^{-1}$ է:

2-35. Ֆումարաթթվի և մալեինաթթվի այրման ստանդարտ էնթալպիաները համապատասխանաբար հավասար են -1336 կՋ/մոլ և -1359.2 կՋ/մոլ: Հաշվել հետևյալ իզոմերացման ռեակցիայի էնթալպիան.



մալեինաթթու ֆումարաթթու

2-36. Հաշվել մեթանոլի առաջացման ռեակցիայի՝

$$C_{(գր)} + 2H_{2(գ)} + \frac{1}{2}O_{2(գ)} \rightarrow CH_3OH_{(հ)}$$

էնթալպիան՝ $\Delta_f H^{\circ}$՝ օգտագործելով հետևյալ տվյալները.

$CH_3OH_{(հ)} + \frac{3}{2}O_{2(գ)} \rightarrow CO_{2(գ)} + 2H_2O_{(հ)}$ ΔH^{o} = -726.4 կՋ/մոլ

$C_{(գր)} + O_{2(գ)} \rightarrow CO_{2(գ)}$ ΔH^{o} = -393.5 կՋ/մոլ

$H_{2(գ)} + \frac{1}{2}O_{2(գ)} \rightarrow H_2O_{(հ)}$ ΔH^{o} = -285.8 կՋ/մոլ

2-37. Համբուրգերի էներգիական արժեքը մոտավորապես 3.6 կկալ/գ է: Եթե մարդը նախաճաշին ուտում է մեկ համբուրգեր (454 գ), ապա որքան ջուր պետք է կորցնի, որպեսզի նրա ջերմաստիճանը մնա հաստատուն: Ջրի գոլորշացման մոլային էնթալպիան 44 կՋ/մոլ է:

2-38. Ջրի հալման և գոլորշացման մոլային էնթալպիաները 298 Կ ջերմաստիճանում հավասար են, համապատասխանաբար, 6.01 և 44.01 կՋ/մոլ: Ելնելով այս տվյալներից՝ հաշվել սառույցի սուբլիմացման մոլային էնթալպիան:

2-39. 0.7 գ զանգվածով հեղուկ ացետոնը լրիվ այրվել է կալորիչափական բոմբում (հաստատուն ծավալում), որի ջերմունակությունը 6937 Ջ $Կ^{-1}$ է: Այրման ընթացքում ջերմաստիճանը 25 ^{0}C-ից դարձել է 26.69 ^{0}C: Հաշվել 1 մոլ ացետոնի այրման ռեակցիայի ընթացքում ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-40. Կալորիչափական բոմբում (հաստատուն ծավալում) 0.633 գ հեղուկ բենզոլի 25 ^{0}C ջերմաստիճանում այրման ջերմությունը եղել է 26.54 կՋ: Հաշվել 1 մոլ բենզոլի այրման ռեակցիայի ընթացքում ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-41. Կալորիչափական բոմբում 0.1328 գ սախարոզի 25 ^{0}C ջերմաստիճանում այրման ջերմությունը (կալորիչափական բոմբում պրոցեսները ընթանում են հաստատուն ծավալում) եղել է -2186 Ջ:

$$C_{12}H_{22}O_{11(պ)} + 12O_{2(գ)} = 12CO_{2(գ)} + 11H_2O_{(հ)}$$

Հաշվել 1 մոլ սախարոզի այրման ջերմությունը հաստատուն ծավալի և ճնշման պայմաններում:

2-42. Որոշել էթիլենի այրման ռեակցիայի՝

$C_2H_{4(գ)} + 3O_{2(գ)} = 2CO_{2(գ)} + 2H_2O_{(հ)}$ ջերմությունը՝ օգտվելով նյութերի գոյացման ստանդարտ ջերմություններից.

$2C_{(գր)} + 2H_{2(գ)} = C_2H_{4(գ)}$ $\Delta_rH^0 = 62.01$ կՋ մոլ$^{-1}$

$C_{(գր)} + O_{2(գ)} = CO_{2(գ)}$ $\Delta_rH^0 = -393.9$ կՋ մոլ$^{-1}$

$H_{2(գ)} + 1/2\ O_{2(գ)} = H_2O_{(հ)}$ $\Delta_rH^0 = -284.9$ կՋ մոլ$^{-1}$

2-43. Օգտագործելով հետևյալ ջերմաքիմիական հավասարումները՝

$2NO_{(գ)} + O_{2(գ)} = 2NO_{2(գ)}$ $\Delta_rH_1^0 = -114.2$ կՋ մոլ$^{-1}$

$4NO_{2(գ)} + O_{2(գ)} = 2N_2O_{5(գ)}$ $\Delta_rH_2^0 = -110.2$ կՋ մոլ$^{-1}$

$N_{2(գ)} + O_{2(գ)} = 2NO_{(գ)}$ $\Delta_rH_3^0 = 182.6$ կՋ մոլ$^{-1}$

հաշվել ստանդարտ պայմաններում $N_2O_{5(գ)}$-ի գոյացման մոլային ջերմությունը:

* * *

2-44. 300 Կ–ում իդեալական գազն իզոթերմ ու դարձելի ընդարձակվել է 0.01-ից մինչև 0.1 մ³, որի ժամանակ կլանվել է 17.26 կՋ ջերմություն: Ի՞նչ նյութաքանակով գազ է մասնակցել այդ գործընթացում:

2-45. 1-ական մոլ միատոմ և երկատոմ գազերն առանձին-առանձին տաքացվել են իզոբար պայմանում, որի հետևանքով ջերմաստիճանը բարձրացել է 100 °C-ով: Ի՞նչ հարաբերակցության մեջ են ընդարձակման աշխատանքները մեկ և մյուս դեպքերում, և որքա՞ն են դրանք:

2-46. Որոշել 4.0 մոլ երկատոմ իդեալական գազի ադիաբատ սեղմման աշխատանքը, որի հետևանքով գազի ջերմաստիճանը բարձրացել է 15-ից մինչև 25 °C:

2-47. Մի ինչ-որ ջերմաստիճանում 1.013×10^5 Պա ճնշման տակ գտնվող 0.025 $մ^3$ օդն ընդարձակվել է մինչև 0.1 $մ^3$: Որոշել աշխատանքը և օդի վերջնական ճնշումը:

2-48. Հեղուկ և գազային ջրի գոյացման ստանդարտ էնթալպիաները 298 Կ-ում հավասար են համապատասխանաբար -285.8 և -241.8 կՋ/մոլ: Հաշվել ջրի գոլորշացման էնթալպիան այդ ջերմաստիճանում:

2-49. Հեղուկ ջրի և ածխաթթու գազի առաջացման ստանդարտ մոլային ջերմություններն են համապատասխանաբար -285.8 և -393.5 կՋ $մոլ^{-1}$: Նույն պայմաններում մեթանի այրման ջերմությունը հավասար է -890.3 կՋ $մոլ^{-1}$: Հաշվել մեթանի գոյացման ջերմությունը, երբ ա) p = const, բ) V = const:

2-50. Ստանդարտ պայմաններում 0.005 $մ^3$ կրիպտոնը հաստատուն ծավալի պայմանում տաքացրել են մինչև 600 °C: Որքա՞ն են գազի վերջնական ճնշումը և տաքացման վրա ծախսված ջերմության քանակը:

2-51. Էթիլենի՝ $C_2H_{4(գ)}$ գոյացման ջերմութունը 52.3 կՋ $մոլ^{-1}$ է: Որքա՞ն կլինի այդ գազի այրման ջերմությունը հետևյալ պայմաններում՝ ա) p=const, բ) V=const, եթե $CO_{2(գ)}$ և $H_2O_{(h)}$ գոյացման ջերմությունները համապատասխանաբար հավասար են -393.5 և -285.8 կՋ $մոլ^{-1}$:

2-52. Հետևյալ նյութերի՝ α-գլյուկոզ, β-ֆրուկտոզ և սախարոզ, այրման էնթալպիաները 25 °C-ում համապատասխանաբար հավասար են՝ -2802, -2810 և -5644 կՋ $մոլ^{-1}$: Հաշվել սախարոզի հիդրոլիզի ջերմությունը:

2-53. Հեղուկ բենզոլի այրման ստանդարտ մոլային ջերմությունը -3267.7 կՋ/մոլ է: Նույն պայմաններում գազային ացետիլենի այրման ջերմությունը -1299.6 կՋ/մոլ է: Հաշվել հեղուկ բենզոլի և գազային ացետիլենի գոյացման ջերմությունները, ինչպես նաև բենզոլի գոյացման ջերմությունը ացետիլենից, եթե CO_2-ի և $H_2O_{(h)}$-ի գոյացման ջերմությունները համապատասխանաբար հավասար են -393.5 և -285.8 կՋ/մոլ: Հաշվարկը կատարել հետևյալ պայմանների համար՝ ա) p = const, բ) V = const:

2-54. Որոշել ջերմության այն քանակը, որն անհրաժեշտ է իզոխոր պայմանում 5 գ ազոտը 15-ից մինչև 25 °C տաքացնելու համար:

2-55. Որոշել ջերմության այն քանակը, որն անհրաժեշտ է հաստատուն ծավալի պայմանում 350 °C ջերմաստիճան ունեցող 25 գ թթվածնի ճնշումը 1.013×10^5-ից մինչև 5.065×10^5 Պա մեծացնելու համար:

2-56. 0.05 $մ^3$ անոթում 10 °C ջերմաստիճանում և հավելյալ 5.065×10^5 Պա ճնշման տակ գտնվում է ազոտ: Որոշել գազին հաղորդվելիք ջերմության հնարավոր առավելագույն քանակը՝ նկատի ունենալով, որ անոթի պատերը կարող են դիմանալ ոչ ավել, քան 20.26×10^5 Պա ճնշմանը:

2-57. Որոշել բենզոլի գոլորշացման մոլային ջերմությունը 353 Կ ջերմաստիճանում, եթե հայտնի է, որ 273 Կ-ում այն 32645 Ջ/մոլ է: Գազային բենզոլի տեսակարար ջերմունակությունը նշված ջերմաստիճանային միջակայքում 1.25 կՋ $կգ^{-1}$ $Կ^{-1}$ է, իսկ հեղուկ բենզոլինը՝ 1.72 կՋ $կգ^{-1}$ $Կ^{-1}$:

2-58. 17 °C-ում 10 գ թթվածինն ադիաբատ սեղմվել է 0.008-ից մինչև 0.005 $մ^3$: Որոշել գազի վերջնական ջերմաստիճանը, ծախսված աշխատանքը և ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

2-59. 27 °C և 10.13×10^5 $Ն/մ^2$ պայմաններում գտնվող 8 գ թթվածինն ադիաբատ ընդարձակվել է մինչև 1.013×10^5 $Ն/մ^2$ ճնշումը: Հաշվել թթվածնի վերջնական ջերմաստիճանը և դրա կատարած աշխատանքը:

2-60. Գտնել մեթանի քլորացման ռեակցիայի՝

$CH_{4(գ)} + Cl_{2(գ)} = CH_3Cl_{(գ)} + HCl_{(գ)}$, $\Delta H^o(298)$-ը, եթե հայտնի են հետևյալ նյութերի այրման ջերմությունները՝ $\Delta_cH^o(CH_4) = -890.6$, $\Delta_cH^o(CH_3Cl) = -689.8$, $\Delta_cH^o(H_2) = -285.8$ կՋ/մոլ, ինչպես նաև քլորաջրածնի գոյացման ջերմությունը՝ $\Delta_fH^o(HCl) = -92.3$ կՋ/մոլ:

2-61. 100 գ ածխածնի(IV) օքսիդը գտնվում է 0 ^oC և 1.013×10^5 Պա պայմաններում: Որոշել Q-ն, W-ն, ΔU-ն և ΔH-ը՝ ա) մինչև 0.2 մ^3 ծավալը իզոթերմ ընդարձակման, բ) մինչև նույն ծավալը իզոբար ընդարձակման, գ) մինչև 2.026×10^5 Պա ճնշումը իզոխոր տաքացման դեպքում: $C_p(CO_2)=37.1$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: Ածխաթթու գազը դիտել որպես իդեալական գազ:

2–62. Տրված է 0 ^oC ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ 1 մոլ դիֆտորմեթան: Նշված հաստատուն ճնշման պայմանում այն տաքացվել է մինչև ծավալի եռապատկումը: Գտնել էնթալպիայի և ներքին էներգիայի փոփոխությունները, եթե նշված նյութի ջերմունակությունը կախված է ջերմաստիճանից հետևյալ առնչությամբ.

$$C_p = 20.26 + 7.59\times10^{-2}\ T \quad (Ջ\ մոլ^{-1}\ Կ^{-1})$$

2-63. Տրված է 20 ^oC ջերմաստիճանում 500 գ ալյումին: Որքա՞ն ջերմություն է անհրաժեշտ այն հալելու համար, եթե այդ մետաղի հալման ջերմաստիճանը 658 ^oC է: $\Delta H_{հլմ}$=92.4 կալ/գ, $C_p(Al)=0.183+1.096\times10^{-4}T$ (կալ գ$^{-1}$ Կ$^{-1}$):

2-64. Սնդիկի տեսակարար ջերմունակությունն արտահայտվում է $C = 0.1479 - 2.89\times10^{-5}\ T$ (Ջ գ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) հավասարումով: Որոշել ջերմության այն քանակը, որն անհրաժեշտ է 50 գ սնդիկը 0 ^oC-ից մինչև 357 ^oC տաքացնելու համար:

2-65. 298-452 Կ ջերմաստիճանային միջակայքում արծաթի սուլֆիդի մոլային ջերմունակության կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է $C_p = 42.38 + 110.46 \times 10^{-3}\ T$ (Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) հավասարումով: Հաշվել միջին մոլային ջերմունակությունը նշված ջերմաստիճանային միջակայքի համար:

2-66. 273-1200 Կ ջերմաստիճանային միջակայքում ածխաթթու գազի միջին մոլային ջերմունակությունն արտահայտվում է $C_p = 43.26 + 5.732 \times 10^{-3}\,T + 8.18 \times 10^{-5}\,T^2$ (Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) հավասարումով: Որոշել նշված օքսիդի իսկական մոլային ջերմունակությունը 0 $^{\circ}$C-ում:

2-67. Սենյակն ունի 20 մ^2 մակերես և 4 մ բարձրություն: Որքա՞ն ջերմություն կպահանջվի լրիվ մեկուսացման պայմանում սենյակի օդը 10-ից մինչև 20 $^{\circ}$C տաքացնելու համար, եթե ազոտի և թթվածնի մոլային ջերմունակություններն արտահայտվում են միևնույն՝ $C_p = 27.19 + 4.18 \times 10^{-3}\,T$ (Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) հավասարումով:

2-68. Հաշվել մեթանի այրման էնթալպիան 1000 Կ-ում, եթե տրված են հետևյալ գոյացման ջերմությունները 298 Կ-ում. $\Delta_f H^{\circ}(CH_4) = -17.9$ կկալ/մոլ, $\Delta_f H^{\circ}(CO_2) = -94.1$ կկալ/մոլ, $\Delta_f H^{\circ}(H_2O_{(գ)}) = -57.8$ կկալ/մոլ: Գազերի ջերմունակությունները (կալ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) 298-1000 Կ միջակայքում արտահայտվում են հետևյալ հավասարումներով՝

$C_p(CH_4) = 3.422 + 0.0178 \times T$, $C_p(O_2) = 6.095 + 0.0033 \times T$

$C_p(CO_2) = 6.396 + 0.0102 \times T$, $C_p(H_2O_{(գ)}) = 7.188 + 0.0024 \times T$

2-69. 900 $^{\circ}$C ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ կալցիումի կարբոնատի քայքայման էնթալպիան 178 կՋ/մոլ է: Արտածել էնթալպիայի ջերմաստիճանային կախվածության հավասարումը և հաշվել ջերմության այն քանակը, որը կլանվել է 1000 $^{\circ}$C և 1 մթն պայմաններում 1 կգ նշված նյութի քայքայման ժամանակ, եթե հայտնի են մոլային ջերմունակությունները (Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$).

$C_p(CaCO_3,պ) = 104.5 + 21.92 \times 10^{-3}T - 25.94 \times 10^{5}T^{-2}$

$C_p(CaO,պ) = 43.63 + 4.52 \times 10^{-3}T - 6.95 \times 10^{5}T^{-2}$

$C_p(CO_2,գ) = 44.14 + 9.04 \times 10^{-3}T - 8.53 \times 10^{5}T^{-2}$

2-70. Կապի էներգիան ջրածնի մոլեկուլում 432.1 կՋ մոլ$^{-1}$ է, իսկ ազոտի մոլեկուլում՝ 945.3 կՋ մոլ$^{-1}$: Որքան է ամոնիակի ատոմացման էներգիան, եթե դրա գոյացման էներգիան –46.2 կՋ մոլ$^{-1}$ է:

2-71. 2.5 մոլ իդեալական գազը ենթարկվել է ադիաբատ ընդարձակման 1 բար արտաքին հաստատուն ճնշման պայմաններում: Գազի սկզբնական ջերմաստիճանը 325 Կ է, իսկ ճնշումը՝ 2.5 բար: Վերջնական ճնշումը դարձել է 1.25 բար: Գազի մոլային իզոխորային ջերմունակությունը հավասար է 12.47 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: Հաշվել գազի վերջնական ջերմաստիճանը, կատարված աշխատանքը, ինչպես նաև ջերմության, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխություններն այդ գործընթացում:

2-72. Ամպը, շարժվելով օվկիանոսի վրայով 2000 մ բարձրության վրա, բախվում է ծովափնյա սարին: Սարը շրջանցելու համար ամպը հասնում է մինչև 3500 մ բարձրության՝ ենթարկվելով ադիաբատ ընդարձակման: 2000 մ և 3000 մ բարձրությունների վրա ճնշումները հավասար են համապատասխանաբար 0.802 և 0.602 մթն: Եթե ամպի սկզբնական ջերմաստիճանը 288 Կ է, որքա՞ն կլինի նրա ջերմաստիճանը 3500 մ բարձրության վրա: Ի՞նչ պետք է սպասել սարի գագաթին՝ անձրև՞, թե ձյու՞ն: Օդի իզոբարային մոլային ջերմունակությունը 28.86 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է, օդը համարել իդեալական գազ:

2-73. 27 ^{0}C ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ գտնվող 1 մոլ իդեալական գազի հետ կատարվել է փոփոխություն. ջերմաստիճանը դարձել է 327 ^{0}C, իսկ ճնշումը՝ 17 մթն: Որոշել ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները, եթե գազի մոլային իզոբարային ջերմունակությունը (Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) տրվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$C_{P,m} = 20.9 + 0.042T$$

2-74. 25 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 1 մոլ իդեալական գազի ադիաբատ ընդարձակման ընթացքում շրջապատի նկատմամբ կատարված աշխատանքը հավասար է 1200 Ջ: Գազի իզոխորային ջերմունակությունն ընդունելով $C_{V,m} = 3R/2$՝ հաշվել ջերմությունը, աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները ընդարձակման ընթացքում:

2-75. 3.5 մոլ իդեալական գազն ընդարձակվում է 450 Կ և 5 բար սկզբնական վիճակից մինչև 1 բար ճնշում: Ընդունելով գազի իզոբարային ջերմունակությունը $C_{p,m} = 5R/2$՝ հաշվել կատարված աշխատանքը՝ ա) դարձելի իզոթերմ ընդարձակման, բ) դարձելի ադիաբատ ընդարձակման պայմաններում:

2-76. T = 300 Կ, p = 1 բար և V = 10 լ սկզբնական պարամետրեր ունեցող իդեալական գազը տաքացվել է հաստատուն ծավալի պայմաններում մինչև 10 բար ճնշում: Այնուհետև գազը հաստատուն ճնշման տակ ջերմության հեռացմամբ վերադարձվել է իր նախնական վիճակին: P-V դիագրամի վրա պատկերել նշված ցիկլը: Հաշվել յուրաքանչյուր փուլի, ինչպես նաև կատարված ընդհանուր աշխատանքը:

2-77. 1 մոլ իդեալական գազը, որի մոլային իզոխորային ջերմունակությունը 20.8 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է, տաքացվել է 0 ^{0}C–ից մինչև 275 ^{0}C ջերմաստիճան հաստատուն ծավալի պայմաններում: Հաշվել այդ գործընթացում ջերմությունը, աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-78. 20 ^{0}C ջերմաստիճանում և $1{\times}10^6$ Պա ճնշման տակ գտնվող 1 մոլ իդեալական գազը ($C_{V,m} = 3R/2$) ենթարկվում է երկփուլանի փոփոխության. 1) գազը ենթարկվում է դարձելի իզոթերմ ընդարձակման մինչև ծավալի կրկնապատկումը, 2) առաջին փուլից հետո հաստատուն ծավալի պայմաններում ջերմաստիճանը բարձրացվում է մինչև 80 ^{0}C: Հաշվել յուրաքանչյուր փուլի, ինչպես նաև ընդհանուր գործընթացում ջերմությունը, աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-79. 298 Կ ջերմաստիճանում և 1×10^5 Պա ճնշման տակ գտնվող 1 մոլ իդեալական գազը ($C_{V,m} = 3R/2$) ենթարկվում է դարձելի ադիաբատ ընդարձակման: Հաշվել գազի վերջնական ջերմաստիճանը, ինչպես նաև ջերմությունը, աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները նշված գործընթացում:

2-80. 1 մոլ իդեալական գազը ($C_{V,m} = 3R/2$) ենթարկվել է հետևյալ երկփուլանի փոփոխության. 1) t=28 ^{0}C և P=2×10^4 Պա սկզբնական վիճակից իզոթերմ ընդարձակվել է 1×10^4 Պա հաստատուն արտաքին ճնշման պայմանում մինչև ծավալի կրկնապատկումը, 2) այնուհետև սառեցվել է հաստատուն ճնշման պայմանում մինչև -40.5 ^{0}C ջերմաստիճան: Հաշվել յուրաքանչյուր փուլի, ինչպես նաև ընդհանուր ջերմությունը, աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-81. Պինդ կապարի օքսիդի ջերմունակությունը (Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) տրվում է $C_{p,m} = 44.35 + 1.47 \times 10^{-3}T$ արտահայտությամբ: Հաշվել հաստատուն ճնշման տակ 1 մոլ կապարի օքսիդի՝ PbO, 500 Կ ջերմաստիճանից մինչև 300 Կ սառեցման ընթացքում էնթալպիայի փոփոխությունը:

2-82. Հեծանիվի անվադողը զգալի տաքանում է օդ ներփչելիս: Այդ գործընթացը մոտ է դարձելի ադիաբատ սեղմման: Մինչ անվադողի մեջ օդ փչելը, ենթադրենք, սկզբնական ջերմաստիճանը եղել է 298 Կ և ճնշումը՝ 1 բար, իսկ հետո անվադողում օդի վերջնական ծավալը դարձել է 1 լ և ճնշումը՝ 5 բար: Հաշվել օդի վերջնական ջերմաստիճանն անվադողում՝ օդի ջերմունակությունը համարելով $C_{V,m} = 5R/2$:

2-83. 300 Կ ջերմաստիճանում 2.5 լ ծավալ զբաղեցնող 1 մոլ ազոտը ենթարկվում է դարձելի իզոթերմ ընթարձակման մինչև 23 լ ծավալ: Հաշվել այդ գործընթացում կատարված աշխատանքը, եթե ազոտը դիտարկվի որպես՝ ա) իդեալական գազ, բ) իրական գազ, Վան-դեր-Վալսի հաստատուններն են՝ a=1.37 դմ^6 բար մոլ$^{-2}$, b =0.0387 դմ^3 մոլ$^{-1}$:

2-84. 0.85 մոլ իդեալական գազը, որը գտնվում է 300 Կ ջերմաստիճանում և 15 մթն ճնշման տակ, ենթարկվում է ընդարձակման մինչև 1 մթն ճնշում: Հաշվել այդ գործընթացում կատարված աշխատանքը, եթե ընդարձակումը իրականացվել է՝ ա) դարձելի իզոթերմ պայմանում, բ) դարձելի ադիաբատ պայմանում, գ) իզոթերմորեն՝ 1 մթն հաստատուն արտաքին ճնշման հանդեպ: Գազի մոլային իզոխորային ջերմունակությունը 12.47 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է:

2-85. Սառույցի հալման մոլային ջերմությունը (ΔH) 0 ^{0}C ջերմաստիճանում հավասար է 6.025 կՋ մոլ$^{-1}$, իսկ ջրի և սառույցի մոլային ջերմունակությունները՝ ($C_{p,m}$), համապատասխանաբար 75.3 և 37.7 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: Հաշվել -10 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 1 մոլ գերսառեցված ջրի սառեցման ընթացքում էնթալպիայի փոփոխությունը: Ջերմունակությունները համարել հաստատուն:

2-86. 111 կՊա ճնշման տակ և 277 Կ ջերմաստիճանում գտնվող 2 մոլ իդեալական գազը տաքացվել է մինչև 356 Կ ջերմաստիճան՝ հաստատուն ծավալի պայմաններում: Հաշվել այդ ընթացքում կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները և գազի վերջնական ճնշումը, եթե գազի մոլային իզոխորային ջերմունակությունը հավասար է 20.78 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

2-87. 1.25 մթն հաստատուն ճնշման տակ գտնվող 2 մոլ ածխաթթու գազը տաքացվել է 250 Կ-ից մինչև 277 Կ ջերմաստիճան: Հաշվել այդ գործընթացում կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները, եթե ածխաթթու գազի մոլային իզոբարային ջերմունակությունը հավասար է 37.11 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

2-88. 143 գ զանգվածով գրաֆիտի նմուշը տաքացվել է 300 Կ-ից մինչև 600 Կ ջերմաստիճան հաստատուն ճնշման տակ: Այդ ջերմաստիճանային միջակայքում իզոբարային ջերմունակությունը (Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$) տրվում է

$$C_{P,m} = -12.19 + 0.1126T - 1.947\times10^{-4}T^2 + 1.919\times10^{-7}T^3 - 7.8\times10^{-11}T^4$$

արտահայտությամբ: Հաշվել էնթալպիայի փոփոխությունը նշված գործընթացում:

2-89. Հաշվել էնթալպիայի փոփոխությունը, երբ 124 գ հեղուկ մեթանոլը 298 Կ ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ ենթարկվում է փոփոխության մինչև 2.5 բար ճնշում և 425 Կ ջերմաստիճան: Այդ պայմաններում հեղուկ մեթանոլի խտությունը 0.791 գ $սմ^{-3}$ է, իսկ իզոբարային ջերմունակությունը՝ 81.1 Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$:

2-90. Ծծմբի օքսիդի՝ SO_2, մոլային իզոբարային ջերմունակությունը (Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$) 300 – 1700 Կ ջերմաստիճանային միջակայքում նկարագրվում է հետևյալ հավասարումով.

$$C_{p,m}/R = 3.093 + 6.967\times10^{-3}T - 45.81\times10^{-7}T^2 + 1.035\times10^{-9}T^3$$

Հաշվել 1 բար հաստատուն ճնշման տակ 1 մոլ $SO_{2(գ)}$-ի՝ 75 ^0C-ից մինչև 1350 ^0C ջերմաստիճան տաքացման ընթացքում կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

2-91. 1 բար ճնշման տակ 373 Կ ջերմաստիճանում 1 մոլ հեղուկ ջուրը վերածվում է գոլորշու մինչև 460 Կ: Հեղուկ ջրի ծավալը 373 Կ-ում 1.89×10^{-5} $մ^3$ $մոլ^{-1}$ է, ջրային գոլորշու ծավալը 373 Կ-ում 3.03×10^{-2} $մ^3$ $մոլ^{-1}$ է, իսկ 460 Կ-ում՝ 3.74×10^{-2} $մ^3$ $մոլ^{-1}$: Ջրային գոլորշու իզոբարային ջերմունակությունն ընդունել հաստատուն՝ հավասար 33.58 Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$ -ի: Հաշվել ջերմությունը, աշխատանքը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները այդ գործընթացում:

2-92. Որքա՞ն ջերմություն է անհրաժեշտ սենյակային ջերմաստիճանում (20 ^{0}C) գտնվող 500 գ ալյումինը հալված վիճակի փոխարկելու համար, եթե ալյումինի հալման ջերմաստիճանը 658 ^{0}C է, իսկ հալման ջերմէֆեկտը 92.4 կալ/գ, իսկ իզոբարային մոլային ջերմունակությունը (կալ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) տրվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝ $C_{p,m} = 0.183 + 1.096 \times 10^{-4} T$ ։

2-93. Որոշել 298 Կ-ից մինչև 800 Կ ջերմաստիճան 2 կգ SiO_2-ի տաքացման ժամանակ էնթալպիայի փոփոխությունը, եթե նրա մոլային իզոբարային ջերմունակությունը (Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) տրվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$C_{p,m} = 46.94 + 34.31 \times 10^{-3} \times T - \frac{11.3 \times 10^5}{T^2}$$

2-94. Գլյուկոզի և կաթնաթթվի գոյացման ստանդարտ էնթալպիաները համապատասխանաբար հավասար են -1274.5 և -694 կՋ մոլ$^{-1}$, իսկ դրանց մոլային ջերմունակությունները 298 Կ ջերմաստիճանում՝ 218.2 և 127.6 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$։ Հաշվել գլյուկոզից կաթնաթթվի առաջացման ռեակցիայի էնթալպիայի փոփոխությունը 298 և 310 Կ ջերմաստիճաններում։

$$C_6H_{12}O_{6(պ)} \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH_{(պ)}$$

Ընդունել, որ նշված նյութերի ջերմունակությունները 298-310 Կ ջերմաստիճանային միջակայքում հաստատուն են։

2-95. Գլիցինի (NH_2CH_2COOH) այրման ստանդարտ էնթալպիան 981 կՋ մոլ$^{-1}$ է։ 1 մթն հաստատուն ճնշման տակ և 298 Կ ջերմաստիճանում այրվել է 10 գ գլիցին։ Հաշվել կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները։ Գլիցինի այրման վերջնանյութերն են ածխաթթու գազը, ազոտը և հեղուկ ջուրը։

2-96. Գլիցիլգլիցինի ($C_4H_8N_2O_3$) օքսիդացման ընթացքում առաջանում է պինդ միզանյութ (CH_4N_2O), ածխաթթու գազ և հեղուկ ջուր.

$$C_4H_8N_2O_{3(պ)} + 3O_{2(գ)} \rightarrow CH_4N_2O_{(պ)} + 3CO_{2(գ)} + 2H_2O_{(հ)}$$

298 Կ ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ նշված օքսիդացման ռեակցիայի էնթալպիայի փոփոխությունը հավասար է -1340.1 կՋ մոլ$^{-1}$: Ելանյութերի և վերջնանյութերի իզոբարային ջերմունակությունները հավասար են՝

$C_{p,m}$ ($C_4H_8N_2O_3$, պ) = 163.6 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$

$C_{p,m}$ (CH_4N_2O, պ) = 93.1 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$

$C_{p,m}$ (O_2, գ) = 29.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$

$C_{p,m}$ (CO_2, գ) = 37.1 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$

$C_{p,m}$ (H_2O, հ) = 75.3 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$

Հաշվել ռեակցիայի էնթալպիայի փոփոխությունը 330 Կ ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ՝ ընդունելով, որ նշված ջերմաստիճանային միջակայքում ջերմունակությունները հաստատուն են:

2-97. Ֆոտոսինթեզի ընթացքում ածխաթթու գազից և ջրից առաջանում է գլյուկոզ՝ ըստ հետևյալ ռեակցիայի.

$$6CO_{2(գ)} + 6H_2O_{(հ)} \rightarrow C_6H_{12}O_{6(պ)} + 6O_{2(գ)}$$

Օգտագործելով ներքոհիշյալ տվյալները՝ հաշվել այդ ռեակցիայի ընթացքում էնթալպիայի փոփոխությունը 298 և 330 Կ ջերմաստիճաններում:

298 Կ	CO_2 (գ)	H_2O (հ)	$C_6H_{12}O_6$ (պ)	O_2 (գ)
Δ_fH^0, կՋ մոլ$^{-1}$	-393.5	-285.8	-1273.1	0
$C_{p,m}$, Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$	37.1	75.3	218.2	29.4

2-98. Սպիրտային խմորման ընթացքում գլյուկոզը վերածվում է էթանոլի և ածխածնի երկօքսիդի՝

$$C_6H_{12}O_{6(պ)} \rightarrow 2C_2H_5OH_{(հ)} + 2CO_{2(գ)}:$$

Հաշվել՝

ա) նշված ռեակցիայի ընթացքում էնթալպիայի փոփոխությունը, եթե գլյուկոզի, էթանոլի և ածխածնի երկօքսիդի գոյացման ստանդարտ ջերմությունները համապատասխանաբար հավասար են՝ -1273.1 կՋ/մոլ, -277.6 կՋ/մոլ և -393.5 կՋ/մոլ,

բ) այդ գործընթացում 1 բար ճնշման տակ և 298 Կ ջերմաստիճանում կատարված աշխատանքը՝ածխածնի երկօքսիդի վարքը համարելով իդեալական,

գ) 1 բար ճնշման տակ և 298 Կ ջերմաստիճանում 1 մոլ գլյուկոզի փոխարկման ընթացքում ներքին էներգիայի փոփոխությունը:

2-99. Գլիցիլգլիցին ($C_4H_8N_2O_3$) երկպեպտիդի այրման ստանդարտ էնթալպիան -1969 կՋ մոլ$^{-1}$ է: Հաշվել 1 բար ճնշման տակ և 298 Կ ջերմաստիճանում 10 գ գլիցիլգլիցինի այրման ընթացքում կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները: Այրման արգասիքներն են ածխաթթու գազը, ազոտը և հեղուկ ջուրը:

2-100. Կալորիաչափական բոմբում (հաստատուն ծավալի պայմանում) 0.5122 գ նավթալինի ($C_{10}H_8$) այրման ժամանակ կալորիաչափի արտաքին պատյանում գտնվող ջրի ջերմաստիճանը 20.17 ^{0}C-ից դարձել է 24.08 ^{0}C: Հաշվել նավթալինի այրման ռեակցիայի ΔH և ΔU, եթե կալորիաչափի ջերմունակությունը՝ C_V, հավասար է 5267.8 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

2-101. Մարդու օրգանիզմի նյութափոխանակության ժամանակ մեկ օրվա ընթացքում անջատվում է 10^4 կՋ ջերմություն: Ենթադրելով, որ մարդու կշռի մոտ 50 կգ-ը ջուր է, քանի՞ աստիճանով կբարձրանա մարմնի ջերմաստիճանը, եթե մարդը դիտարկվի որպես մեկուսացված համակարգ: Որքա՞ն ջուր պետք է նա կորցնի նյութափոխանակության ընթացքում՝ մարմնի նորմալ ջերմաստիճանը (36.6 ^{0}C) հաստատուն պահելու համար: Ջրի գոլորշացման ջերմությունն ընդունել 2.41 կՋ/գ, իսկ հեղուկ ջրի ջերմունակությունը ($C_{p,m}$)՝ 75.3 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

2-102. 25 ^{0}C ջերմաստիճանում կալորիաչափական բոմբի մեջ (հաստատուն ծավալում) էթանոլի այրման ռեակցիայի ջերմէֆեկտը եղել է -1364.47 կՋ·մոլ$^{-1}$:

$$C_2H_5OH_{(h)} + 3O_{2(q)} = 2CO_{2(q)} + 3H_2O_{(h)}$$

Հաշվել 1 մոլ էթանոլի այրման ռեակցիայի ընթացքում ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները:

ԳԼՈՒԽ 3. ԹԵՐՄՈԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ԵՐԿՐՈՐԴ ՕՐԵՆՔԸ: ԷՆՏՐՈՊԻԱ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Թերմոդինամիկայի երկրորդ օրենքը սահմանում է ջերմային գործընթացների ինքնաբերաբար ընթանալու ուղղության չափանիշները: Այդ օրենքի մի շարք սահմանումներից ներկայացնենք միայն մեկը, որն առնչվում է էնտրոպիային:

Էնտրոպիան՝ S, վիճակի ֆունկցիա է, որն արտահայտվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \tag{3.1}$$

որում «հավասարության» նշանը վերաբերում է դարձելի, իսկ «մեծի» նշանը՝ անդարձելի գործընթացներին: (3.1) առնչությունը կոչվում է Կլաուզիուսի անհավասարություն, որը էնտրոպիայի թերմոդինամիկական բնորոշումն է:

Էնտրոպիայի միավորը ՍԻ համակարգում Ջ Կ$^{-1}$-ն է: Տեղեկատու աղյուսակներում տրվում են մոլային արժեքները՝ Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

Մեկուսացված համակարգում՝

$$dS_{U,V} \geq 0$$

Այսինքն՝ անդարձելի ինքնաբերաբար գործընթացներում, էնտրոպիան կարող է միայն մեծանալ, իսկ թերմոդինամիկական հավասարակշռության պարագայում այն հավասար է զրոյի:

Դարձելի գործընթացում, երբ համակարգը 1 վիճակից անցնում է 2 վիճակի, էնտրոպիայի փոփոխությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \qquad (3.2)$$

Մեկուսացված համակարգում (U,V = const) հենց էնտրոպի-ան է գործընթացի ինքնաբերաբար ընթացքի ուղղության և հավասարակշռության վիճակի չափանիշը.

$$\Delta S \geq 0$$

Ներկայացնենք էնտրոպիայի հաշվարկի մի քանի դեպք:

ա) Տաքացում կամ սառեցում հաստատուն ճնշման պայմանում

Քանի որ համակարգի ջերմության փոփոխությունը ջերմաստիճանից (C_p = const) որոշվում է ջերմունակության միջոցով՝ $\delta Q = C_p dT$, ապա՝

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT \qquad (3.3)$$

Եթե ջերմունակությունը T_1–T_2 միջակայքում կախված չէ ջերմաստիճանից, ապա (3.3)-ի ինտեգրումից ստացվում է հետևյալ հավասարումը.

$$\Delta S = C_p \ln\frac{T_2}{T_1} = nC_{p,m} \ln\frac{T_2}{T_1} \qquad (3.4)$$

(3.3) և (3.4) հավասարումներում C_p-ն պետք է փոխարինել C_V-ով, եթե ջերմաստիճանի փոփոխությունը կատարվում է հաստատուն ծավալի պայմանում:

$$\Delta S = C_V \ln\frac{T_2}{T_1} = nC_{V,m} \ln\frac{T_2}{T_1}$$

բ) Իզոթերմ ընդարձակում կամ սեղմում

Այս դեպքում անհրաժեշտ է օգտվել հետևյալ առնչություններից: Իդեալական գազի պարագայում՝

$$\Delta S = nR\ln\frac{V_2}{V_1} \tag{3.5}$$

$$\Delta S = nR\ln\frac{p_1}{p_2} \tag{3.6}$$

Ջերմության կլանման պարագայում էնտրոպիայի փոփոխությունը n մոլ իդեալական գազի համար կարելի է որոշել հետևյալ հավասարումներով.

p=const $\quad \Delta S = nC_{p,m}(ln\,T_2/T_1) + nRln(ln\,V_2/V_1)$ (3.7)

V=const $\quad \Delta S = nC_{V,m}(ln\,T_2/T_1) - nRln(ln\,p_2/p_1)$ (3.8)

Իդեալական գազի ադիաբատ ընդարձակման դեպքում՝

$$\Delta S = nC_{V,m}(p_2V_2^{\gamma}/p_1V_1^{\gamma}) \tag{3.9}$$

Հաստատուն ջերմաստիճանի և ճնշման (կամ ծավալի) պարագայում էնտրոպիայի փոփոխությունը կարելի է հաշվել նաև հետևյալ բանաձևերով.

$$\Delta S = Q_p/T \qquad\qquad \Delta S = Q_V/T \tag{3.10}$$

գ) Ֆազային անցումներ

Դարձելի ֆազային անցման ժամանակ ջերմաստիճանը մնում է հաստատուն, հետևաբար՝

$$\Delta S = \frac{1}{T}\int \delta Q_{ֆ.ա.} = \frac{\Delta H_{ֆ.ա.}}{T_{ֆ.ա.}} \tag{3.11}$$

որտեղ $\Delta H_{ֆ.ա.}$-ն իզոբար պայմանում ֆազային անցման ջերմությունն է:

Պլանկի պոստուլատի հաշվառումով բացարձակ էնտրոպիայի հաշվարկը ստանդարտ վիճակում կատարելու համար անհրաժեշտ է իմանալ ջերմունակության (C_p) ջերմաստիճանային կախվածությունը յուրաքանչյուր ֆազի համար, ինչպես նաև ֆազային անցումների ջերմաստիճաններն ու էնթալպիաները:

Օրինակ, գազային նյութի բացարձակ էնտրոպիան T ջերմաստիճանում և ստանդարտ վիճակում՝ S°, որոշվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$S^{\circ} = \int_{0}^{T_{հլ}} \frac{C_{p(պ)}}{T} dT + \frac{\Delta_m H^{\circ}}{T_{հլ}} + \int_{T_{հլ}}^{T_{եռ}} \frac{C_{p(հ)}}{T} dT + \frac{\Delta_v H^{\circ}}{T_{եռ}} + \int_{T_{եռ}}^{T} \frac{C_{p(գ)}}{T} dT \qquad (3.12)$$

Քիմիական ռեակցիայում էնտրոպիայի փոփոխությունը ($\Delta_r S°$) որոշում են հետևյալ առնչությամբ.

$$\Delta_r S^{\circ} = \sum \nu_j S_j^{\circ} - \sum \nu_i S_i^{\circ} \qquad (3.13)$$

որտեղ j-ով և i-ով նշանակված են վերջնանյութերի և ելանյութերի պարամետրերը: Եթե անհրաժեշտ է հաշվել ռեակցիայի էնտրոպիայի փոփոխությունը մի այլ ջերմաստիճանում, ապա պետք է օգտվել հետևյալ հավասարումից.

$$\Delta_r S_{T_2} = \Delta_r S_{T_2} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta_r C_p}{T} dT \qquad (3.14)$$

դ) Իդեալական գազերի խառնում (T, p = const)

Եթե V_1 ծավալ զբաղեցնող n_1 նյութաքանակով մեկ գազը խառնվում է V_2 ծավալով և n_2 նյութաքանակով երկրորդ գազի հետ, ապա ընդհանուր ծավալը կդառնա ($V_1 + V_2$): Գազերի ընդարձակումը տեղի է ունենում իրարից անկախ և, հետևաբար, էնտրոպիայի ընդհանուր փոփոխությունը հավասար է գազերի էնտրոպիաների փոփոխությունների (տես 3.5 հավասարումը) գումարին.

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = n_1 R ln \frac{V_1+V_2}{V_1} + n_2 R ln \frac{V_1+V_2}{V_2} = -n_1 R ln x_1 - n_2 R ln x_2 = -R(n_1 ln x_1 + n_2 ln x_2) \qquad (3.15)$$

որտեղ x_1-ը և x_2-ը առաջին և երկրորդ գազերի մոլային բաժինները են: Այդ հավասարումը կարելի է որոշ չափով պարզեցնել, եթե դրա աջ մասը բազմապատկենք և բաժանենք (n_1+n_2)-ի վրա.

$$\Delta S_m = -R(x_1 lnx_1 + x_2 lnx_2) = -R\sum_i x_i lnx_i \qquad (3.16)$$

Այստեղից հետևում է, որ գազերի խառնումը միշտ անդարձելի է, քանի որ $x_i < 1$ ու $\ln x_i < 0$, հետևաբար և $\Delta S>0$:

Էնտրոպիայի վիճակագրական բնութագիրը հիմնված է այն գաղափարի վրա, որ թերմոդինամիկայում անդարձելի գործընթացներում համակարգերը ձգտում են անցնելու ավելի հավանական վիճակի և այդ պատճառով էնտրոպիան կարելի է կապել հավանականության հետ (Բոլցմանի հավասարում).

$$S = klnW \qquad (3.17)$$

որտեղ $k = 1.38\times10^{-23}$ Ջ Կ$^{-1}$ կոչվում է Բոլցմանի հաստատուն, W-ն համակարգի թերմոդինամիկական հավանականությունն է:

Թերմոդինամիկայի երկրորդ օրենքից հետևում է, որ ջերմության և աշխատանքի (Կառնոյի ցիկլ) միջև կապն արտահայտվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{W}{Q_1} < 1 \qquad (3.18)$$

որտեղ η-ն ջերմային մեքենայի օգտակար գործողության գործակիցն է (ՕԳԳ):

Սա նշանակում է, որ չի կարող լինել հավերժական շարժիչ՝ II կարգի:

Առավել մեծ նշանակություն ունեն հետևյալ չորս թերմոդինամիկական ֆունկցիաները:

Ներքին էներգիա՝ U(S,V)

Էնթալպիա՝ H(S,p) = U + pV

Հելմհոլցի էներգիա՝ A(T,V) = U – TS

Գիբսի էներգիա՝ $G(T, p) = H - TS$

Գործընթացների ինքնաբերաբար ընթացքի ուղղության չափանիշն է համակարգի Գիբսի էներգիայի կամ Հելմհոլցի էներգիայի նվազումը.

$$\Delta G < 0 \qquad\qquad \Delta A < 0$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \qquad\qquad \Delta A = \Delta U - T\Delta S \qquad (3.19)$$

Գիբսի էներգիաների փոփոխությամբ է պայմանավորված համակարգի կատարած առավելագույն աշխատանքը՝

$$W_{max} = G_1 - G_2 \qquad (3.20)$$

Գիբսի էներգիայի և Հելմհոլցի էներգիայի փոփոխությունը իդեալական գազի սեղմման կամ ընդարձակման (T= const) ժամանակ որոշվում է հետևյալ բանաձևերով.

$$\Delta G = RT\ln(p_2/p_1) \qquad\qquad \Delta A = RT\ln(V_1/V_2) \qquad (3.21)$$

Խտացված (կոնդենսված) համակարգերի դեպքում՝

$$\Delta G = V_{կ.ֆ.}(p_2 - p_1) \qquad (3.22)$$

որտեղ $V_{կ.ֆ.}$-ն կոնդենսված ֆազի ծավալն է:

Ֆազային անցումների համար՝

$$\Delta G_{ֆ.ա.} = 0 \qquad (3.23)$$

Ռեակցիայի էնթալպիայի նմանությամբ Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը կարելի է հաշվել՝ օգտագործելով վերջնանյութերի (j) և ելանյութերի (i) Գիբսի գոյացման ստանդարտ էներգիաները՝ $\Delta_f G^o$, որոնք բերվում են տեղեկատու աղյուսակներում (տես Հ.4-ը).

$$\Delta_r G^\circ = \sum \nu_j \Delta_f G_j^\circ - \sum \nu_i \Delta_f G_i^\circ \qquad (3.24)$$

Եթե համակարգում ընթանում է քիմիական ռեակցիա կամ համակարգը շրջապատի հետ փոխանակվում է նյութով և էներգիայով (բաց համակարգ է), ապա պետք է հաշվի առնել թերմոդինամիկական ֆունկցիաների կախումը նաև նյութի քանակից` n: Օրինակ` Գիբսի էներգիայի համար`

$$dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dn_i \qquad (3.25)$$

μ-ն կոչվում է *քիմիական պոտենցիալ,* որն ինտենսիվ պարամետր է: Համակարգում հավասարակշռություն հաստատվելիս յուրաքանչյուր բաղադրիչի քիմիական պոտենցիալը բոլոր ֆազերում դառնում է նույնը:

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. Հաշվել 11.2 լ ազոտի էնտրոպիայի փոփոխությունը 0-ից 50 °C տաքացման ժամանակ, երբ միաժամանակ փոքրացվում է ճնշումը 1-ից մինչև 0.01 մթն: Ազոտի ջերմունակությունն է` $C_{p,m} = 29.125$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

Լուծում: Խնդրի պարամետրերը թելադրում են, որ անհրաժեշտ է օգտվել (3.4) և (3.6) բանաձևերից.

$$\Delta S = nC_{p,m}\ln\frac{T_2}{T_1} + nR\ln\frac{p_1}{p_2} =$$

$$= 0.5\text{մոլ} \times 29.125\ \text{ՋԿ}^{-1}\text{մոլ}^{-1} \times \ln\frac{323}{273} + 0.5\ \text{մոլ}$$

$$\times\ 8.314\text{ՋԿ}^{-1}\text{մոլ}^{-1} \times \ln\frac{1}{0.01} = 21.6\text{ՋԿ}^{-1}$$

Պատ.` 21.6 Ջ Կ$^{-1}$:

Խնդիր 2. Որոշել 298 Կ-ում ազոտի և թթվածնի խառնումից 1 մոլ օդի առաջացման ժամանակ կատարված էնտրոպիայի փոփոխությունը: Օդի բաղադրությունն ընդունել 20 % O_2 և 80 % N_2 (ըստ ծավալի):

Լուծում: Նշված ջերմաստիճանում 1 մոլ օդ գոյանալիս էնտրոպիայի փոփոխությունը որոշվում է այսպես (3.16).

$\Delta S = -(0.2 + 0.8)\times 8.314\times (0.2\ln 0.2 + 0.8\ln 0.8) = 4.17$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

Պատ. 4.17 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

Խնդիր 3. Հաշվել 0.4 մոլ նատրիումի քլորիդի էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ այն տաքացվում է 20-ից մինչև 850 ^oC: Պինդ և հեղուկ աղի մոլային ջերմունակությունները (Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) հավասար են՝

$C_p\,(NaCl,\ _{պ}) = 45.94 + 16.32\times 10^{-3}\ T$

$C_p\,(NaCl,\ _{h}) = 66.53$

Կերակրի աղի հալման ջերմաստիճանը 800 ^oC է, իսկ հալման ջերմությունը՝ 31.0 կՋ մոլ$^{-1}$:

Լուծում: Էնտրոպիայի ընդհանուր փոփոխությունը որոշվում է երեք փուլերի հանրագումարով՝

$$\Delta S_{ընդh} = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$

որտեղ ΔS_1-ը պինդ աղի տաքացման (20→800 ^oC), ΔS_2 -ը՝ հալման (800 ^oC), իսկ ΔS_3-ը՝ հեղուկ աղի տաքացման (800→850 ^oC) գործընթացների էնտրոպիաների փոփոխություններն են:

$$\Delta S_1 = \int_{293}^{1073} \frac{C_{p,պ}}{T}\,dT$$

$$= 0.4\times 45.94\ln\frac{1073}{293} + 0.4\times 16.32 \times 10^{-3}(1073 - 293) = 28.94\ ՋԿ^{-1}$$

$$\Delta S_2 = \frac{n\Delta_m H}{T_{hլմ}} = \frac{0.4\times 31000}{1073} = 11.56\ ՋԿ^{-1}$$

$$\Delta S_3 = \int_{1073}^{1123} \frac{C_{p,h}}{T}\,dT = 0.4\times 66.53\ln\frac{1123}{1073} = 1.21\ ՋԿ^{-1}$$

$\Delta S_{ընդ}$ = 28.94 + 11.56 + 1.21 = 41.71 Ջ Կ⁻¹:

Պատ.՝ 41.71 Ջ Կ⁻¹:

Խնդիր 4. 773 Կ-ում 1 մոլ իդեալական գազը իզոթերմ սեղմվել է 5.05×10^3-ից մինչև 1.01×10^4 Պա ճնշումը: Հաշվել W, ΔU, ΔH, ΔS, ΔA և ΔG մեծությունների արժեքները:

Լուծում: Իդեալական գազի իզոթերմ սեղմման աշխատանքը դրական է և որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$W = nRT\ln\frac{p_2}{p_1} = 1\ մոլ \times 8.314\ Ջ\ մոլ^{-1}Կ^{-1} \times 773Կ \times \ln\frac{1.01\times10^4}{5.05\times10^3}$$
$$= 4455Ջ$$

Ներքին էներգիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները հավասար են զրոյի, քանի որ գործընթացն իրականացվել է իզոթերմ պայմաններում՝ ΔU = 0, ΔH = 0: Էնտրոպիայի, ինչպես նաև Հելմհոլցի և Գիբսի էներգիաների փոփոխությունները որոշվում են հետևյալ կերպ.

$$\Delta S = nR\ln\frac{p_1}{p_2} = 1\ մոլ \times 8.314\ Ջ\ մոլ^{-1}Կ^{-1} \times \ln\frac{5.05\times10^3}{1.01\times10^4}$$
$$= -5.76\ ՋԿ^{-1}$$

$$\Delta A = \Delta U - T\Delta S = 0 - 773 \times (-5.76) = 4455\ Ջ$$
$$\Delta G = \Delta A - \Delta nRT = \Delta A = 4455\ Ջ$$

(քանի որ գազի նյութաքանակի փոփոխություն տեղի չի ունեցել՝ Δn=0):

Պատ.՝ W = 4455 Ջ, ΔU = ΔH = 0, ΔS = –5.76 Ջ Կ⁻¹, ΔA = ΔG = 4455 Ջ:

Խնդիր 5. Հաշվել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիայի փոփոխությունը 298 Կ-ում՝ նյութերի գոյացման ջերմությունների և էնտրոպիաների տվյալների հիման վրա: Ո՞ր ուղղությամբ կընթանա ռեակցիան հավասարակշռությանը մոտենալիս:

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$$

	CO	H_2O	CO_2	H_2
$\Delta_f H^o(298)$, Ջ մոլ$^{-1}$	–110.5	–241.84	–393.51	0
$S^o(298)$, Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$	197.4	188.74	213.6	130.6

Լուծում: Ռեակցիայի ստանդարտ էնթալպիան և էնտրոպիան որոշվում են (2.7) և (3.13) բանաձևերով.

$\Delta_r H^o(298) = (–393.51 + 0) – (–110.5 – 241.84) = –41.17$ կՋ մոլ$^{-1}$

$\Delta S^o(298) = (213.6 + 130.6) – (197.4 + 188.74) = –41.94$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

Գիբսի էներգիան որոշվում է (3.19) բանաձևով.

$\Delta_r G^o(298) = \Delta H – T\Delta S = – 41170 – 298\times(–41.94) = –28.67$ կՋ մոլ$^{-1}$

Քանի որ Գիբսի էներգիան բացասական է, ռեակցիան ընթանում է ձախից աջ մինչև հավասարակշռություն:

Պատ.՝ –28.67 կՋ/մոլ, ձախից աջ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

3-1. Ի՞նչ վերջնական ծավալի է համապատասխանում էնտրոպիայի 38.28 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ փոփոխությունը, եթե 0.02 մ^3 իդեալական գազն ընդարձակվի իզոթերմ պայմաններում:

3-2. Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ 0.0112 մ^3 ազոտը տաքացվում է 0-ից մինչև 50 ^oC, և միաժամանակ ճնշումը նվազեցվում է 1.013×10^5-ից մինչև 1.013×10^3 Պա: Ջերմունակությունը 29.29 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է:

3-3. Հաշվել 0.001 մ^3 ջրածնի հետ 0.0005 մ^3 մեթանի խառնման էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե նշված գազերը և գոյացող խառնուրդը գտնվում են 25 ^oC–ում և 0.912×10^5 Պա ճնշման տակ:

3-4. Հաշվել Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը 298 Կ-ում՝ ա) 1 մոլ հեղուկ ջրի, բ) 1 մոլ ջրային գոլորշու (դիտել որպես իդեալական գազ) 1 մթն-ից մինչև 3 մթն սեղմման ժամանակ:

3-5. Սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունը 33480 Ջ/կգ է: Հաշվել սառույցի մոլային էնտրոպիայի փոփոխությունը հալման ժամանակ:

3-6. 0.0112 մ^3 ազոտը տաքացվել է 0-ից մինչև 50 ^oC, միաժամանակ ճնշումը փոքրացվել է 1.013×10^5-ից մինչև 1.013×10^3 Ն/մ^2: Ազոտի ջերմունակությունը 29.29 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է: Որոշել էնտրոպիայի փոփոխությունը:

3-7. 20 ^oC–ում 0.001 մ^3 ջուր պարունակող անոթի մեջ ընկղմել են 10 գ զանգվածով 200 ^oC ջերմաստիճան ունեցող երկաթե թիթեղ: Որքանո՞վ է փոխվել համակարգի էնտրոպիան, եթե $C_p(Fe_{(պ)})$= 25.52, իսկ $C_p(H_2O_{(հ)})$ = 77.82 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է:

3-8. 100 ^oC և 1 մթն ճնշման պայմաններում 1 մոլ հելիումը խառնել են նույն ճնշման, սակայն 0 ^oC ջերմաստիճանի 0.5 մոլ նեոնի հետ: Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունն այդ գործընթացում, եթե վերջնական ճնշումը դարձել է 1 մթն:

3-9. Մի ինչ-որ գործընթացի ժամանակ համակարգը 350 Կ-ում ստացել է 1.50 կՋ ջերմություն, որի հետևանքով էնտրոպիան փոխվել է +5.51 Ջ Կ$^{-1}$-ով: Կարելի՞ է համարել, որ գործընթացը թերմոդինամիկորեն դարձելի է:

3-10. Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ 0 ^oC-ում վերցրած 0.1 կգ ջուրը վերածվում է գոլորշու 120 ^oC-ում: Ջրի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը 100 ^oC-ում 2.255 կՋ/գ է: Հեղուկ ջրի տեսակարար ջերմունակությունը 4.184, իսկ գոլորշունը հաստատուն ճնշման պայմանում 1.996 Ջ գ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է:

3-11. Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը 80 ^oC ջերմաստիճանի 5 կգ ջրի և 20 ^oC ջերմաստիճանի 10 կգ ջրի խառնման ժամանակ: Ջրի տեսակարար ջերմունակությունը C_p = 4.184 Ջ գ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

3-12. Բրոմբենզոլի գոլորշացման ջերմությունը 429.8 Կ-ում 2410 Ջ/գ է: Որոշել 1.25 մոլ բրոմբենզոլի գոլորշացման էնտրոպիայի փոփոխությունը:

3-13. Էնտրոպիայի փոփոխությունը 100 գ պղնձի հալման ժամանակ 1.281Ջ Կ⁻¹ է: Որոշել պղնձի հալման տեսակարար ջերմությունը, եթե այդ մետաղի հալման ջերմաստիճանը 1083 °C է:

3-14. Հետևյալ երկու ռեակցիաներից ո՞րը կընթանա ինքնաբերաբար ստանդարտ պայմաններում.

ա) $2Fe_{(պ)} + Al_2O_{3(պ)} = 2Al_{(պ)} + Fe_2O_{3(պ)}$

բ) $2Al_{(պ)} + Fe_2O_{3(պ)} = 2Fe_{(պ)} + Al_2O_{3(պ)}$

Անհրաժեշտ տվյալները (ΔH°, S°) վերցնել Հավելվածից:

3-15. Հաշվել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիայի փոփոխությունը 25 °C-ում ($\Delta_r G°(298)$): Օգտվել Հ.4-ի տվյալներից:

$$2CO_{2(գ)} = 2CO_{(գ)} + O_{2(գ)}$$

3-16. Օգտվելով Հ.4-ի տվյալներից՝ հաշվել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը ($\Delta_r G°(298)$).

$$CO_{2(գ)} + 4H_{2(գ)} = CH_{4(գ)} + 2H_2O_{(հ)}$$

3-17. Որոշել ամոնիակի գոյացման Գիբսի ստանդարտ էներգիան 298 և 400 Կ ջերմաստիճաններում՝ օգտվելով Հ.4-ի տվյալներից: Ընդունել, որ նյութերի ջերմունակությունները ջերմաստիճանների նշված միջակայքում հաստատուն են:

3-18. Օգտվելով Հ.4-ի տվյալներից՝ որոշել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիայի փոփոխությունը 25 °C-ում.

$$NH_{3(գ)} + HCl_{(գ)} = NH_4Cl_{(պ)}$$

3-19. Օգտվելով Հ.4-ի տվյալներից՝ գտնել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիայի փոփոխությունը 25 °C-ում.

$$H_{2(գ)} + HCHO_{(գ)} = CH_3OH_{(գ)}$$

3-20. Որոշել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիայի փոփոխությունը 25 °C-ում (օգտվել Հավելվածից).

$$C_6H_{6\,(գ)} + 3H_{2\,(գ)} = C_6H_{12\,(գ)}$$

3-21. Հաշվել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիայի փոփոխությունը 25 °C–ում (օգտվել Հավելվածից).

$$2NaHCO_{3(պ)} = Na_2CO_{3(պ)} + CO_{2(գ)} + H_2O_{(գ)}$$

3-22. Հաշվել հետևյալ ռեակցիայի $\Delta_rG^o(298)$-ը՝ օգտվելով Հ.4-ի տվյալներից.

$$H_{2(գ)} + 1/2O_{2(գ)} \rightleftarrows H_2O_{(գ)}$$

3-23. Հաշվել հետևյալ ռեակցիաների Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը 298 Կ-ում՝ օգտագործելով $\Delta H°(298)$ և $S^o(298)$ մեծությունների աղյուսակային տվյալները.

ա) $SO_{2(գ)} + 1/2O_{2(գ)} \rightleftarrows SO_{3(գ)}$

բ) $CO_{(գ)} + H_2O_{(գ)} \rightleftarrows CO_{2(գ)} + H_{2(գ)}$

3-24. 1 մոլ իդեալական գազը 300 Կ ջերմաստիճանում ենթարկվել է դարձելի իզոթերմ սեղմման 25 լ-ից մինչև 10 լ ծավալ: Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում:

3-25. Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ $C_{V,m} = 3R/2$ իզոխորային ջերմունակությամբ 1 մոլ իդեալական գազը տաքացվում է 150-ից մինչև 350 Կ ջերմաստիճան՝ ա) հաստատուն ճնշման, բ) հաստատուն ծավալի պայմաններում:

3-26. Սառնարանի աշխատանքային ջերմաստիճանը 277 Կ է, իսկ սառցախցիկինը՝ 255 Կ: Քանի՞ անգամ ջերմության հեռացումը սառցախցիկից ավելի թանկ կնստի, քան սառնարանից, եթե սենյակի ջերմաստիճանը 294 Կ է:

3-27. Հաստատուն ճնշման տակ 200 գ ջուրը տաքացվել է 10 °C-ից մինչև 20 °C ջերմաստիճան: Հաշվել այդ ընթացքում էնտրոպիայի մեծացումը, եթե ջրի իզոբարային մոլային ջերմունակությունը այդ միջակայքում հավասար է 75.3 Ջ $Կ^{-1}$ $մոլ^{-1}$:

3-28. Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ 2 մոլ իդեալական գազը ընդարձակվում է 1.5 լ-ից մինչև 2.4 լ ծավալ:

3-29. Էթանոլի գոլորշացման մոլային ջերմությունը 39.3 կՋ մոլ$^{-1}$ է, իսկ եռման կետը՝ 78.3 ^{0}C: Հաշվել 0.5 մոլ էթանոլի գոլորշացման էնտրոպիայի փոփոխությունը:

3-30. Հաշվել 3.5 մոլ իդեալական գազի՝ հաստատուն ճնշման տակ 50 ^{0}C-ից մինչև 77 ^{0}C ջերմաստիճան տաքացման ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը: Գազի իզոխորային մոլային ջերմունակությունը 12.471 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է:

3-31. 25 ^{0}C-ում թթվածնի և ազոտի բացարձակ մոլային էնտրոպիաները հավասար են համապատասխանաբար 205 և 192 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: Հաշվել միևնույն ջերմաստիճանում և ճնշման պայմաններում 2.4 մոլ թթվածնի և 9.2 մոլ ազոտի խառնման էնտրոպիայի արժեքը:

3-32. 1 մոլ միատոմանի իդեալական գազը ($C_{V,m} = 3R/2$) սեղմվում է 2 մթն-ից մինչև 6 մթն ճնշում, երբ սառեցվում է 400 Կ-ից մինչև 300 Կ ջերմաստիճան: Հաշվել այդ սեղմման ընթացքում ներքին էներգիայի, էնթալպիայի և էնտրոպիայի փոփոխությունները:

3-33. Սպիտակուցները գտնվում են հիմնականում չբնափոխված կամ բնափոխված վիճակում: Հաշվել, թե որ ջերմաստիճանում բնափոխումը կընթանա ինքնաբերաբար, եթե այդ սպիտակուցի բնափոխման մոլային էնթալպիան և էնտրոպիան համապատասխանաբար հավասար են 512 կՋ մոլ$^{-1}$ և 1.6 կՋ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

3-34. 300 Կ ջերմաստիճանում և 1.5 բար ճնշման տակ գտնվող 0.59 մոլ իդեալական գազը իզոթերմորեն սեղմվել է մինչև 6.9 բար ճնշում: Հաշվել սեղմման ընթացքում Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը:

3-35. Ջրածինը գտնվում է 5 սմ^2 կտրվածքով մխոց ունեցող գլանում: Սենյակային ջերմաստիճանում (20 ^{0}C) նրա ծավալը հավասար է 500 սմ^3, իսկ ճնշումը՝ 2 մթն: Որքա՞ն կլինի գազի էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ մխոցն իզոթերմորեն բարձրանա 100 սմ:

* * *

3-36. Հաշվել հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի և Հելմհոլցի ստանդարտ էներգիաները 700 °C ջերմաստիճանում՝ օգտվելով նյութերի գոյացման էնթալպիաների, էնտրոպիաների և ջերմունակությունների տվյալներից (Հավելված).

$$CaCO_{3(պ)} = CaO_{(պ)} + CO_{2(գ)}$$

3-37. Հաշվել 1 մոլ իդեալական գազի՝ 500 °C–ում 5.065×10^5 Պա-ից մինչև 10.13×10^5 Պա ճնշում իզոթերմ սեղմման W, Q, ΔH, ΔU, ΔG, ΔA և ΔS մեծությունների արժեքները:

3-38. 2 մոլ հելիումը (դիտել որպես իդեալական գազ, մոլային ջերմունակությունը՝ $C_{p,m} = 5R/2$), տաքացրել են 100–ից մինչև 200 °C 1 մթն պայմանում: Հաշվել Գիբսի էներգիայի փոփոխությունն այդ գործընթացում, եթե հայտնի է, որ հելիումի էնտրոպիայի ելային արժեքը $S^0(373) = 131.7$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է:

3-39. Հաշվել -105 °C–ում 100 գ մեթանոլի պնդացման ժամանակ էնտրոպիայի փոփոխությունը: Պինդ մեթանոլի հալման ջերմությունը -98 °C-ում (հալման ջերմաստիճան) հավասար է 3160 Ջ մոլ$^{-1}$: Պինդ և հեղուկ մեթանոլի ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 55.6 և 81.6 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: Բացատրել, թե ինչու՞ է փոքրանում էնտրոպիան պնդացման ժամանակ, այն դեպքում, երբ գործընթացն ինքնաբերաբար է:

3-40. Գտնել 1 մոլ ացետոնի էնտրոպիայի փոփոխությունը 25-ից մինչև 100 °C տաքացման ժամանակ, եթե այդ նյութի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը 514.6 Ջ գ$^{-1}$ է, եռման ջերմաստիճանը՝ 56 °C, իսկ հեղուկ և գազային ացետոնի ջերմունակու-թյունները ներկայացված են ստորև.

$C_{p(h)} = 125$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

$C_{p(q)} = 22.47 + 201.8\times10^{-3}T - 63.5\times10^{-6}T^2$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$

3-41. 30 °C ջերմաստիճանի 5 կգ ջուր պարունակող ջերմա-պես մեկուսացված անոթ են ներմուծել -10 °C ջերմաստիճանի 1 կգ ձյուն: Որքա՞ն կմեծանա էնտրոպիան այդ գործընթացում, եթե ձյան հալման ջերմությունը 334.6 Ջ գ$^{-1}$ է, տեսակարար ջեր-մունակությունը՝ 2.024 Ջ գ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: Ջրի տեսակարար ջերմունակու-թյունը 4.184 Ջ գ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է:

3-42. 3 մոլ միատոմ իդեալական գազը ($C_V = 3.0$ կալ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$), $T_1 = 350$ Կ և $p_1 = 5.0$ մթն պայմաններում դարձելի և ադիաբատ ըն-դարձակվել է մինչև $p_2 = 1.0$ մթն: Հաշվել վերջնական ծավալը և ջերմաստիճանը, կատարված աշխատանքը, ինչպես նաև ներքին էներգիայի, էնթալպիայի և էնտրոպիայի փոփոխությունները նշված գործընթացում:

3-43. Հաշվել Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը հետևյալ ռեակցիայում՝

$$CO + 1/2O_2 = CO_2$$

500 Կ և 3 բար պարցիալ ճնշման պարագայում: Կարո՞ղ է ինքնաբերաբար ընթանալ այդ ռեակցիան նշված պայմաններում: Գազերը դիտել որպես իդեալական: Օգտվել Հ.4-ի տվյալներից (գոյացման էնթալպիաներ, էնտրոպիաներ, ջերմունակություն-ներ, վերջիններն ընդունել հաստատուն):

3-44. Հաշվել H, U, A, G, S մեծությունների փոփոխություննե-րը 0.7 մոլ ազոտի՝ $C_{p,m} = 5/2R$, 2000-ից մինչև 200 Կ սառեցման և, միաժամանակ, 0.5–ից մինչև 1.35 մ^3 ընդարձակման ժամանակ: Գազի էնտրոպիան ելային վիճակում 150 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է. այն կարելի է դիտել որպես իդեալական գազ:

3-45. 95 ^{o}C և 1 մթն պայմաններում ջրի գոլորշացման ժամանակ Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը եղել է 546 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: Հաշվել ջրի գոլորշու էնտրոպիան 100 ^{o}C-ում, եթե հեղուկ ջրի էնտրոպիան 87.0 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է: Ի՞նչ ճնշման պարագայում ջրի գոլորշացման Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը 95 ^{o}C-ում հավասար կլինի 0-ի:

3-46. Հաշվել՝ ա) առավելագույն աշխատանքը, բ) առավելագույն օգտակար աշխատանքը, որը կարելի է ստանալ գերսառեցված ջուրը -5 ^{o}C և 1.0 մթն պայմանում բյուրեղացնելիս: Ջրի և սառույցի խտությունները -5 ^{o}C-ում համապատասխանաբար հավասար են 0.999 և 0.917 գ/սմ^{3}:

3-47. 298 Կ-ում սախարոզի այրման ստանդարտ էնթալպիան և Գիբսի էներգիան համապատասխանաբար հավասար են -5645 և -5797 կՋ մոլ$^{-1}$: Գնահատել օգտակար աշխատանքը, որ կարելի է ստանալ, եթե ջերմաստիճանը բարձրացվի մինչև արյան ջերմաստիճանը (37 ^{o}C):

3-48. 500 Կ ջերմաստիճանում և 100 մթն ճնշման տակ գտնվող մեկ մոլ իդեալական գազը ենթարկվում է ադիաբատ ընդարձակման. 1 մթն հաստատուն արտաքին ճնշման նկատմամբ մինչև գազի ճնշումը հավասարվում է 1 մթն-ի: Հաշվել գազի սկզբնական և վերջնական ծավալները, վերջնական ջերմաստիճանը, ինչպես նաև էնտրոպիայի փոփոխությունն այդ գործընթացում: Գազի մոլային իզոխորային ջերմունակությունը հավասար է $C_{V,m} = 3R/2$:

3-49. 1 մոլ իդեալական գազը, որի մոլային իզոխորային ջերմունակությունը ($C_{V,m} = 3R/2$) է, իրականացնում է դարձելի Կառնոյի ցիկլ: Սկզբնական իզոթերմ ընդարձակումը՝ V_1 = 3.5 լ-ից մինչև V_2 = 10 լ ծավալ, իրականացվում է t_1 = 600 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող ջեռուցիչի առկայությամբ: Այնուհետև համակարգը ենթարկվում է ադիաբատ ընդարձակման (V_3), մինչև ջերմաստիճանը դառնում է t_2=150 ⁰C: Դրանից հետո գազը ենթարկվում է իզոթերմ սեղման (V_4) և հաջորդաբար ադիաբատ սեղման մինչև գազը վերադառնում է իր սկզբնական վիճակին (V_1): Հաշվել՝ ա) V_3 և V_4 ծավալները, բ) գազի կատարած աշխատանքը յուրաքանչյուր փուլում և ընդհանուր ցիկլի ընթացքում, գ) ցիկլի օգտակար գործողության գործակիցը:

3-50. 20.5 ⁰C ջերմաստիճանում և 6 բար ճնշման տակ գտնվող 1 մոլ ազոտը ենթարկվել է փոփոխության մինչև 145 ⁰C ջերմաստիճան և 2.75 բար ճնշում: Հաշվել այդ գործընթացում էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե մոլային իզոբարային ջերմունակությունը (Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$) տրվում է հետևյալ հավասարումով.

$$C_{P,m} = 30.81 - 11.81\times10^{-3}T + 2.3968\times10^{-5}T^2 - 1.0176\times10^{-8}T^3$$

3-51. $C_{V,m} = 3R/2$ ջերմունակությամբ 1 մոլ իդեալական գազը գտնվում է 300 Կ ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ: Հաշվել հետևյալ գործընթացներում ջերմությունը, կատարված աշխատանքը, ներքին էներգիայի, էնթալպիայի և էնտրոպիայի փոփոխությունները. երբ՝ ա) գազը 1 բար հաստատուն արտաքին ճնշման տակ տաքացվում է մինչև 450 Կ ջերմաստիճան, բ) գազը տաքացվում է մինչև 450 Կ ջերմաստիճան հաստատուն ծավալի պայմաններում, գ) գազը ենթարկվում է դարձելի իզոթերմ ընդարձակման 300 Կ-ում, մինչև ճնշումը նվազում է կիսով չափ:

3-52. Հաստատուն ճնշման տակ 1 մոլ հեղուկ ջուրը տաքացվել է 0 ⁰C-ից մինչև 100 ⁰C ջերմաստիճան: Հաշվել՝

ա) այդ գործընթացում էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե ջրի մոլային իզոբարային ջերմունակությունը 75.291 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է,

բ) $H_2O(\text{հ}, 0°C) \rightarrow H_2O(\text{գ}, 100°C)$ գործընթացում էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե ջրի պնդացման ջերմաստիճանը 0 ⁰C է, սառույցի հալման էնթալպիան՝ 6.0095 կՋ մոլ$^{-1}$, ջրի եռման ջերմաստիճանը՝ 100 ^{0}C, իսկ գոլորշացման էնթալպիան՝ 40.6563 կՋ մոլ$^{-1}$:

3-53. 1 մոլ իդեալական գազը, որի իզոխորային մոլային ջերմունակությունը $C_{V,m} = 3R/2$ է, գտնվում է 250 Կ ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ: Հաշվել ներքոհիշյալ գործընթացներում կատարված աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի, էնթալպիայի և էնտրոպիայի փոփոխությունները: (ա) Գազը ենթարկվում է դարձելի ադիաբատ ընդարձակման, մինչև նրա վերջնական ճնշումը հավասարվում է սկզբնականի կեսին: (բ) Գազը ենթարկվում է ադիաբատ ընդարձակման 0.5 մթն հաստատուն արտաքին ճնշման նկատմամբ:

3-54. Պինդ կապարի մոլային ջերմունակությունը (Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) տրվում է հետևյալ հավասարումով.

$$C_{p,m}(Pb, պինդ) = 22.13 + 0.01172T + 1 \times 10^{-5}T^2$$

իսկ հեղուկ կապարինը՝

$$C_{p,m}(Pb, հեղուկ) = 32.51 - 0.00301T$$

298.15 Կ ջերմաստիճանում պինդ կապարի ստանդարտ էնտրոպիան 64.8 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է, հալման ջերմաստիճանը՝ 327.4 ^{0}C, իսկ հալման ջերմությունը՝ 4770 Ջ մոլ$^{-1}$:

(ա) Հաշվել հեղուկ կապարի ստանդարտ էնտրոպիան 500 ^{0}C ջերմաստիճանում:

(բ) Հաշվել $Pb(պինդ,\ 25°C) \rightarrow Pb(հեղուկ,\ 500°C)$ անցման էնթալպիայի փոփոխությունը:

3-55. Գլիցինը վեր է ածվում գլիցիլգլիցինի՝ ըստ հետևյալ հավասարման.

2 գլիցին(պ) → գլիցիլգլիցին(պ) + ջուր(հ)

Հաշվել այդ ռեակցիայի ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում, շրջապատում և տիեզերքում 298 Կ ջերմաստիճանում՝ օգտվելով հետևյալ թերմոդինամիկական տվյալներից.

	Գլիցին	Գլիցիլգլիցին	Ջուր
$\Delta_f H^\circ$, կՋ մոլ$^{-1}$	-537.2	-746	-285.8
S°, Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$	103.5	190	70

3-56. Անաէրոբ պայմաններում գլյուկոզը վերածվում է կաթնաթթվի՝ $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH$

298 Կ ջերմաստիճանում գլյուկոզի և կաթնաթթվի թերմոդինամիկական տվյալները ներկայացված են աղյուսակում.

	$\Delta_f H^\circ$, կՋ մոլ$^{-1}$	$C_{p,m}$, Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$	S°, Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$
Գլյուկոզ	-1273.1	219.2	209.2
Կաթնաթթու	-673.6	127.6	192.1

Հաշվել այդ ռեակցիայի ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում, շրջապատում և տիեզերքում 310 Կ ջերմաստիճանում: Ընդունել, որ այդ ջերմաստիճանային միջակայքում ջերմունակությունները հաստատուն են:

3-57. Հաշվել համակարգում, շրջապատում և տիեզերքում էնտրոպիայի փոփոխությունը ֆոտոսինթեզի ընթացքում 298 Կ և 330 Կ ջերմաստիճանում՝ օգտագործելով աղյուսակային տվյալները.

$$6CO_{2(գ)} + 6H_2O_{(հ)} \rightarrow C_6H_{12}O_{6(պ)} + 6O_{2(գ)}$$

T = 298 Կ	CO_2(գ)	H_2O(հ)	$C_6H_{12}O_6$(պ)	O_2(գ)
$\Delta_f H^\circ$, կՋ մոլ$^{-1}$	-393.5	-285.8	-1273.1	0
S°, Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$	213.8	70	209.2	205.2
$C_{p,m}$, Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$	37.1	75.3	219.2	29.4

3-58. 373 Կ ջերմաստիճանում գտնվող 15 գ ջրային գոլորշին խառնվել է 298 Կ-ում գտնվող 250 գ հեղուկ ջրի հետ 1 բար հաստատուն ճնշման պայմաններում: Հաշվել այդ ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե հեղուկ ջրի և ջրային գոլորշու իզոբարային ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 75.3 և 33.6 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: Վերջնական խառնուրդը գտնվում է հեղու՞կ, թե՞ գոլորշի վիճակում:

3-59. 273 Կ ջերմաստիճանում գտնվող 25 գ սառույցի կտորն ավելացվել է 360 Կ ջերմաստիճան ունեցող 150 գ հեղուկ ջրին հաստատուն ճնշման պայմաններում: Հաշվել այդ գործընթացում էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե սառույցի և հեղուկ ջրի իզոբարային ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 36.2 և 75.3 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

3-60. -2.25 ^{0}C ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ գտնվող 1 մոլ գերսառեցված ջուրը անդարձելի ինքնաբերաբար վերածվում է սառույցի: Հաշվել այդ ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում, շրջապատում և տիեզերքում: Սառույցի և հեղուկ ջրի իզոբարային ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 37.7 և 75.3 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, իսկ 0 ^{0}C ջերմաստիճանում սառույցի հալման մոլային էնթալպիան 6.008 կՋ մոլ$^{-1}$ է:

3-61. Օդորակիչը սենյակում աշխատում է որպես սառնարան, իսկ սենյակից դուրս՝ արտաքին միջավայրում, որպես ջեռուցիչ: Եթե օդորակիչը ծախսում է 1.5×10^3 Վտ հոսանք, և նրա աշխատանքային գործակիցը 2.5 է, ապա որքա՞ն ջերմություն կարող է այն հեռացնել սենյակից 24 ժամվա ընթացքում: Օդորակիչը դիտարկել որպես իդեալական Կառնոյի սառնարան: Սենյակի ջերմաստիճանն ընդունել 300 Կ:

3-62. 20 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 0.5 մոլ իդեալական գազը իզոթերմորեն ընդարձակվում է 2 մթն հաստատուն արտաքին ճնշման նկատմամբ 1 լ-ից մինչև 5 լ ծավալ: Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը շրջապատում, համակարգում և տիեզերքում:

3-63. Գերսառեցված ջուրը այն հեղուկ ջուրն է, որը սառեցվել է մինչև իր նորմալ սառեցման կետից ավելի ցածր ջերմաստիճան: Այդ վիճակը թերմոդինամիկորեն անկայուն է և ինքնաբերաբար կարող է վերածվել սառույցի: Դիցուք՝ ունենք 2 մոլ գերսառեցված ջուր, որը վերածվում է սառույցի -10 ^{0}C-ում և 1 մթն ճնշման տակ: Հաշվել այդ ընթացքի համար էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում, շրջապատում և տիեզերքում: Ջրի և սառույցի մոլային իզոբարային ջերմունակությունները համապատասխանաբար 75.3 և 37.7 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ են, սառույցի հալման մոլային ջերմությունը՝ 6.01 կՋ·մոլ$^{-1}$:

3-64. 25 ^{0}C-ում և 1 մթն ճնշման տակ գտնվող 1 մոլ հեղուկ ջուրը վերածվել է գոլորշու 100 ^{0}C-ում և 1 մթն ճնշման պայմանում: Հաշվել այդ ընթացքում ներքին էներգիայի, էնթալպիայի և էնտրոպիայի փոփոխությունները: 373 Կ-ում ջրի գոլորշացման մոլային ջերմությունը 40.79 կՋ մոլ$^{-1}$ է, իսկ ջրի մոլային ջերմունակությունը՝ 75.3 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

3-65. 25 ^{0}C-ում գտնվող 35 գ ջուրը (A) խառնել են 86 ^{0}C-ում գտնվող 160 գ ջրին (B): (ա) Հաշվել համակարգի վերջնական ջերմաստիճանը, եթե խառնումը իրականացվել է ադիաբատ պայմաններում: (բ) Հաշվել (A), (B) համակարգերի և ընդհանուր խառնուրդի էնտրոպիայի փոփոխությունը: Ջրի ջերմունակությունը 75.3 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է:

3-66. 1 մոլ իդեալական գազը 300 Կ ջերմաստիճանում իզոթերմորեն ընդարձակվում է 5 լ-ից մինչև 10 լ ծավալ: Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը շրջապատում, համակարգում և տիեզերքում, եթե գործընթացն իրականացվում է՝ ա) դարձելի, բ) ոչ դարձելի՝ 2 մթն արտաքին ճնշման նկատմամբ:

3-67. 15.6 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 0.35 մոլ իդեալական գազը ընդարձակվում է 1.2 լ-ից մինչև 7.4 լ ծավալ: Հաշվել այդ ընթացքում աշխատանքը, ջերմությունը, ներքին էներգիայի, էնթալպիայի, էնտրոպիայի և Գիբսի էներգիայի փոփոխությունները, եթե ընդարձակումն իրականացվում է՝ ա) դարձելի իզոթերմորեն, բ) իզոթերմորեն և ոչ դարձելի 1 մթն արտաքին ճնշման նկատմամբ:

3-68. Գերտաքացված ջուրը այն ջուրն է, որի ջերմաստիճանը բարձրացվել է 100 ^{0}C-ից բարձր՝ առանց եռալու: Այդ վիճակը թերմոդինամիկորեն անկայուն է: 110 ^{0}C ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման տակ գտնվող 1.5 մոլ գերտաքացված ջուրը անդարձելի վերածվում է գոլորշու նույն պայմաններում: Հաշվել այդ պրոցեսի ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունները համակարգում, շրջապատում և տիեզերքում: Ջրի գոլորշացման մոլային էնթալպիան 40.79 կՋ մոլ$^{-1}$ է, ջրի և ջրային գոլորշու մոլային ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 75.5 և 34.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

3-69. Հաշվել 0.7 մոլ մոնոկլինիկ ծծմբի 25 ^{0}C-ից մինչև 200 ^{0}C տաքացման ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը: Ծծմբի իզոբարային մոլային ջերմունակությունները (Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$) հավասար են՝

C_p(S, պինդ) = 23.64,

C_p(S, հեղուկ) = $35.73 + 1.17\times10^{-3}$T

Ծծմբի հալման տեսակարար ջերմությունը 45.2 Ջ/գ է, իսկ հալման ջերմաստիճանը՝ 119 ^{0}C:

3-70. Հաշվել -105 ^{0}C ջերմաստիճանում 1000 գ մեթանոլի ոչ դարձելի սառեցման ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում: Պինդ մեթանոլի հալման ջերմությունը նորմալ ճնշման պայմաններում 3160 Ջ/մոլ է, հալման ջերմաստիճանը՝

-98 ^{0}C: Պինդ և հեղուկ մեթանոլի ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 55.6 և 81.6 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

3-71. Հաշվել -5 ^{0}C ջերմաստիճանում 1000 գ ջրի ոչ դարձելի սառեցման ընթացքում էնտրոպիայի փոփոխությունը համակարգում: Սառույցի հալման ջերմությունը նորմալ ճնշման պայմաններում 0 ^{0}C-ում 6008 Ջ/մոլ է: Սառույցի և ջրի ջերմունակությունները հավասար են 34.7 և 75.3 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ համապատասխանաբար:

3-72. 60 ^{0}C ջերմաստիճանում գտնվող 2 մոլ ջուրը ավելացվել է 20 ^{0}C-ում գտնվող 4 մոլ ջրին: Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե ջրի ջերմունակությունը 75.3 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$ է:

ԳԼՈՒԽ 4. ՖԱԶԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՌՈՒԹՅՈՒՆ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Հավասարակշռության մեջ գտնվող միաբաղադրիչ երկֆազ համակարգի թերմոդինամիկական պարամետրերի միջև կապն արտահայտվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H_{ֆ.ա.}}{T\Delta V_m} \tag{4.1}$$

որտեղ $\Delta H_{ֆ.ա.}$-ը ֆազերի հավասարակշռության պայմանում ֆազային անցման՝ գոլորշացում, հալում, ցնդում (սուբլիմացում), պոլտրոպային փոխարկում և այլն, ջերմությունն է: dp/dT-ն հագեցած գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցն է, ΔV_m-ը՝ հավասարակշռության մեջ գտնվող ֆազերի մոլային ծավալների տարբերությունը, T-ն՝ ֆազային անցման ջերմաստիճանը:

Գոլորշացման՝ հեղուկ⇄գոլորշի, և ցնդման՝ պինդ⇄գոլորշի, գործընթացների դեպքում նշված հավասարմանը կարելի է տալ մի այլ տեսք: Հեղուկի կամ պինդ նյութի ծավալը հնարավոր է անտեսել գոլորշու ծավալի նկատմամբ, իսկ վերջինս էլ փոխարինել գազային վիճակի հավասարման այլ պարամետրերով՝

$\Delta V_m \approx V_{m,գ} = RT/p$:

Ստացվող առնչությունը կոչվում է Կլաուզիուս-Կլապեյրոնի հավասարում (4.2)՝

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_v Hp}{RT^2} \qquad \text{կամ} \qquad \frac{dp}{p} = \frac{\Delta_v H}{R}\frac{dT}{T^2} \tag{4.2}$$

որտեղ $\Delta_v H$-ը գոլորշացման (կամ ցնդման) գործընթացի մոլային ջերմությունն (էնթալպիան) է:

Ընդունելով, որ $\Delta_v H$-ը կախված չէ ջերմաստիճանից, (4.2) հավասարման ինտեգրումը հանգեցնում է հետևյալ առնչությանը․

$$ln\frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_v H}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \quad \text{կամ} \quad ln\frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_v H}{R}\frac{(T_2 - T_1)}{T_2 T_1} \quad (4.3)$$

որտեղ p_2-ը և p_1-ը հագեցած գոլորշու ճնշումներն են համապատասխանաբար T_2 և T_1 ջերմաստիճաններում:

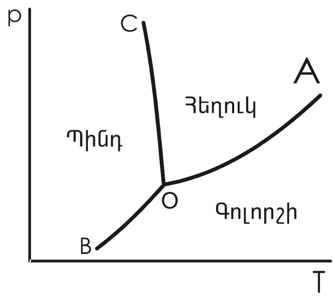
Նույն հավասարման ինտեգրումից (անորոշ սահմաններում) կարելի է ստանալ մի հավասարում ևս՝

$$\ln p = A - B/T \quad (4.4)$$

որի հիման վրա $\ln p = f(1/T)$ գրաֆիկի միջոցով հնարավոր է որոշել ֆազային անցման ջերմությունը՝ $tg\alpha = -B = -\Delta H_{ֆ.ա.}$:

Ֆազերի հավասարակշռության պարագայում, O եռյակ կետում (տե՛ս նկարը), նյութի հագեցած գոլորշու ճնշումը հեղուկ (p^o_h) և պինդ ($p^o_պ$) ֆազերի վրա իրար հավասար են՝

$$p^o_h = p^o_պ \quad (4.5)$$



Ջրի ֆազային դիագրամը

Եռյակ կետում ցնդման (s), հալման (m) և գոլորշացման (v) մոլային էնթալպիաները տվյալ ջերմաստիճանում միմյանց հետ կապված են հետևյալ առնչությամբ․

$$\Delta_s H = \Delta_m H + \Delta_v H \tag{4.6}$$

Ֆազային անցման էնթալպիայի կախումը ջերմաստիճանից կարելի է արտահայտել Կիրխհոֆի օրենքով՝

$$\Delta H_{ֆ.ա.}(T_2) = \Delta H_{ֆ.ա.}(T_1) + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT \tag{4.7}$$

Ոչ բևեռային հեղուկների գոլորշացման էնտրոպիան կարելի է գնահատել Տրուտոնի կանոնի միջոցով՝ համաձայն որի նշված տեսակի հեղուկների գոլորշացման մոլային էնտրոպիան եռման նորմալ ջերմաստիճանում 1 մթն ճնշման պայմանում հաստատուն է.

$$\Delta_v S = \frac{\Delta_v H}{T_{եռ.}} = 88\ Ջ\ մոլ^{-1} Կ^{-1} \tag{4.8}$$

Ջուրը, լինելով բևեռային և ասոցվող հեղուկ, չի ենթարկվում նշված կանոնին (ջրի գոլոշացման մոլային էնտրոպիան 109 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$ է)։

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. Հեքսանի եռման նորմալ ջերմաստիճանը 69.0 ^{o}C է։ Գնահատել՝ ա) այդ հեղուկի գոլորշացման մոլային էնթալպիան, բ) հեքսանի գոլորշու ճնշումը 25 և 60 ^{o}C ջերմաստիճաններում։

Լուծում:

ա) Քանի որ հեքսանը ոչ բևեռային հեղուկ է, կարելի է օգտվել Տրուտոնի կանոնից.

$$\Delta_v H = T_{եռ.} \Delta_v S = 88\ Ջ\ մոլ^{-1} Կ^{-1} \times (273.15 + 69.0) = 30.1\ կՋ\ մոլ^{-1}$$

բ) Հեքսանի եռման նորմալ կետում (69.0 ^{o}C կամ 342.15 Կ) ճնշումը 1 մթն է (p_1), հետևաբար պետք է օգտվել (4.3) հավասարման պարզեցված արտահայտությունից.

$$\ln p_2 = \frac{\Delta H}{R}\frac{(T_2 - T_1)}{T_2 T_1}$$

Ճնշումները 25 °C (298.15 Կ) և 60 °C (333.15 Կ) ջերմաստի-ճաններում հավասար են՝

$$\ln p_2(25°C) = \frac{30.1\times10^3 Ջ\ մոլ^{-1}}{8.314\ Ջ\ մոլ^{-1}Կ^{-1}}\times\frac{(298.15-342.15)Կ}{342.15\ Կ\times298.15\ Կ} = -1.56,$$

$$p_2 = 0.21մթն$$

$$\ln p_2(60°C) = \frac{30.1\times10^3\ Ջ\ մոլ^{-1}}{8.314\ Ջ\ մոլ^{-1}Կ^{-1}}\times\frac{(333.15-342.15)\ Կ}{333.15\ Կ\times342.15\ Կ} = -0.286,$$

$$p_2 = 0.75մթն$$

Պատ.՝ ա) 30.1 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) p(25 °C) = 0.21 մթն, p(60 °C) = 0.75 մթն

Խնդիր 2. Հաշվել ջրի եռման ջերմաստիճանը Էվերեստի գա-գաթին (բարձրությունը 8850 մ)՝ գոլորշացման էնթալպիան հա-մարելով 40.67 կՋ մոլ$^{-1}$: Բարձունքի մթնոլորտային ճնշման հաշ-վարկի համար օգտվել բարոմետրական բանաձևից:

Լուծում: Բարոմետրական բանաձևը կարելի է ներկայացնել այսպես.

$$p_2 = p_1 e^{-Mgh/RT}$$

որտեղ p_1–ը մթնոլորտային ճնշումն է Երկրի մակերևույթի, իսկ p_2-ը՝ h բարձրության վրա, M-ը օդի միջին մոլային զանգվածն է (29×10^{-3} կգ/մոլ), g-ն՝ ծանրության ուժի արագացումը՝ 9.8 մ/վ^2, T-ն՝ ջերմաստիճանը, որը կարող ենք համարել 298 Կ: Լեռան գագաթին ճնշումը կլինի՝

$$p_2 = 1մթն\times\exp\left(-\frac{29\times10^{-3}\ կգ\ մոլ^{-1}\times9.8\ մ\ վ^{-2}\times8850\ մ}{8.314\ Ջ\ մոլ^{-1}Կ^{-1}\times298.15\ Կ}\right)$$

$$= 0.362\ մթն$$

Եթե ջրի եռման ջերմաստիճանում (373 Կ) ճնշումը կարելի է համարել 1 մթն, ապա T_2 եռման ջերմաստիճանում՝ 0.362 մթն: Տեղադրելով տվյալները (4.3) հավասարման մեջ՝ կստացվի՝

$$\ln\frac{0.362\ \text{մթն}}{1\ \text{մթն}} = \frac{40670\ \text{Ջ մոլ}^{-1}}{8.314\ \text{Ջ մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1}}\left(\frac{1}{373}-\frac{1}{\text{T}_2}\right)$$

որտեղից T_2=346 Կ կամ 73 °C:

Պատ.՝ 73 °C:

Խնդիր 3. Հեղուկ բենզոլի (C_6H_6) գոլորշու ճնշումը (տոր) 10 °C-ի և 80 °C–ի միջև նկարագրվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$\lg p = 7.96 - 1780/T$$

Հաշվել բենզոլի գոլորշացման էնթալպիան և եռման նորմալ կետը:

Լուծում: Ճնշումները 10 °C (283.15 Կ) և 80 °C (353.15 Կ) ջերմաստիճաններում հավասար են՝

$\lg p_1$ = 7.960 – 1780/283.15 = 1.674, p_1 = 47.2 տոր

$\lg p_2$ = 7.960 – 1780/353.15 = 2.920, p_2 = 831.1 տոր

Բենզոլի գոլորշացման էնթալպիան որոշվում է (4.3) բանաձևով.

$$lg\frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_v H}{2.3R}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)$$

$$\Delta_v H = 34.1\ \text{կՋ մոլ}^{-1}$$

Եռման նորմալ կետը գտնելու համար (4.3) հավասարումը կարելի է ներկայացնել այսպես.

$$lg\frac{p_2}{760} = \frac{\Delta_v H}{2.3R}\left(\frac{1}{T_{\text{եռ}}}-\frac{1}{353.15}\right)$$

որտեղից $T_{\text{եռմ}}$ = 350.4 Կ:

Պատ.՝ $\Delta_v H$= 34.1 կՋ մոլ$^{-1}$, $T_{\text{եռմ}}$ = 350.4 Կ:

Խնդիր 4. Ֆրեոնի՝ CCl_2F_2, հագեցած գոլորշու ճնշման կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\lg p\ (\text{Պա}) = 34.5 - 2406\ T^{-1} - 9.26\ \lg T + 0.00377\ T$$

Հաշվել հագեցած գոլորշու ճնշումը 298 Կ-ում և 1 մոլ ֆրեոնի գոլորշացման էնտրոպիայի փոփոխությունը նույն ջերմաստիճանում:

Լուծում: Նախ որոշենք հագեցած գոլորշու ճնշումը 298 Կ-ում:

$$\lg p = 34.5 - 2406/298 - 9.26 \lg 298 + 0.00377 \times 298 = 4.639$$

$$p(298) = 4.36 \times 10^4\ \text{Պա}$$

Էնտրոպիայի փոփոխությունը գտնելու համար անհրաժեշտ է որոշել ֆրեոնի գոլորշացման էնթալպիան (4.2)՝ հավասարման փոփոխված տարբերակով, միայն թե վերևում բերված lgp-ն պետք է փոխարինել lnp-ով:

$$\Delta_v H = \left(\frac{\mathrm{dln}p}{\mathrm{d}T}\right) RT^2$$

$$\ln p = 2.3 \times 34.5 - \frac{2.3 \times 2406}{T} - 9.26 \ln T + 2.3 \times 0.00377 T$$

Դիֆերենցելով վերջին հավասարումն ըստ ջերմաստիճանի՝ կստանանք՝

$$\frac{\mathrm{dln}p}{\mathrm{d}T} = \frac{5533.8}{T^2} - \frac{9.26}{T} + 8.67 \times 10^3$$

$$\Delta_v H = \left(\frac{\mathrm{dln}p}{\mathrm{d}T}\right) RT^2 = 29467\ \text{Ջ մոլ}^{-1}$$

Այնուհետև կարելի է հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը.

$$\Delta_v S = \frac{\Delta_v H}{T} = \frac{29467\ \text{Ջ մոլ}^{-1}}{298\text{Կ}} = 99\ \text{Ջ մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1}$$

Պատ.՝ $p = 4.36 \times 10^4$ Պա, $\Delta S = 99$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

Խնդիր 5. Պինդ նյութի մոլային ծավալը 1.00 մթն ճնշման տակ և 350.75 Կ հալման ջերմաստիճանում 161.0 սմ^3 մոլ$^{-1}$ է: Այդ նույն պայմաններում հեղուկի մոլային ծավալը 163.3 սմ^3 մոլ$^{-1}$ է: Ճնշումը մինչև 100 մթն բարձրացնելիս հալման ջերմաստիճանը մեծանում է մինչև 351.26 Կ: Հաշվել պինդ նյութի հալման էնթալպիան և էնտրոպիան:

Լուծում: Նյութի հալման ջերմությունը ճնշման փոփոխության պարագայում գտնելու համար անհրաժեշտ է օգտվել (4.1) հավասարման պարզեցված տարբերակից.

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{\Delta_m H}{T\Delta_m V}$$

որտեղ $\Delta_m V_m$–ը նյութի պինդ և հեղուկ վիճակների մոլային ծավալների տարբերությունն է:

$$\Delta_m H = \frac{\Delta p \times T \times \Delta_m V}{\Delta T} = \frac{99 \text{ մթն} \times 351.26 \text{ Կ} \times 2.3 \times 10^{-3} \text{լ}}{0.51 \text{Կ}}$$
$$= 157 \text{ լ մթն մոլ}^{-1}$$

կամ $\Delta_m H$ = 15.9 կՋ մոլ$^{-1}$

$$\Delta_m S = \frac{\Delta_m H}{T_{հլմ}} = \frac{15900 \text{ Ջ մոլ}^{-1}}{351.26 \text{ Կ}} = 45.3 \text{ Ջ մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1}$$

Պատ.՝ $\Delta_m H$ = 15.9 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_m S$ = 45.3 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

Խնդիր 6. Ի՞նչ ծավալով 720 տոր և 40 °C պայմանում օդ պետք է անցկացնել հեղուկ ծծմբածխածնի միջով, որպեսզի դրանից արտահանվի 30 գ: Հայտնի է, որ ծծմբածխածնի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը 46.5 °C եռման նորմալ ջերմաստիճանում 355.8 Ջ/գ է:

Լուծում: Եռման նորմալ ջերմաստիճանի պարամետրերը նշանակելով p_2-ով (1 մթն) և T_2-ով (319.5 Կ)՝ (4.3) բանաձևով հաշվենք ծծմբածխածնի (76 գ/մոլ) պարցիալ ճնշումը՝ p_1.

$$\ln\frac{1}{p_1} = \frac{355.8 \text{ Ջ գ}^{-1} \times 76 \text{ գ մոլ}^{-1} \times 6.5 \text{ Կ}}{8.314 \text{ Ջ մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1} \times 313\text{Կ} \times 319.5\text{Կ}} = 0.2114,$$
$$p_1 = 0.81 \text{մթն}$$

720 տորը վերածենք մթն-ի (0.947 մթն) և գազի վիճակի հավասարման միջոցով գտնենք 30 գ ծծմբածխածնի ծավալը.

$$V_{CS_2} = \frac{nRT}{p} = \frac{(30/76)\text{մոլ} \times 0.082\ \text{լ մթն մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1} \times 313\ \text{Կ}}{0.947\ \text{մթն}} = 10.7\ \text{լ}$$

$$= 10.7 \times 10^{-3}\text{մ}^3$$

Օդի պարցիալ ճնշումը կլինի (0.947 – 0.81) = 0.137 մթն: Եթե ավելացվող օդի ծավալը նշանակենք V_1, ապա գազերի ընդհանուր ծավալը կլինի ($V_1 + 10.7\times 10^{-3}$) մ³:

Բոյլ-Մարիոտի օրենքի հիման վրա հաշվենք ավելացվող օդի ծավալը (V_1).

$p_1V_1 = p_2V_2$ $\quad 0.947\times V_1 = 0.137\times (V_1 + 10.7\times10^{-3})$

$V_1 = 1.82\times10^{-3}$ մ³

Պատ.՝ 1.82×10^{-3} մ³:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

4-1. 1.013×10^5 Պա պայմանում և 234.3 Կ հալման ջերմաստիճանում հեղուկ սնդիկն ունի 13.69, իսկ պինդ սնդիկը՝ 14.19 գ/սմ³ խտություն: Հաշվել սնդիկի հալման ջերմաստիճանը 3.78×10^7 Պա ճնշման տակ, եթե հալման ջերմությունը 9.74 Ջ/գ է:

4-2. Հագեցած գոլորշու ճնշումը ծծմբական թթվի վրա 451 Կ-ում 666, իսկ 485 Կ-ում 2666 Պա է: Ինչի՞ է հավասար հագեցած գոլորշու ճնշումը 473 Կ-ում:

4-3. Ի՞նչ ճնշման տակ կեռա դիէթիլամինը 20 °C-ում, եթե դրա եռման նորմալ ջերմաստիճանը 58 °C է, իսկ գոլորշացման ջերմությունը՝ 27844.52 Ջ/մոլ:

4-4. Մեթանոլի եռման ջերմաստիճանը 200 տոր պայմանում 34.7 °C է, իսկ 400 տոր պայմանում՝ 49.9 °C: Հաշվել եռման ջերմաստիճանը նորմալ ճնշման պարագայում:

4-5. Որոշել էթիլեթերի եռման նորմալ ջերմաստիճանը, եթե 30 °C-ում դրա ճնշումը 634.8 մմ ս.ս. է, գոլորշացման մոլային ջերմությունը՝ 28.368 կՋ/մոլ:

4-6. Որոշել հեղուկ դեյտերիումի մոլային ծավալը (մ³/մոլ) 18.65 Կ-ում, եթե այդ ջերմաստիճանում $dp/dT = 4.1 \times 10^6$ Պա $Կ^{-1}$, հալման ջերմությունը՝ $\Delta_v H = 196$ Ջ/մոլ, պինդ դեյտերիումի մոլային ծավալը՝ $V_{պ} = 2.05 \times 10^{-5}$ մ³/մոլ:

4-7. Բութանոլի եռման ջերմաստիճանը 1.013×10^5 Ն/մ² ճնշման տակ 117.8 °C է, իսկ գոլորշացման ջերմությունը՝ 5.912×10^5 Ջ/կգ: Որքա՞ն է նշված նյութի եռման ջերմաստիճանը 750 մմ ս.ս. ճնշման տակ:

4-8. Քլորոֆորմի գոլորշու ճնշումը 50 °C–ում 535 մմ ս.ս. է, գոլորշացման ջերմությունը՝ 30.836 կՋ/մոլ: Հաշվել նշված նյութի եռման նորմալ ջերմաստիճանը:

4-9. Հաշվել էթիլենգլիկոլի թորման ջերմաստիճանը 20 տոր վակուումային սարքում, եթե եռման նորմալ ջերմաստիճանը 470 Կ է, իսկ գոլորշացման էնթալպիան՝ 49.63 կՋ $մոլ^{-1}$:

4-10. Հաշվել մետաղական ցինկի ցնդման ջերմությունը, եթե հալման ջերմությունը ($\Delta_m H$) եռյակ կետի ջերմաստիճանում (692.7 Կ) 6.908 կՋ/մոլ է, իսկ գոլորշացման ջերմության կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\Delta_v H = 133738.7 - 9.972T \qquad (Ջ/մոլ)$$

4-11. Բենզոլի եռման ջերմաստիճանը 1 մթն պայմանում 80.1 °C է: Գնահատել բենզոլի գոլորշու ճնշումը 25 °C–ում:

4-12. Հաշվել հեղուկ բրոմի գոլորշու ճնշումը 25 °C–ում, եթե հայտնի է, որ գազային բրոմի $\Delta_f G^o(Br_2,գ)$-ն հավասար է 3.110 կՋ/մոլ:

4-13. Նյութը եռում է 75 մմ ս.ս. ճնշման տակ 20 °C-ում, իսկ 118-ի տակ՝ 30 °C-ում: Որոշել նյութի գոլորշացման ջերմությունը:

4-14. Որոշել սպիտակ ֆոսֆորի ցնդման մոլային էնթալ-պիան և էնտրոպիան 298 Կ-ում, եթե պինդ նյութի վրա գոլորշու ճնշումը 270–300 Կ միջակայքում արտահայտվում է հետևյալ առնչությամբ՝ $\ln p = 9.6511 - 3296.9\ T^{-1}$ (տոր):

4-15. Հեղուկ ծծմբի օքսիդի՝ SO_2-ի, գոլորշու ճնշումը 201 Կ ջերմաստիճանում 2232 Պա է, իսկ գոլորշացման ջերմությունը՝ 24.94 կՋ մոլ$^{-1}$: Հաշվել նշված հեղուկի նորմալ եռման ջերմաստի-ճանը:

4-16. Ջրի գոլորշացման մոլային էնթալպիան 40.65 կՋ մոլ$^{-1}$ է, իսկ նորմալ եռման ջերմաստիճանը՝ 373.15 Կ: Որքա՞ն կլինի ջրի եռման ջերմաստիճանը 5500 մ բարձրության վրա, որտեղ բարո-մետրական ճնշումը 380 տոր է:

4-17. Հեղուկ մեթանոլի գոլորշու ճնշումը (Պա) տրվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$\ln p = 23.593 - \frac{3.6791 \times 10^3}{T - 31.317}$$

Հաշվել՝ ա) ստանդարտ եռման ջերմաստիճանը, բ) գոլոր-շացման էնթալպիան 298 Կ-ում և ստանդարտ եռման ջերմաստի-ճանում:

4-18. Ջրի նորմալ սառեցման ջերմաստիճանը 273.15 Կ է, իսկ սառույցի հալման էնթալպիան՝ 6010 Ջ մոլ$^{-1}$: Հաշվել սառեցման կետի անկումը 100 բար և 500 բար ճնշման տակ, եթե հեղուկ և պինդ ֆազերի խտությունները համապատասխանաբար հավա-սար են 997 և 917 կգ մ$^{-3}$:

4-19. Վիրաբուժական գործիքների ախտահանման համար օգտագործվող ավտոկլավները պահանջում են 120 ^{0}C ջերմաստի-ճան՝ բակտերիաների ոչնչացման համար: Եթե այդ նպատակի համար օգտագործվում է ջուր, ապա ո՞ր ճնշման տակ պետք է աշխատի ավտոկլավը: Ջրի նորմալ եռման ջերմաստիճանը 373.15 Կ է, իսկ գոլորշացման էնթալպիան՝ 40.656 կՋ մոլ$^{-1}$:

4-20. Հաշվել 273.15 Կ ջերմաստիճանում պինդ/հեղուկ ֆազային անցման կորի թեքությունը (dp/dT, մթն $Կ^{-1}$), եթե նյութի հալման մոլային էնթալպիան 6.01 կՋ $մոլ^{-1}$ է, իսկ հեղուկ և պինդ նյութի մոլային ծավալները, համապատասխանաբար, 0.018 և 0.0196 մոլ $լ^{-1}$ են:

4-21. Էթանոլի նորմալ եռման ջերմաստիճանը 78.3 ^{0}C է, իսկ գոլորշացման մոլային էնթալպիան՝ 39.3 կՋ $մոլ^{-1}$: Հաշվել էթանոլի գոլորշու ճնշումը 30 ^{0}C ջերմաստիճանում:

4-22. 60 կգ քաշ ունեցող գեղասահորդի առաջացրած ճնշումը սառցադաշտի վրա 300 մթն է: Հաշվել այդ պայմաններում սառեցման կետի անկումը, եթե ջրի և սառույցի մոլային ծավալները համապատասխանաբար հավասար են 0.018 և 0.0196 լ $մոլ^{-1}$, իսկ սառույցի հալման մոլային էնթալպիան 6.01 կՋ $մոլ^{-1}$ է:

4-23. 20 ^{0}C-ում ինչպիսի՞ ճնշման տակ կեռա դիէթիլամինը, եթե դրա նորմալ եռման ջերմաստիճանը 58 ^{0}C է, իսկ գոլորշացման մոլային ջերմությունը՝ 27844.52 Ջ/մոլ:

4-24. 293 Կ ջերմաստիճանում մեթանոլի գոլորշու ճնշումը հավասար է 94 մմ ս.ս., իսկ 313 Կ-ում՝ 259.4 մմ ս.ս.: Որոշել մեթանոլի գոլորշացման էնթալպիան, ինչպես նաև մեթանոլի գոլորշու ճնշումը 333 Կ-ում:

4-25. Որոշել 298 Կ ջերմաստիճանում սպիտակ ֆոսֆորի սուբլիմացման մոլային էնթալպիան և էնտրոպիան, եթե պինդ նյութի վրա գոլորշու ճնշումը (մմ ս.ս.) արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով՝ $\ln p = 9.6511 - {}^{3296.9}/_{T}$:

4-26. 75 մմ ս.ս. ճնշման տակ նյութը եռում է 20 ^{0}C-ում, իսկ 118 մմ ս.ս.՝ 30 ^{0}C-ում: Որոշել գոլորշացման մոլային ջերմությունը:

4-27. Էթիլյոդիդի գոլորշու ճնշումը 34.5 ^{0}C-ում 200 մմ ս.ս է, իսկ 53 ^{0}C-ում՝ 400 մմ ս.ս: Հաշվել տրված նյութի գոլորշացման ջերմությունը:

4-28. 760 տոր ճնշման պայմանում ջրի գոլորշացման մոլային էնտրոպիան հավասար է 108.72 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: Հեղուկ ջրի և ջրային գոլորշու խտություններն են համապատասխանաբար 0.958 կգ դմ$^{-3}$ և 5.98×10^{-4} կգ դմ$^{-3}$: Հաշվել ճնշման փոփոխությունը (Պա)՝ ջերմաստիճանը մեկ աստիճանով փոխվելու դեպքում:

4-29. Որոշել սառույցի սառեցման կետի փոփոխությունը ճնշման բարձրացման հետ: Ջրի մոլային ծավալը 273.15 Կ-ում հավասար է 18.02 սմ^3 մոլ$^{-1}$, իսկ սառույցի մոլային ծավալը՝ 19.63 սմ^3 մոլ$^{-1}$: Հալման մոլային ջերմությունն է 6.009×10^3 Ջ մոլ$^{-1}$:

4-30. Ստանդարտ պայմանում (1մթն) տոլուոլի եռման կետը 110.62 ^{0}C է: Գնահատել դրա գոլորշու ճնշումը 80 ^{0}C-ում՝ ընդունելով, որ տոլուոլը բավարարում է Տրուտոնի կանոնին:

4-31. Բենզոլի նորմալ եռման կետը 760 տոր ճնշման պայմանում 353.25 Կ է, իսկ գոլորշացման մոլային էնթալպիան՝ 30.76 կՋ մոլ$^{-1}$: Եթե ընդունենք, որ բենզոլը վակուում թորմամբ պետք է եռա 30 ^{0}C-ում, ապա ճնշման ի՞նչ արժեք կպահանջվի:

4-32. Հաշվել ջրի գոլորշացման ջերմությունը 373.15 Կ և 101.325 կՊա պայմաններում՝ օգտագործելով Կլաուզիուս-Կլապեյրոնի հավասարումը: Ջրի գոլորշու ճնշումը 298.15 Կ-ում 3.17 կՊա է:

4-33. Պրոպանոլի գոլորշու ճնշումը 293 Կ-ում 1.94 կՊա է, իսկ 343 Կ-ում՝ 31.86 կՊա: Հաշվել պրոպանոլի գոլորշացման էնթալպիան:

4-34. օ-ֆենիլֆենոլ օրգանական միացությունը 101.325 կՊա ճնշման տակ եռում է 286 ^{0}C-ում, իսկ 14 տոր ճնշման տակ՝ 145 ^{0}C-ում: Հաշվել գոլորշացման մոլային էնթալպիայի արժեքը:

* * *

4-35. Որքա՞ն կփոխվի 1 մոլ քլորպիկրինի՝ CCl_3NO_2, էնտրոպիան 303 Կ-ում գոլորշանալիս, եթե 1 լ օդը նշված ջերմաստիճանում պարունակում է 262.6 մգ, իսկ 288 Կ-ում՝ 127.4 մգ քլորպիկրին՝ հագեցած գոլորշու ձևով: Գոլորշացման ջերմությունը 288-303 Կ միջակայքում համարել հաստատուն:

4-36. Օդի նմուշը հագեցած է ջրային գոլորշիով 25 ^oC-ում, ընդ որում՝ ճնշումը 23.76 մմ ս.ս. է, իսկ ջրի գոլորշացման տեսակարար ջերմությունը՝ 2.421×10^6 Ջ/կգ: Ո՞ր ջերմաստիճանում ջրային գոլորշու անփոփոխ քանակության պայմանում օդի հարաբերական խոնավությունը կլինի 80 %:

4-37. Բենզոլի պնդացման ժամանակ (5.5 ^oC) խտությունը փոխվում է 0.879 գ սմ$^{-3}$-ից մինչև 0.891 գ սմ$^{-3}$: Հալման էնթալպիան 10.59 կՋ մոլ$^{-1}$ է: Որոշել բենզոլի հալման ջերմաստիճանը 1000 մթն ճնշման տակ:

4-38. Հաշվել ջրի գոլորշու ճնշումը 200 ^oC–ում՝ ընդունելով, որ՝ ա) Δ_vH = 40.67 կՋ մոլ$^{-1}$ և կախված չէ ջերմաստիճանից,
բ) ΔC_p = –42 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

4-39. Քլորոֆորմի գոլորշու ճնշման կախումը ջերմաստիճանից տրված է հետևյալ աղյուսակում.

t, ^oC	20	30	40	50	60
p, մմ ս.ս.	161	248	369	535	755

Կառուցել lnp=f(1/T) կախվածության գրաֆիկ և դրա միջոցով հաշվել քլորոֆորմի գոլորշացման ջերմությունը 40 ^oC–ում:

4-40. Պինդ ֆենոլի խտությունը 1072, հեղուկինը 1056 կգ/մ^3 է, ֆենոլի հալման ջերմությունը 1.044×10^5 Ջ/կգ է, հալման ջերմաստիճանը՝ 314.2 Կ: Հաշվել dp/dT -ն և ֆենոլի հալման ջերմաստիճանը 5.065×10^7 Պա պայմանում:

4-41. Գոլորշու ճնշումը պինդ բենզոլի վրա 299 Պա է –30 ^oC-ում և 3270 Պա՝ 0 ^oC-ում, իսկ հեղուկ բենզոլի վրա՝ 6170 Պա՝

+10 °C–ում և 15800 Պա՝ +30 °C–ում: Որոշել եռյակ կետի կոորդինատները և $\Delta_m H^o(C_6H_6)$-ը:

4-42. Հաշվել քլորբենզոլի եռման ջերմաստիճանը 266.6 Պա պայմանում, եթե դրա եռման նորմալ ջերմաստիճանը 405.4 Կ է, իսկ 5.332×10^4 Պա ճնշման տակ եռում է 382.2 Կ-ում: Որոշել նաև գոլորշացման ջերմությունը, էնթալպիայի, ներքին էներգիայի, ինչպես նաև Գիբսի և Հելմհոլցի էներգիաների փոփոխությունները եռման նորմալ ջերմաստիճանում 1 մոլ քլորբենզոլ գոլորշացնելիս:

4-43. Որոշել քացախաթթվի մոլեկուլային զանգվածը գոլորշի վիճակում՝ ըստ հագեցած գոլորշու ճնշման ջերմաստիճանային կախվածության և կալորիաչափական եղանակով որոշված գոլորշացման տեսակարար ջերմության արժեքի՝ $\Delta_v H$ = 406.83 Ջ/գ:

T, Կ	363	383	403
p, մմ ս.ս.	293	583	1040

4-44. Հաշվել սառույցի հալման ջերմաստիճանը 1 °C–ով բարձրացնելու համար անհրաժեշտ ճնշման փոփոխությունը: 0 °C–ում սառույցի հալման էնթալպիան 333.5 Ջ/գ է, տեսակարար ծավալները՝ հեղուկ ջրի և սառույցի, հավասար են՝ V_h = 1.0002 սմ³ գ⁻¹ և $V_պ$ = 1.0908 սմ³ գ⁻¹:

4-45. Հեղուկի գոլորշու ճնշումը (տոր) 200-260 Կ ջերմաստիճանների միջակայքում նկարագրվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\ln p = 16.255 - 2501.8\times T^{-1}$$

Հաշվել հեղուկի գոլորշացման էնթալպիան և եռման նորմալ ջերմաստիճանը:

4-46. Հեղուկ և պինդ սնդիկի խտությունները հալման ջերմաստիճանում (–38.87 °C) համապատասխանաբար հավասար են 13.690 և 14.193 գ/սմ³: Որոշել հալման ջերմաստիճանը 3000 մթն ճնշման պայմանում:

4-47. Մեթիլ սպիրտի միջով անցկացրել են օդ, որի արդյունքում վերջինս հագեցել է սպիրտի գոլորշիով: 1 լ օդ անցկացնելուց հետո սպիրտի զանգվածը պակասել է 0.201 գրամով: Համակարգում ընդհանուր ճնշումն անփոփոխ է և հավասար է 1.013×10^5 Պա: Հաշվել մեթիլսպիրտի հագեցած գոլորշու ճնշումը 294.5 Կ ջերմաստիճանում:

4-48. Եռյակ կետին մոտ նյութի պինդ և հեղուկ վիճակների վրա հագեցած գոլորշու ճնշումներն (Պա) արտահայտվում են հետևյալ հավասարումներով.

$\ln p(պ) = 26.88 - 3755\times T^{-1}$, $\ln p(հ) = 22.76 - 2661\times T^{-1}$

Հաշվել եռյակ կետի հետևյալ պարամետրերը՝ ջերմաստիճանը, ճնշումը, ինչպես նաև հալման մոլային էնթալպիան և էնտրոպիան:

4-49. Բենզոլի նորմալ եռման ջերմաստիճանը 353.24 Կ է, իսկ հեղուկ բենզոլի գոլորշու ճնշումը 20 ^{0}C ջերմաստիճանում 10^4 Պա է: Բենզոլի հալման էնթալպիան 9.95 կՋ մոլ$^{-1}$ է, իսկ պինդ բենզոլի գոլորշու ճնշումը -44.3 ^{0}C ջերմաստիճանում հավասար է 88 Պա: Հաշվել բենզոլի գոլորշացման մոլային էնթալպիան, մոլային էնտրոպիան և եռյակ կետի ճնշումն ու ջերմաստիճանը:

4-50. Ածխածնի տետրաքլորիդը հալվում է 250 Կ ջերմաստիճանում: 290 Կ-ում հեղուկի գոլորշու ճնշումը 10.539 Պա է, իսկ 340 Կ-ում՝ 74.518 Պա: 232 Կ-ում պինդ նյութի գոլորշու ճնշումը 270 Պա է, իսկ 250 Կ-ում՝ 1092 Պա:

Հաշվել՝ ա) CCl_4-ի գոլորշացման, սուբլիմացման և հալման էնթալպիաները, բ) նորմալ եռման ջերմաստիճանը և գոլորշացման էնտրոպիան այդ ջերմաստիճանում, գ) եռյակ կետի ճնշումն ու ջերմաստիճանը:

4-51. Ենթադրվում է, որ գեղասահքում սահքի ապահովմանը նպաստում է սառույցի մակերևույթի մասնակի հալումը: Այդ ենթադրությունը հաստատելու համար կատարել հաշվարկներ՝ օգտագործելով հետևյալ տվյալները. 1 մթն ճնշման տակ սառույցը հալվում է 273.15 Կ ջերմաստիճանում, հալման մոլային էնթալպիան 6010 Ջ մոլ$^{-1}$է, սառույցի խտությունը 920 կգ մ$^{-3}$ է, իսկ հեղուկ ջրի խտությունը՝ 997 կգ մ$^{-3}$:

ա) Որքա՞ն ճնշում /բար/ պետք է կիրառել սառույցի հալման ջերմաստիճանը 5 ^{0}C-ով նվազեցնելու համար:

բ) Ընդունելով չմուշկի լայնությունը շփման եզրում 25×10^{-3}սմ, իսկ երկարությունը՝ 15 սմ, որքա՞ն կլինի ճնշումը սառույցի վրա, եթե չմշկորդի քաշը 85 կգ է: Հաշվել սառույցի հալման ջերմաստիճանն այդ ճնշման տակ:

գ) Եթե սառույցի ջերմաստիճանը -5 ^{0}C է, կարելի՞ է արդյոք սպասել սառույցի հալմանը չմուշկ-սառույց հպման կետում:

4-52. Բյուրեղային յոդի (I_2) սուբլիմացման էնթալպիան 25 ^{0}C ջերմաստիճանում 56.3 կՋ մոլ$^{-1}$ է: Նշված ջերմաստիճանում գոլորշու և պինդ ֆազերի մոլային իզոբարային ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 36.9 և 54.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, իսկ սուբլիմացման ճնշումը 0.30844 տոր է: Հաշվել սուբլիմացման ճնշումը 113.6 ^{0}C-ում, եթե՝ ա) այդ գործընթացի էնթալպիան հաստատուն է, բ) էնթալպիան կախված է ջերմաստիճանից հետևյալ առնչությամբ՝ $\Delta H_{T_2} = \Delta H_{T_1} + \Delta C_p(T_2 - T_1)$:

4-53. Հեղուկ ածխածնի դիսուլֆիդի՝ $CS_{2(h)}$, գոլորշու ճնշումը 25 ^{0}C ջերմաստիճանում հավասար է 27.66 կՋ մոլ$^{-1}$: Այդ ջերմաստիճանում գոլորշի և հեղուկ ֆազերի իզոբարային մոլային ջերմունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 45.4 և 75.7 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: Հաշվել CS_2(h)-ի գոլորշու ճնշումը 100 ^{0}C-ում, եթե՝ ա) սուբլիմացման էնթալպիան և ջերմունակությունները ջերմաստիճանից անկախ են, բ) սուբլիմացման էնթալպիան կախված է ջերմաստիճանից հետևյալ առնչությամբ՝

$$\Delta H_{T_2} = \Delta H_{T_1} + \Delta C_p(T_2 - T_1):$$

4-54. 18 ^{0}C ջերմաստիճանում և 1 բար ճնշման տակ պինդ անագի երկու ֆազերը գտնվում են հավասարակշռության մեջ՝

Sn(պ, մոխրագույն) = Sn(պ, սպիտակ)

Մոխրագույն և սպիտակ անագի խտությունները համապատասխանաբար հավասար են 5720 և 7280 կգ մ$^{-3}$, իսկ ֆազային անցման էնթալպիան՝ 8.8 Ջ մոլ$^{-1}$: Ո՞ր ջերմաստիճանում այդ երկու ֆազերը կգտնվեն հավասարակշռության մեջ 200 բար ճնշման տակ:

4-55. Անհայտ պինդ նյութի գոլորշու ճնշումը (տոր) տրվում է $lnp_{պինդ} = 22.413 - \frac{2035}{T}$, իսկ հեղուկ ֆազի համար՝ $lnp_{հեղուկ} = 18.352 - \frac{1736}{T}$ առնչություններով: Հաշվել այդ նյութի գոլորշացման, սուբլիմացման, հալման էնթալպիաները, ինչպես նաև ճնշումը և ջերմաստիճանը եռյակ կետում:

4-56. 122.5 գ/մոլ մոլային զանգվածով նյութի խտությունները պինդ և հեղուկ վիճակում իր նորմալ հալման ջերմաստիճանում՝ 427.15 Կ, համապատասխանաբար հավասար են 1075 և 1012 կգ մ$^{-3}$: Երբ ճնշումը բարձրանում է մինչև 120 բար, նյութի հալման ջերմաստիճանը հասնում է 429.35 Կ-ի: Հաշվել նյութի հալման էնթալպիան և էնտրոպիան:

4-57. Օգտագործելով աղյուսակում ներկայացված կապարի սուլֆիդի՝ PbS, գոլորշու ճնշման տվյալները՝ հաշվել ջերմաստիճանը և ճնշումը եռյակ կետում, ինչպես նաև հալման, գոլորշացման և սուբլիմացման էնթալպիաները:

ֆազ	t, ^{0}C	p, տոր
պինդ	1048	40
պինդ	1108	100
հեղուկ	1221	400
հեղուկ	1281	760

4-58. Օգտագործելով աղյուսակում ներկայացված C_2N_2 –ի գոլորշու ճնշման տվյալները՝ հաշվել ջերմաստիճանը և ճնշումը եռյակ կետում, ինչպես նաև հալման, գոլորշացման և սուբլիմացման էնթալպիաները:

ֆազ	t, ^{0}C	p, Տոր
պինդ	-62.7	40
պինդ	-51.8	100
հեղուկ	-33.0	400
հեղուկ	-21.0	760

4-59. Ո՞ր ջերմաստիճանում կեռա ջուրը Արագածի գագաթին՝ 4095 մ բարձրության վրա, եթե օդի մոլային զանգվածը 29 գ/մոլ է, ջրի գոլորշացման էնթալպիան՝ 40.79 կՋ մոլ$^{-1}$, օդի ջերմաստիճանը լեռնագագաթում ընդունել 0 ^{0}C: Ցուցում. օգտվել բարոմետրական հավասարումից $p = p_0 \mathrm{e}^{-gMh/RT}$, որտեղ p_0-ն ճնշումն է ծովի մակարդակի վրա /h=0/, M-ը՝ օդի մոլային զանգվածը, g-ն՝ ազատ անկման արագացումը՝ 9.81 մ վ$^{-2}$:

4-60. Դիֆերենցիալ սքան կալորիաչափական (differential scanning calorimetry, DSC) փորձում սպիտակուցի հալման ջերմաստիճանը և բնափոխման էնթալպիան որոշվել են համապատասխանաբար 46 ^{0}C և 382 կՋ մոլ$^{-1}$: Գնահատել սպիտակուցի բնափոխման էնտրոպիան, ինչպես նաև բնափոխման էնտրոպիան մեկ ամինոթթվի հաշվով, եթե սպիտակուցը պարունակում է 122 ամինոթթվային մնացորդ:

4-61. Դիօքսանի հագեցած գոլորշու ճնշման (մմ ս.ս.) կախվածությունը ջերմաստիճանից (Կ) արտահայտվում է հետևյալ հավասարումով.

$$lnp_{հեղուկ} = 18.04 - \frac{4293}{T}$$

Որոշել դիօքսանի նորմալ եռման ջերմաստիճանը, գոլորշացման մոլային էնթալպիան, էնտրոպիան և Գիբսի էներգիան այդ ջերմաստիճանում:

4-62. Արծաթի հագեցած գոլորշու ճնշման (Պա) կախվածությունը ջերմաստիճանից (Կ) արտահայտվում է հետևյալ հավասարումներով.

$$lnp_{պինդ} = 31.95 - \frac{32246}{T}$$

$$lnp_{հեղուկ} = 30.7 - \frac{30682}{T}$$

Հաշվել եռյակ կետի ջերմաստիճանը և ճնշումը, ինչպես նաև հալման մոլային էնթալպիան, էնտրոպիան և Գիբսի էներգիան եռյակ կետում:

ԳԼՈՒԽ 5. ԼՈՒԾՈՒՅԹՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Լուծույթը համասեռ համակարգ է, որը բաղկացած է երկու և ավելի բաղադրիչներից և դրանց փոխազդեցության արգասիքներից:

Նոսր լուծույթները բնութագրվում են լուծված նյութի մասնիկների միջև փոխազդեցությունների բացակայությամբ, այդ պատճառով նոսր լուծույթների հատկությունները կախված չեն լուծված նյութի բնույթից, այլ կախված են միայն լուծույթի կոնցենտրացիայից: Այն հատկությունները, որոնք կախված են միայն լուծույթի մասնիկների թվից (լուծույթի կոնցենտրացիայից), կոչվում են կոլիգատիվ:

Կոլիգատիվ հատկության դրսևորում է նաև Ռաուլի օրենքը, որի համաձայն, լուծիչի հագեցած գոլորշու ճնշումը լուծույթի վրա ուղիղ համեմատական է լուծույթում լուծիչի մոլային բաժնին (x_1).

$$p_1 = p_1^* x_1 \tag{5.1}$$

որտեղ p_1^*-ը մաքուր լուծիչի հագեցած գոլորշու ճնշումն է տվյալ ջերմաստիճանում:

Եթե լուծույթի երկու բաղադրիչներն էլ ցնդելի են, ապա՝

$$p_1 = p_1^* x_1 \qquad p_2 = p_2^* x_2 \tag{5.2}$$

Այս դեպքում լուծույթի վրա գոլորշու ընդհանուր ճնշումը հավասար է p_1 և p_2 պարցիալ ճնշումների գումարին.

$$p_{ընդ} = p_1 + p_2 \tag{5.3}$$

Ռաուլի օրենքից հետևում է, որ լուծված պինդ նյութ պարունակող լուծույթի վրա լուծիչի հագեցած գոլորշու ճնշման հարաբերական անկումը (մաքուր լուծիչի համեմատ) հավասար է լուծված նյութի մոլային բաժնին.

$$\frac{p_1^* - p_1}{p_1^*} = x_2 \tag{5.4}$$

Լուծված նյութի մոլային բաժինը այդ նյութի քանակի (n_2) հարաբերությունն է լուծիչի (n_1) և լուծված նյութի քանակների գումարին.

$$x_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \tag{5.5}$$

Հեղուկներում գազերի լուծելիության կախումը ճնշումից արտահայտվում է Հենրիի հավասարումով.

$$p_2 = K_H x_2 \tag{5.6}$$

որտեղ x_2-ը հեղուկում լուծված գազի մոլային բաժինն է, p_2-ը՝ գազի պարցիալ ճնշումը, իսկ K_H-ը Հենրիի հաստատունն է:

Էլեկտրոլիտների դեպքում (5.4) հավասարումը ներկայացվում է այսպես.

$$\frac{p_1^* - p_1}{p_1^*} = \frac{in_2}{n_1 + n_2} \approx \frac{in_2}{n_1} \tag{5.7}$$

i–ն վանտ-Հոֆի գործակիցն է:

$$i = 1 + \alpha(\nu - 1) \tag{5.8}$$

α-ն էլեկտրոլիտի դիսոցման աստիճանն է, ν-ն՝ մեկ մոլեկուլից գոյացած իոնների թիվը:

Կոլիգատիվ հատկությունների թվին են դասվում նաև մաքուր լուծիչի համեմատ լուծույթի պնդացման ջերմաստիճանի անկումը և եռման ջերմաստիճանի բարձրացումը:

Նոսր լուծույթի պնդացման ջերմաստիճանի անկումը ($\Delta T_{պնդ}$) ուղիղ համեմատական է լուծույթի մոլալ կոնցենտրացիային (m, մոլ/կգ).

$$\Delta T_{պնդ} = K_{կր}m \tag{5.9}$$

որտեղ $K_{կր}$-ն լուծիչի կրիոսկոպիական հաստատունն է (պնդացման ջերմաստիճանի մոլային անկումը).

$$K_{կր} = \frac{RT^{*2}M_1}{\Delta_m H} \tag{5.10}$$

M_1-ը լուծիչի մոլային զանգվածն է (կգ/մոլ), T^*-ն՝ մաքուր լուծիչի պնդացման ջերմաստիճանը, $\Delta_m H$-ը՝ հալման (պնդացման) մոլային ջերմությունը (Ջ/մոլ)։ Կրիոսկոպիական հաստատունի ֆիզիկական իմաստը 1 մոլալ կոնցենտրացիայով լուծույթի պնդացման ջերմաստիճանի անկումն է։ Ջրի համար՝ $K_{կր} = 1.86$ Կ կգ մոլ$^{-1}$։

Համանման օրինաչափությամբ է արտահայտվում լուծույթի եռման ջերմաստիճանի բարձրացումը (վերելքը).

$$\Delta T_{եռմ} = K_{էբ}m \qquad K_{էբ} = \frac{RT^{*2}M_1}{\Delta_v H} \tag{5.11}$$

որտեղ $K_{էբ}$-ը լուծիչի էբուլիոսկոպիական հաստատունն է, T^*-ն՝ լուծիչի եռման ջերմաստիճանը, $\Delta_v H$-ը՝ գոլորշացման մոլային ջերմությունը (Ջ/մոլ)։

Էլեկտրոլիտների պարագայում (5.9) և (5.11) հավասարումներում ավելանում է i իզոտոնիկ գործակիցը.

$$\Delta T_{պնդ} = iK_{կր}m \qquad \Delta T_{եռմ} = iK_{էբ}m \tag{5.12}$$

Օսմոտիկ ճնշման կախումը լուծույթի բաղադրությունից նկարագրվում է վանտ-Հոֆի հավասարումով.

$$\Pi = cRT \qquad \Pi = icRT \tag{5.13}$$

որտեղ Π-ն լուծույթի օսմոտիկ ճնշումն է, c-ն՝ մոլային կոնցենտրացիան:

Եթե անհամասեռ համակարգում առկա է երրորդ բաղադրիչը, ապա գործում է *բաշխման օրենքը:* Երկու ֆազում բաշխվող երրորդ բաղադրիչի մոլային կոնցենտրացիաների հարաբերությունը հաստատուն է և կախված չէ բաշխմանը մասնակից բոլոր նյութերի բացարձակ քանակներից.

$$\frac{c_1}{c_2} = K \tag{5.14}$$

որտեղ c_1-ը բաշխվող նյութի հավասարակշռային կոնցենտրացիան է առաջին ֆազում, c_2-ը՝ այդ նույն նյութի հավասարակշռային կոնցենտրացիան երկրորդ ֆազում, K-ն բաշխման հաստատունն է (կամ գործակիցը):

Բաշխման օրենքն օգտագործվում է լուծույթից լուծված նյութի լուծազատման ժամանակ: Եթե լուծազատումը կատարվում է n անգամ, ապա բաշխման օրենքից ստացվում է հետևյալ առնչությունը.

$$m_n = m_0\left(\frac{KV_1}{KV_1 + V_2}\right)^n \tag{5.15}$$

որտեղ V_1-ը այն լուծույթի ծավալն է, որում գտնվում է լուծված նյութը, V_2-ը՝ լուծազատման համար օգտագործվող լուծիչի ծավալը, m_0-ն լուծազատվող նյութի ելային զանգվածը, m_n-ն՝ n անգամ լուծազատված լուծույթում մնացած լուծված նյութի զանգվածը:

Իրական լուծույթի ընդհանուր ծավալի որոշման համար օգտագործվում է հետևյալ բանաձևը.

$$V_{ընդ}(լթ) = n_1\bar{V}_1 + n_2\bar{V}_2 \tag{5.16}$$

որտեղ $\bar{V}_1$-ը և $\bar{V}_2$-ը տվյալ լուծույթում լուծիչի և լուծված նյութի պարցիալ մոլային ծավալներն են:

Լուծույթի մոլային ծավալի (V_m) որոշման համար օգտագործվում է հետևյալ բանաձևը.

$$V_m(լթ) = x_1\bar{V}_1 + x_2\bar{V}_2 \qquad (5.17)$$

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. Խառնելիս էթանոլն ու մեթանոլն առաջացնում են գրեթե իդեալական լուծույթ: 20 °C-ում էթանոլի գոլորշու ճնշումը 5.93, իսկ մեթանոլինը 11.83 կՊա է: Որոշել 100 գ էթանոլ և 100 գ մեթանոլ պարունակող լուծույթի գոլորշու ճնշումը նշված ջերմաստիճանում, ինչպես նաև գոլորշու բաղադրությունը (մոլային բաժնով):

Լուծում: Սպիրտների նյութաքանակները և մոլային բաժինները կլինեն՝

100 գ $C_2H_5OH \Rightarrow$ 2.174 մոլ, 100 գ $CH_3OH \Rightarrow$ 3.125 մոլ,

$x_1 = 0.41$, $x_2 = 0.59$

Լուծույթի գոլորշու ճնշումը որոշվում է (5.3) և (5.2) բանաձևերով.

$$p_{1ընդ} = p_1 + p_2 = p_1^*x_1 + p_2^*x_2 = 5.93 \times 0.41 + 11.83 \times 0.59$$
$$= 9.41կՊա$$

Գոլորշու բաղադրությունը մոլային բաժիններով կլինի՝

$$x_{1գոլ} = \frac{p_1^*x_1}{p_{ընդ}} = \frac{5.93 \times 0.41կՊա}{9.41կՊա} = 0.26$$

$$x_{2գոլ} = 1 - 0.26 = 0.74$$

Պատ.՝ 9.44 կՊա, 0.26, 0.74:

Խնդիր 2. Էթանոլի և ջրի պարցիալ մոլային ծավալները լուծույթում, որում սպիրտի մոլային բաժինը 0.2 է, հավասար են համապատասխանաբար 55.0 և 17.9 սմ^3/մոլ: Հաշվել 1 լ այդպիսի լուծույթ պատրաստելու համար նշված հեղուկների ծավալները: էթանոլի և ջրի խտություններն են համապատասխանաբար 0.789 և 0.998 գ/սմ^3:

Լուծում: Լուծույթի մոլային ծավալը և ընդհանուր նյութաքանակը հավասար են՝

$$V_m = x_1\overline{V}_1 + x_2\overline{V}_2 = 0.2 \times 55.0 + 0.8 \times 17.9 = 25.32 \text{ սմ}^3/\text{մոլ}$$

$$n(\text{լթ}) = \frac{V}{V_m} = \frac{1000 \text{ սմ}^3}{25.32 \text{ սմ}^3/\text{մոլ}} = 39.494 \text{ մոլ}$$

Սպիրտի և ջրի նյութաքանակները և ծավալները կլինեն՝

$$n(C_2H_5OH) = 0.2 \times n(\text{լթ}) = 0.2 \times 39.494 \text{ մոլ} = 7.899 \text{ մոլ}$$

$$n(H_2O) = 0.8 \times 39.494 \text{ մոլ} = 31.595 \text{ մոլ}$$

$$V(C_2H_5OH) = \frac{nM}{\rho} = \frac{7.899 \text{ մոլ} \times 46 \text{ գ/մոլ}}{0.789 \text{ գ/սմ}^3} = 461\text{սմ}^3$$

$$V(H_2O) = \frac{nM}{\rho} = \frac{31.595 \text{ մոլ} \times 18 \text{ գ/մոլ}}{0.998 \text{ գ/սմ}^3} = 570\text{սմ}^3$$

Պատ.՝ 461 սմ^3, 570 սմ^3:

Խնդիր 3. Ջրում 0 $^\circ$C–ում թթվածնի և ազոտի Հենրիի հաստատուններն են համապատասխանաբար 2.54×10^4 և 5.45×10^4 բար: Հաշվել 1 բար ճնշման պայմաններում 20 % O_2-ից և 80 % N_2-ից բաղկացած օդի լուծմամբ առաջացած ջրի պնդացման ջերմաստիճանի ցածրացումը ($K_{\text{կր}}(H_2O)$ = 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$):

Լուծում: Թթվածնի և ազոտի մոլային բաժինները լուծույթում, ըստ (5.6) հավասարման, կլինեն՝

$$x_2(O_2) = \frac{0.2}{2.54 \times 10^4} = 0.079 \times 10^{-4}$$

$$x_2(N_2) = \frac{0.8}{5.454 \times 10^4} = 0.147 \times 10^{-4}$$

$$\Delta T = K_{\text{կր}} m = K_{\text{կր}} \frac{n_2(O_2)}{g_1} + K_{\text{կր}} \frac{n_2(N_2)}{g_1} = \frac{K_{\text{կր}}}{g_1}(n_2(O_2) + n_2(N_2))$$

որտեղ g_1-ը ջրի զանգվածն է (1 կգ), իսկ $n_2(O_2)$-ը և $n_2(N_2)$-ը՝ լուծված թթվածնի և ազոտի նյութաքանակները:

$$n_2(O_2) = x_2(O_2) \cdot n_1 \qquad n_2(N_2) = x_2(N_2) \cdot n_1$$

Ջրի պնդացման ջերմաստիճանի փոփոխությունը հավասար է՝

$$\Delta T = \frac{-1.86 \text{ Կ կգ մոլ}^{-1} \times (0.079 + 0.147) \times 10^{-4} \times 1 \text{ կգ}}{1 \text{ կգ} \times 18 \times 10^{-3} \text{ կգմոլ}^{-1}}$$

$$\Delta T = -2.3 \times 10^{-3} \text{Կ}$$

Պատ.՝ -2.3×10^{-3} Կ:

Խնդիր 4. 68.4 գ սախարոզը լուծել են 1000 գ ջրում: Որոշել՝ ա) լուծույթի գոլորշու ճնշումը 20 ^oC-ում, բ) օսմոտիկ ճնշումը, գ) եռման և դ) պնդացման ջերմաստիճանները: Մաքուր ջրի գոլորշու ճնշումը 20 ^oC-ում 2314.9 Պա է: Լուծույթի խտությունը 1.064 կգ/լ է: Ջրի կրիոսկոպիական և էբուլիոսկոպիական հաստատունները համապատասխանաբար 1.86 և 0.52 Կ կգ մոլ$^{-1}$ են:

Լուծում: ա) Ջրի գոլորշու ճնշումը լուծույթի վրա որոշվում է (5.1) հավասարումով.

$$p_1 = p_1^* x_1$$

$$x_1 = \frac{g_1/M_1}{g_1/M_1 + g_2/M_2} = \frac{1000/18}{1000/18 + 68.4/342} = 0.996$$

$$p_1 = 2314.9 \text{ Պա} \times 0.996 = 2305.6 \text{ Պա}$$

բ) Լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը հավասար է՝

$$\Pi = cRT = \frac{n}{V}RT = \frac{nRT\rho}{m}$$

$$= \frac{0.2 \text{ մոլ} \times 1.064 \text{ կգ/լ}}{1.0684 \text{ կգ}} \times 0.082 \text{ լ մթն մոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1}$$

$$\times 293.15 \text{ Կ} = 4.79 \text{ մթն}$$

գ) $\Delta T_{\text{պնդ}} = K_{\text{կր}} m = 1.86$ Կ կգ մոլ$^{-1} \times 0.2$ մոլ կգ$^{-1} = 0.372$ Կ

$T_{\text{պնդ}} = 0 - 0.372 = -0.372$ ^oC

դ) $\Delta T_{\text{եռմ}} = K_{\text{էբ}} m = 0.52$ Կ կգ մոլ$^{-1} \times 0.2$ մոլ կգ$^{-1} = 0.104$ Կ

$T_{եռմ} = 100 + 0.104 = 100.104\ ^oC$

Պատ.՝ ա) 2305.6 Պա, բ) 4.79 մթն, գ) –0.372 ^oC, դ) 100.104 ^oC:

Խնդիր 5. 100 գ բենզոլում լուծված նյութն իջեցնում է բենզոլի սառեցման ջերմաստիճանը 1.28 ^oC-ով: Այնինչ, նույն զանգվածով ջրում լուծված հիշյալ նյութի նույն քանակությունն իջեցնում է ջրի սառեցման ջերմաստիճանը 1.395 ^oC-ով: Նկատի ունենալ, որ այդ նյութը բենզոլում ունի նորմալ մոլեկուլային զանգված, իսկ ջրում ամբողջովին դիսոցված է: Քանի՞ իոն է առաջանում ջրում այդ նյութի մեկ մոլեկուլի դիսոցումից: Բենզոլի և ջրի կրիոսկոպիական հաստատուններն են՝ 5.12 և 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

Լուծում: Լուծված նյութի զանգվածը բենզոլում և ջրում նշանակելով a (կգ)՝ ներկայացնենք բենզոլային և ջրային լուծույթների մոլալությունները (m(բ), m(ջ))՝ նկատի ունենալով նաև (5.9) հավասարումը.

$$m(\text{բ}) = \frac{a/M(\text{բ})}{0.1} = \frac{\Delta T(\text{բ})}{K_{\text{կր}}(\text{բ})}$$

$$m(\text{ջ}) = \frac{a/M(\text{ջ})}{0.1} = \frac{\Delta T(\text{ջ})}{K_{\text{կր}}(\text{ջ})}$$

որտեղ M(բ)-ն և M(ջ)-ն լուծված նյութի մոլային զանգվածներն են բենզոլում և ջրում:

$$i = \frac{M(\text{ջ})}{M(\text{բ})} = \frac{K_{\text{կր}}(\text{բ}) \cdot \Delta T(\text{ջ})}{K_{\text{կր}}(\text{ջ}) \cdot \Delta T(\text{բ})} = \frac{5.12\ \text{Կ կգ մոլ}^{-1} \times 1.395\ \text{Կ}}{1.86\ \text{Կ կգ մոլ}^{-1} \times 1.28\ \text{Կ}} = 3$$

$$i = 1 + \alpha(\upsilon - 1)$$

$$\upsilon = \frac{i-1}{\alpha} + 1 = \frac{3-1}{1} + 1 = 3$$

Պատ.՝ 3:

Խնդիր 6. Ֆենոլը մոնոմերի ձևով է և՛ ջրում, և՛ ամիլսպիրտում: 298 Կ-ում ֆենոլի 10.53 գ/լ կոնցենտրացիայով ամիլսպիրտային լուծույթը կարող է գտնվել հավասարակշռության մեջ 0.658 գ/լ ֆենոլ պարունակող ջրային լուծույթի հետ: Ի՞նչ զանգվածով ֆենոլ կարելի է ստանալ 37.6 գ/լ կոնցենտրացիայով 0.5 լ ջրային լուծույթից, եթե վերջինս ամիլսպիրտով ենթարկվի կրկնակի լուծազատման: Յուրաքանչյուր դեպքում վերցվում է 0.1 լ ամիլսպիրտ:

Լուծում: Նախ որոշենք ջրի և ամիլսպիրտի միջև ֆենոլի բաշխման գործակիցը (K): Քանի որ ֆենոլի մոլային զանգվածը երկու լուծույթում էլ նույնն է, (5.14) հավասարումը կարելի է ներկայացնել նաև որպես զանգվածների հարաբերություն.

$$K = \frac{C_1}{C_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{0.658\text{q}}{10.53\text{q}} = 0.0625$$

Ֆենոլի ելային զանգվածը ջրային լուծույթում (m_o) հավասար է 37.6 գ $լ^{-1}$×0.5 լ = 18.8 գ: Երկու անգամ լուծազատվելուց հետո ջրային լուծույթում մնացած ֆենոլի զանգվածը ըստ (5.15) հավասարման կլինի՝

$$m_2 = m_0\left(\frac{KV_1}{KV_1 + V_2}\right)^2 = 18.8\left(\frac{0.0625 \times 0.5}{0.0625 \times 0.5 + 0.1}\right)^2 = 1.07$$

Հետևաբար, լուծազատվել է 18.8-1.07 = 17.73 գ ֆենոլ:

Պատ.՝ 17.73 գ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

5-1. Մաքուր $CHCl_3$-ի և CCl_4-ի գոլորշու ճնշումները 25 °C-ում հավասար են 26.54 և 15.27 կՊա: Համարելով, որ դրանք առաջացնում են իդեալական լուծույթ, հաշվել 1 մոլ եռքլորմեթանից և 1 մոլ քառաքլորմեթանից բաղկացած լուծույթի վրա գոլորշու ճնշումը և բաղադրությունը (մոլային բաժիններով):

5-2. Որոշել 0.5 կգ ջրում 0.01 մոլ չցնդող նյութ պարունակող լուծույթի գոլորշու ճնշման հարաբերական անկումը:

5-3. Ջրի գոլորշու ճնշումը 313 Կ-ում 7375.4 Պա է: Հաշվել նույն ջերմաստիճանում այն լուծույթի գոլորշու ճնշումը, որն ստացվել է 0.360 կգ ջրում 0.9206×10^{-2} կգ գլիցերին լուծելիս:

5-4. CCl_4-ի և C_6H_6-ի մոլային ծավալները 0.09719 և 0.08927 լ/մոլ են, իսկ հավասարամոլային լուծույթում համապատասխանաբար հավասար են 0.10010 և 0.10640 լ/մոլ: Հաշվել նշված լուծույթի մոլային ծավալը և խառնման ժամանակ տեղի ունեցած ծավալի փոփոխությունը:

5-5. Որոշել եթերի գոլորշու ճնշումը 293 Կ-ում 3 % երկէթիլեթեր՝ $(C_2H_5)_2O$, պարունակող անիլինային լուծույթի վրա: Նշված ջերմաստիճանում եթերի հագեցած գոլորշու ճնշումը 5.89×10^4 Պա է:

5-6. Հաշվել ջրի գոլորշու ճնշումը 60 °C-ում այն լուծույթի վրա, որը պարունակում է 465 գ գլիցերին և 148 գ ջուր: Մաքուր ջրի գոլորշու ճնշումը նշված ջերմաստիճանում 149.4 մմ ս.ս. է:

5-7. Որոշել 50 գ էթիլենգլիկոլ և 500 գ ջուր պարունակող լուծույթի սառեցման ջերմաստիճանը: $K_{կր}(H_2O) = 1.86$ Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-8. 0.217 գ ծծումբը լուծելով 19.18 գ ծծմբածխածնում՝ ստացել են լուծույթ, որը եռում է 319.304 Կ-ում: Ծծմբածխածնի եռման ջերմաստիճանը 319.2 Կ է, իսկ էբուլիոսկոպիական հաստատունը՝ 2.37 Կ կգ մոլ$^{-1}$: Որոշել ծծմբի մոլեկուլի կազմությունը նշված լուծույթում:

5-9. Ջրային լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը 300 Կ ջերմաստիճանում 120 կՊա է: Հաշվել այդ լուծույթի պնդացման ջերմաստիճանը, եթե ջրի $K_{կր} = 1.86$ Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

5-10. Կալիումի քլորիդի 7.5 %-անոց ջրային լուծույթը 1.013×10^5 Պա մթնոլորտային ճնշման տակ եռում է 374 Կ-ում: Ջրի գոլորշու ճնշումը նշված ջերմաստիճանում 1.05×10^5 Պա է: Որոշել *i* գործակիցը:

5-11. Ի՞նչ զանգվածով յոդ կմնա 1 լ ջրային լուծույթում, եթե վերջինս 291 Կ-ում թափահարվի 0.1 լ ծծմբածխածնով: Յոդի լուծելիությունը ջրում նշված ջերմաստիճանում 1 գ է 3.616 լ-ում: Յոդի բաշխման գործակիցը ջրի և ծծմբածխածնի միջև 0.0017 է: Հալոգենի մոլեկուլային զանգվածը երկու լուծիչում էլ նույնն է:

5-12. 4.5 գ նյութի լուծումը 125 գ քառաքլորածխածնում բարձրացնում է վերջինիս եռման ջերմաստիճանը 0.65 Կ-ով: Հաշվել սառեցման կետի անկումը և լուծված նյութի մոլային զանգվածը, եթե CCl_4-ի էբուլիոսկոպիական և կրիոսկոպիական հաստատունները համապատասխանաբար հավասար են 4.95 և 30 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-13. Հաշվել օսմոտիկ ճնշումը, որն առաջանում է 298 Կ ջերմաստիճանում, երբ 0.5 մոլ/լ կոնցենտրացիայով լուծույթ պարունակող բջիջն ընկղմում են մաքուր ջրի մեջ: Բջջի պատերը թափանցելի են ջրի մոլեկուլների համար և անանցանելի են լուծված նյութի համար:

5-14. 303 Կ ջերմաստիճանում բենզոլի գոլորշու ճնշումը 118 տոր է, իսկ ցիկլոհեքսանինը՝ 122 տոր: Հաշվել ըստ բենզոլի 0.25 մոլային բաժնով լուծույթի գոլորշու ճնշումը:

5-15. A և B հեղուկների խառնման ժամանակ առաջանում է գրեթե իդեալական լուծույթ: Երբ A նյութի մոլային բաժինը լուծույթում 0.65 է, իսկ գոլորշի ֆազում՝ 0.45, համակարգի ընդհանուր ճնշումը 0.9 բար է: Հաշվել մաքուր A և B նյութերի գոլորշիների ճնշումը:

5-16. 32.5 գ չցնդող նյութը լուծվել է 200 գ ջրում: Մաքուր ջրի գոլորշու ճնշումը 23.76 տոր է, իսկ գոլորշու ճնշումը առաջացած լուծույթի վրա՝ 21.85 տոր: Որոշել լուծված նյութի մոլային զանգվածը:

5-17. Ջրի նորմալ սառեցման կետում՝ 273.15 Կ ջերմաստիճանում, սառույցի հալման ջերմությունը 6008 Ջ մոլ$^{-1}$ է: Հաշվել ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը:

5-18. 298 Կ ջերմաստիճանում չափված անհայտ նյութի օսմոտիկ ճնշումը հավասար է 4.5×10^4 Պա: Հաշվել այդ նյութի մոլային զանգվածը, եթե լուծույթի կոնցենտրացիան 25.5 կգ մ$^{-3}$ է, իսկ լուծույթի խտությունը՝ 997 կգ մ$^{-3}$:

5-19. 298 Կ ջերմաստիճանում 50 մլ ջրում լուծված 1.053 գ միոգլոբինը առաջացնում է օսմոտիկ ճնշում, որի հետևանքով լուծույթի սյունը բարձրանում է: Եթե միոգլոբինի մոլային զանգվածը 16.9 կգ/մոլ է, ապա որքա՞ն կլինի լուծույթի սյան բարձրացումը /մետրով/:

5-20. Լուծույթն առաջացել է 184.2 գ էթանոլի և 108.1 գ ջրի խառնումից: Եթե լուծույթի ծավալը 333.4 սմ^3 է, իսկ ջրի պարցիալ ծավալը՝ 17 սմ^3 մոլ$^{-1}$, որքա՞ն է էթանոլի պարցիալ մոլային ծավալն այդ լուծույթում:

5-21. Հաշվել ջրի սառեցման կետի փոփոխությունը, երբ 10083 գ/մոլ մոլային զանգվածով 0.0053 գ սպիտակուցը լուծվում է 100 մլ ջրում: Ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

5-22. Սախարոզը և ջուրը առաջացնում են գրեթե իդեալական լուծույթ: Որքա՞ն է 293 Կ ջերմաստիճանում 100 գ ջրում 2 գ սախարոզ պարունանող լուծույթի վրա գոլորշու ճնշումը, եթե մաքուր ջրի գոլորշու ճնշումը 17.54 տոր է: Որքա՞ն է նշված լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը:

5-23. 298 Կ ջերմաստիճանում 10 մգ/մլ սպիտակուց պարունակող լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը 0.0244 մթն է: Հաշվել սպիտակուցի մոլային զանգվածը:

5-24. Ջրային լուծույթը պարունակում է հավասար քանակներով պոլինուկլեոտիդներ՝ համապատասխանաբար 20000, 50000 և 100000 գ/մոլ մոլային զանգվածներով: Հաշվել 298 Կ-ում 1 լ ջրում 1 գ պոլինուկլեոտիդ լուծված լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը:

5-25. A և B հեղուկներն առաջացնում են իդեալական լուծույթ: 45 ^{0}C ջերմաստիճանում մաքուր A և B նյութերի գոլորշու ճնշումները հավասար են համապատասխանաբար 66 և 88 տոր: Հաշվել ըստ A նյութի 0.36 մոլային բաժնով լուծույթի հետ հավասարակշռության մեջ գտնվող գոլորշու բաղադրությունը:

5-26. Հաշվել 298 Կ ջերմաստիճանում ածխածնի երկօքսիդի լուծելիությունը ջրում, եթե օդում այդ գազի պարցիալ ճնշումը 3.3×10^{-4} մթն է, իսկ ջրում լուծման Հենրիի հաստատունը 298 Կ-ում 29.3 մթն մոլ$^{-1}$ կգ է:

5-27. Հաշվել 316 գ ջրում 45.2 գ սախարոզ պարունակող լուծույթի եռման և սառեցման կետերը: Ջրի էբուլիոսկոպիական հաստատունը 0.51 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է, իսկ կրիոսկոպիական հաստատունը՝ 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-28. 0.458 գ նյութը լուծել են 30 գ քացախաթթվում: Առաջացած լուծույթի սառեցման կետը 1.5 Կ-ով ցածր է մաքուր լուծիչի սառեցման կետից: Հաշվել լուծված նյութի մոլային զանգվածը:

5-29. Ուսանողը 8 գ բենզոլում լուծել է 0.5 գ անհայտ սպիտակ փոշի: Առաջացած լուծույթը սառչում է 3.9 ^{0}C ջերմաստիճանում, իսկ մաքուր բենզոլի սառեցման կետը 5.5 ^{0}C է: Փորձի հիման վրա կարելի՞ է արդյոք ենթադրել, որ անհայտ նյութը կոկաինն է՝ $C_{17}H_{21}NO_4$: Բենզոլի կրիոսկոպիական հաստատունը 5.12 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

5-30. 80 գ բենզոլում 3.8 գ քացախաթթու պարունակող լուծույթը սառչում է 3.5 ^{0}C ջերմաստիճանում: Հաշվել լուծված նյութի մոլային զանգվածը և պարզել դրա հնարավոր կառուցվածքը լուծույթում: Բենզոլի սառեցման կետը 5.5 ^{0}C է, իսկ կրիոսկոպիական հաստատունը՝ 5.12 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-31. 37 ^{0}C ջերմաստիճանում արյան պլազմայի օսմոտիկ ճնշումը 7.5 մթն է: Հաշվել լուծված գոյացումների ընդհանուր կոնցենտրացիան և արյան պլազմայի սառեցման կետը: Ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

5-32. Գլյուկոզի կոնցենտրացիան բջջի ներսում 0.12 մմոլ/լ է, իսկ բջջից դուրս՝ 12.3 մմոլ/լ: Հաշվել 37 ^{0}C ջերմաստիճանում 3 մոլ գլյուկոզի՝ դեպի բջիջ ներթափանցելու ընթացքում Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը:

5-33. Որոշել ջրի էբուլիոսկոպիական հաստատունը, եթե լուծույթը, որը 22.5 գ ջրում պարունակում է 0.45 գ կարբամիդ՝ $(NH_2)_2CO$, եռում է նորմալ ճնշման տակ 100.17 ^{0}C-ում:

5-34. Մեթանոլ-ջուր խառնուրդի (0.6 մեթանոլի զանգվածային բաժնով) խտությունը տվյալ ջերմաստիճանում 0.8946 գ սմ$^{-3}$ է: Մեթանոլի պարցիալ մոլային ծավալը 39.8 սմ^3 մոլ$^{-1}$ է: Որոշել ջրի պարցիալ մոլային ծավալն այդ լուծույթում:

5-35. Ջրային լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը 300 Կ ջերմաստիճանում 120 կՊա է: Հաշվել այդ լուծույթի սառեցման ջերմաստիճանը, եթե ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

5-36. Լուծույթում ջրի և մեթանոլի պարցիալ մոլային ծավալները համապատասխանաբար հավասար են 17.35 և 39.01 սմ^3/մոլ: Որոշել 0.4 մոլ մեթանոլ և 0.6 մոլ ջուր պարունակող լուծույթի ծավալը, ինչպես նաև դրանց գումարային ծավալը մինչև խառնվելը: Ջրի և մեթանոլի խտությունները համապատասխանաբար հավասար են 0.998 և 0.789 գ/սմ^3:

5-37. 50% (ըստ զանգվածի) էթանոլ պարունակող ջրային լուծույթի խտությունը 25 ^{0}C ջերմաստիճանում հավասար է 0.914 գ/սմ^3: Որոշել այդ լուծույթում էթանոլի պարցիալ մոլային ծավալը, եթե ջրի պարցիալ մոլային ծավալը հավասար է 17.4 սմ^3/մոլ:

5-38. 0.15 կգ բրոմբենզոլում լուծված է 0.85 գ նյութ: Որոշել վերջինիս մոլային զանգվածը, եթե լուծույթը 1 մթն ճնշման տակ եռում է 429 Կ ջերմաստիճանում: Բրոմբենզոլի եռման ջերմաստիճանը 428.1 Կ է, իսկ էբուլիոսկոպիական հաստատունը՝ 6.26 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-39. Բենզոլը և տոլուոլը առաջացնում են իդեալականին մոտ լուծույթներ: 300 Կ ջերմաստիճանում մաքուր տոլուոլի գոլորշու ճնշումը 3.572 կՊա է, իսկ բենզոլինը՝ 9.657 կՊա: Հաշվել 0.6 մոլային բաժնով տոլուոլ պարունակող լուծույթի գոլորշու ճնշումը: Ինչի՞ է հավասար տոլուոլի մոլային բաժինն այդ հեղուկի վրա գտնվող գոլորշում:

5-40. 0.6 գ սպիտակուց պարունակող 100 մլ ծավալով լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը 25 ^{0}C ջերմաստիճանում 22 մմ ս.ս. է: Հաշվել սպիտակուցի մոլային զանգվածը:

5-41. Մանիտոլ կոչվող շաքարի մոլային զանգվածի որոշման համար այդ նյութի 18.04 գ լուծել են 100 գ ջրում: 298 Կ-ում լուծույթի գոլորշու ճնշումը եղել է 2.291 կՊա: Այդ արժեքը, ի համեմատ մաքուր ջրի արժեքի, ցածր է 0.041 կՊա-ով: Հաշվել մանիտոլի մոլային զանգվածը:

5-42. Հեղուկի գոլորշու ճնշումը 298.15 Կ-ում 40.00 կՊա է: Երբ 0.080 կգ չցնդող նյութը լուծվում է այդ հեղուկի 1 մոլ-ում, ապա գոլորշու ճնշումը հավասարվում է 26.66 կՊա-ի: Ինչի՞ է հավասար լուծված նյութի մոլային զանգվածը: Ընդունել, որ լուծույթը իդեալական է:

5-43. Երբ 3.78 գ չցնդող նյութը լուծվել է 300 գ ջրում, սառեցման կետի անկումը եղել է 0.646 ^{0}C: Հաշվել այդ նյութի մոլային զանգվածը, եթե ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը 1.856 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

* * *

5-44. Մաքուր բենզոլի և տոլուոլի գոլորշու ճնշումները 60 °C-ում 51.3 և 18.5 կՊա են: Ի՞նչ ճնշման տակ կեռա 1 մոլ բենզոլ և 2 մոլ տոլուոլ պարունակող լուծույթը նշված ջերմաստիճանում: Գտնել նաև գոլորշու ծավալային բաղադրությունը:

5-45. Սպիրտի 0.6 զանգվածային բաժնով մեթանոլ-ջուր խառնուրդի խտությունը տվյալ ջերմաստիճանում 0.8946 գ/սմ^3 է, իսկ մեթանոլի պարցիալ մոլային ծավալը՝ 39.8 սմ^3/մոլ: Որոշել ջրի պարցիալ մոլային ծավալն այդ լուծույթում:

5-46. 0.4693 մոլային բաժնով քլորոֆորմ պարունակող լուծույթում ացետոնի և քլորոֆորմի պարցիալ մոլային ծավալները հավասար են համապատասխանաբար 74.166 և 80.235 սմ^3 մոլ$^{-1}$: Որքա՞ն է 1 կգ զանգվածով լուծույթի ծավալը: Որքա՞ն է՝ ա) չխառնված հեղուկների ծավալը, բ) ծավալի փոփոխությունը խառնման ժամանակ, եթե ացետոնի և քլորոֆորմի մոլային ծավալներն են՝ 73.993 և 80.665 սմ^3 մոլ$^{-1}$:

5-47. 30 °C ջերմաստիճանում հելիումի Հենրիի հաստատունը 3.7×10^{-4} M/մթն է, իսկ ազոտինը՝ 6.0×10^{-4} M/մթն: Եթե նշված գազերից յուրաքանչյուրի ճնշումը ջրային լուծույթի մակերևույթի վրա լինի 0.5 մթն, ապա որքա՞ն կլինի յուրաքանչյուրի լուծելիությունը:

5-48. Բենզոլի կրիոսկոպիական հաստատունը 5.12 Կ կգմոլ$^{-1}$ է: 2.441 գ բենզոյական թթուն 250 գ բենզոլում լուծելիս դիտվում է ջերմաստիճանի նվազում 0.2048 Կ-ով: Որքա՞ն է նշված թթվի մոլեկուլային զանգվածը տվյալ լուծիչում:

5-49. Որոշել ջրի էբուլիոսկոպիական հաստատունի փորձնական արժեքը, եթե լուծույթը, որը պարունակում է 0.45 գ կարբամիդ 22.5 գ ջրում, եռում է ստանդարտ ճնշման տակ 100.17 °C-ում:

5-50. 0.81 գ $H(CH_2)_nH$ ածխաջրածին և 190 գ էթիլբրոմիդ պարունակող լուծույթը սառչում է 9.47 °C-ում: Էթիլբրոմիդի սառեցման ջերմաստիճանը 10 °C է, իսկ կրիոսկոպիական հաստատունը՝ 12.5 Կ կգ մոլ$^{-1}$: Որոշել n-ը:

5-51. 0.40×10^{-3} կգ սալիցիլաթթու պարունակող 0.0106 կգ էթիլսպիրտային լուծույթը եռում է 0.337 °C-ով ավելի բարձր ջերմաստիճանում, քան մաքուր սպիրտը: Որոշել սալիցիլաթթվի մոլային զանգվածը:

5-52. Ադրենալինը, որը կարգավորում է գլյուկոզի լրացուցիչ մոլեկուլների արտադրությունը արյան մեջ գրգռման պահին կամ ճգնաժամային իրավիճակներում, բաղկացած է 59.0 % C-ից, 7.1 % H-ից, 26.2 % O-ից և 7.6 % N-ից (ըստ զանգվածի): 0.64 գ ադրենալինի լուծույթը 36.0 գ քառաքլորածխածնում եռում է վերջինիս եռման ջերմաստիճանից 0.49 °C-ով ավելի բարձր ջերմաստիճանում: Հաշվել ադրենալինի մոլային զանգվածը և փորձառական մոլեկուլային բանաձևը: $K_{եբ}(CCl_4)$= 5.02 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-53. Մաքուր բենզոլի սառեցման ջերմաստիճանը 278.5 Կ է, իսկ 3.055×10^{-2} կգ բենզոլում 0.2242×10^{-3} կգ կամֆորա պարունակող լուծույթինը՝ 278.254 Կ: Բենզոլի պնդացման ջերմաստիճանի մոլային իջեցումը 5.12 °C է: Որոշել կամֆորայի մոլային զանգվածը:

5-54. Գլիցերինի տրված ջրային լուծույթը ստեղծել է գոլորշու այնպիսի ճնշում, որքան ստեղծում է մեկ կգ ջրում 0.0089 գ նատրիումի նիտրատ պարունակող լուծույթը: Վերջինում աղի դիսոցման աստիճանը 64.9 % է: Որոշել գլիցերինի զանգվածային բաժինը (%) նշված լուծույթում:

5-55. Խարդախ բարմենը փորձում է պատրաստել 100 սմ^3 խմիչք՝ միմյանց խառնելով 70 սմ^3 ջուրը և 30 սմ^3 էթանոլը: Իրականում ինչպիսի՞ ծավալներ պետք է խառնել, որպեսզի ստացվի անհրաժեշտ բաղադրությամբ 100 սմ^3 խմիչք: Ջրի և սպիրտի խտություններն են 1 գ/սմ^3 և 0.785 գ/սմ^3, իսկ դրանց պարցիալ մոլային ծավալները հավասար են համապատասխանաբար 18 և 52.6 սմ^3 մոլ$^{-1}$:

5-56. 2.21×10^{-3} կգ կալցիումի քլորիդ և 0.1 կգ ջուր պարունակող լուծույթի գոլորշու ճնշումը 293 Կ-ում 2319.8 Պա է, իսկ մաքուր ջրի գոլորշու ճնշումը նույն ջերմաստիճանում՝ 2338.5 Պա: Հաշվել նշված աղի թվացող մոլային զանգվածը և թվացող դիսոցման աստիճանը:

5-57. 1 լ ջրում 20 գ հեմոգլոբինի լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը 25 ^oC-ում 7.52×10^{-3} մթն է: Որոշել հեմոգլոբինի մոլային զանգվածը:

5-58. Մարդու շիճուկային ալբումին սպիտակուցի մոլային զանգվածը 69 կգ/մոլ է: Հաշվել 100 գ ջրում 2 գ սպիտակուց պարունակող լուծույթի օսմոտիկ ճնշումը 25 ^oC-ում (պասկալով): Լուծույթի խտությունն ընդունել 1.0 գ/սմ^3:

5-59. Սախարոզի ջրային լուծույթի գոլորշու ճնշումը 30 ^oC ջերմաստիճանում 31.207, իսկ մաքուր ջրինը նույն ջերմաստիճանում 31.824 տոր է: Ինչի՞ է հավասար այդ լուծույթի (ρ = 0.99564 գ/սմ^3) օսմոտիկ ճնշումը:

5-60. Մարդու արյան պլազման սառչում է –0.56 ^oC-ում: Որքա՞ն է պլազմայի օսմոտիկ ճնշումը 37 ^oC-ում, եթե վերջինս չափվում է միայն ջրի համար թափանցիկ մեմբրանի միջոցով:

5-61. 10 գ պոլիստիրոլը լուծվել է 1 լ բենզոլում: Օսմոմետրում այդ լուծույթի (ρ = 0.88 գ/սմ^3) սյան բարձրությունը 25 ^oC-ում 11.6 սմ է: Հաշվել պոլիստիրոլի մոլային զանգվածը:

5-62. 1 կգ ջրում եղեգնաշաքարի լուծույթի գոլորշու ճնշումը հավասար է նույն ջերմաստիճանում մաքուր ջրի ճնշման 98.88 %-ին: Հաշվել այդ լուծույթի եռման ջերմաստիճանը և օսմոտիկ ճնշումը 373 Կ-ում (ρ = 1×10^3 կգ/մ^3):

5-63. 288 Կ-ում 12.1 գ/լ սաթաթթու պարունակող ջրային լուծույթը հավասարակշռության մեջ է նույն թթվի 2.2 գ/լ պարունակությամբ եթերային լուծույթի հետ: Որքա՞ն կլինի վերջինիս կոնցենտրացիան (գ/լ), եթե այդ լուծույթը հավասարակշռության մեջ գտնվի 4.84 գ/լ սաթաթթու պարունակող ջրային լուծույթի հետ: Նշված թթուն ունի նորմալ մոլեկուլային զանգված, ինչպես ջրում, այնպես էլ եթերում:

5-64. Ջրի և քառաքլորածխածնի միջև յոդի բաշխման գործակիցը 298 Կ-ում 0.0117 է: Երկու լուծիչում էլ յոդն ունի միննույն մոլեկուլային զանգվածը: Քառաքլորածխածնի ի՞նչ ծավալ է անհրաժեշտ, որպեսզի 0.5 լ ջրային լուծույթից մեկանգամյա լուծազատումով հնարավոր լինի կորզել՝ ա) 99.9, բ) 99.0, գ) 90.0 % յոդ:

5-65. Ջրի և ծծմբածխածնի միջև յոդի բաշխման գործակիցը 0.0017 է: Մի դեպքում 10^{-4} կգ յոդ պարունակող 10^{-4} մ^3 ջրային լուծույթը թափահարել են 5×10^{-6} մ^3 ծծմբածխածնի հետ: Մյուս դեպքում նույն ծավալով լուծույթը թափահարել են նույն լուծիչի հետ 5 անգամ, յուրաքանչյուր անգամ 10^{-6} մ^3 ծավալով: Որոշել լուծազատված յոդի զանգվածը մեկ և մյուս դեպքերում:

5-66. Ածխաթթու գազի Հենրիի հաստատունը ջրում 25 $^{\circ}$C-ում 1.25×10^{6} տոր է: Հաշվել նշված գազի լուծելիությունը (մոլալությամբ) ջրում նույն ջերմաստիճանում, եթե ածխաթթու գազի պարցիալ ճնշումը ջրի վրա 0.1 մթն է:

5-67. Թթվածնի և ազոտի Հենրիի հաստատունները ջրում 25 $^{\circ}$C-ում հավասար են համապատասխանաբար 4.40×10^{9} և 8.68×10^{9} Պա: Հաշվել նույն ջերմաստիճանի ջրում լուծված օդի ծավալային բաղադրությունը (%), եթե ջրի վրայի օդը բաղկացած է 20 % թթվածնից և 80 % ազոտից, իսկ ճնշումը մեկ բար է:

5-68. Հաշվել բաղադրությունը բենզոլ-տոլուոլ լուծույթի, որը նորմալ ճնշման տակ եռում է 100 $^{\circ}$C ջերմաստիճանում, ինչպես նաև գոյացող գոլորշու բաղադրությունը: Լուծույթը համարել իդեալական: Մաքուր բենզոլի և տոլուոլի գոլորշու ճնշումները նշված ջերմաստիճանում հավասար են համապատասխանաբար 1350 և 556 տոր:

5-69. Հաշվել 1 մթն ճնշման պայմանում թթվածնի մոլային կոնցենտրացիան ջրում: 298 Կ ջերմաստիճանում օդը պարունակում է 21 % (ըստ ծավալի) թթվածին, որի Հենրիի հաստատունը 4.95×10^4 բար է:

5-70. 298 Կ ջերմաստիճանում օդը պարունակում է 21 % թթվածին, որի Հենրիի հաստատունը ջրում 4.95×10^4 բար է: Ջրասուզակը սուզվել է մինչև 30 մ խորություն: Հաշվել ընդհանուր ճնշումը, որը գործադրվում է ջրասուզակի վրա մթնոլորտի և ջրի կողմից: Հաշվել թթվածնի կոնցենտրացիան (մոլային բաժնով արտահայտված) ջրասուզակի հյուսվածքներում այդ խորության պայմաններում:

5-71. 70 կգ կշռող անձի արյան ծավալը մոտ 5 լ է: 298 Կ ջերմաստիճանում ազոտի ջրում լուծելիության Հենրիի հաստատունը 9.04×10^4 բար է: ա) Հաշվել արյան մեջ լուծված ազոտի նյութաքանակները 1 բար և 50 բար ճնշման տակ, եթե օդում ազոտի պարունակությունը 80 % է: բ) Ջրասուզակը 50 մ խորությունից կտրուկ բարձրանում է ծովի մակերևույթ: Պղպջակի տեսքով որքա՞ն ծավալով ազոտ դուրս կգա ջրասուզակի օրգանիզմից:

5-72. 5.5 լ օդն անցկացվել է հեղուկ տոլուոլի միջով 298 Կ ջերմաստիճանում՝ նվազեցնելով տոլուոլի զանգվածը 2.38 գ-ով: Հաշվել օրգանական միացության գոլորշու ճնշումն այդ ջերմաստիճանում՝ ենթադրելով, որ անոթից դուրս եկած օդը հագեցած է տոլուոլով:

5-73. 298 Կ ջերմաստիճանում A և B հեղուկների խառնման ժամանակ առաջանում է գրեթե իդեալական լուծույթ: Մաքուր A նյութի գոլորշու ճնշումը 180 տոր է, իսկ B նյութինը՝ 82.1 տոր:

Որքա՞ն կլինի A նյութի մոլային բաժինը լուծույթում, եթե գոլորշի ֆազում A նյութի մոլային բաժինը 0.45 է:

5-74. 298 Կ ջերմաստիճանում A և B հեղուկների խառնման ժամանակ առաջանում է գրեթե իդեալական լուծույթ: Մաքուր A նյութի գոլորշու ճնշումը 105 տոր է, իսկ B նյութինը` 63.5 տոր: ա) Հաշվել A և B նյութերի պարցիալ ճնշումները գազ ֆազում, եթե A նյութի մոլային բաժինը լուծույթում 0.6 է: բ) Գազ ֆազի մի մասը կոնդենսացվել է մի այլ անոթում: Որքա՞ն կլինեն առաջացած հեղուկի հետ հավասարակշռության մեջ գտնվող A և B նյութերի պարցիալ ճնշումները:

5-75. 1-բրոմբութանի և 1-քլորբութանի գոլորշիների ճնշումները (Պա) տրվում են հետևյալ առնչություններով.

$$\ln p(\text{բրոմբութան}) = 17.076 - \frac{1584.8}{T - 111.88}$$

$$\ln p(\text{քլորբութան}) = 20.612 - \frac{2688.1}{T - 55.725}$$

Ենթադրելով, որ դրանց խառնման ժամանակ առաջանում է գրեթե իդեալական լուծույթ, հաշվել 300 Կ-ում բրոմբութանի մոլային բաժինը հեղուկ և գոլորշի ֆազում, եթե համակարգի ընդհանուր ճնշումը 8741 Պա է:

5-76. 25 ^{0}C ջերմաստիճանում ջրի և էթանոլի պարցիալ մոլային ծավալները ջրի 0.6 մոլային բաժնով լուծույթում համապատասխանաբար հավասար են 17 և 57 սմ^3 մոլ$^{-1}$: Հաշվել ծավալի փոփոխությունը, երբ նշված կոնցենտրացիան ապահովելու համար անհրաժեշտ քանակով էթանոլը խառնում են 2 մոլ ջրի հետ: Ջրի և էթանոլի խտություններն այդ ջերմաստիճանում համապատասխանաբար հավասար են 0.997 և 0.7893 գ սմ$^{-3}$:

5-77. 298 Կ ջերմաստիճանում 5.25 գ նյութի լուծումը 565 գ բենզոլում բարձրացնում է վերջինիս եռման կետը 0.625 ^{0}C-ով: Բենզոլի կրիոսկոպիական հաստատունը 5.12 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է, էբուլիոսկոպիական հաստատունը՝ 2.53 Կ կգ մոլ$^{-1}$, խտությունը՝ 876.6 կգ մ$^{-3}$, իսկ 298 Կ-ում մաքուր բենզոլի գոլորշու ճնշումը 103 տոր է: Հաշվել լուծույթի սառեցման կետի անկումը, օսմոտիկ ճնշումը, լուծված նյութի մոլային զանգվածը, ինչպես նաև լուծույթի վրա գոլորշու ճնշման հարաբերությունը մաքուր լուծիչի գոլորշու ճնշմանը:

5-78. Ջրասուզակների նորմալ շնչառությունն ապահովելու համար շնչառական խառնուրդում թթվածնի և ազոտի քանակները նոսրացվում են: Եղանակներից մեկն այն է, որ թթվածինը խառնում են հելիումի հետ: Ենթադրելով, որ խառնուրդը պարունակում է 10 % թթվածին և 90 % հելիում, հաշվել թթվածնի և հելիումի կոնցենտրացիան (մգ/լ) ջրասուզակի արյան մեջ 100 մ խորությունում 298 Կ-ում: Խառնուրդը ենթարկվում է Հենրիի օրենքին: Հելիումի և թթվածնի համար Հենրիի հաստատունները համապատասխանաբար հավասար են 1.49×10^{6} բար և 4.95×10^{4} բար: Արյան (ջրի) մոլային ծավալը 0.018 լ մոլ$^{-1}$ է:

5-79. Հաշվել 1 լ ջրում ծծմբաջրածնի լուծելիությունը /մոլ/, եթե լուծույթի վրա գոլորշու ճնշումը 3.25 բար է, իսկ ջրի խտությունն այդ ջերմաստիճանում՝ 997 կգ·մ$^{-3}$:

5-80. Մաքուր ջրի և էթանոլի խտությունները համապատասխանաբար հավասար են 997 և 789 կգ մ$^{-3}$: Էթանոլի և ջրի պարցիալ մոլային ծավալները ըստ էթանոլի 0.2 մոլային բաժնով լուծույթում համապատասխանաբար հավասար են 55.2×10^{-3} և 17.8×10^{-3} լ մոլ$^{-1}$: Հաշվել ծավալի փոփոխությունը, երբ պատրաստվում է 1 լ այդպիսի լուծույթ:

5-81. Երբ գորտի բջիջները 298 Կ ջերմաստիճանում տեղադրեցին կերակրի աղի տարբեր կոնցենտրացիաներով լուծույթների մեջ, նկատվեց, որ բջիջները մնում են անփոփոխ 0.7 % զանգվածային բաժնով NaCl-ի լուծույթում: 0.7 %-ոց լուծույթում դիտվում է սառեցման կետի անկում 0.406 Կ-ով՝ ի համեմատ մաքուր ջրի: Որքա՞ն է 298 Կ-ում բջջի ցիտոպլազմայի օսմոտիկ ճնշումը: Ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է:

5-82. Բարձրադիր վայրերում լեռնագնացները չեն կարողանում կլանել շնչառության համար անհրաժեշտ քանակությամբ թթվածին: 1 բար ճնշման տակ արյան մոտ 95 %-ը հագեցած է թթվածնով, իսկ մոտ 5000 մ բարձրության վրա, որտեղ ճնշումը 0.5 բար է, թթվածնով հագեցվածությունը հասնում է 71 %-ի: Հաշվել 1 լ արյան մեջ թթվածնի քանակը 1 բար և 0.5 բար ճնշումների տակ: Օդը պարունակում է ըստ ծավալի 20.99 % թթվածին, արյան խտությունը 998 կգ մ$^{-3}$ է, իսկ արյան մեջ թթվածնի լուծման Հենրիի հաստատունը՝ 4.95×10^{4} բար:

5-83. Թթվածնային թունավորման, ինչպես նաև ազոտի նարկոզի հետ կապված խնդիրներից խուսափելու համար ջրասուզակներին թույլատրվում է առավելագույնը 61 մ խորություն: Հաշվել ջրասուզակի վրա գործող ճնշումը այդ խորության վրա: Եթե օդը պարունակում է 20 % թթվածին և 80 % ազոտ, որքա՞ն կլինի 298 Կ-ում թթվածնի և ազոտի կոնցենտրացիան (մոլ/լ) արյան մեջ 61 մ խորությունում: Ազոտի և թթվածնի համար Հենրիի հաստատունները համապատասխանաբար հավասար են 9.04×10^{4} բար և 4.95×10^{4} բար:

5-84. Հաշվել Na^{+} և Cl^{-} իոնների միջև ձգողության ուժը՝ ա) վակուումում, բ) ջրում 25 ^{0}C ջերմաստիճանում: Նշված իոնների միջև հեռավորությունը 1 նմ է, իսկ լիցքերը համապատասխանաբար հավասար են 1.602×10^{-19} Կլ և -1.602×10^{-19} Կլ: Ջրի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը 78.54 է:

5-85. Ավտոմեքենաների համար կիրառվող հիմնական անտիֆրիզը էթիլենգլիկոլն է: Որքա՞ն մլ էթիլենգլիկոլ է անհրաժեշտ ավելացնել 6.5 լ ջրին, եթե ձմռանը ջերմաստիճանը հասնում է -20 ^{0}C: Էթիլենգլիկոլի խտությունը 1.11 գ սմ$^{-3}$ է, իսկ եռման ջերմաստիճանը՝ 470 Կ:

5-86. A և B հեղուկների խառնուրդը ցուցաբերում է իդեալական լուծույթի վարք: 84 ^{0}C ջերմաստիճանում 1.2 մոլ A և 2.3 մոլ B նյութ պարունակող լուծույթի ընդհանուր գոլորշու ճնշումը 331 մմ ս.ս. է: Նշված լուծույթին 1 մոլ B նյութ ավելացնելուց հետո գոլորշու ճնշումը դարձել է 347 մմ ս.ս.: Հաշվել տրված ջերմաստիճանում A և B մաքուր հեղուկների գոլորշիների ճնշումը:

5-87. Ձվի սպիտակուցում պարունակվող լիզոցիմի մոլային զանգվածը 13930 գ/մոլ է: 298 Կ ջերմաստիճանում 50 գ ջրում լուծել են 0.1 գ սպիտակուց: Հաշվել առաջացած լուծույթի գոլորշու ճնշման իջեցումը, սառեցման կետի անկումը, եռման ջերմաստիճանի բարձրացումը և օսմոտիկ ճնշումը, եթե մաքուր ջրի գոլորշու ճնշումը 298 Կ-ում 23.76 մմ ս.ս. է: Ջրի կրիոսկոպիական հաստատունը 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$ է, իսկ էբուլիոսկոպիական հաստատունը՝ 0.51 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

5-88. 85 ^{0}C ջերմաստիճանում A և B նյութերի գոլորշիների ճնշումը համապատասխանաբար 566 և 250 տոր է: Հաշվել A և B նյութեր պարունակող լուծույթի բաղադրությունը, որը 0.6 մթն ճնշման տակ եռում է 85 ^{0}C ջերմաստիճանում: Հաշվել նաև առաջացած գոլորշու բաղադրությունը:

5-89. Հաշվել ջրի էբուլիոսկոպիական հաստատունը, եթե 100 ^{0}C ջերմաստիճանում դրա գոլորշացման մոլային էնթալպիան 40.79 կՋ մոլ$^{-1}$ է:

5-90. Դիբրոմէթիլենը և դիբրոմպրոպիլենը խառնելու ժամանակ առաջացնում են գրեթե իդեալական լուծույթ: Դիբրոմէթիլենի գոլորշու ճնշումը 80 ^{0}C-ում հավասար է 22.9 կՊա, իսկ դիբրոմպրոպիլենինը՝ 16.9 կՊա: Որոշել՝ ա) գոլորշու բաղադրությունը, որը գտնվում է հավասարակշռության մեջ ըստ դիբրոմէթիլենի 0.75 մոլային բաժին ունեցող լուծույթի հետ, բ) լուծույթի բաղադրությունը, որը գտնվում է ըստ դիբրոմէթիլենի 0.5 մոլային բաժին ունեցող գոլորշու հետ հավասարակշռության մեջ:

5-91. Մաքուր քլորբենզոլի և բրոմբենզոլի գոլորշիների ճնշումը 140 ^0C ջերմաստիճանում համապատասխանաբար հավասար են 1.237 մթն և 0.658 մթն: Որոշել C_6H_5Cl և C_6H_5Br պարունակող լուծույթի բաղադրությունը, որը նորմալ մթնոլորտային ճնշման տակ եռում է 140 ^0C-ում, ինչպես նաև առաջացած գոլորշու բաղադրությունը:

5-92. Մաքուր էթիլենդիբրոմիդի գոլորշու ճնշումը 172 տոր է, իսկ մաքուր պրոպիլենդիբրոմիդինը՝ 128 տոր: Երկու դեպքում էլ չափումները կատարվել են 358 Կ և 1 մթն ճնշման պայմաններում: Ընդունելով, որ երկու նյութն էլ ենթարկվում են Ռաուլի օրենքին, որոշել գոլորշու լրիվ ճնշումը՝ արտահայտված կՊա-ով, և գոլորշու բաղադրությունը, որը հավասարակշռության մեջ է 0.6 մոլային բաժնով պրոպիլենդիբրոմիդ պարունակող լուծույթի հետ:

5-93. Հաշվել Հենրիի հաստատունը և մաքուր A հեղուկի (մոլային զանգվածը հավասար է 89.5 գ մոլ$^{-1}$) գոլորշու ճնշումը, որի 75 գ գտնվում է 1000 գ հեղուկ B-ում: Վերջինիս (մոլային զանգվածը՝ 185 գ մոլ$^{-1}$) գոլորշու ճնշումը 430 տոր է, իսկ լուծույթի լրիվ ճնշումը՝ 520 տոր:

5-94. 1 և 2 բաղադրիչները առաջացնում են իդեալական լուծույթ: 1 մաքուր բաղադրիչի ճնշումը 298 Կ-ում 13.3 կՊա է, իսկ 2 բաղադրիչի գոլորշու ճնշումը մոտավորապես զրո է: Երբ բաղադրիչ 2-ից 1գ ավելացվում է 1 բաղադրիչի 10 գ-ին, ապա լրիվ գոլորշու ճնշումը նվազում է՝ հասնելով 12.6 կՊա արժեքի: Գտնել 2 բաղադրիչի և 1 բաղադրիչի մոլային զանգվածների հարաբերությունը:

ԳԼՈՒԽ 6. ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐԱԿՇՌՈՒԹՅՈՒՆ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Դարձելի քիմիական ռեակցիայում հավասարակշռություն հաստատվում է այն ժամանակ, երբ ուղիղ և հակադարձ ռեակցիաների արագություններն իրար հավասարվում են.

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD \tag{6.1}$$

Այդ պահից սկսած՝ նյութերի կոնցենտրացիաների փոփոխություն համակարգում այլևս տեղի չի ունենում:

Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը նշված ռեակցիայում ($\Delta_r G$) որոշվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$\Delta_r G = cG(C) + dG(D) - aG(A) - bG(B) \tag{6.2}$$

Եթե քննարկվող ռեակցիայում մասնակցում են գազային նյութեր, ապա կարելի է օգտագործել Գիբսի էներգիայի կապը գազի ճնշման հետ.

$$G_i = G_i^{\circ} + RTlnp_i \tag{6.3}$$

որտեղ G_i°-ն Գիբսի ստանդարտ էներգիան է:

Վերջին երկու հավասարումների համադրումից ստացվում են հետևյալ առնչությունները.

$$\Delta_r G = cG^{\circ}(C) + dG^{\circ}(D) - aG^{\circ}(A) - bG^{\circ}(B) + RTln\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b} \tag{6.4}$$

$$\Delta_r G = \Delta_r G^{\circ} + RTln\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b} \tag{6.5}$$

Հավասարակշռության պահին $\Delta_r G = 0$ և հետևաբար՝

$$\Delta_r G^\circ = -RTln\left(\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}\right)_{հավ} \qquad (6.6)$$

Վերջին հավասարման ենթալոգարիթմական արտահայտությունը ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունն է.

$$K_p = \left(\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}\right)_{հավ} \qquad (6.7)$$

Այսպիսով, (6.5) հավասարումը կարող է ստանալ հետևյալ տեսքը.

$$\Delta_r G = RT\left(ln\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b} - lnK_p\right) \qquad (6.8)$$

Եթե ռեակցիան ընթանում է հաստատուն ջերմաստիճանի և ծավալի պայմանում, ապա Հելմհոլցի էներգիայի փոփոխությունը (ΔA) արտահայտվում է (6.8) հավասարման նմանությամբ:

Արտահայտելով համակարգի բաղադրությունը կոնցենտրացիայով՝ կարելի է ստանալ հետևյալ հավասարումը.

$$\Delta_r G = RT\left(ln\frac{C_C^c C_D^d}{C_A^a C_B^b} - lnK_C\right) \qquad (6.9)$$

(6.8) և (6.9) հավասարումները կոչվում են քիմիական ռեակցիայի իզոթերմի հավասարում (կամ վանտ-Հոֆի իզոթերմի հավասարում):

Լուծույթներում c կոնցենտրացիան փոխարինվում է a ակտիվությամբ. $a_i = \gamma_i c_i$, որտեղ γ_i–ն ակտիվության գործակիցն է: Այսպիսով, հավասարակշռության հաստատունը կարող է արտահայտված լինել փոխազդող նյութերի ակտիվությունների, իսկ իդեալական համակարգերի պարագայում՝ պարցիալ ճնշումների, կոնցենտրացիաների, ինչպես նաև մոլային բաժինների միջոցով.

$$K_a = \left(\frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b}\right)_{հավ} \qquad K_p = \left(\frac{p_C^c p_D^d}{p_A^a p_B^b}\right)_{հավ} \qquad (6.10ա)$$

$$K_C = \left(\frac{C_C^c C_D^d}{C_A^a C_B^b}\right)_{հավ} \qquad K_X = \left(\frac{X_C^c X_D^d}{X_A^a X_B^b}\right)_{հավ} \qquad (6.10բ)$$

Քանի որ իդեալական գազերի համար $p_i = c_iRT$, իսկ $p_i = x_ip_{ընդ}$ (p-ն ընդհանուր ճնշումն է), կարելի է կապ ստեղծել հավասարակշռության հաստատունների միջև.

$$K_p = K_C(RT)^{\Delta\nu} \quad և \quad K_p = K_X p^{\Delta\nu} \qquad (6.11)$$

որտեղ Δν-ն ռեակցիայում գազերի քանակաչափական գործակիցների տարբերությունն է՝ $\Delta\nu = c + d - a - b$:

Հավասարակշռության հաստատունը կարելի է արտահայտել դիսոցման կամ փոխարկման աստիճանով (α), սակայն այս դեպքում հավասարման տեսքը կախված է ռեակցիայի տեսակից և քանակաչափական գործակիցներից:

Ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունի կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է վանտ-Հոֆի իզոբարի (իզոխորի) հավասարումով.

$$\left(\frac{dlnK_p}{dT}\right)_p = \frac{\Delta_r H}{RT^2} \qquad (6.12)$$

$$\left(\frac{dlnK_C}{dT}\right)_V = \frac{\Delta_r U}{RT^2} \qquad (6.13)$$

Ինտեգրելով (6.12) հավասարումը, համարելով, որ $\Delta_r H$-ը անկախ է ջերմաստիճանից տվյալ ջերմաստիճանային տիրույթում, ստացվում է հետևյալ առնչությունը.

$$\ln K_p = -\frac{\Delta_r H}{RT} + C \qquad (6.14)$$

որտեղ C-ն ինտեգրման հաստատունն է: (6.14)-ից հետևում է, որ lnK_p-ի կախումը 1/T-ից պետք է լինի գծային, իսկ թեքության անկյան տանգենսը հավասար է $-\Delta_rH/R$-ի:

Ինտեգրելով (6.12)-ը որոշակի սահմաններում՝ ստացվում է՝

$$ln\frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta_r H}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right) \tag{6.15}$$

Այս հավասարման միջոցով կարելի է կատարել զանազան հաշվարկներ:

Գործնական մեծ նշանակություն ունի քիմիական հավասարակշռության տեղաշարժի խնդիրը, այսինքն՝ այն, թե ինչպես է տեղաշարժվում հավասարակշռությունը, եթե համակարգի վրա ազդում է արտաքին գործոն: Համաձայն Լե Շատելյեի սկզբունքի՝ հավասարակշռությունը տեղաշարժվում է այնպես (ձախ կամ աջ), որպեսզի թուլանա արտաքին գործոնի ազդեցությունը:

ա) Ռեակցիայում հավասարակշռային խառնուրդի մեջ որևէ բաղադրիչի ավելացումը տեղաշարժում է հավասարակշռությունը այդ բաղադրիչի քանակի փոքրացման ուղղությամբ:

բ) Ջերմաստիճանի բարձրացումը տեղաշարժում է հավասարակշռությունն այն ուղղությամբ, որն ընթանում է ջերմության կլանմամբ, և, հակառակը, ջերմաստիճանի նվազումը տեղաշարժում է հավասարակշռությունն այն ուղղությամբ, որն ընթանում է ջերմության անջատմամբ:

գ) Ճնշման փոփոխությունը ազդում է այն հավասարակշռային գործընթացների վրա, որոնց դեպքում տեղի է ունենում ծավալի փոփոխություն: Ճնշման մեծացումը տեղաշարժում է հավասարակշռությունը ծավալի փոքրացման ուղղությամբ, և, հակառակը, ճնշման փոքրացումը տեղաշարժում է հավասարակշռությունը ծավալի մեծացման ուղղությամբ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. Տրված է հետևյալ ռեակցիայի Գիբսի ստանդարտ էներգիան՝ $\Delta_rG^o(373)= -25.6\times10^3$ Ջ/մոլ:

$$CO_{(գ)} + H_2O_{(գ)} \rightleftarrows CO_{2\,(գ)} + H_{2(գ)}$$

Որոշել այդ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը (K_p) 373 Կ-ում:

Լուծում: Օգտագործվում է (6.6) հավասարումը.

$$K_p = \exp\left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right) = \exp\left(-\frac{-25.6\times10^3 \text{Ջմոլ}^{-1}}{8.314\ \text{Ջմոլ}^{-1}\text{Կ}^{-1}\times 373\text{Կ}}\right) = 3847$$

Պատ.՝ $K_p = 3847$:

Խնդիր 2: 2000 ^oC ջերմաստիճանում և 1 մթն ճնշման պայմաններում ջրի 2 %-ը դիսոցվել է ջրածնի և թթվածնի.

$$H_2O_{(գ)} \rightleftarrows H_{2(գ)} + 1/2O_{2(գ)}$$

Հաշվել այդ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ K_p:

Լուծում: Ներկայացնենք փոխազդող նյութերի ելային և հավասարակշռային նյութաքանակները, ինչպես նաև հավասարակշռային մոլային բաժինները՝ նշանակելով դիսոցված նյութաքանակը α-ով:

	H_2O	H_2	O_2	
Ելային քանակը	1	0	0	
Հավ. քանակը	$1-\alpha$	α	0.5α	Գումարը՝ $1+0.5\alpha$
Հավ.մոլ.բաժինը	$\frac{1-\alpha}{1+0.5\alpha}$	$\frac{\alpha}{1+0.5\alpha}$	$\frac{0.5\alpha}{1+0.5\alpha}$	

$$K_x = \frac{\alpha \times (0.5\alpha)^{0.5}}{(1-\alpha)(1+0.5\alpha)^{0.5}} = \frac{0.02 \times (0.5 \times 0.02)^{0.5}}{(1-0.02)(1+0.5 \times 0.02)^{0.5}} = 2.03 \times 10^{-3}$$

$$K_p = K_x \times p^{0.5} = 2.03\times10^{-3}\times1 = 2.03\times10^{-3}$$

Պատ.՝ 2.03×10^{-3}:

Խնդիր 3: 523 Կ-ում $PCl_{5(գ)} \rightleftarrows PCl_{3(գ)} + Cl_{2(գ)}$ ռեակցիայի K_p = 1.80×10^5: Ինչի՞ է հավասար PCl_5-ի դիսոցման աստիճանը նշված ջերմաստիճանի և համակարգի 1.80×10^5 Պա ընդհանուր ճնշման պայմանում:

Լուծում: Նախ գտնենք K_x-ը:

$$K_p = K_x p \qquad\qquad K_x = K_p p^{-1} = \frac{1.80\times10^5}{1.80\times10^5} = 1$$

Դիսոցման աստիճանը նշանակենք α:

	PCl_5	PCl_3	Cl_2	
Ելային քանակը	1	0	0	
Հավ. քանակը	1–α	α	α	Գումարը՝ 1+α
Հավ.մոլ.բաժինը	$\frac{1-\alpha}{1+\alpha}$	$\frac{\alpha}{1+\alpha}$	$\frac{\alpha}{1+\alpha}$	

$$K_x = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)(1+\alpha)} = 1$$

որտեղից α = 0.707

Պատ.՝ 0.707:

Խնդիր 4: $CO_{(գ)} + 2H_{2(գ)} \rightleftarrows CH_3OH_{(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ $K_p = 6.09\times10^{-3}$: Որոշել ընդհանուր ճնշումը, որն անհրաժեշտ է կիրառել՝ 90 % ելքով մեթանոլ ստանալու համար, եթե CO-ն և H_2-ը վերցված են 1:2 մոլային հարաբերությամբ:

Լուծում: Ներկայացնենք բաղադրիչների մոլային բաժինները և պարցիալ ճնշումները (p')՝ ընդհանուր ճնշումը նշանակելով p-ով:

	CO	H_2	CH_3OH	
Ելային քանակը	1	2	0	
Հավ. քանակը	1– 0.9	2–1.8	0.9	Σn = 1.2 մոլ
Հավ.մոլ.բաժինը	$\frac{0.1}{1.2}$	$\frac{0.2}{1.2}$	$\frac{0.9}{1.2}$	

$$p'(CO) = p\frac{0.1}{1.2} \qquad p'(H_2) = p\frac{0.2}{1.2} \qquad p'(CH_3OH) = p\frac{0.9}{1.2}\, K_p$$

$$= \frac{p'(CH_3OH)}{p'(CO)\cdot(p'(H_2))^2} = \frac{p\frac{0.9}{1.2}}{p\frac{0.1}{1.2}\times p^2\left(\frac{0.2}{1.2}\right)^2}$$

$$= 6.09 \times 10^{-3}$$

որտեղից

$$p^2 = \frac{0.9 \times (1.2)^2}{0.1 \times 0.04 \times 6.09 \times 10^{-3}} = 53.2 \times 10^3$$

p = 230.7 մթն

Լուծման մի այլ տարբերակում կարելի էր նախ գտնել K_x-ը և, այնուհետև, (6.11) բանաձևով՝ p-ն:

Պատ.՝ 230.7 մթն:

Խնդիր 5. 1500 Կ և 1.013×10^5 Պա պայմաններում՝

$$CO_2 \rightleftarrows CO + 1/2O_2$$

ռեակցիայի ելանյութի փոխարկման աստիճանը՝ $\alpha = 4.8\times10^{-4}$: Հաշվել, թե որ ուղղությամբ կընթանա ռեակցիան բաղադրիչների հետևյալ ելային պարցիալ ճնշումների պարագայում:

	$p(CO_2)$, Պա	$p(CO)$, Պա	$p(O_2)$, Պա
1	1.013×10^5	1.013×10^5	1.013×10^5
2	1.013×10^3	2.126×10^2	12.75×10^{-5}
3	1.013×10^3	1.013×10^1	12.75×10^{-5}

Լուծում: Նախ հաշվենք K_p-ն:

	CO_2	CO	O_2	
Ելային քանակը	1	0	0	
Հավ. քանակը	(1-α)	α	0.5α	$\sum n = (1+0.5\alpha)$
Հավ. մոլային բաժինը	$\frac{1-\alpha}{1+0.5\alpha}$	$\frac{\alpha}{1+0.5\alpha}$	$\frac{0.5\alpha}{1+0.5\alpha}$	

$$K_p = \frac{p(CO)\cdot(p(O_2))^{0.5}}{p(CO_2)} = \frac{\left(p\cdot\frac{\alpha}{1+0.5\alpha}\right)\left(p\cdot\frac{0.5\alpha}{1+0.5\alpha}\right)^{0.5}}{\left(p\cdot\frac{1-\alpha}{1+0.5\alpha}\right)}$$

$$K_p = \frac{p^{0.5}\cdot\alpha\cdot(0.5\alpha)^{0.5}}{(1-\alpha)}$$

$$= \frac{(1.013\times10^5)^{0.5}\times4.8\times10^{-4}(0.5\times4.8\times10^{-4})^{0.5}}{(1-0.00048)\times(1+0.00012)} = 2.37\times10^{-3}$$

Ըստ (6.8) հավասարման՝ հաշվենք Գիբսի էներգիայի փոփոխությունները բաղադրիչների նշված երեք պայմանների համար.

$$\Delta_r G_1 = 8.314\times1500 \times\left(\ln\frac{1.013\times10^5\times(1.013\times10^5)^{0.5}}{1.013\times10^5} - \ln2.37 \times10^{-3}\right) = 147.3 \text{ կՋ/մոլ}$$

Դրական նշանը վկայում է, որ ռեակցիան ձախից աջ չի կարող ընթանալ. այն ընթանում է հակառակ ուղղությամբ:

$$\Delta_r G_2 = 12471\times\left(\ln\frac{2.126\times10^2\times(12.75\times10^{-5})^{0.5}}{1.013\times10^3} - \ln2.37 \times10^{-3}\right) = 0$$

Այսինքն՝ համակարգը գտնվում է հավասարակշռության մեջ:

$$\Delta_r G_3 = 12471 \times \left(\ln\frac{1.013 \times 10^1 \times (12.75 \times 10^{-5})^{0.5}}{1.013 \times 10^3} - \ln 2.37 \times 10^{-3}\right) = -38.0 \text{ կՋ/մոլ}$$

Այս դեպքում ռեակցիան ընթանում է ձախից աջ:

Պատ.՝ $K_p = 2.37 \times 10^{-3}$, $\Delta_r G_1 = 147.3$ կՋ/մոլ, $\Delta_r G_2 = 0$, $\Delta_r G_3 = -38.0$ կՋ/մոլ:

Խնդիր 6. 893 Կ ջերմաստիճանում՝

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

ռեակցիայի K_p-ն 7.109×10^{-16} է, իսկ 973 Կ-ում՝ 2.103×10^{-16}: Հաշվել ռեակցիայի էնթալպիան տրված ջերմաստիճանային միջակայքում և հավասարակշռության հաստատունը՝ 933 Կ-ում:

Լուծում:

$$\ln\frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta_r H}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right) \quad \Delta_r H = 8.314 \times \ln\frac{2.103 \times 10^{-16}}{7.109 \times 10^{-16}} \times \frac{893 \times 973}{973 - 893} = -109.98 \text{ կՋ/մոլ}$$

$$\ln K_2(933) = \ln K_1(893) + \frac{\Delta_r H}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right) = \ln 7.109 \times 10^{-16} - \frac{109980}{8.314}\left(\frac{1}{893} - \frac{1}{933}\right)$$

$$\ln K_2(933) = -35.5 \qquad K(933) = 3.77 \times 10^{-16}$$

Պատ.՝ $\Delta H = -109.98$ կՋ/մոլ, $K_p(933) = 3.77 \times 10^{-16}$:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

6-1. Ածխածնի(II) օքսիդի և ջրային գոլորշու ելային կոնցենտրացիաները եղել են 0.1-ական մոլ/լ: Հաշվել CO, H_2O և CO_2 նյութերի հավասարակշռային կոնցենտրացիաները հետևյալ համակարդում, եթե ջրածնի հավասարակշռային կոնցենտրացիան եղել է 0.06 մոլ/լ:

$$CO_{(գ)} + H_2O_{(գ)} \rightleftarrows CO_{2(գ)} + H_{2(գ)}$$

Հաշվել նաև K_c հավասարակշռության հաստատունը:

6-2. $N_2O_{4(գ)} \rightleftarrows 2NO_{2(գ)}$ դիսոցման ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը մի ինչ-որ ջերմաստիճանում՝ $K_c = 0.5$ (մոլ/լ)-ի: NO_2 -ի հավասարակշռային կոնցենտրացիան 0.3 մոլ/լ է: Հաշվել N_2O_4-ի ելային կոնցենտրացիան և դիսոցման աստիճանը:

6-3. $CO_{(գ)} + 0.5O_{2(գ)} \rightleftarrows CO_{2(գ)}$ ռեակցիայի K_p° ստանդարտ թերմոդինամիկական հաստատունը 2500 Կ-ում հավասար է 27: Հաշվել նշված պայմաններում այդ ռեակցիայի K_p, K_c և K_x հավասարակշռության հաստատունների արժեքները:

6-4. $2CO_{(գ)} + O_{2(գ)} \rightleftarrows 2CO_{2(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ K_p°, 3200 և 3500 Կ պայմաններում համապատասխանաբար հավասար է 2.38 և 0.43: Որոշել Գիբսի ստանդարտ էներգիան՝ $\Delta_rG^o(T)$, նշված ջերմաստիճանում գործընթացի ինքնաբերաբար ընթացքի ուղղությունը, ինչպես նաև տրված ջերմաստիճանային միջակայքում ռեակցիայի միջին էնթալպիան:

6-5. 25 ^oC-ում $\Delta_fG^o(NH_3) = -16.5$ կՋ/մոլ: Հաշվել NH_3-ի գոյացման ռեակցիայի Δ_rG-ն, եթե N_2, H_2 և NH_3 գազերի պարցիալ ճնշումները համապատասխանաբար հավասար են 3, 1 և 4 մթն: Ո՞ր ուղղությամբ ինքնաբերաբար կընթանա ռեակցիան նշված պայմաններում:

6-6. A + B $\rightleftarrows$ C + 2D ռեակցիայի հետազոտման ժամանակ բացահայտվել է, որ եթե իրար հետ խառնվեն 2.00 մոլ A, 1.00 մոլ B և 3.00 մոլ D, ապա հավասարակշռային խառնուրդում 25 ^oC և 1 մթն ընդհանուր ճնշման պարագայում խառնուրդում կլինի 0.79 մոլ C: Հաշվել յուրաքանչյուր բաղադրիչի մոլային բաժինը, ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը (K_p) և Δ_rG^o-ն:

6-7. $COCl_2 \rightleftarrows CO + Cl_2$ ռեակցիայում ո՞ր կողմը կտեղաշարժվի հավասարակշռությունը, եթե համակարգին ավելացվի իներտ գազ՝ հաստատուն ընդհանուր ճնշման պայմանում:

6-8. Մի ինչ-որ ջերմաստիճանում $NH_4Cl_{(պ)} = NH_{3(գ)} + HCl_{(գ)}$ համակարգում հավասարակշռային ընդհանուր ճնշումը 0.50×10^3 Պա է: Որոշել այդ ռեակցիայի K_p-ն տվյալ ջերմաստիճանում:

6-9. Տրված է 42.0 գ N_2O_4, որը 50 °C և 0.946×10^5 Պա պայմաններում զբաղեցնում է 0.01835 մ³ ծավալ և որը մասամբ դիսոցված է՝ ըստ հետևյալ հավասարման՝ $N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2$: Հաշվել դիսոցման աստիճանը (α) և հավասարակշռության հաստատունը (K_p):

6-10. 400 °C-ում կատալիզատոր պարունակող 0.001 մ³ ծավալով փակ անոթի մեջ 1 մոլ ազոտից և 3 մոլ ջրածնից բաղկացած խառնուրդ լցնելիս ստացվել է 0.0385 մոլ ամոնիակ: Հաշվել $N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$ ռեակցիայի K_c և K_p հավասարակշռության հաստատունները:

6-11. Որոշել էթիլենի և ջրածնի ստանդարտ խնամակցությունը (գիբսյան էներգիան) հետևյալ ռեակցիայում՝ $C_2H_4 + H_2 \rightleftarrows C_2H_6$, եթե 873 Կ-ում $K_p = 2.86\times10^{-4}$ Պա$^{-1}$:

6-12. 772 Կ-ում $Ca(OH)_{2(պ)} \rightleftarrows CaO_{(պ)} + H_2O_{(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ K_p, հավասար է 0.4×10^5, իսկ 807 Կ-ում՝ 0.8×10^5 Պա: Համարելով ռեակցիայի էնթալպիան 750-810 Կ ջերմաստիճանային միջակայքում հաստատուն՝ հաշվել այդ ռեակցիայի K_p-ն 750 Կ-ում:

6-13. Հնարավո՞ր է 25 °C-ում հետևյալ ռեակցիան.

$$C_6H_{6(հ)} + Cl_{2(գ)} \rightleftarrows C_6H_5Cl_{(հ)} + HCl_{(գ)}$$

եթե նշված ջերմաստիճանում $\Delta_fG^o(C_6H_5Cl_{(հ)}) = 198.4$ կՋ/մոլ, $\Delta_fG^o(HCl_{(գ)}) = -95.28$ կՋ/մոլ, $\Delta_fG^o(C_6H_{6(հ)}) = 124.6$ կՋ/մոլ:

6-14. $CO_{(գ)} + H_2O_{(գ)} = CO_{2(գ)} + H_{2(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 500 °C-ում հավասար է՝ $K_p = 5.5$: 1 մոլ

CO և 5 մոլ H_2O պարունակող խառնուրդը տաքացրել են մինչև նշված ջերմաստիճանը: Հաշվել ջրի մոլային բաժինը ստացված հավասարակշռային խառնուրդում:

6-15. $N_{2(գ)} + 3H_{2(գ)} = 2NH_{3(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 298 Կ ջերմաստիճանում հավասար է՝ $K_P = 6\times10^5$, իսկ ռեակցիայի ստանդարտ մոլային էնթալպիան՝ -92.2 կՋ/մոլ: Հաշվել հավասարակշռության հաստատունի արժեքը 500 Կ-ում:

6-16. Հաշվել ռեակցիայի ստանդարտ էնթալպիան, եթե ջերմաստիճանը 298 Կ-ից 308 Կ բարձրացնելիս ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ ա) մեծանում է 2 անգամ, բ) փոքրանում է 2 անգամ:

6-17. Ռեակցիան ընթանում է համաձայն հետևյալ հավասարման՝ $2A = Y + 2Z$: 5 դմ³ ծավալում ռեակցիան սկսվել է սկզբնական 4 մոլ մաքուր A նյութով և արձանագրվել է, որ հավասարակշռության պահին A-ից մնացել է 1 մոլ: Որոշել հավասարակշռության հաստատունի արժեքը՝ K_C:

6-18. $A + B = Y + Z$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը հավասար է 0.1: Ի՞նչ նյութաքանակով A պետք է խառնվի 3 մոլ B-ի հետ, որպեսզի հավասարակշռության պահին լինի 2 մոլ Y:

6-19. $A + 2B = Z$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը հավասար է 0.25 դմ⁶ մոլ⁻²: 5 դմ³ ծավալում ի՞նչ նյութաքանակով A պետք է խառնվի 4 մոլ B-ի հետ, որպեսզի հավասարակշռության պահին լինի 1 մոլ Z:

6-20. 1100 Կ ջերմաստիճանում $2SO_{3(գ)} = 2SO_{2(գ)} + O_{2(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ K_C-ն, հավասար է 0.0271 մոլ դմ⁻³: Հաշվել K_P-ն՝ ճնշման միավորով /բար/, այդ նույն ջերմաստիճանում:

6-21. 3000 Կ ջերմաստիճանում CO_2-ի, CO-ի և O_2-ի հավասարակշռական պարցիալ ճնշումները համապատասխանաբար հավասար են 0.6, 0.4 և 0.2 մթն: Հաշվել $2CO_{2(գ)} = 2CO_{(գ)} + O_{2(գ)}$ ռեակցիայի ΔG^o-ն նշված ջերմաստիճանում:

6-22. $A = B + C$ գազային ռեակցիան էնդոթերմ է, իսկ K_P հավասարակշռության հաստատունը հավասար է 1 բար 25 °C-ում:

(ա) Ինչի՞ է հավասար ΔG^o-ն 25 °C-ում:

(բ) Նույն ստանդարտ վիճակում ΔS^o-ն դրակա՞ն է, թե՞ բացասական:

6-23. Հաշվել ստանդարտ էնթալպիայի փոփոխությունը, եթե՝ ա) հավասարակշռության հաստատունը՝ K_C-ն, մեծանա 3 անգամ, երբ ջերմաստիճանը բարձրացվում է 25 °C-ից մինչև 40 °C, բ) նույն պայմաններում K_C-ի արժեքը փոքրանա 3 անգամ:

6-24. $[H^+][OH^-]$ իոնական արտադրյալը, որը նաև ջրի դիսոցման հավասարակշռության հաստատունն է, հավասար է 1.00×10^{-14} մոլ^2 դմ$^{-6}$ 25 °C-ում և 1.45×10^{-14} մոլ^2 դմ$^{-6}$՝ 30 °C-ում: Որոշել այդ գործընթացի ΔH^o և ΔS^o:

* * *

6-25. Ազոտի(IV) օքսիդի դիսոցումն ընթանում է հետևյալ հավասարումով՝ $N_2O_4 \rightleftarrows 2NO$: 298 Կ և 1.0×10^5 Պա պայմաններում այն դիսոցվում է 18.5 %–ով: Հաշվել դիսոցման աստիճանը նույն ջերմաստիճանում, բայց 0.5×10^5 Պա ճնշման պայմանում:

6-26. Հետևյալ ռեակցիայի՝

$$CH_3COOH_{(h)} + C_2H_5OH_{(h)} \rightleftarrows CH_3COOC_2H_{5(h)} + H_2O_{(h)}$$

հավասարակշռության հաստատունը 25 °C–ում հավասար է՝ $K_c = 4$: Որոշել էսթերի ելքը (%), եթե վերցված է եղել 30 գ քացախաթթու և 92 գ սպիրտ: Լուծույթը համարել իդեալական:

6-27. Հաշվել թթվածնի ծավալային բաժինը (%) հավասարակշռային խառնուրդում՝ $N_2 + O_2 \rightleftarrows 2NO$, եթե ելանյութերը վերցված են հավասարամոլային քանակներով, իսկ 2400 °C-ում $K_P = 0.0035$:

6-28. Որոշել ածխածնի երկօքսիդի դիսոցման աստիճանը՝ ըստ $2CO_2 \rightleftarrows 2CO + O_2$ հավասարման, 2273 Կ և 1.013×10^5 Պա պայմաններում, եթե հավասարակշռության հաստատունը նշված պայմաններում հավասար է՝ $K_p = 2.46\times10^{-4}$:

6-29. 693 Կ-ում ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ $K_c = 50.25$: Հաշվել գոյացող յոդաջրածնի զանգվածը, եթե 10^{-3} մ^3 տարողությամբ անոթի մեջ ներմուծել են 0.0212×10^{-3} կգ ջրածին և 0.846×10^{-3} կգ յոդ:

6-30. 600 ^oC և 1.377×10^5 Պա պայմանում 0.001 մ^3 ծավալում գտնվում է 0.99 գ ֆոսգեն: Որոշել այդ գազի ջերմային դիսոցման աստիճանը $COCl_2 \rightleftarrows CO + Cl_2$ ռեակցիայում և վերջինիս հավասարակշռության հաստատունը՝ K_c: Հաշվել, թե ինչ զանգվածով CO պետք է ներմուծել տվյալ ծավալի մեջ, որպեսզի ֆոսգենի դիսոցման աստիճանը նվազի մինչև 10 %:

6-31. Հաշվել ամոնիակի ջերմային դիսոցման աստիճանը 400 ^oC-ում՝ ա) 10.13×10^5, բ) 101.3×10^5 Պա պայմանում, ինչպես նաև հավասարակշռային խառնուրդում ամոնիակի մոլային բաղադրությունը (%), եթե $N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը նշված ջերմաստիճանում՝ $K_p = 78.59\times10^5$:

6-32. 1500 Կ ջերմաստիճանում $CO_{(գ)} + H_2O_{(գ)} \rightleftarrows CO_{2(գ)} + H_{2(գ)}$ ռեակցիայի $K_p = 0.31$: Որոշել, թե որ ուղղությամբ կընթանա ռեակցիան նշված ջերմաստիճանում հետևյալ երեք դեպքերի համար, երբ տրված են բաղադրիչների ելային պարցիալ ճնշումները:

	p(CO), 10^5 Պա	p(H_2O), 10^5 Պա	p(CO_2), 10^5 Պա	p(H_2), 10^5 Պա
1	2.026	6.078	4.052	3.039
2	19.25	2.064	4.052	3.039
3	2.026	5.065	6.078	2.026

6-33. 1000 Կ և 1.013×10^5 Պա պայմանում Cl_2-ի ջերմային դիսոցման աստիճանը՝ $\alpha = 3.5\times10^{-4}$ -ի՝ ըստ $Cl_2 \rightleftarrows 2Cl$ հավասարման: Որոշել, թե որ ուղղությամբ կընթանա գործընթացը նույն ջերմաստիճանում, բաղադրիչների հետևյալ ելային պարցիալ ճնշումների պարագայում:

	$p(Cl_2)$, Պա	$p(Cl)$, Պա
1	4.052×10^5	2.026×10^5
2	7.091×10^5	2.775×10^2
3	7.091×10^5	2.127×10^2

6-34. 1000 Կ և 1.013×10^5 Պա ընդհանուր ճնշման պայմանում երկաթի(II) օքսիդի ևածխածնի(II) օքսիդի փոխազդեցությունը հանգեցնում է հետևյալ հավասարակշռությանը, երբ CO-ի պարցիալ ճնշումը 265 տոր է.

$$FeO_{(պ)} + CO_{(գ)} \rightleftarrows Fe_{(պ)} + CO_{2(գ)}$$

Որոշել, թե որ ուղղությամբ կընթանա ռեակցիան բաղադրիչների հետևյալ ելային պարցիալ ճնշումների պարագայում:

	$p(CO)$, 10^5 Պա	$p(CO_2)$, 10^5 Պա
1	2.026	4.052
2	1.62	3.039
3	2.026	2.026

6-35. 600 °C ջերմաստիճանում հետևյալ ռեակցիայի՝

$$C_2H_{4(գ)} + H_{2(գ)} \rightleftarrows C_2H_{6(գ)}$$

$K_p = 2.864\times10^{-4}$: Որոշել, թե որ ուղղությամբ կընթանա ռեակցիան բաղադրիչների հետևյալ ելային պարցիալ ճնշումների պարագայում.

	$p(C_2H_4)$, Պա	$p(H_2)$, Պա	$p(C_2H_6)$, Պա
1	4.56×10^4	5.07×10^4	5.07×10^3
2	5.07×10^3	1.52×10^4	8.11×10^4

6-36. 450 °C ջերմաստիճանում նիկելի(II) օքսիդի դիսոցման ժամանակ՝

$$2NiO_{(պ)} \rightleftarrows 2Ni_{(պ)} + O_{2(գ)}$$

$K_p = p(O_2) = 5.181\times10^{-26}$ մմ ս.ս.: Արդյո՞ք տեղի կունենա այդ օքսիդի քայքայումն օդում, որում թթվածնի պարցիալ ճնշումը 0.203×10^5 Պա է: Ինչի՞ է հավասար հակառակ ռեակցիայի Δ_rG-ն:

6-37. Հաշվել $2NO + Cl_2 \rightleftarrows 2NOCl$ ռեակցիայի K_p-ն 298 Կ-ում՝ ըստ հետևյալ տվյալների.

	NO	Cl_2	NOCl
$\Delta H^o(298)$, կՋ մոլ$^{-1}$	90.37	0	53.55
$S^o(298)$, Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$	210.6	223.0	263.6

6-38. Ներքոբերյալ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 400 °C-ում՝ $K_p = 1.60\times10^{-4}$.

$$N_{2(գ)} + 3H_{2(գ)} \rightleftarrows 2NH_{3(գ)}$$

Հաշվել այն ընդհանուր ճնշումը (բար), որ պետք է գործադրել 1 մաս ազոտից և 3 մաս ջրածնից բաղկացած խառնուրդի վրա, որպեսզի ստացվի 10 % ամոնիակ (ըստ ծավալի) պարունակող հավասարակշռային խառնուրդ՝ նշված ջերմաստիճանում:

6-39. $2C_3H_{6(գ)} \rightleftarrows C_2H_{4(գ)} + C_4H_{8(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունի կախումը ջերմաստիճանից 300 - 600 Կ միջակայքում նկարագրվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\ln K_p = -1.04 + \frac{1088}{T} + \frac{1.51\cdot10^5}{T^2}$$

Հաշվել ռեակցիայի Δ_rG°, Δ_rH° և Δ_rS° մեծությունները 400 Կ-ում:

6-40. Ամոնիումի քլորիդի ջերմային դիսոցման ժամանակ գոլորշու ճնշումը 427 ^{o}C ջերմաստիճանում 608 կՊա է, իսկ 459 ^{o}C-ում՝ 1115 կՊա: Հաշվել 427 ^{o}C-ում դիսոցման ռեակցիայի՝ ա) հավասարակշռության հաստատունը, բ) Գիբսի ստանդարտ էներգիան, գ) ստանդարտ էնթալպիան, դ) ստանդարտ էնտրոպիան: Գոլորշին կարելի է համարել որպես իդեալական գազ, իսկ էնտրոպիայի և էնթալպիայի արժեքները նշված միջակայքում կախված չեն ջերմաստիճանից:

6-41. Հաշվել $CO_{(գ)} + H_{2(գ)} \rightleftarrows HCHO_{(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը, եթե հայտնի է, որ 298 Կ-ում հեղուկ մրջնալդեհիդ գոյանալիս $\Delta_r G^\circ$ = +28.95 կՋ մոլ$^{-1}$, իսկ նշված ջերմաստիճանում մրջնալդեհիդի ճնշումը ՝ 1500 տոր:

6-42. Հաշվել $1/2N_2O_4 \rightleftarrows NO_2$ ռեակցիայի K_p-ն և K_c-ն, եթե $\alpha = 0.533$, իսկ ճնշումը՝ 5.49×10^4 Պա:

6–43. 900 Կ-ում $H_2 + Cl_2 \rightleftarrows 2HCl$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ $K_c = 10^{11.51}$: Ջրային գոլորշու ջերմային դիսոցման աստիճանը նշված ջերմաստիճանում և 1.013×10^5 Պա պայմանում հավասար է $10^{-7.575}$: Հաշվել այդ ջերմաստիճանում $4\ HCl + O_2 \rightleftarrows 2H_2O + 2Cl_2$ ռեակցիայի K_p-ն և K_c-ն:

6-44. 767 Կ և 9.899×10^5 Պա պայմաններում ազոտի երկօքսիդը դիսոցվում է 56.5 %-ով՝ ըստ $2NO_2 \rightleftarrows 2NO + O_2$ հավասարման: Որոշել K_p-ն, K_c-ն, ինչպես նաև այն ճնշումը, որի պարագայում ազոտի երկօքսիդը նշված ջերմաստիճանում կդիսոցվի 80 %-ով:

6-45. 0.091 մոլ քացախալդեհիդի և 1 մոլ էթիլսպիրտի հավասարակշռային խառնուրդը 298 Կ-ում զբաղեցրել է 63×10^{-3} մ^3 ծավալ, ընդ որում՝ փոխարկվել է ալդեհիդի 90.72 %-ը:

$$CH_3CHO + 2C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3CHO(OC_2H_5)_2 + H_2O$$

Հաշվել այդ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը՝ K_c:

6-46. Մագնեզիումի կարբոնատի ջերմային դիսոցման ժամանակ՝ $MgCO_3 \rightleftarrows MgO + CO_2$, ճնշումը 813 Կ-ում եղել է 9.959×10^4, իսկ 843 Կ-ում՝ 1.7865×10^5 Պա: Որոշել ռեակցիայի ջերմությունը և այն ջերմաստիճանը, որի դեպքում ճնշումը կդառնա 1.013×10^5 Պա:

6-47. $H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 633 Կ-ում 61.6 է, իսկ 718 Կ-ում՝ 41.7: Գնահատել ռեակցիայի ջերմության արժեքը և խնամակցությունը (Գիբսի էներգիան) 718 Կ-ում: Հաշվել նաև էնտրոպիայի փոփոխությունը:

6-48. $N_{2(գ)} + 3H_{2(գ)} = 2NH_{3(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 400 ^0C-ում հավասար է $K_p = 1.64 \times 10^{-4}$: Ինչպիսի՞ ընդհանուր ճնշում պետք է գործադրել ազոտ և ջրածին գազերի հավասարամոլային խառնուրդի վրա, որպեսզի ազոտի 10 %-ը (ըստ նյութաքանակի) վերածվի ամոնիակի: Գազերը համարել իդեալական:

6-49. 2000 ^0C ջերմաստիճանում $N_{2(գ)} + O_{2(գ)} = 2NO_{(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը հավասար է՝ $K_p = 2.5 \times 10^{-3}$: 1 մթն ճնշման տակ N_2, O_2, NO և իներտ գազ պարունակող հավասարկշռային խառնուրդում գտնվում են ըստ մոլային բաժնի՝ $X(N_2)=0.8$ և $X(O_2)=0.16$: Հաշվել NO-ի մոլային բաժինը հավասարակշռային խառնուրդում, ինչպես նաև իներտ գազի պարցիալ ճնշումը:

6-50. Բորնեոլից ($C_{10}H_{12}OH$) իզոբորնեոլ իզոմերացման գազաֆազ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 500 Կ-ում հավասար է՝ $K_p = 0.106$: 7.5 գ բորնեոլ և 14 գ իզոբորնեոլ պարունակող խառնուրդը պահել են 500 Կ-ում մինչև հավասարակշռության հաստատվելը: Որոշել բորնեոլի և իզոբորնեոլի մոլային բաժինները և զանգվածը հավասարակշռային խառնուրդում:

6-51. $NO_{2(գ)}$ և $N_2O_{4(գ)}$ նյութերի գոյացման Գիբսի ստանդարտ էներգիաները (1 մթն և 25 ^{0}C) համապատասխանաբար հավասար են 51.3 և 102 կՋ/մոլ: Հաշվել $N_2O_{4(գ)} = NO_{2(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունները՝ K_P (ստանդարտ վիճակ 1 մթն), K_C (ստանդարտ վիճակ 1 մոլ/դմ^3) և K_X (1 մթն ճնշման տակ): Ո՞ր ճնշման տակ N_2O_4-ը կդիսոցվի 50 %-ով:

6-52. Գազ վիճակում յոդի տաքացումը ուղեկցվում է դիսոցմամբ՝ $I_2 = 2I$: Որոշվել է, որ երբ 0.0061 մոլ յոդը տեղադրվել է 0.5 դմ^3 ծավալում 900 Կ ջերմաստիճանում, ապա յոդի դիսոցման աստիճանը (յոդի այն մասնաբաժինը, որը դիսոցվել է) եղել է 0.0274: Հաշվել K_C-ն և K_P-ն՝ (ճնշման միավորով) նշված ջերմաստիճանում:

6-53. NO_2-ը հավասարակշռության մեջ է N_2O_4-ի հետ՝ համաձայն հետևյալ ռեակցիայի՝ $N_2O_{4(գ)} = NO_{2(գ)}$: 25 ^{0}C և 0.597 բար ճնշման պայմաններում գազային խառնուրդի խտությունը հավասար է 1.477 գ դմ$^{-3}$: Հաշվել դիսոցման աստիճանը նշված պայմաններում, K_C-ն, K_P-ն և K_X-ը: Ինչպիսի՞ շեղում կդիտվի, եթե ճնշումը մեծացվի հելիում գազի ավելացումով:

6-54. Բենզոլային լուծույթում ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունի արժեքը 10 ^{0}C-ում հավասար է 2.19×10^{-3} մոլ դմ$^{-3}$: Հաշվել՝ ա) դիմերի դիսոցման ΔG^o-ն, բ) մոնոմերի և դիմերի կոնցենտրացիաները, եթե 1 դմ^3 բենզոլային լուծույթում 10 ^{0}C-ում պարունակվում է 0.1 մոլ բենզոյական թթու:

6-55. 25 ^{0}C ջերմաստիճանում $CO_{(գ)} + H_2O_{(գ)} = CO_{2(գ)} + H_{2(գ)}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունի արժեքը հավասար է 1.00×10^{-5}, իսկ ΔS^o-ն՝ 41.8 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: ա) Հաշվել ΔG^o և ΔH^o արժեքները 25 ^{0}C-ում: բ) Ինչպիսի՞ն կլինի CO-ի, H_2O-ի, CO_2-ի և H_2-ի նյութաքանակները հավասարակշռության ժամանակ, եթե 2 մոլ CO և 2 մոլ H_2O ներմուծվեն 10 դմ^3-ոց տարողության մեջ 25 ^{0}C-ում:

6-56. Ադենոզինեռֆոսֆատի (ԱԵՖ) հիդրոլիզից առաջանում են ադենոզինկրկնաֆոսֆատ (ԱԿՖ) և ֆոսֆատ (Ֆ), որը ներկայացվում է հետևյալ կերպ.

$$ԱԵՖ \rightarrow ԱԿՖ + Ֆ$$

37 ^{0}C-ում (ստանդարտ պայման, 1Մ) $\Delta G^o = -31.0$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H^o = -20.1$ կՋ մոլ$^{-1}$:

Հաշվել՝ ա) ΔS^o, բ) K_C-ն 37 ^{0}C-ում, գ) ΔG^o և K_C 25 ^{0}C-ում՝ ընդունելով, որ ΔH^o և ΔS^o կախված չեն ջերմաստիճանից:

6-57. Ադենոզինեռֆոսֆատի (ԱԵՖ) հիդրոլիզից առաջանում են ադենոզինկրկնաֆոսֆատ (ԱԿՖ) և ֆոսֆատ (Ֆ): 37 ^{0}C-ում այդ պրոցեսի հավասարակշռության հաստատունը՝ K_C-ն, հավասար է 1.66×10^5 մոլ դմ$^{-3}$, իսկ ΔH^o-ն՝ -20.1 կՋ մոլ$^{-1}$: Հաշվել հիդրոլիզի ΔS^o-ն 37 ^{0}C-ում: Հաշվել նաև K_C-ն 25 ^{0}C-ում՝ ընդունելով, որ ΔH^o և ΔS^o կախված չեն ջերմաստիճանից:

6-58. $A + B = Z$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 300 Կ-ում հավասար է 4.5×10^4 դմ^3 մոլ$^{-1}$, իսկ ΔH^o-ն՝ -40.2 կՋ մոլ$^{-1}$: Հաշվել էնտրոպիայի փոփոխությունը նշված ջերմաստիճանում: Ո՞ր ջերմաստիճանում հավասարակշռության հաստատունը կհավասարվի 1-ի, եթե ΔH^o և ΔS^o կախված չեն ջերմաստիճանից:

ԳԼՈՒԽ 7. ԷԼԵԿՏՐԱՔԻՄԻԱ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Սույն բաժնում ներկայացված են խնդիրներ էլեկտրոլիզ, էլեկտրոլիտի ակտիվություն, էլեկտրահաղորդականություն, իոնի տեղափոխման թիվ և գալվանական էլեմենտ ենթաբաժիններից: Էլեկտրոլիտներ են կոչվում այն նյութերը, որոնց ջրային լուծույթները կամ հալույթները պարունակում են զգալի քանակներով իոններ և օժտված են էլեկտրահաղորդականությամբ: Էլեկտրոլիտները լուծույթում կամ հալույթում տրոհվում են իոնների՝ ենթարկվելով էլեկտրոլիտային դիսոցման:

Էլեկտրոլիտի լուծույթի կամ հալույթի միջով հաստատուն էլեկտրական հոսանք անցկացնելիս կաթոդի վրա տեղի է ունենում վերականգնման, իսկ անոդի վրա՝ օքսիդացման գործընթաց: Այդ գործընթացներին կարող են մասնակցել ինչպես կատիոններն ու անիոնները, այնպես էլ չեզոք մոլեկուլները: Էլեկտրոլիզի քանակական օրինաչափությունները ներկայացվում են Ֆարադեյի օրենքներով, որոնք կարելի է պատկերել մեկ հավասարման տեսքով.

$$m = \frac{M}{zF} \cdot I\tau \qquad (7.1)$$

որտեղ m-ը էլեկտրոդի վրա անջատվող նյութի զանգվածն է (գ), M-ը՝ այդ նյութի մոլային զանգվածը (գ/մոլ), F-ը՝ Ֆարադեյի հաստատունը (96485 Կլ/մոլ), z-ը՝ համարժեքային թիվը (իոնի վալենտականությունը կամ օքսիդացման աստիճանը), I-ն՝ հոսանքի ուժը (Ա), τ-ն՝ էլեկտրոլիզի տևողությունը (վ):

Անոդը կարող է լինել անլուծելի (գրաֆիտ, պլատին) և լուծելի (պղինձ, ցինկ և այլն): Լուծելի անոդի պարագայում օքսիդանում է անոդի մետաղը և, տեղափոխվելով կաթոդի մոտ, վերականգնվում այդ էլեկտրոդի վրա: Այդ դեպքում էլեկտրոլիտի քանակը լուծույթում մնում է անփոփոխ:

Էլեկտրոդի վրա անջատված նյութի ելքն (η) ըստ հոսանքի որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\eta = \frac{m_{գ}}{m_{տ}} \cdot 100\% \tag{7.2}$$

որտեղ $m_{գ}$-ն և $m_{տ}$-ն գործնականում ստացված և տեսականորեն հաշվարկված (ըստ 7.1 բանաձևի) նյութի զանգվածներն են:

Ըստ էլեկտրոլիտային դիսոցման ունակության՝ էլեկտրոլիտները պայմանականորեն բաժանվում են ուժեղի և թույլի: Ուժեղ էլեկտրոլիտները նոսր լուծույթներում գործնականում լրիվ դիսոցված են իոնների, իսկ թույլ էլեկտրոլիտները դիսոցված են մասամբ: Էլեկտրոլիտի դիսոցված մոլեկուլների բաժինը կոչվում է դիսոցման աստիճան (α): Վերջինս դիսոցման հաստատունի հետ կապված է Օստվալդի նոսրացման օրենքով, որը <<11>> էլեկտրոլիտի համար գրվում է այսպես.

$$K = \frac{\alpha^2 c}{1-\alpha} = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot \frac{1}{V} \tag{7.3}$$

որտեղ c-ն էլեկտրոլիտի մոլային կոնցենտրացիան է (մոլ/լ), իսկ V = 1/c-ն՝ լուծույթի նոսրացումը:

Էլեկտրոլիտների լուծույթների կոլիգատիվ հատկությունները նկարագրելու համար օգտագործվում է վանտ-Հոֆի i իզոտոնիկ գործակիցը (տես էջ 95).

$$\Pi = icRT, \qquad \Delta T_{պնդ} = iK_{կր}m, \qquad \Delta T_{եռմ} = iK_{էբ}m \tag{7.4}$$

Իզոտոնիկ գործակիցը դիսոցման աստիճանի հետ կապված է հետևյալ առնչությամբ.

$$i = 1 + \alpha(\nu - 1) \tag{7.5}$$

որտեղ ν-ն էլեկտրոլիտի մեկ մասնիկից գոյացած իոնների թիվն է:

Իրական լուծույթների թերմոդինամիկական բնութագրման համար հավասարումներում կոնցենտրացիայի փոխարեն օգտագործվում է *ակտիվությունը*:

Իոնի ակտիվությունը՝ (a_i), կապված է իոնի կոնցենտրացիայի՝ մոլալության հետ՝ հետևյալ առնչությամբ.

$$a_i = \gamma_i m_i \tag{7.6}$$

որտեղ γ_i-ն կոչվում է իոնի ակտիվության գործակից:

Գործնականում հնարավոր չէ որոշել կատիոնի (a_+) և անիոնի (a_-) ակտիվության գործակիցները: Այդ պատճառով օգտագործվում է *միջին իոնային ակտիվություն*՝ $a_\pm$ հասկացությունը: Եթե էլեկտրոլիտից գոյանում է ν_+ թվով կատիոններ և ν_- թվով անիոններ, ապա՝

$$a_\pm = \left(a_+^{\nu_+} a_-^{\nu_-}\right)^{1/\nu} \tag{7.7}$$

որտեղ $\nu = \nu_+ + \nu_-$:

Նույն ձևով որոշում են ակտիվության *միջին իոնային գործակիցը*՝ $\gamma_\pm$

$$\gamma_\pm = \left(\gamma_+^{\nu_+} \gamma_-^{\nu_-}\right)^{1/\nu} \tag{7.8}$$

Միջին իոնային մոլալությունը ($m_\pm$) որոշվում է համանման առնչությամբ.

$$m_\pm = \left(m_+^{\nu_+} m_-^{\nu_-}\right)^{1/\nu} = m\left(\nu_+^{\nu_+} \nu_-^{\nu_-}\right)^{1/\nu} \tag{7.9}$$

որտեղ m-ը էլեկտրոլիտի մոլալությունն է:

Իսկ էլեկտրոլիտի ակտիվությունը՝ a, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$a = (a_\pm)^\nu = (\gamma_\pm m_\pm)^\nu = {\gamma_\pm}^\nu m^\nu \left(\nu_+^{\nu_+} \nu_-^{\nu_-}\right) \tag{7.10}$$

Իոնների ակտիվության գործակիցները, ինչպես հայտնի է, կախված չեն լուծույթում պարունակվող իոնների տեսակից, այլ կախված են *լուծույթի իոնական ուժից*՝ I.

$$I = 0.5\sum m_i z_i^2 \qquad (7.11)$$

որտեղ m_i-ն լուծույթի մոլալությունն է, իսկ z_i-ն՝ իոնի լիցքը:

Էլեկտրոլիտների միջին իոնային գործակիցների արժեքները, կախված էլեկտրոլիտի կոնցենտրացիայից, բերված են տեղեկատու աղյուսակներում:

Իոնի ակտիվության գործակիցը (γ_i) և էլեկտրոլիտի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը ($\gamma_\pm$) կարելի է հաշվել (25 ^oC-ում) Դեբայ-Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորության միջոցով.

$$lg\gamma_i = -0.510 z_i^2\sqrt{I} \qquad (7.12)$$

$$lg\gamma_\pm = -0.510|z_+z_-|\sqrt{I} \qquad (7.13)$$

որտեղ z_+-ը և z_--ը կատիոնի և անիոնի լիցքերն են, *I*-ն՝ լուծույթի իոնական ուժը:

Էլեկտրահաղորդականության (ԷՀ) միավորը ՍԻ համակարգում «սիմենսն» է՝ Ս:

1 Ս = 1 Օհմ$^{-1}$

Էլեկտրոլիտների լուծույթների համար գործածական են *տեսակարար և մոլային էլեկտրահաղորդականությունները*:

Լուծույթի տեսակարար ԷՀ-ի (κ) չափման միավորը Ս մ$^{-1}$-ն է.

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RS} \qquad (7.14)$$

որտեղ ρ-ն տեսակարար դիմադրությունն է:

Լուծույթի մոլային ԷՀ-ն (Λ) կապված է տեսակարար ԷՀ-ի հետ հետևյալ բանաձևով.

$$\varLambda = \frac{\kappa}{c} \tag{7.15}$$

որտեղ c-ն լուծույթի մոլային կոնցենտրացիան է՝ արտահայտված մոլ/մ^3-ով: Այսպիսով, մոլային ԷՀ-ի չափման միավորը Ս մ^2 մոլ$^{-1}$-ն է: Եթե կոնցենտրացիան տրված է մոլ/լ-ով, ապա այն պետք է փոխարինել նշված միավորով՝ 1 մոլ/լ = 10^3 մոլ/մ^3:

Նախկինում մոլայինի փոխարեն օգտագործվել է համարժեքային ԷՀ-ն՝ Օհմ$^{-1}$ սմ^2 գ-էկվ$^{-1}$: Էլեկտրահաղորդականության նշված տեսակների՝ հին և նոր, միավորների միջև փոխադարձ կապը ներկայացված է Հավելվածում /Հ.5/:

Ուժեղ էլեկտրոլիտների դեպքում մոլային էլեկտրահաղորդականության կախումը կոնցենտրացիայից արտահայտվում է Կոլրաուշի *«քառակուսի արմատի օրենքով»*.

$$\varLambda = \varLambda^{\circ} - A\sqrt{c} \tag{7.16}$$

որտեղ Λ-ն և Λ°-ն լուծույթի մոլային ԷՀ-ներն են՝ c կոնցենտրացիայի (մոլ/լ) և անսահման նոսրացման պարագայում: A-ն հաստատուն մեծություն է տվյալ ջերմաստիճանում և կախված է միայն էլեկտրոլիտի ու լուծիչի բնույթից: Այդ առնչությունը ճիշտ է 10^{-2} մոլ/լ-ից փոքր կոնցենտրացիաների դեպքում:

Թույլ էլեկտրոլիտների դեպքում գործում է Արենիուսի հավասարումը.

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda^{\circ}} \tag{7.17}$$

Համակցելով (7.17)-ը (7.3)-ի հետ՝ կարելի է ստանալ հետևյալ առնչությունները թույլ էլեկտրոլիտների համար.

$$K = \frac{\varLambda^2 c}{\varLambda^{\circ}(\varLambda^{\circ} - \varLambda)} \qquad \text{կամ} \qquad \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{\Lambda^{\circ}} + \frac{\Lambda c}{\mathrm{K}(\Lambda^{\circ})^2} \tag{7.18}$$

Իոնի շարժման արագությունը՝ v_i (մ վ$^{-1}$), լուծույթում համեմատական է կիրառված էլեկտրական դաշտի լարման գրադիենտին՝ E (Վ մ$^{-1}$).

$$v_i = u_iE \qquad (7.19)$$

u_i-ն կոչվում է *իոնի բացարձակ շարժունակություն* (մ^2 Վ$^{-1}$ վ$^{-1}$):

Կարևորագույն մեծություն է u_iF արտադրյալը, որը պարզապես կոչվում է *շարժունակություն* և որը համարժեք է մոլային ԷՀ-ին՝ Λ_i (Ս մ^2 մոլ$^{-1}$).

$$\Lambda_i = u_iF \qquad (7.20)$$

որտեղ F-ը Ֆարադեյի հաստատունն է:

Իոնի անսահման նոսրացման շարժունակությունը կոչվում է սահմանային շարժունակություն և նշանակվում է Λ^o-ով: Որոշ իոնների սահմանային շարժունակությունները ջրային լուծույթում բերված են Հավելվածում /Հ.6/:

Ըստ Կոլրաուշի *իոնների անկախ միգրացիայի (տեղաշարժման) օրենքի*՝ լուծույթի անսահման նոսրացման մոլային ԷՀ-ն կատիոնի և անիոնի սահմանային շարժունակությունների գումարն է.

$$\Lambda^{\circ} = \nu_+\Lambda_+^{\circ} + \nu_-\Lambda_-^{\circ} \qquad (7.21)$$

որտեղ ν_+-ը և ν-ը էլեկտրոլիտի դիսոցումից առաջացած կատիոնների և անիոնների թվերն են:

Տվյալ իոնով տեղափոխված հոսանքի բաժինը կոչվում է իոնի տեղափոխման թիվ՝ t_i: Վերջինս <<1–1>> տեսակի էլեկտրոլիտի համար կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևերով.

$$t_+ = \frac{\Delta c_A}{\Delta c_K + \Delta c_A} \qquad t_- = \frac{\Delta c_K}{\Delta c_K + \Delta c_A} \qquad (7.22)$$

t_+-ը և t_--ը կատիոնի և անիոնի տեղափոխման թվերն են, իսկ Δc_K-ն և Δc_A-ն՝ կաթոդային և անոդային տիրույթներում էլեկտրոլիտի կոնցենտրացիայի փոփոխությունները:

Եթե անոդը լուծելի է կամ էլեկտրոլիզն ուղեկցվում է երկրորդական ռեակցիաներով, ապա դրանք ևս պետք է հաշվի առնել Δc_K-ի և Δc_A-ի հաշվարկների ժամանակ:

Գալվանական էլեմենտում էլեկտրական հոսանքի աղբյուրը համակարգում ընթացող վերօքս ռեակցիայի գիբսյան էներգիայի փոփոխությունն է.

$$-\Delta G = nFE \tag{7.23}$$

որտեղ E-ն գալվանական էլեմենտի լարումն է (Վ), որին հաճախ անվանում են ԷլՇՈՒ, n-ը՝ ռեակցիայում մասնակցող էլեկտրոնների թիվը, F-ը՝ ֆարադեյի հաստատունը:

Գիբսի էներգիայի փոփոխությունը գալվանական էլեմենտում ընթացող $aA + bB = cC + dD$ ռեակցիայի համար ներկայացվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RTln\frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b} \tag{7.24}$$

որտեղ a_A, a_B, a_C, a_D-ն ելանյութերի և վերջնանյութերի հավասարակշռային ակտիվություններն են:

Համադրելով (7.23) և (7.24) հավասարումները՝ կստացվի հետևյալ առնչությունը, որը կոչվում է Ներնստի հավասարում.

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF}ln\frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b} \tag{7.25}$$

որտեղ E–ն գալվանական էլեմենտի լարումն է (ԷլՇՈՒ), E°-ն՝ ստանդարտ լարումը: Վերջինս այն լարումն է, որը կառաջանար, եթե ռեակցիային մասնակցող նյութերի ակտիվությունները լինեին հավասար 1-ի: Հաճախ Ներնստի հավասարումը ներկայացվում է մի փոքր այլ տեսքով.

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} ln \frac{a_A^a a_B^b}{a_C^c a_D^d} \quad (7.26)$$

Տարբերությունն այն է, որ նշված հավասարման մեջ ենթալոգարիթմական կոտորակում փոխված են համարիչի և հայտարարի տեղերը, ինչի հետևանքով նախալոգարիթմական մինուսը դարձել է պլյուս:

Անոդի վրա տեղի է ունենում օքսիդացման, իսկ կաթոդի վրա՝ վերականգնման գործընթաց: Գալվանական էլեմենտը ընդունված է ներկայացնել այնպես, որ անոդը լինի ձախ կողմում: Օրինակ՝ Դանիել–Յակոբիի էլեմենտի գրառումն այսպիսի տեսք ունի.

$$(-)Zn \mid ZnSO_{4(aq)} \| CuSO_{4(aq)} \mid Cu(+)$$

Մեկ ուղղահայաց գիծը (|) արտահայտում է ֆազերի բաժանման սահմանը, իսկ երկու ուղղահայաց գիծը (||)՝ աղային կամրջակով տարանջատված լուծույթների սահմանը:

Էլեկտրոդային կիսառեակցիաները, ինչպես օքսիդացման, այնպես էլ վերականգնման, ընդունված է ներկայացնել որպես վերականգնման ռեակցիաներ:

Աջ էլեկտրոդ՝	$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu^{o}$
Ձախ էլեկտրոդ՝	$Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn^{o}$
Ընդհանուր ռեակցիա՝	$Cu^{2+} + Zn^{o} = Cu^{o} + Zn^{2+}$

Էլեմենտի լարումը (ԷլՇՈՒ) հավասար է աջ (+) և ձախ (-) էլեկտրոդների պոտենցիալների տարբերությանը.

$$E = \varphi_{աջ(+)} - \varphi_{ձախ(-)} \quad (7.27)$$

Էլեկտրոդային պոտենցիալը՝φ, հաճախ ներկայացվում է նաև E տառով:

Էլեկտրոդի պոտենցիալը ևս (E) հաշվում են Ներնստի բանաձևով.

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} ln \frac{a_{օքս}}{a_{վեր}} \qquad (7.28)$$

որտեղ $a_{օքս}$-ը և $a_{վեր}$-ը էլեկտրոդային կիսառեակցիաներում օքսիդացած և վերականգնված ձևերի ակտիվություններն են, E°-ն՝ էլեկտրոդի ստանդարտ պոտենցիալը, երբ $a_{օքս} = a_{վեր} = 1$ և T=298.15 Կ.

$$E = E^{\circ} + \frac{0.026}{n} ln \frac{a_{օքս}}{a_{վեր}} \quad \text{կամ} \quad E = E^{\circ} + \frac{0.059}{n} lg \frac{a_{օքս}}{a_{վեր}} \qquad (7.29)$$

Էլեմենտի ստանդարտ լարումը (ԷլՇՈՒ) հավասար է ստանդարտ պոտենցիալների տարբերությանը.

$$E^{\circ} = E^{\circ}_{աջ} - E^{\circ}_{ձախ} \qquad (7.30)$$

Ստանդարտ ԷլՇՈՒ-ի միջոցով կարելի է հաշվել էլեմենտում ընթացող ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը.

$$K = exp\left(-\frac{\Delta G^{\circ}}{RT}\right) = exp\left(\frac{nFE}{RT}\right) \qquad (7.31)$$

Իմանալով ԷլՇՈՒ-ի ջերմաստիճանային գործակիցը՝ $\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_p$, կարելի է որոշել էնտրոպիայի և էնթալպիայի փոփոխությունները.

$$\Delta S = -\left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T}\right)_p = nF\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_p \qquad (7.32)$$

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S = -nFE + nFT\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_p \qquad (7.33)$$

Ստորև բերվում են որոշ համեմատական և ստանդարտ էլեկտրոդների պոտենցիալները:

1. Ջրածնային էլեկտրոդ

Ստանդարտ պայմաններում՝ $\varphi_{H^+/H^{\circ}} = 0$

Ոչ ստանդարտ պայմաններում՝ $\varphi_{H^+/H^\circ} = 0.059 lg\left(a_{H^+}/p_{H_2}^{1/2}\right)$
Եթե p=1 մթն, ապա՝ $\varphi_{H^+/H^\circ} = 0.059 lg a_{H^+}$ կամ $\varphi_{H^+/H^\circ} = -0.059\, pH$:

2. Կալոմելային էլեկտրոդ

$$\varphi_{կալ} = \varphi^\circ{}_{կալ} - 0.059 a_{Cl^-}$$

Կալիումի քլորիդի համարժեքային կոնցենտրացիայից կախված՝ օգտագործվում են երեք տեսակի՝ 0.1 հմ, 1 հմ և հագեցած կալոմելային էլեկտրոդներ, որոնց ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալները հավասար են համապատասխանաբար 0.3358, 0.2810 և 0.2420 Վ:

3. Քինհիդրոնային էլեկտրոդ

$$\varphi_{ph} = \varphi^\circ{}_{ph} + 0.059 lg a_{H^+}$$

Քինհիդրոնային էլեկտրոդի ստանդարտ պոտենցիալը $\varphi^\circ{}_{ph}$ 25 °C-ում 0.6994 Վ է:

4. Քլորարծաթային էլեկտրոդ

$$\varphi_{ք.ա.} = \varphi^\circ{}_{ք.ա.} - 0.059 lg a_{Cl^-} \quad , \varphi^0_{ք.ա.} = 0.22\, Վ$$

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. Նիկելի սուլֆատի լուծույթի էլեկտրոլիզի ժամանակ 200 սմ^2 մակերես ունեցող կաթոդի վրա առաջացել է 0.05 մմ հաստությամբ նիկելի շերտ, և անջատվել է 1030 սմ^3 ջրածին (20 °C և 760 մմ ս.ս.): Որոշել հոսանքի ուժը և նիկելի ելքն ըստ հոսանքի, եթե էլեկտրոլիզը շարունակվել է 10 ժ: ρ(Ni) = 9 գ/սմ^3:

Լուծում: Նստած նիկելի զանգվածը հավասար է՝

$$m(Ni) = \rho Sh = 9 \text{ գ սմ}^{-3} \times 200 \text{ սմ}^2 \times 0.005 \text{ սմ} = 9 \text{ գ}$$

Անջատված ջրածնի զանգվածը կլինի՝

$$m(H_2) = \frac{pVM}{RT} = \frac{1մթն \times 1.030լ \times 2գմոլ^{-1}}{0.082\ լ\ մթն\ մոլ^{-1}Կ^{-1} \times 293Կ} = 0.086\ գ$$

(7.1)-ի միջոցով որոշենք հոսանքի ուժը և՛ նիկելի, և՛ ջրածնի պարզայում:

$$I(Ni) = \frac{mzF}{M\tau} = \frac{9 \times 2 \times 96485}{58.7 \times 36000} = 0.82\,Ա$$

$$I(H_2) = \frac{0.086 \times 2 \times 96485}{2 \times 36000} = 0.23\,Ա$$

$$I_{գում} = 0.82 + 0.23 = 1.05\ Ա$$

Նիկելի ելքն ըստ հոսանքի կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$\eta(Ni) = \frac{I(Ni)}{I(Ni) + I(H_2)} \times 100\% = \frac{0.82}{1.05} \times 100\% = 78.1\%$$

Պատ.՝ I = 1.05 Ա, η = 78.1%:

Խնդիր 2. Ag_2CrO_4–ի լուծելիությունը 25 ^oC ջրում 8.00×10^{-5} մոլ/լ է, իսկ $NaNO_3$-ի 0.04 մոլ/լ ջրային լուծույթում՝ 8.84×10^{-5} մոլ/լ: Հաշվել արծաթի քրոմատի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը նատրիումի նիտրատի նշված կոնցենտրացիայի լուծույթում:

Լուծում: $Ag_2CrO_4 \rightleftarrows 2Ag^+ + CrO_4^{2-}$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը հավասար է՝

$$K = a_{Ag^+}^2 a_{CrO_4^{2-}} = 4\gamma_\pm^3 m^3$$

Այդ աղի լուծույթի իոնական ուժը որոշվում է հետևյալ առնչությամբ.

$$I = 0.5\ (2m \times 1^2 + m \times 2^2) = 3m,\ հետևաբար՝$$

$$lg\gamma_\pm = -0.510 \times 1 \times 2\sqrt{3 \times 8.00 \times 10^{-5}} = -1.58 \times 10^{-2}$$

$$\gamma_\pm = 0.964\ ,\ K = 4 \times (0.964)^3 \times (8.00 \times 10^{-5})^3 = 1.835 \times 10^{-12}$$

Հավասարակշռության հաստատունի այդ արժեքը կպահպանվի նաև նատրիումի նիտրատի լուծույթում, քանի որ ջերմաստիճանը նույնն է: Հետևաբար, նոսր լուծույթում արծաթի քրոմատի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը կորոշվի հետևյալ կերպ.

$$\gamma_{\pm} = \frac{1}{m}\cdot\sqrt[3]{\frac{K}{4}} = \frac{1}{8.84\times10^{-5}}\sqrt[3]{\frac{1.835\times10^{-12}}{4}} = 0.87$$

Պատ.՝ 0.87:

Խնդիր 3. Հաշվել նատրիումի քլորիդի 1.0×10^{-2} մոլ/լ ջրային լուծույթի տեսակարար ԷՀ-ն 25 ^{o}C-ում՝ համարելով, որ նշված փոքր կոնցենտրացիայի պարագայում իոնների ԷՀ-ները հավասար են սահմանային ԷՀ-ներին: Ի՞նչ տարածություն կանցնեն Na^{+} և Cl^{-} իոնները 10 րոպեի ընթացքում, եթե 1 սմ հեռավորությամբ և 1 սմ^2 մակերեսով էլեկտրոդների միջև պարփակված լուծույթի միջով անցկացվի 1 մԱ ուժի հոսանք:

Լուծում: Տեսակարար ԷՀ-ն որոշվում է հետևյալ բանաձևով, որտեղ c-ն արտահայտված է մոլ մ$^{-3}$-ով.

$$\kappa = \Lambda^0 c = (\Lambda^0(Na^+)+\Lambda^0(Cl^-))c=(50.10 + 76.35)\times10^{-4}\times10^3\times1.0\times10^{-2}$$
$$= 0.1265 \text{ Ս մ}^{-1}$$

Իոնի շարժման արագությունը (v) որոշվում է վերը նշված բանաձևերի և Օհմի օրենքի (U=IR) համակցությամբ.

$$v = uE = \frac{\Lambda}{F}E = \frac{\Lambda}{F}\frac{\mathrm{U}}{l} = \frac{\Lambda}{F}\frac{\mathrm{IR}}{l} = \frac{\Lambda l}{F\kappa S}$$

Նատրիումի իոնի համար ($I = 10^{-3}$ Ա, $s = 10^{-4}$ մ^2)՝

$$v_+ = \frac{50.1\times10^{-4}\times10^{-3}}{96485\times0.1265\times10^{-4}} = 4.105\times10^{-6}\,մ/վ$$

Անցած ճանապարհը (s) հավասար է՝

$$s_+ = v_+t = 4.105\times10^{-6}\times10\times60 = 2.46\times10^{-3} \text{ մ} = 2.46 \text{ մմ}$$

Նույն ձևով որոշվում է քլորիդ իոնի շարժման արագությունը և անցած ճանապարհը.

$$v_- = \frac{76.35\times10^{-4}\times10^{-3}}{96485\times0.1265\times10^{-4}} = 6.26\times10^{-6}\,մ/վ$$

$$s_- = v_-t = 6.26\times10^{-6}\times10\times60 = 3.76 \text{ մմ}$$

Պատ.՝ $\kappa = 0.1265$ Ս մ$^{-1}$, $s_+ = 2.46$ մմ, $s_- = 3.76$ մմ:

Խնդիր 4. Միահիմն թույլ թթվի 1.0×10^{-2} մոլ/լ ջրային լուծույթի մոլային ԷՀ-ն 25 °C-ում 16.0 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$ է, իսկ 1.0×10^{-3} մոլ/լ պարազայում՝ 48.4 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: Հաշվել լուծույթի անսահման նոսրացման մոլային ԷՀ-ն և թթվի դիսոցման հաստատունը:

Լուծում: Անհրաժեշտ է հավասարակշռության հաստատունի (7.18) արտահայտությունը գրել երկու կոնցենտրացիայի համար և դրանք հավասարեցնել իրար:

$$K = \frac{\Lambda_1^2 c_1}{\Lambda^\circ(\Lambda^\circ - \Lambda_1)} = \frac{\Lambda_2^2 c_2}{\Lambda^\circ(\Lambda^\circ - \Lambda_2)}$$

Այստեղից հետևում է, որ

$$\frac{\Lambda^\circ - \Lambda_1}{\Lambda^\circ - \Lambda_2} = \frac{\Lambda_1^2 c_1}{\Lambda_2^2 c_2}$$

Տեղադրելով տրված արժեքները՝ կարելի է գտնել Λ°-ն և K-ն:

$$\frac{\Lambda^\circ - 16.0}{\Lambda^\circ - 48.4} = \frac{16.0^2\times1.0\times10^{-2}}{48.4^2\times1.0\times10^{-3}}$$

որտեղից $\Lambda^\circ = 397.5$ Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$

$$K = \frac{16.0^2\times1.0\times10^{-2}}{397.5(397.5-16.0)} = 1.69\times10^{-5}$$

Պատ.՝ $\Lambda^\circ = 397.5$ Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$, $K = 1.69\times10^{-5}$:

Խնդիր 5. 25 գ ջրին 0.1848 գ արծաթի նիտրատ բաժին ընկնող լուծույթը ենթարկել են էլեկտրոլիզի արծաթի անոդով: Էլեկտրոլիզից հետո անոդային լուծույթը պարունակել է 23 գ ջրին բաժին ընկնող 0.2361 գ արծաթի նիտրատ, իսկ կաթոդի վրա անջատվել է 0.0780 գ արծաթ: Որոշել արծաթ և նիտրատ իոնների տեղափոխման թվերը:

Լուծում: (7.22) բանաձևում ΔC_K-ն և ΔC_A-ն կարելի է արտահայտել զանազան եղանակներով՝ աղի զանգվածով, կատիոնի ու անիոնի նյութաքանակով կամ զանգվածով և այլն: Լուծման այս տարբերակում հաշվարկները կատարենք ըստ արծաթի զանգվածի:

Նախ հաշվենք էլեկտրոլիզից առաջ $AgNO_3$-ի զանգվածը 23 գ ջրի նկատմամբ, ապա՝ արծաթի զանգվածը:

$$0.1848 \times 23/25 = 0.1700 \text{ գ } AgNO_3$$

$$0.1700 \times 107.9/169.9 = 0.1080 \text{ գ } Ag$$

Հասկանալի է, որ էլեկտրոլիզի ժամանակ անոդից լուծվել է այնքան արծաթ, որքան անջատվել է կաթոդի վրա, այսինքն՝ 0.0780 գ Ag:

Էլեկտրոլիզից հետո անոդային լուծույթը պարունակել է՝

$$0.2361 \times 107.9/169.9 = 0.1500 \text{ գ } Ag$$

Անոդային լուծույթում արծաթի զանգվածի փոփոխությունը (ΔC_A) կարելի է հաշվել այսպես.

$$\Delta C_A = 0.1080 + 0.0780 - 0.1500 = 0.036 \text{ գ } Ag$$

Այդքան արծաթը տեղափոխվել է կաթոդային լուծույթ, հետևաբար, արծաթի զանգվածի փոփոխությունը կաթոդային լուծույթում կլինի՝

$$\Delta C_K = 0.0780 - 0.036 = 0.042 \text{ գ } Ag$$

$$t_+ = \frac{\Delta C_A}{\Delta C_K + \Delta C_A} = \frac{0.036}{0.042 + 0.036} = 0.46$$

$$t_- = 1 - 0.46 = 0.54$$

Պատ.՝ $t_{Ag^+} = 0.46, t_{NO_3^-} = 0.54$

Խնդիր 6. Վեստոնի էլեմենտում ընթանում է հետևյալ ռեակցիան.

$$Cd + Hg_2SO_4 = Cd^{2+} + 2Hg + SO_4^{2-}$$

Հաշվել այդ էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 303 Կ-ում, եթե ընթացող ռեակցիայի ΔH-ը և ΔS-ը հավասար են համապատասխանաբար –198.8 կՋ մոլ$^{-1}$ և –7.8 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$:

Լուծում: Գտնենք ΔG -ն և տեղադրենք (7.23) բանաձևի մեջ:

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = (-198.8 \times 10^3) - 303(-7.8) = -196437$ Ջ մոլ$^{-1}$

$$E = \frac{-\Delta G}{nF} = \frac{196437}{2 \times 96485} = 1.018 \text{ Վ}$$

Պատ. 1.018 Վ:

Խնդիր 7. Հաշվել AgCl-ի լուծելիության արտադրյալը և լուծելիությունը 25 ^oC-ում:

$E^o(Ag^+ + e = Ag) = +0.7991$ Վ, $E^o(AgCl + e = Ag + Cl^-) = +0.2224$ Վ:

Լուծում: Էլեմենտը, որում ընթանում է $Ag^+ + Cl^- = AgCl$ ռեակցիան, կարելի է պատկերել այսպես.

$$Ag \mid AgCl \mid Cl^- \| Ag^+ \mid Ag$$

Աջ էլեկտրոդ՝ $Ag^+ + 1e \rightarrow Ag^o$, $E^o_{աջ} = +0.7991$ Վ

Ձախ էլեկտրոդ՝ $AgCl + 1e \rightarrow Ag^o + Cl^-$ $E^o_{ձախ} = +0.2224$ Վ

Հետևաբար՝ էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն կլինի՝

$$E^o = E^o_{աջ} - E^o_{ձախ} = 0.5767 \text{ Վ}$$

$$\Delta G^o = -nFE^o = -1 \times 96485 \times 0.5767 = -55643 \text{ Ջ մոլ}^{-1}$$

Հաշվի առնելով 7.31 հավասարումը՝ կստանանք՝

$$K = exp\left(\frac{55643}{8.314 \times 298.15}\right) = \exp(22.45) = 5.61 \times 10^9$$

Լուծելիության արտադրյալը (ԼԱ) տվյալ դեպքում K-ի հակադարձ մեծությունն է:

$$ԼԱ = \frac{1}{K} = \frac{1}{5.61 \times 10^9} = 1.8 \times 10^{-10}$$

Լուծելիությունը (m) որոշելու համար անհրաժեշտ է օգտվել ակտիվության և մոլալության միջև կապից (7.6).

$$\frac{1}{K} = a(Ag^+)a(Cl^-) = m(Ag^+)m(Cl^-)(\gamma_\pm)^2 = m^2(\gamma_\pm)^2$$

Քանի որ Ag^+ և Cl^- իոնների կոնցենտրացիաները շատ փոքր են, կարելի է համարել $\gamma_\pm = 1$: Հետևաբար՝

$$m = \sqrt{\frac{1}{K}} = \sqrt{\frac{1}{5.61 \times 10^9}} = 1.3 \times 10^{-5}\, մոլ/կգ$$

Պատ.՝ ԼԱ $=1.8\times10^{-10}$, $m = 1.3\times10^{-5}$ մոլ/կգ:

Խնդիր 8. Ջերմաստիճանային լայն տիրույթում $Pt|H_2|HBr|AgBr|Ag$ էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն նկարագրվում է հետևյալ հավասարումով.

$$E\,(Վ) = 0.0713 - 4.99\times10^{-4}(T-298) - 3.45\times10^{-6}(T-298)^2$$

Հաշվել էլեմենտում ընթացող ռեակցիայի ΔS^o-ն, ΔG^o-ն և ΔH^o-ն 298 Կ-ում:

Լուծում: Հաշվարկների համար անհրաժեշտ է օգտվել (7.32), (7.23) և (3.16) բանաձևերից:

$$\Delta S = nF\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_p = 1 \times 96485 \times \left(-4.99 \times 10^{-4} - 2 \times 3.45 \times 10^{-6}(T - 298)\right) = -48.1 Ջ Կ^{-1} մոլ^{-1}$$

$E^o(298) = +0.0713$ Վ

$\Delta G^o = -nFE^o = -1 \times 96485 \times 0.0713 = -6879$ Ջ մոլ$^{-1}$ = –6.879 կՋ մոլ$^{-1}$

$\Delta H^o = \Delta G^o + T\Delta S^o = -6879 + 298(-48.1) = -21.21$ կՋ մոլ$^{-1}$

Պատ.՝ $\Delta G^o = -6.879$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H^o = -21.21$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta S^o = -48.1$ Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

7-1. Կապարի(II) բրոմիդի հալույթի միջով անցկացվել է 2 Ա հոսանք 30 րոպեի ընթացքում: Հաշվել կաթոդի վրա անջատված մետաղի զանգվածը:

7-2. Պղնձի(II) քլորիդի լուծույթի միջով 2 ժ տևողությամբ անցկացվել է 2 Ա ուժի հոսանք: Ի՞նչ զանգվածով պղինձ է նստել կաթոդի վրա:

7-3. Ի՞նչ տևողությամբ 1 Ա ուժով հոսանք պետք է անցկացնել, որպեսզի 0.1 Մ 80 մլ լուծույթում պարունակվող Fe^{3+}-ն ամբողջությամբ վերականգնվի Fe^{2+}-ի:

7-4. Որքա՞ն ժամանակով պետք է անցկացնել 2 Ա ուժի հոսանքը նատրիումի հիդրօքսիդի լուծույթի միջով, որպեսզի ստացվի 300 սմ^3 շառաչող գազ 0 ^{o}C և 750 մմ ս.ս. պայմաններում:

7-5. Նատրիումի հիդրօքսիդ պարունակող 0.225 մոլ/կգ ջրային լուծույթը պնդանում է -0.667 ^{o}C-ում: Որոշել հիմքի թվացող դիսոցման աստիճանն այդ լուծույթում, եթե ջրի $K_{կր}$ = 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

7-6. 100 գ ջրում 6.41 գ մագնեզիումի քլորիդ պարունակող լուծույթի վրա ջրի գոլորշու ճնշումը 736.1 մմ ս.ս. է 100 ^{o}C-ում:

Որոշել այդ լուծույթի եռման ջերմաստիճանը, եթե $K_{էբ}$ = 0.51 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

7-7. Քլորաջրածնական թթվի 0.1 m ջրային լուծույթի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը 25 °C–ում 0.796 է: Հաշվել այդ թթվի ակտիվությունը լուծույթում:

7-8. Հաշվել էլեկտրոլիտի միջին իոնային ակտիվությունը՝ $a_{\pm}$, և ակտիվությունը՝ a, ալյումինի քլորիդի 0.2 m լուծույթում 25 °C–ում, եթե $\gamma_{\pm} = 0.305$:

7-9. Հաշվել ալյումինի նիտրատի 0.30 մոլ/կգ իոնական ուժ ունեցող լուծույթի մոլալությունը:

7-10. Տրված է Na_3PO_4-ի լուծույթ, որի իոնական ուժը հավասար է KCl-ի 0.36 մոլ/կգ լուծույթի իոնական ուժին: Ինչի՞ է հավասար տրված լուծույթի մոլալությունը:

7-11. Հաշվել 0.24 մոլ կգ$^{-1}$ իոնական ուժ ունեցող Na_2SO_4-ի լուծույթի մոլալությունը:

7-12. Հաշվել կալցիումի նիտրատի զանգվածը, որը պետք է ավելացնել 500 գ ջուր պարունակող կալիումի նիտրատի 0.150 մոլ/կգ լուծույթին, որպեսզի վերջինիս իոնական ուժը մեծացվի մինչև 0.250 մոլ/կգ:

7-13. Օգտվելով Դեբայ–Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորությունից՝ հաշվել K^+, Al^{3+} և SO_4^{2-} իոնների ակտիվության գործակիցները $KAl(SO_4)_2$-ի 5.0×10^{-4} մոլ/լ լուծույթում 25 °C-ում:

7-14. Հաշվել քացախաթթվի դիսոցման աստիճանը 0.100 մոլ/կգ մոլալությամբ լուծույթում, եթե թթվի դիսոցման հաստատունը 1.75×10^{-5} մոլ/լ է:

7-15. Արյան օսմոտիկ ճնշումը 0.811 ՄՊա է: Որքա՞ն պետք է լինի նատրիումի քլորիդի մոլային կոնցենտրացիան, որպեսզի այն լինի արյան հետ իզոտոնիկ: Աղի դիսոցման աստիճանն ընդունել 0.950:

7-16. Հաշվել 25 ^oC-ում կալցիումի քլորիդի 0.1 m լուծույթում էլեկտրոլիտի միջին իոնային ակտիվությունը՝ $a_{\pm}$, և ակտիվությունը՝ a, եթե ակտիվության միջին իոնային գործակիցը՝ $\gamma_{\pm}$ = 0.518:

7-17. Ծծմբական թթվի 0.1 m ջրային լուծույթի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը 25 ^oC-ում 0.265 է: Հաշվել թթվի ակտիվությունը լուծույթում:

7-18. Նատրիումի նիտրատի լուծույթի իոնական ուժը 0.30 մոլ/կգ է: Ինչի՞ է հավասար նույնպիսի իոնական ուժ ունեցող ալյումինի սուլֆատի լուծույթի մոլալությունը:

7-19. Սախարոզի և կալիումի նիտրատի ջրային լուծույթներն իզոտոնիկ են համապատասխանաբար 1.00 և 0.60 մոլ/լ կոնցենտրացիաների դեպքում: Գտնել նշված աղի թվացող դիսոցման աստիճանը լուծույթում:

7-20. Թույլ էլեկտրոլիտի 0.1 մոլալությամբ լուծույթը պնդանում է –0.208 ^oC-ում: Որոշել դիսոցման աստիճանը, եթե հայտնի է, որ էլեկտրոլիտը 1-1 տեսակի է: $K_{կր}$ = 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

7-21. 100 գ ջրում 1.492 գ կալիումի քլորիդ պարունակող լուծույթը պնդանում է –0.680 ^oC-ում: Որոշել վանտ-Հոֆի գործակիցը, եթե $K_{կր}$ = 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

7-22. 500 գ ջուր և 2.45 գ ծծմբական թթու պարունակող լուծույթը պնդանում է –0.2055 ^oC-ում: Որոշել վանտ-Հոֆի գործակիցը և թթվի դիսոցման աստիճանը: $K_{կր}$ = 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

7-23. Որոշել բարիումի քլորիդի ակտիվությունը 0.1 մոլալանոց լուծույթում, եթե $\gamma_{\pm}$ = 0.501:

7-24. Որոշել ցինկի սուլֆատի միջին իոնային ակտիվությունը ($a_{\pm}$) և ակտիվությունը (a) 0.1 m լուծույթում, եթե $\gamma_{\pm}$ = 0.148:

7-25. Կալիումի քլորիդի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը որոշակի մոլալությամբ լուծույթում 0.922 է, իսկ կալիումի նիտրատի նույնպիսի մոլալությամբ լուծույթում՝ 0.916: Որոշել նիտրատ անիոնի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը, եթե $\gamma_{\pm}(Cl^{-}) = \gamma_{\pm}(K^{+})$:

7-26. Որոշել երկաթի(III) քլորիդի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը լուծույթում, եթե վերջինս պարունակում է 0.001 մոլ $FeCl_3$ և 0.005 մոլ H_2SO_4 1000 գ ջրում: Օգտվել Դեբայ-Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորությունից:

7-27. Դեբայ-Հյուկելի տեսության սահմանային օրենքի (առաջին մոտավորություն) միջոցով գտնել $K_3[Fe(CN)_6]$ աղի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը լուծույթում, եթե վերջինիս մոլալությունը 0.001 մոլ/կգ է:

7-28. $LaCl_3$-ի 0.500 մոլ/կգ ջրային լուծույթում ակտիվության միջին իոնային գործակիցը 25 ^{o}C-ում 0.303 է: Որքա՞ն է այդ մեծության որոշման սխալը՝ ըստ Դեբայ–Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորության:

7-29. Աղաթթվի, նատրիումի քլորիդի և նատրիումի ացետատի անսահման նոսր լուծույթների մոլային ԷՀ-ները 25 ^{o}C-ում համապատասխանաբար հավասար են 425.0, 128.1 և 91.0 Ս սմ^{2} մոլ$^{-1}$: Ինչի՞ է հավասար քացախաթթվի անսահման նոսր լուծույթի մոլային ԷՀ-ն նշված ջերմաստիճանում:

7-30. Կարագաթթվի դիսոցման հաստատունը 1.74×10^{-5} մոլ/լ է: 1024 լ մոլ$^{-1}$ նոսրացման պարագայում լուծույթի մոլային ԷՀ-ն 41.3 Ս սմ^{2} մոլ$^{-1}$ է: Հաշվել թթվի դիսոցման աստիճանը և ջրածնի իոնների կոնցենտրացիան լուծույթում, ինչպես նաև մոլային ԷՀ-ն անսահման նոսրացման պարագայում:

7-31. LiX-ի 0.1000 մոլ/լ ջրային լուծույթի տեսակարար ԷՀ-ն 0.9000 Ս մ$^{-1}$ է 25 ^{o}C-ում: Լիթիումի կատիոնի մոլային ԷՀ-ն 39.5×10^{-4} Ս մ^{2} մոլ$^{-1}$ է: Որոշել՝ ա) լուծույթի մոլային ԷՀ-ն, բ) X^{-} անիոնի մոլային ԷՀ-ն:

7-32. Հաշվել բացարձակ մաքուր ջրի տեսակարար ԷՀ-ն 25 ^{o}C-ում: Ջրի իոնական արտադրյալը նշված ջերմաստիճանում

1.00×10^{-14} է: H^+ և OH^- իոնների սահմանային ԷՀ-ները վերցնել Հավելվածից:

7-33. Ծծմբական թթվի 4 %-անոց լուծույթի տեսակարար ԷՀ-ն 18 °C–ում 0.168 Ս սմ$^{-1}$ է, իսկ խտությունը՝ 1.026 գ սմ$^{-3}$: Որոշել լուծույթի մոլային ԷՀ-ն:

7-34. KCl-ի, KNO_3-ի և $AgNO_3$-ի անսահման նոսր լուծույթների մոլային էլեկտրահաղորդականությունները 25 °C-ում հավասար են համապատասխանաբար 149.9, 145.0 և 133.4 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: Որքա՞ն է AgCl-ի անսահման նոսր լուծույթի մոլային ԷՀ-ն նույն ջերմաստիճանում:

7-35. AgCl-ի հագեցած ջրային լուծույթի տեսակարար ԷՀ-ն 25 °C-ում 2.28×10^{-4}, իսկ ջրինը 1.16×10^{-4} Ս մ$^{-1}$ է: Հաշվել արծաթի քլորիդի լուծելիությունը ջրում մոլ/լ-ով նշված ջերմաստիճանում: $\mathring{\Lambda}_{Ag^+} = 61.9 \times 10^{-4}$, $\mathring{\Lambda}_{Cl^-} = 76.35 \times 10^{-4}$ Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-36. Քացախաթթվի 1.59×10^{-4} մոլ/լ լուծույթի մոլային ԷՀ-ն 25 °C-ում 12.77 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$ է: Հաշվել թթվի դիսոցման հաստատունը և լուծույթի pH-ը:

$\mathring{\Lambda}_{CH_3COO^-} = 40.9 \times 10^{-4}$, $\mathring{\Lambda}_{H^+} = 349.8 \times 10^{-4}$ Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-37. Կալիումի քլորիդի 0.01 մոլ/լ լուծույթի տեսակարար դիմադրությունը՝ ρ =709.22 Օհմ սմ: Հաշվել այդ լուծույթի տեսակարար և մոլային ԷՀ-ները:

7-38. Պրոպիոնաթթվի՝ C_2H_5COOH 0.135 մոլ/լ լուծույթի տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը 4.79×10^{-2} Ս մ$^{-1}$ է: Հաշվել լուծույթի մոլային ԷՀ-ն, թթվի դիսոցման հաստատունը և լուծույթի pH-ը, եթե H^+ և $C_2H_5COO^-$ իոնների սահմանային շարժունակությունները հավասար են համապատասխանաբար 349.8×10^{-4} և 37.2×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-39. 1000 գ ջրում 14.055 գ $AgNO_3$ պարունակող լուծույթը ենթարկել են էլեկտրոլիզի՝ օգտագործելով արծաթի էլեկտրոդներ:

Կաթոդի վրա անջատվել է 0.1020 գ մետաղ: Անոդային լուծույթի վերլուծությունը ցույց է տվել, որ դրանում 40 գ ջրին բաժին է ընկնում 0.4109 գ արծաթ: Որոշել Ag^+ և NO_3^- իոնների տեղափոխման թվերը:

7.40. Ընդհանուր հոսանքի ո՞ր մասն է տեղափոխում Li^+ իոնը LiBr-ի ջրային լուծույթում 25 °C–ում:

$\Lambda^{\circ}_{Li^+} = 36.68 \times 10^{-4}, \Lambda^{\circ}_{Br^-} = 78.14 \times 10^{-4}$ Ս մ² մոլ⁻¹:

7-41. Հիտորֆի պլատինե էլեկտրոդներով սարքում էլեկտրոլիզի են ենթարկել աղաթթու: Կաթոդային լուծույթը պարունակել է հետևյալ զանգվածով քլորիդ իոններ՝ մինչ էլեկտրոլիզը 6.275 գ, իսկ էլեկտրոլիզից հետո՝ 5.778 գ: Էլեկտրոլիզի ընթացքում էլեկտրաքիմիական շղթայում հաջորդաբար միացված արծաթային կուլոնաչափում անջատվել է 8.899 գ արծաթ: Որոշել H^+ և Cl^- իոնների տեղափոխման թվերը:

7-42. Հաշվել Cu^{2+}/Cu^+ զույգի ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալը, եթե Cu^{2+}/Cu և Cu^+/Cu զույգերի ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալները հավասար են համապատասխանաբար +0.337 և +0.521 Վ:

7-43. Հետևյալ ռեակցիան դարձելիորեն ընթանում է գալվանական էլեմենտում 298 Կ-ում.

$$Cd + 2AgCl = CdCl_2 + 2Ag$$

Հաշվել ռեակցիայի էնտրոպիայի փոփոխությունը, եթե $E^{\circ} = 0.6753$ Վ, իսկ $CdCl_2$ և AgCl գոյացման էնթալպիաները հավասար են համապատասխանաբար –389.7 և –126.9 կՋ/մոլ:

7-44. Երեք գալվանական էլեմենտ համապատասխանաբար ունեն 0.01, 0.1 և 1.0 Վ ստանդարտ ԷլՇՈՒ 25 °C-ում: Հաշվել այդ էլեմենտներում ընթացող ռեակցիաների հավասարակշռության հաստատունները, եթե յուրաքանչյուր ռեակցիայում մասնակցում է մեկ էլեկտրոն՝ z = 1:

7-45. $Pt|H_2|HCl|AgCl|Ag$ էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 25 °C-ում 0.322 Վ է: Ինչի՞ է հավասար աղաթթվի pH-ը: a_{Cl^-} = 0.150 մոլ/կգ, $E^o_{ք.ա.}$ = +0.2224 Վ:

7-46. Դեբայ-Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորության միջոցով հաշվել

$$Zn|Zn(NO_3)_2(0.01մոլ/կգ)||KCl(0.04մոլ/կգ)|AgCl_{(պ)}|Ag$$

էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 25 °C-ում: $E^o_{ք.ա.}$= +0.2224 Վ, $E^{\circ}_{Zn^{2+}/Zn^{\circ}}$ =–0.763 Վ:

7-47. $Pt|H_2|HCl|Hg_2Cl_2|Hg$ էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 5 °C-ում HCl-ի 0.5 մոլ/կգ կոնցենտրացիայի և ջրածնի 1 մթն ճնշման պայմաններում 0.318 Վ է: Ինչի՞ է հավասար աղաթթվի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը: $E^o_{կալ}$ = +0.268 Վ

7-48. Հաշվել $Cd + ZnSO_4 = CdSO_4 + Zn$ ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը 25 °C-ում՝ ըստ հետևյալ ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալների.

$$Zn^{2+} + 2e = Zn\ (–0.763\ Վ),\ Cd^{2+} + 2e = Cd\ (–0.403\ Վ):$$

7-49. Կազմել այն գալվանական էլեմենտի ուրվագիրը, որում ընթանում է հետևյալ ռեակցիան.

$$Ag^+ + Br^- = AgBr$$

Հաշվել ստանդարտ ԷլՇՈՒ-ն 25 °C–ում, ΔG^o-ն, ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը և AgBr-ի լուծելիությունը ջրում:

Աջ էլեկտրոդ՝ $Ag^+ + e \rightarrow Ag$ E^o = 0.799 Վ

Ձախ էլեկտրոդ՝ $AgBr + e \rightarrow Ag + Br^-$ E^o = 0.073 Վ

7-50. Ջրածնային և նորմալ կալոմելային էլեկտրոդներից կազմված գալվանական էլեմենտի ԷլՇՈւ-ն 0.664 Վ է 25 °C-ում: Հաշվել հետազոտվող աղաթթվի ջրածնային ցուցիչը և հիդրօքսոնիում իոնի ակտիվությունը, եթե հիշյալ կալոմելային էլեկտրոդի պոտենցիալը 0.2812 Վ է: $p(H_2)$ = 1 մթն:

* * *

7-51. 1000 սմ^2 ընդհանուր մակերեսով երկաթե թիթեղը որպես կաթոդ ընկղմել են ցինկի աղի լուծույթի մեջ: Ի՞նչ հաստություն կունենա կաթոդի վրա անջատված ցինկի շերտը, եթե հոսանքի միջին խտությունը 2.5 Ա/դմ^2 է, իսկ թիթեղը պահվել է 25 րոպե: Ցինկի խտությունը 7.15 գ/սմ^3 է:

7-52. 100 սմ^2 մակերեսով մետաղական մանրակն անհրաժեշտ է պատել 0.3 մմ հաստությամբ էլեկտրոլիզային նստեցման նիկելի շերտով: Որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի դրա համար, եթե հոսանքի ուժը 3 Ա է: Որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի նույն քանակությամբ նիկել նստեցնելու համար, եթե ելքն ըստ հոսանքի լինի 90 %: ρ(Ni) = 9 գ/սմ^3:

7-53. Նատրիումի հիդրօքսիդի 2 լ 15 %-անոց և 1.1665 գ/սմ^3 խտությամբ լուծույթ պարունակող էլեկտրոլիզարարի միջով 3 օր տևողությամբ անցկացվել է 5 Ա հոսանք: Որոշել հիմքի զանգվածային բաժինը (%) լուծույթում էլեկտրոլիզից հետո:

7-54. Պղնձի սուլֆատի թթվային լուծույթի միջով անցկացվել է հաստատուն հոսանք 30 ր տևողությամբ: Շղթայի մեջ ներառված ամպերաչափը ցույց է տվել 0.4 Ա ուժ: Կաթոդի հավելումը եղել է 0.25 գ: Որքա՞ն է ամպերաչափի ցուցմունքի սխալը:

7-55. Կալիումի սուլֆատի 0.4 մոլալությամբ լուծույթը պնդանում է –1.52 ^oC-ում: Համարելով, որ իզոտոնիկ գործակիցը կախված չէ ջերմաստիճանից, որոշել լուծույթի գոլորշու ճնշումը 20 ^oC-ում և եռման նորմալ ջերմաստիճանը: Ջրի գոլորշու ճնշումը 20 ^oC-ում 17.54 մմ ս.ս. է: $K_{կր}$=1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$, $K_{էբ}$=0.51 Կ կգ մոլ$^{-1}$:

7-56. Հաշվել արծաթի քլորիդի լուծելիությունը (m) ազոտական թթվի 0.01 մոլալանոց լուծույթում 25 ^oC–ում, եթե նշված աղի լուծելիության արտադրյալը ջրում 1.78×10^{-10} է: Օգտվել Դեբայ-Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորությունից: Արծաթի քլորիդի կոնցենտրացիայի ազդեցությունը լուծույթի իոնական ուժի վրա կարելի է անտեսել:

7-57. Հաշվել արծաթի սուլֆիդի՝ Ag_2S, լուծելիությունը 298 Կ-ում՝ ա) ջրում, բ) $AgNO_3$ -ի 0.001 մոլ/լ լուծույթում, գ) KNO_3-ի 0.001 մոլ/լ լուծույթում, եթե $pK_S^\circ = 49.4$:

7-58. AgCl-ի լուծելիությունը ջրում 25 °C–ում 1.31×10^{-5} մոլ/կգ է: Հաշվել այդ աղի լուծելիությունը KCl-ի 0.1 մոլ/կգ ջրային լուծույթում, որի $\gamma_\pm = 0.769$:

7-59. Օգտագործելով Դեբայ–Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորությունը՝ հաշվել Ca^{2+} և Cl^- իոնների ակտիվության գործակիցները և էլեկտրոլիտի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը $CaCl_2$-ի 0.002 մոլ/լ լուծույթում 25 °C-ում:

7-60. Օգտագործելով Դեբայ–Հյուկելի տեսության առաջին մոտավորությունը՝ հաշվել Ca^{2+} և SO_4^{2-} իոնների ակտիվության գործակիցները և էլեկտրոլիտի ակտիվության միջին իոնային գործակիցը $CaSO_4$-ի 0.002 մոլ/լ լուծույթում 25 °C-ում:

7-61. Որոշել HgI_2-ի լուծելիությունը 298 Կ-ում՝ ա) մաքուր ջրում, բ) KI-ի 1×10^{-3} m լուծույթում, գ) $NaNO_3$-ի 1×10^{-3} m լուծույթում, եթե հայտնի է, որ $K = 3.00\times10^{-26}$:

7-62. Ջրում $BaCO_3$-ի հագեցած լուծույթի տեսակարար ԷՀ-ն 18 °C-ում 2.540×10^{-3} Ս մ$^{-1}$ է, իսկ ջրինը՝ 4.5×10^{-5} Ս մ$^{-1}$: Ba^{2+} և CO_3^{2-} իոնների շարժունակությունները նույն ջերմաստիճանում հավասար են համապատասխանաբար 110×10^{-4} և 132×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$: Որոշել ջրում բարիումի կարբոնատի լուծելիությունը (մոլ/լ) նշված ջերմաստիճանում՝ ընդունելով, որ աղն ամբողջովին դիսոցված է, իսկ իոնների տրված շարժունակությունները գործնականում հավասար են անսահման նոսրացման շարժունակություններին:

7-63. KCl-ի լուծույթ պարունակող անոթի էլեկտրադիմադրությունը 298 Կ-ում 217 Օհմ է, իսկ CH_3COOH-ի 0.01 Մ լուծույթ պարունակողինը՝ 3870 Օհմ: Հաշվել անոթի հաստատունը, քացախաթթվի լուծույթի տեսակարար և մոլային ԷՀ-ները, դիսոցման աստիճանը, pH-ը և դիսոցման հավասարակշռության հաստատունը, եթե հայտնի են՝ $\kappa(KCl_{լթ}) = 0.2765$ Ս մ$^{-1}$,
$\overset{\circ}{\Lambda}_{H^+} = 349.8 \times 10^{-4}$, $\overset{\circ}{\Lambda}_{CH_3COO^-} = 40.9 \times 10^{-4}$ Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-64. Հաշվել Rb^+ իոնի շարժման արագությունը ջրային լուծույթում 25 °C-ում, եթե իրարից 0.8 սմ հեռավորությամբ տեղադրված էլեկտրոդների վրա կիրառված է 35 Վ պոտենցիալների տարբերություն: $\overset{\circ}{\Lambda}_{Rb^+} = 77.81 \times 10^{-4}$ Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-65. KI-ի և KCl-ի նույն կոնցենտրացիայով լուծույթների տեսակարար ԷՀ-ները համապատասխանաբար հավասար են 89.00 Ս մ$^{-1}$ և 186.53 Ս մ$^{-1}$: Տրված է նույն աղերից պատրաստված լուծույթ, որի տեսակարար ԷՀ-ը 98.45 Ս մ$^{-1}$ է: Գտնել KCl-ի մոլային բաժինը տրված լուծույթում:

7-66. Ուժեղ էլեկտրոլիտի 6.2×10^{-3} և 1.5×10^{-2} մոլ/լ կոնցենտրացիաներով ջրային լուծույթների մոլային ԷՀ-ները 25 °C-ում համապատասխանաբար հավասար են 109.9 և 106.1 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: Որքա՞ն կլինի լուծույթի մոլային ԷՀ-ն անսահման նոսրացման պարագայում:

7-67. Հաշվել Na^+ իոնի շարժման արագությունը ջրային լուծույթում 25 °C-ում, եթե իրարից 1 սմ հեռավորությամբ տեղադրված էլեկտրոդների վրա գործադրվել է 10 Վ պոտենցիալների տարբերություն: Որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի, որպեսզի իոնն անցնի մեկ էլեկտրոդից մյուս էլեկտրոդ ճանապարհը: Օգտվել Հավելվածից:

7-68. Հաշվել կարագաթթվի դիսոցման աստիճանը, ջրածին կատիոնի կոնցենտրացիան, լուծույթի ջրածնային ցուցիչը և դիսոցման հավասարակշռության հաստատունը 128 լ մոլ$^{-1}$ նոսրացման պարագայում, եթե 298 Կ-ում տեսակարար ԷՀ-ն 1.273×10^{-2} Ս մ$^{-1}$ է, իսկ H^+ և $C_3H_7COO^-$ իոնների սահմանային շարժունակությունները համապատասխանաբար հավասար են 349.8×10^{-4} և 32.6×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-69. Ամոնիումի հիդրօքսիդի դիսոցման հաստատունը 1.79×10^{-5} մոլ/լ է: Հաշվել հիմքի լուծույթի այն կոնցենտրացիան, որի դեպքում դիսոցման աստիճանը կլինի 0.01: Հաշվել նաև նույն կոնցենտրացիայով լուծույթի մոլային ԷՀ-ն: $\overset{\circ}{\Lambda}_{NH_4^+} = 73.55 \times 10^{-4}$, $\overset{\circ}{\Lambda}_{OH^-} = 198.3 \times 10^{-4}$ Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-70. $Mg(NO_3)_2$-ի 5 %-անոց լուծույթի տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը 18 $^\circ$C-ում 4.38 Ս մ$^{-1}$ է, իսկ խտությունը՝ 1.038 գ/սմ^3: Հաշվել լուծույթի մոլային էլեկտրահաղորդականությունը և աղի թվացող դիսոցման աստիճանը լուծույթում: Mg^{2+} և NO_3^- իոնների շարժունակությունները նշված ջերմաստիճանում հավասար են 89.2×10^{-4} և 62.6×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-71. $ZnCl_2$-ի 0.15 մոլալությամբ լուծույթը ենթարկել են էլեկտրոլիզի ցինկե անոդով: Էլեկտրոլիզից հետո անոդային լուծույթը պարունակել է 38.6 գ ջրին բաժին ընկնող 0.8907 գ $ZnCl_2$, իսկ կաթոդային լուծույթը՝ 37 գ ջրին՝ 0.6560 գ $ZnCl_2$: Կուլոնաչափի կաթոդի վրա անջատվել է 0.2728 գ արծաթ: Որոշել Zn^{2+} և Cl^- իոնների տեղափոխման թվերը:

7-72. 298.15 Կ-ում NH_4Cl-ի անսահման նոսրացված լուծույթում NH_4^+ կատիոնի տեղափոխման թիվը $t_+ = 0.491$ է: Որոշել Cl^- անիոնի շարժունակությունը և բացարձակ շարժունակությունը: $\Lambda^\circ(NH_4Cl) = 0.0150$ Ս մ^2 մոլ$^{-1}$:

7-73. Հաշվել H^+ իոնի տեղափոխման թիվը 1×10^{-3} մոլ/լ կոնցենտրացիայով աղաթթվում: Որքա՞ն կլինի այդ թիվը, եթե նշված լուծույթին ավելացվի այնքան NaCl, որ վերջինիս կոնցենտրացիան դառնա 1.0 մոլ/լ: $\Lambda^o(H^+)=349.8$, $\Lambda^o(Na^+)= 50.10$, $\Lambda^o(Cl^-)=76.35$ Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$:

7-74. $AgNO_3$-ի լուծույթի էլեկտրոլիզի ժամանակ կաթոդի վրա անջատվել է 0.5831 գ արծաթ, իսկ կաթոդային տիրույթում նշված աղի քանակի նվազումը կազմել է 2.85×10^{-3} մոլ: Որոշել իոնների t_- և t_+ տեղափոխման թվերը:

7-75. ՌիբO/Ռիբ (ռիբոֆլավինի օքսիդացած և վերականգնված ձևերը) և CH_3COOH/CH_3CHO (քացախաթթու-քացախալդեհիդ) զույգերի ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալները 25 ^oC-ում համապատասխանաբար հավասար են –0.21 և –0.60 Վ: Հաշվել քացախալդեհիդով ռիբոֆլավինի վերականգնման ռեակցիայի հավասարակշռության հաստատունը նշված ջերմաստիճանում չեզոք լուծույթում: Կանդրադառնա՞ արդյոք լուծույթի թթվայնության փոփոխությունը համապատասխան գալվանական էլեմենտի ԷԼՇՈՒ-ի արժեքի վրա:

7-76. Ջրածնային ցուցիչի որոշման համար կարելի է օգտագործել քինհիդրոնային էլեկտրոդը: Քինհիդրոնը՝ $Q{\cdot}QH_2$, քինոնի՝ $C_6H_4O_2$ /Q/, և հիդրոքինոնի՝ $C_6H_4O_2H_2$ /QH_2/, համալիրն է: Էլեկտրոնային կիսառեակցիան, որի ստանդարտ պոտենցիալը +0.6994 Վ է /E^o/, գրվում է այսպես՝ $Q + 2H^+ + 2e \rightarrow QH_2$: Ինչի՞ է հավասար աղաթթվի pH-ը, եթե $Hg|Hg_2Cl_2|HCl|Q{\cdot}QH_2|Pt$ էլեմենտի ԷԼՇՈՒ-ն +0.190 Վ է, $a(Cl^-) = 8.7\times10^{-3}$ մոլ/կգ, $E^o_{կալ}= +0.268$ Վ:

7-77. Հաշվել գալվանական էլեմենտում 273 Կ-ում ընթացող $Zn + 2AgCl = ZnCl_2 + 2Ag$ ռեակցիայի ջերմությունը, եթե էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 1.015 Վ է, իսկ վերջինիս ջերմաստիճանային գործակիցը -4.02×10^{-4} Վ/Կ է:

7-78. Գալվանական էլեմենտում ընթացող

$$Pb + Hg_2Cl_2 = PbCl_2 + 2Hg$$

ռեակցիայի ΔH = –94.2 կՋ/մոլ 298.2 Կ-ում: Այդ էլեմենտի E-ն մեծանում է 1.45×10^{-4} Վ-ով, երբ ջերմաստիճանը բարձրացվում է 1 Կ-ով: Հաշվել ΔS-ը և E-ն 298.2 Կ-ում:

7-79. Գալվանական էլեմենտում ընթացող

$$Pb + 2AgCl = PbCl_2 + 2Ag$$

ռեակցիայի ΔH = –105.1 կՋ/մոլ: Այդ էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 298.15 Կ-ում 0.4901 Վ է: Հաշվել էլեմենտի ԷլՇՈՒ-ն 293.1 Կ-ում:

7-80. Հաշվել այն վառելիքային էլեմենտի ստանդարտ ԷլՇՈՒ-ն, որում ընթանում է հետևյալ ռեակցիան.

$$C_2H_{6(գ)} + 3.5O_{2(գ)} = 2CO_{2(գ)} + 3H_2O_{(հ)}$$

$\Delta G^o(CO_{2,գ})$ = –394.36 կՋ/մոլ, $\Delta G^o(H_2O_{,հ})$ = –237.13 կՋ/մոլ, $\Delta G^o(C_2H_{6,գ})$ = –32.82 կՋ/մոլ:

7-81. Հաշվել ջրում Hg_2Cl_2-ի լուծելիության արտադրյալը և լուծելիությունը 25 °C-ում՝ ըստ հետևյալ ստանդարտ էլեկտրոդային պոտենցիալների տվյալների.

$Hg_2^{2+} + 2e \rightarrow 2Hg^{\circ}$	E° = 0.798 Վ
$Hg_2Cl_2 + 2e \rightarrow 2Hg^{\circ} + 2Cl^-$	E° = 0.268 Վ

7-82. Ջրածնաթթվածնային վառելիքային էլեմենտն աշխատում է 25 °C և ջրածնի ու թթվածնի 3 բար ճնշման պայմաններում: Որքա՞ն կլինի էլեմենտի ԷլՇՈւ-ն, եթե գազերը դիտվեն որպես իդեալական:

7-83. Հագեցած կալոմելային էլեկտրոդից և նարնջի հյութ պարունակող քինհիդրոնային էլեկտրոդից բաղկացած շղթայի ԷլՇՈՒ-ն 0.250 Վ է 25 °C-ում: Նշված էլեկտրոդների ստանդարտ պոտենցիալները հավասար են՝ $E^o_{կլ}$ = 0.242 Վ, $E^o_{քհ}$ = 0.699 Վ: Որոշել տրված հյութի ջրածնային ցուցիչը:

7-84. Որոշել հետևյալ ռեակցիաների ուղղությունը և հավասարակշռության հաստատունները ջրային լուծույթում 25 °C-ում:

ա) $2H_2 + O_2 \rightleftarrows 2H_2O$

բ) $Sn + CuSO_4 \rightleftarrows Cu + SnSO_4$

գ) $Co + Ni^{2+} \rightleftarrows Co^{2+} + Ni$

Էլեկտրոդային պոտենցիալների արժեքներն են՝

$E^o(H^+/O_2, Pt)$=+1.229 Վ, $E^o(Sn^{2+}/Sn)$= –0.136 Վ, $E^o(Cu^{2+}/Cu)$ = +0.337Վ, $E^o(Ni^{2+}/Ni)$ = –0.250 Վ, $E^o(Co^{2+}/Co)$= -0.277 Վ:

7-85. Հաշվել գազային էլեկտրոդներից կազմված հետևյալ կոնցենտրացիոն շղթայի ԷԼՇՈՒ-ն.

$$Pt\ |H_2\ (p_2)\ |HCl\ (0.1\ Մ)\ |\ H_2(p_1=1\ բար)\ |\ Pt$$

25 °C–ում և p_2 -ի հետևյալ արժեքների համար՝ ա) 10 բար, բ) 25 բար, գ) 50 բար:

ԳԼՈՒԽ 8. ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԿԻՆԵՏԻԿԱ

ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐ ԵՎ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ԲԱՆԱՁԵՎԵՐ

Քիմիական կինետիկան ուսմունք է ռեակցիաների ընթացքի օրինաչափությունների մասին: Քիմիական կինետիկայի հիմնական հասկացություններն են ռեակցիայի արագությունը, կարգը, մոլեկուլայնությունը, ակտիվացման էներգիան և այլն:

Քիմիական ռեակցիայի արագությունը (v) ռեակցիային մասնակցող նյութերից (ելանյութ կամ վերջնանյութ) մեկի մոլային կոնցենտրացիայի փոփոխությունն է միավոր ժամանակում:

$$v = \pm\frac{dc}{dt} \qquad (8.1)$$

Ռեակցիայի արագության չափողականությունն է մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: Ռեակցիայի արագությունը որոշում են փորձնական ճանապարհով՝ ժամանակի ընթացքում հետևելով որևէ նյութի կոնցենտրացիայի փոփոխությանը: Արագություններն ըստ տարբեր նյութերի կապված են միմյանց հետ որոշակի առնչություններով: Օրինակ, հետևյալ ռեակցիայի պարագայում՝

$$aA + bB = dD + eE \qquad (8.2)$$

դա արտահայտվում է այսպես.

$$v = -\frac{1}{a}\cdot\frac{dc_A}{dt} = -\frac{1}{b}\cdot\frac{dc_B}{dt} = \frac{1}{d}\cdot\frac{dc_D}{dt} = \frac{1}{e}\cdot\frac{dc_E}{dt} \qquad (8.3)$$

որտեղ a, b, d, e-ն համապատասխան ելանյութերի և վերջնանյութերի քանակաչափական գործակիցներն են:

Արագությունը, հիմնականում, որոշում են գրաֆիկական եղանակով: Այդ նպատակով փորձնական տվյալների հիման վրա կառուցում են ժամանակից կոնցենտրացիայի կախվածությունն արտահայտող *կինետիկական կորը*: Այնուհետև կորի որևէ կետում տանում են շոշափող և հաշվում աբսցիսի հետ դրա կազմած անկյան տանգենսը.

$$v = \pm \frac{dc}{dt} = tg\alpha \qquad (8.4)$$

Մոտավոր գնահատումների համար արագությունը գրաֆիկական կամ հաշվարկային եղանակով կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով.

$$v = \pm \frac{\Delta c}{\Delta t} = \pm \frac{c_2 - c_1}{t_2 - t_1} \qquad (8.5)$$

որտեղ c_1-ը նյութի t_1 պահին, իսկ c_2-ը հաջորդ՝ t_2 պահին համապատասխանող կոնցենտրացիաներն են:

Քիմիական կինետիկայի հիմնական օրենքը վերաբերում է փոխազդող նյութերի (ելանյութերի) կոնցենտրացիաներից ռեակցիայի արագության կախվածությանը:

Ռեակցիայի արագությունը ուղիղ համեմատական է փոխազդող նյութերի կոնցենտրացիաների արտադրյալին:

Ընդ որում՝ կոնցենտրացիաները ներկայացվում են որոշակի ցուցիչներով, որոնց գումարը կոչվում է *ռեակցիայի կարգ*: Օրինակ՝ (8.2) ռեակցիայի համար այն կարող է ունենալ հետևյալ տեսքը.

$$v = k[A]^p[B]^q \qquad (8.6)$$

Այս հիմնարար հավասարումը, որը ստանում են փորձարարական ճանապարհով, կոչվում է ռեակցիայի կինետիկական հավասարում կամ ռեակցիայի արագության հավասարում: k-ն *ռեակցիայի արագության հաստատունն է*, որը թվապես հավասար է այն արագությանը, երբ A և B ելանյութերի կոնցենտրա-ցիաները հավասար են մեկական մոլ/լ:

Ռեակցիայի կարգը կինետիկական հավասարման մեջ մտնող ելանյութերի ցուցիչների գումարն է (կամ ցուցիչներն են) և ոչ թե քանակաչափական գործակիցների գումարը:

Ռեակցիայի կարգը զուտ փորձարարական մեծություն է և որոշվում է փորձով: Տարբերում են ընդհանուր (գումարային) կարգ և մասնակի կարգ: (8.6) հավասարման մեջ p-ն և q-ն մաս-նակի կարգեր են, համապատասխանաբար, ըստ A և B նյութերի: Իսկ (p + q) գումարը կոչվում է ռեակցիայի ընդհանուր կարգ: Եթե վերջինս հավասար է 1-ի (մեկ նյութ է ներկայացված հավասար-ման մեջ), ապա ռեակցիան կոչվում է առաջին կարգի, եթե 2-ի և 3-ի, ապա՝ երկրորդ և երրորդ կարգի: Ավելի բարձր կարգեր գրե-թե չեն դիտվում: Բարդ ռեակցիաների պարագայում կարող են լի-նել նաև կոտորակային կարգեր: Տարասեռ ռեակցիաների դեպ-քում հանդիպում է նաև զրոյական կարգ:

Ռեակցիայի ընդհանուր կամ մասնակի կարգերը, մեծ մա-սամբ, չեն նույնանում քիմիական հավասարման քանակաչափա-կան գործակիցներին՝ $p \neq a$, $q \neq b$: Համընկնում տեղի է ունենում միայն քիչ հանդիպող պարզ (միափուլ) ռեակցիաների պարագա-յում, ինչպես նաև բարդ (բազմափուլ) ռեակցիաների տարրական փուլերում:

Քիմիական ռեակցիայի մեխանիզմը բնութագրող կարևոր հասկացություն է *ռեակցիայի մոլեկուլայնությունը*:

Մոլեկուլայնությունը տարրական ռեակցիայում փոխազդող (իրար հետ բախվող) մասնիկների թիվն է:

Տարբերում են միամոլեկուլային, երկմոլեկուլային և, հազ-վադեպ, եռմոլեկուլային ռեակցիաներ: Ռեակցիայի ավելի բարձր մոլեկուլայնություն չի լինում: Ռեակցիայի մոլեկուլայնությունը կարող է համընկնել կամ չհամընկնել ռեակցիայի կարգին:

Առաջին կարգի ռեակցիան կարելի է ներկայացնել հետևյալ ուրվագրով.

$$A \rightarrow \text{վերջնանյութեր} \tag{8.7}$$

Եթե A ելանյութի ընթացիկ կոնցենտրացիան նշանակենք c-ով, ապա ռեակցիայի արագությունը կներկայացվի այսպես.

$$v = -\frac{dc}{dt} = k \cdot c \tag{8.8}$$

Տեղափոխելով փոփոխականները և ինտեգրելով այդ հավասարումը՝ ստացվում է՝

$$k = \frac{1}{t} ln \frac{c_0}{c} \tag{8.9}$$

Սա հնարավորություն է տալիս որոշելու փոխազդող նյութի կոնցենտրացիան ժամանակի ցանկացած պահին, եթե հայտնի է արագության հաստատունի արժեքը: Եվ, հակառակը, կարելի է որոշել արագության հաստատունը՝ ժամանակի որևէ պահին չափելով ընթացիկ կոնցենտրացիան՝ c:

Գործնականում առավել հարմար է օգտվել հետևյալ հավասարումից.

$$k = \frac{1}{t} ln \frac{a_0}{a_0 - x} \tag{8.10}$$

որտեղ a_0-ն ելանյութի սկզբնական, իսկ x-ը t պահին ծախսված նյութաքանակն է: Վերջինս կարող է փոխարինվել նաև կոնցենտրացիայի, զանգվածի կամ ծավալի (գազերի դեպքում) միավորներով:

Ինչպես երևում է (8.9) և (8.10) հավասարումներից, առաջին կարգի ռեակցիայի k-ի չափման միավորը ժամանակի հակադարձ մեծությունն է՝ t^{-1} (վ$^{-1}$):

Քանի որ առաջին կարգի ռեակցիայում արագության հաստատունը կախված է ելանյութի կոնցենտրացիաների հարաբերությունից (c_0/c), ապա կոնցենտրացիայի փոխարեն կարելի է օգտագործել նաև դրան համարժեք զանգվածային, ծավալային /գազերի դեպքում/ և մասնիկային միավորներ:

Երկրորդ կարգի ռեակցիաներում հնարավոր է երկու դեպք՝

ա) երբ ելանյութը մեկն է՝

$$2A \rightarrow \text{վերջնանյութեր} \tag{8.11}$$

բ) երբ ռեակցիային մասնակցում է երկու ելանյութ՝

$$A + B \rightarrow \text{վերջնանյութեր} \tag{8.12}$$

Առաջին դեպքում դիֆերեցիալ և ինտեգրալ հավասարումներն ունենում են հետևյալ տեսքը.

$$dx/dt = k(a_0 - x)^2, \qquad k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a_0(a_0 - x)} \tag{8.13}$$

Երկրորդ դեպքում, երբ ռեակցիային մասնակցում են տարբեր ելանյութեր, և դրանց սկզբնական կոնցենտրացիաները նույնը չեն, դիֆերեցիալ և ինտեգրալ հավասարումները համապատասխանաբար ներկայացվում են հետևյալ տեսքով.

$$dx/dt = k(a_0 - x)(b_0 - x) \tag{8.14}$$

$$k = \frac{1}{t(a_0 - b_0)} \ln \frac{b_0(a_0 - x)}{a_0(b_0 - x)} \tag{8.15}$$

Երկրորդ և ավելի բարձր կարգերի դեպքում՝ $n \geq 2$, բոլոր ելանյութերի սկզբնական կոնցենտրացիաների հավասարության պարագայում կարելի է օգտվել հետևյալ բանաձևից.

$$k_n = \frac{1}{t(n-1)} \left[\frac{1}{(a_0 - x)^{n-1}} - \frac{1}{a_0^{\,n-1}} \right] \tag{8.16}$$

Ռեակցիայի արագության որոշման բոլոր եղանակների էությունը ելանյութի կամ վերջնանյութի կոնցենտրացիայի՝ ժամանակից ունեցած կախվածության փորձարարական որոշումն է: Դրա համար լայնորեն կիրառվում են քիմիական և ֆիզիկական վերլուծության ամենատարբեր եղանակներ:

Ռեակցիայի կարգի որոշման եղանակները բաժանվում են երկու խմբի՝ ինտեգրալ և դիֆերենցիալ:

Ինտեգրալ եղանակներ: Այս դեպքում օգտագործվում են կինետիկական հավասարման ինտեգրալ ձևերը:

ա) *Հաշվարկային եղանակ*: Ժամանակի տարբեր պահերին փորձով որոշված կոնցենտրացիայի արժեքները տեղադրում են այս կամ այն կարգի կինետիկական հավասարման մեջ և հաշվում արագության հաստատունի մի քանի արժեք: Կարգը համարվում է որոշված, եթե արագության հաստատունի արժեքները չեն փոխվում:

բ) *Գրաֆիկական եղանակ*: Ընտրում են կոնցենտրացիայի ժամանակից կախված այնպիսի գրաֆիկ, որի դեպքում փորձնական տվյալները տալիս են ուղիղ գիծ: Առաջին կարգի ռեակցիայի համար այդպիսի ֆունկցիա է lnc-ն: Երկրորդ և երրորդ կարգի ռեակցիաների համար բնորոշ ֆունկցիաներ են համապատասխանաբար 1/c-ն և $1/c^2$-ն:

գ) *Կիսափոխարկման ժամանակի* (τ) *որոշման եղանակ*: Հայտնի է, որ առաջին կարգի ռեակցիաների դեպքում ելանյութի քանակի կեսի փոխարկման ժամանակը կախված չէ սկզբնական կոնցենտրացիայից: Եթե τ պահին $c = c_0/2$, համաձայն (8.10) հավասարման՝

$$\tau = \frac{1}{k}\ln\frac{c_0}{c_0/2} = \frac{1}{k}\ln 2 = \frac{0.693}{k} \qquad (8.17)$$

Երկրորդ կարգի ռեակցիայի պարագայում կիսափոխարկման ժամանակը կախված է ելանյութի կոնցենտրացիայից՝

$$\tau = \frac{1}{k \cdot c_0} \tag{8.18}$$

Դիֆերենցիալ եղանակները հիմնված են ռեակցիայի արագության դիֆերենցիալ հավասարումների կիրառման վրա:

ա) *Հաշվարկային եղանակ*: Կարելի է օգտվել հետևյալ պարզեցված հավասարումից.

$$n = \frac{\ln(\Delta c / \Delta t)_1 - \ln(\Delta c / \Delta t)_2}{\ln c_{0(1)} - \ln c_{0(2)}} \tag{8.19}$$

որտեղ $(\Delta c/\Delta t)_1$-ը և $(\Delta c/\Delta t)_2$-ը $c_{0(1)}$ և $c_{0(2)}$ սկզբնական կոնցենտրացիաներով փորձերի կինետիկական տվյալներից միևնույն սկզբնական Δt ժամանակահատվածի համար հաշվարկված Δc_1 և Δc_2 արժեքներն են:

բ) *Գրաֆիկական եղանակ*: Այս եղանակը հիմնված է $v = kc^n$ հավասարման լոգարիթմական արտահայտության օգտագործման վրա.

$$\ln v = \ln k + n \ln c \tag{8.20}$$

Փորձնական տվյալների հիման վրա ստացված ժամանակից կոնցենտրացիայի կախվածության գրաֆիկից հաշվում են արագությունները, կառուցում նոր գրաֆիկ lnv – lnc կոորդինատներով և որոշում ստացված ուղղու թեքության անկյան տանգենսը:

Ռեակցիայի արագության կախումը ջերմաստիճանից առավել ճշգրիտ նկարագրվում է Արենիուսի հավասարումով.

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \tag{8.21}$$

որտեղ A-ն կոչվում է նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչ: Այն ունի նույն չափման միավորը, ինչ արագության հաստատունը: E_a-ն ակտիվացման էներգիան է:

(8.21) հավասարումը կարելի է ներկայացնել լոգարիթմական տեսքով՝

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \tag{8.22}$$

Ըստ այս հավասարման՝ արագության հաստատունի լոգարիթմի կախումը ջերմաստիճանի հակադարձ մեծությունից պետք է լինի ուղղագծային, որից և կարելի է որոշել ակտիվացման էներգիան՝ E = R tgα: Յուրաքանչյուր ռեակցիայի համար ակտիվացման էներգիան հաստատուն մեծություն է և պայմանավորում է ռեակցիայի արագ կամ դանդաղ ընթացքը:

Արենիուսի (8.22) հավասարման ինտեգրումը $T_1 - T_2$ սահմաններում տալիս է հետևյալ առնչությունը.

$$\ln \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right) \tag{8.23}$$

Նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչի ջերմաստիճանից անկախ լինելու պարագայում ակտիվացման էներգիան կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով՝ ունենալով արագության հաստատունի ջերմաստիճանային կախվածության տվյալներ.

$$E_a = RT^2 \frac{dlnK}{dT} \tag{8.24}$$

Բարդ ռեակցիաների պարագայում ակտիվացման էներգիան տարրական փուլերի ակտիվացման էներգիաներից կախված արդյունարար մեծություն է:

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՕՐԻՆԱԿՆԵՐ

Խնդիր 1. Կոբալտի ռադիոակտիվ իզոտոպներից մեկի կիսատրոհման պարբերաշրջանը 5.3 տարի է: Որոշել այդ ռեակցիայի արագության հաստատունը:

Լուծում: Ռադիոակտիվ իզոտոպների տրոհումը առաջին կարգի ռեակցիա է: Ըստ (8.17) հավասարման՝

$$k = \frac{\ln 2}{\tau} = \frac{0.963}{5.3} = 0.1308 \ \text{տարի}^{-1}$$

Պատ.՝ 0.1308 տարի$^{-1}$:

Խնդիր 2. Պոլոնիումի ռադիոակտիվ իզոտոպի ակտիվությունը 14 օրում նվազում է 6.85 %-ով: Որոշել քայքայման արագության հաստատունը, կիսատրոհման պարբերաշրջանը և այն ժամանակը, որի ընթացքում ելանյութը կքայքայվի 90 %–ով:

Լուծում: Ռադիոակտիվ իզոտոպների տրոհումը առաջին կարգի ռեակցիա է:

$$k = \frac{1}{t}\ln\frac{a_o}{a_o - x} = \frac{1}{14}\ln\frac{100}{100-6.85} = 0.005 \ \text{օր}^{-1}$$

$$\tau = \frac{1}{k}\ln 2 = \frac{0.693}{0.005} = 137 \ \text{օր}$$

$$t = \frac{1}{k}\ln\frac{a_o}{a_o - x} = \frac{1}{0.005}\ln\frac{100}{100-90} = 460 \ \text{օր}$$

Պատ.՝ 0.005 օր$^{-1}$, 138 օր, 460 օր:

Խնդիր 3. Գազային ֆազում ընթացող A = 2B ռեակցիան առաջին կարգի է: Ներկայացնել ընդհանուր ճնշման կախումը ժամանակից, եթե սկզբնական ճնշումը p_o է (B-ն բացակայում է): Որքա՞ն ժամանակ հետո ճնշումը սկզբնականի համեմատ կմեծանա

1.5 անգամ: Այդ պահին որքա՞ն կլինի ելանյութի փոխարկման աստիճանը:

Լուծում: Առաջին կարգի կինետիկական հավասարումը ճնշումներով արտահայտված ունի հետևյալ տեսքը.

$$kt = \ln\frac{p_0}{p_x}, \quad \text{որտեղից} \quad p_x = p_o e^{-kt}$$

Երբ $t \to \infty$, $p_\infty = 2p_o$, որտեղ p_x-ը A-ի ընթացիկ ճնշումն է, p_∞-ը՝ վերջնական ճնշումը համակարգում, երբ A-ն ամբողջությամբ է փոխարկվել B-ի:

Ընթացիկ ընդհանուր ճնշումը համակարգում՝ p, հավասար է՝

$$p = 2p_o - p_x = 2p_o - p_o e^{-kt} = p_o(2 - e^{-kt})$$

Ճնշումը համակարգում կմեծանա 1.5 անգամ, երբ՝

$$p = 1.5\,p_o, \quad 1.5\,p_o = p_o(2 - e^{-kt}), \quad e^{-kt} = 0.5, \quad e^{kt} = 2, \quad t = \ln 2/k$$

A-ի փոխարկման աստիճանը (α) կարելի է որոշել այսպես.

$p_x = p - p_o = 1.5p_o - p_o = 0.5p_o$, այսինքն, $\alpha = 0.5$ (50 %)

Պատ.՝ $p = p_o(2 - \exp(-kt))$, $t = \ln2/k$, $\alpha = 50$ %:

Խնդիր 4. $2N_2O_{5(գ)} = 4NO_{2(գ)} + O_{2(գ)}$ առաջին կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 25 °C-ում 3.38×10^{-5} վ$^{-1}$ է: Ինչի՞ է հավասար N_2O_5-ի կիսափոխարկման ժամանակը: Որքա՞ն կլինի ճնշումը համակարգում՝ ա) 10 վ, բ) 10 ր հետո, եթե սկզբնական ճնշումը եղել է 500 տոր:

Լուծում: Ազոտի(V) օքսիդի կիսափոխարկման ժամանակը հավասար է՝

$$\tau = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{3.38\times10^{-5}} = 0.205\times10^{5}\ \text{վ} = 5.7\ \text{ժ}$$

Նշված օքսիդի ընթացիկ ճնշումը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$p = p_o e^{-kt}$$

ա) 10 վ հետո այդ օքսիդի ճնշումը եղել է՝

p = 500 exp(–3.38×10^{-5}×10)= 500×0.99966 = 499.83 տոր

Սկզբնականի համեմատ ելանյութի ճնշման նվազումը կազմել է 500 – 499.83 = 0.17 տոր: Սակայն ընդհանուր ճնշումը համակարգում մեծանում է, քանի որ 2 ծավալ գազից գոյանում է 5 ծավալ գազ: Ավելացումը տվյալ պահին կազմել է 0.17(3/2), այսինքն՝ ընդհանուր ճնշումը համակարգում դարձել է 500 + 0.17(3/2) = 500.3 տոր:

բ) Նույն ձևով որոշվում է ճնշումը 10 ր (600 վ) անց:

p = 500 exp(–3.38×10^{-5}×600) = 500×0.9799 = 489.96 տոր

500–489.96 = 10.04 տոր, 500+10.04 (3/2) = 515 տոր:

Պատ.՝ 5.7 ժ, ա) 500.3 տոր, բ) 515 տոր:

Խնդիր 5. A + B = P երկրորդ կարգի ռեակցիան իրականացվում է լուծույթում՝ $[A]_o = 0.05$ մոլ լ$^{-1}$ և $[B]_o = 0.08$ մոլ լ$^{-1}$ սկզբնական կոնցենտրացիաներով: 1 ժ հետո A-ի կոնցենտրացիան փոքրացել է մինչև 0.02 մոլ լ$^{-1}$: Հաշվել արագության հաստատունը և ելանյութերի կիսափոխարկման ժամանակները:

Լուծում: Հաշվենք ռեակցիայի արագության հաստատունը՝ ըստ (8.15) հավասարման.

$$k = \frac{1}{t(a_0 - b_0)} \ln \frac{b_0(a_0 - x)}{a_0(b_0 - x)}$$

$$k = \frac{1}{1(0.05 - 0.08)} \ln \frac{0.08(0.05 - 0.03)}{0.05(0.08 - 0.03)} = \frac{1}{-0.03} \ln \frac{1.6 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-3}}$$

$$= 14.88 \text{ լ մոլ}^{-1}\text{ժ}^{-1} = 0.248 \text{ լմոլ}^{-1}\text{ր}^{-1}$$

Ելանյութերի կիսափոխարկման ժամանակները որոշվում են հետևյալ բանաձևով.

$$\tau(A)=\frac{1}{k(a-b)}\ln\frac{b(a-0.5a)}{a(b-0.5a)}=\frac{1}{0.248\times(-0.03)}\ln\frac{0.08\times0.5\times0.05}{0.05\times0.055}=$$

$$=\frac{1}{-7.44\times10^{-3}}\ln\frac{2\times10^{-3}}{2.75\times10^{-3}}=42.8 \text{ րոպե}$$

$$\tau(B)=\frac{1}{0.248(0.05-0.08)}\ln\frac{0.08(0.05-0.5\times0.08)}{0.05(0.08-0.5\times0.08)}=$$

$$=\frac{1}{-7.44\times10^{-3}}\ln\frac{8\times10^{-4}}{2\times10^{-3}}=123 \text{ րոպե}$$

Պատ.՝ 0.248 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$, τ(A)= 42.8 ր, τ(B)=123 ր:

Խնդիր 6. Աղաթթվի առկայությամբ եղեգնաշաքարի ինվերսիայի հետազոտման ժամանակ ստացվել են հետևյալ արդյունքները.

Ժամանակ, վ	0	3113	9231	18520	32640	∞
Պտտման անկյուն, α	11.20	8.87	5.19	1.60	-1.10	-3.37

Որոշել ռեակցիայի կարգը և արագության հաստատունը:

Լուծում: Ներկայացնենք եղեգնաշաքարի հիդրոլիզի քիմիական հավասարումը.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_{6(\text{գլ})} + C_6H_{12}O_{6(\text{ֆր})}$$

Հայտնի է, որ նշված երկշաքարի լուծույթը բևեռացված լույսի հարթությունը պտտում է աջ, իսկ գլյուկոզի և ֆրուկտոզի խառնուրդը՝ ձախ: Քանի որ պտտման անկյունները համարժեք են նյութերի կոնցենտրացիաներին, կինետիկական հավասարումներում վերջիններիս փոխարեն կարելի է տեղադրել հենց անկյունները:

Նշանակենք պտտման անկյունը սկզբում՝ α_0, վերջում՝ α_∞, իսկ ժամանակի t ընթացիկ պահին՝ α_t: Հետևաբար եղեգնաշաքարի սկզբնական կոնցենտրացիան (c_o) համարժեք կլինի ($\alpha_0 - \alpha_\infty$), իսկ ընթացիկ (c_t) կոնցենտրացիան՝ ($\alpha_t - \alpha_\infty$) արժեքին:

Ռեակցիայի կարգի որոշման համար ժամանակի մի քանի պահերի տվյալները նախ տեղադրենք առաջին կարգի կինետիկական հավասարման մեջ:

$$k = \frac{1}{t}\ln\frac{\alpha_o - \alpha_\infty}{\alpha_t - \alpha_\infty}$$

$$k_1 = \frac{1}{3113}\ln\frac{11.20-(-3.37)}{8.87-(-3.37)} = 5.60\times10^{-5}\ \text{վ}^{-1}$$

$$k_2 = \frac{1}{9231}\ln\frac{11.20-(-3.37)}{5.19-(-3.37)} = 5.76\times10^{-5}\ \text{վ}^{-1}$$

$$k_3 = \frac{1}{32640}\ln\frac{11.20-(-3.37)}{-1.10-(-3.37)} = 5.70\times10^{-5}\ \text{վ}^{-1}$$

Փորձի սխալի սահմաններում k-ի արժեքները կարելի է համարել նույնը, այսինքն՝ ռեակցիան առաջին կարգի է: Արագության հաստատունի միջին արժեքը կլինի՝ $(k_1 + k_2 + k_3)/3 = 5.69\times10^{-5}$ վ$^{-1}$: Եթե նշված տվյալներով կառուցվի գրաֆիկ, ապա արագության հաստատունի համար կարող է ստացվել ավելի ճշգրիտ արժեք՝ 5.64×10^{-5} վ$^{-1}$: Օգտագործելով երկրորդ կարգի կինետիկական հավասարումը՝ կարելի է համոզվել, որ ներկայացված փորձնական տվյալները չեն համապատասխանում երկրորդ կարգի ռեակցիայի օրինաչափությանը:

Պատ.՝ առաջին, 5.69×10^{-5} վ$^{-1}$:

Խնդիր 7. Մի ինչ-որ նյութի փոխարկումը 2-րդ կարգի ռեակցիա է՝ 23.1 կՋ/մոլ ակտիվացման էներգիայով: Այդ ռեակցիան 300 Կ-ում ընթանում է ժամում 95 % փոխարկում արագությամբ:

Որոշել այն ջերմաստիճանը, որի ընթացքում դա կփոխարկվի րոպեում 77.5 % արագությամբ:

Լուծում: Գտնենք ռեակցիայի արագության հաստատունի արժեքները 300 Կ և T2 ջերմաստիճաններում:

$$k_1(300) = \frac{1}{t} \times \frac{x}{a_o(a_o - x)} = \frac{1}{60} \times \frac{95}{100(100-95)} = 3.167 \times 10^{-3} \text{ ր}^{-1}$$

$$k_2(T_2) = \frac{1}{1} \times \frac{77.5}{100(100-77.5)} = 3.444 \times 10^{-2} \text{ ր}^{-1}$$

Օգտվենք (8.23) հավասարումից և որոշենք T2 ջերմաստիճանը:

$$\frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2} = \frac{R}{E} \ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{8.314}{23100} \ln\frac{3.444 \times 10^{-2}}{3.167 \times 10^{-3}} = 8.59 \times 10^{-4}$$

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{300} - 8.59 \cdot 10^{-4} = 2.474 \cdot 10^{-3} \qquad T_2 = 404 \text{ Կ}$$

Պատ.՝ 404 Կ:

Խնդիր 8. Առաջին կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 393 Կ-ում 4.02×10^{-4} վ$^{-1}$ է, իսկ 413 Կ-ում՝ 1.98×10^{-3} վ$^{-1}$: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը:

Լուծում: Բերված տվյալների միջոցով նախ պետք է որոշել ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան (E_a), ապա՝ Արենիուսի հավասարման նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը (A):

$$k_1 = A \cdot e^{-\frac{Ea}{RT_1}} \qquad k_2 = A \cdot e^{-\frac{Ea}{RT_2}}$$

$$E_a = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} \ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{8.314 \times 393 \times 413}{413 - 393} \ln\frac{1.98 \times 10^{-3}}{4.02 \times 10^{-4}} = 107.6 \text{ կՋ/մոլ}$$

$$A = k_1/\exp\left(-\frac{E_a}{RT_1}\right) = 4.02\times10^{-4}/\exp\left(-\frac{107600}{8.314\times393}\right) = 8.0\times10^{10}\ \text{վ}^{-1}$$

Պատ.՝ 8.0×10^{10} վ$^{-1}$:

Խնդիր 9. Ֆոսֆինի քայքայման ռեակցիայի՝ $4PH_3 = P_4 + 6H_2$, արագության հաստատունի կախումը ջերմաստիճանից արտահայտվում է հետևյալ հավասարումով.

$$\lg k = -\frac{18963}{T} + 2\lg T + 12.13$$

Հաշվել այդ ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան 800 Կ-ում:

Լուծում: Պետք է օգտվել (8.23) հավասարումից՝ նախապես գտնելով նշված արտահայտության ածանցյալը:

$$E_a = RT^2\frac{d\ln k}{dT}, \qquad \frac{d\ln k}{dT} = 2.3\frac{d\lg k}{dT} = 2.3\left(\frac{18963}{T^2} + \frac{2}{2.3T}\right)$$

$$E_a = 8.314\times800^2\left(\frac{18963}{800^2} + \frac{2}{2.3\times800}\right) = 163.4\ \text{կՋ/մոլ}$$

Պատ.՝ 163.4 կՋ/մոլ:

ԽՆԴԻՐՆԵՐ

8-1. Առաջին կարգի ռեակցիան 7 րոպեում ընթացել է 30 %-ով: Որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի, որպեսզի այն ընթանա 99 %-ով:

8-2. Ինչի՞ է հավասար հետևյալ տարրական ռեակցիաներից յուրաքանչյուրի ընդհանուր կարգը. ա) $Cl + H_2 \rightarrow HCl + H$, բ) $2NO + Cl_2 \rightarrow 2NOCl$:

8-3. Առաջին կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 2.06×10^{-3} $ր^{-1}$ է: Որոշել, թե 25 րոպեի ընթացքում ելանյութի ո՞ր մասը (%) կքայքայվի, և որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի 95 %-ի քայքայման համար:

8-4. Առաջին կարգի ռեակցիան 35 րոպեում ընթանում է 30 %–ով: Որքա՞ն կլինի ռեակցիայի արագությունը (մոլ $լ^{-1}$ $ժ^{-1}$), եթե ելանյութի կոնցենտրացիան լինի 0.01 մոլ/լ:

8-5. Որոշել բարդ ռեակցիայի ընդհանուր կարգը (n), եթե արագության հաստատունի չափումը $լ^{1/2}$ $մոլ^{-1/2}$ $վ^{-1}$ է:

8-6. Որոշել $2CO_{(գ)} = CO_{2(գ)} + C_{(պ)}$ ռեակցիայի կարգը, եթե 30 րոպեի ընթացքում CO-ի ճնշումը մի փորձում նվազել է 786.6-ից մինչև 693, մյուս փորձում՝ 535.3-ից մինչև 468.1 մմ ս.ս.:

8-7. 0.24 մոլ/լ կոնցենտրացիայով մեկ ելանյութի մասնակցությամբ երկրորդ կարգի ռեակցիան 92 րոպեում իրականանում է 75 %-ով: Որքա՞ն ժամանակ կպահանջվի, որպեսզի այդ նույն պայմաններում ելանյութի կոնցենտրացիան նվազի և դառնա 0.16 մոլ/լ:

8-8. Երկրորդ կարգի ռեակցիայի արագությունը ելանյութերի 1.5×10^{-2} և 2.5×10^{-1} մոլ/լ կոնցենտրացիաների պարագայում 4.5×10^{-7} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$ է: Հաշվել արագության հաստատունը $սմ^3$ $մոլ^{-1}$ $վ^{-1}$ միավորով:

8-9. $A + B = C$ ռեակցիան երկրորդ կարգի է: Ելանյութերի սկզբնական կոնցենտրացիաների հավասարության պարագայում ռեակցիան ընթանում է 500 վ-ում 20 %-ով: Ի՞նչ ժամանակահատվածում այն կընթանա 60 %-ով:

8-10. 333 Կ-ում բենզոիլպերօքսիդի փոխարկումը դիֆենիլեթերի (առաջին կարգի ռեակցիա) իրականացվել է 75.2 %-ով 10 րոպեի ընթացքում: Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունը:

8-11. Առաջին կարգի ռեակցիայի կիսափոխարկման ժամանակաշրջանը 378.5 Կ-ում 363 ր է, իսկ ակտիվացման էներգիան՝ 52000 կալ/մոլ: Որոշել այն ժամանակը, որի ընթացքում ելանյութը 402 Կ-ում կքայքայվի 75 %–ով:

8-12. $A + B \rightarrow D$ երկրորդ կարգի ռեակցիայում A և B նյութերի ելային կոնցենտրացիաները հավասար են համապատասխանաբար 2.0 մոլ/լ և 3.0 մոլ/լ: Երբ [A]-ն դառնում է 1.5 մոլ/լ, ռեակցիայի արագությունը հավասար է 1.2×10^{-3} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$: Հաշվել արագության հաստատունը և ռեակցիայի արագությունն այն պահին, երբ [B] = 1.5 մոլ/լ:

8-13. Ավելցուկով թթվածնի պարագայում ցիկլոհեքսանի այրման ռեակցիայում մի ինչ-որ պահի ռեակցիայի արագությունը 0.350 մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$ է: Որքա՞ն են ածխածնի(IV) օքսիդի գոյացման և թթվածնի ծախսման արագություններն այդ նույն պահին:

8-14. $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ քայքայման ռեակցիան երկրորդ կարգի է՝ $k = 5.95\times10^{-6}$ լ $մոլ^{-1}$ $վ^{-1}$ արագության հաստատունով: Հաշվել ռեակցիայի արագությունը յոդաջրածնի 1 բար ճնշման պայմանում:

8-15. $A + B \rightarrow D$ երկրորդ կարգի ռեակցիայի արագությունը A և B նյութերի համապատասխանաբար 3.0×10^{-3} և 2.0 մոլ/լ կոնցենտրացիաների պարագայում հավասար է 2.7×10^{-7} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$: Հաշվել արագության հաստատունը:

8-16. Կալիումի պերմանգանատով երկաթի(II) սուլֆատի օքսիդացումը ներկայացվում է հետևյալ իոնական հավասարումով՝

$$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ = 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O:$$

Ժամանակի մի ինչ-որ պահի Mn^{2+} իոնի գոյացման արագությունը կազմել է 0.213 մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$: Որքա՞ն են Fe^{3+}-ի գոյացման և H^+-ի ծախսման արագություններն այդ նույն պահին:

8-17. Վանտ-Հոֆի կանոնով հաշվել, թե ո՞ր ջերմաստիճանում ռեակցիան գործնականում կավարտվի 15 րոպեում, եթե 293

Կ-ում դրա համար պահանջվում է 2 ժ: Ռեակցիայի արագության ջերմաստիճանային գործակիցը՝ $\gamma = 3$:

8-18. Յոդաջրածնի քայքայման ակտիվացման էներգիան 44000 կալ/մոլ է: Որոշել այն մոլեկուլների բաժինը, որոնք կունենան անհրաժեշտ էներգիա քայքայվելու՝ ա) 400 Կ, բ) 500 Կ ջերմաստիճանում:

8-19. Որոշել այն ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան, որի արագությունը կրկնապատկվում է ջերմաստիճանը 295-ից 305 Կ բարձրացնելիս:

8-20. Էթանի ջերմային քայքայման ռեակցիան առաջին կարգի է: Դրա արագության հաստատունը 823 Կ-ում 2.5×10^5, իսկ 903 Կ-ում՝ 141.5×10^5 $վ^{-1}$ է: Հաշվել ռեակցիայի կիսաքայքայման ժամանակը 873 Կ-ում:

8-21. Առաջին կարգի ռեակցիայում ելանյութի կիսափոխարկման ժամանակաշրջանը 323 Կ-ում 100 ր է, իսկ 353 Կ-ում՝ 15 ր: Հաշվել ռեակցիայի արագության ջերմաստիճանային գործակիցը:

8-22. Մի ինչ-որ ռեակցիայի արագության հաստատունները 298 և 323 Կ ջերմաստիճաններում համապատասխանաբար հավասար են 0.0093 և 0.0806 $ր^{-1}$: Որոշել ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան:

8-23. Նույն կարգի երկու ռեակցիա ունեն միևնույն նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը, սակայն տարբեր ակտիվացման էներգիաներ, ընդ որում՝ $E_2 - E_1 = 83.196$ կՋ/մոլ: Հաշվել արագության հաստատունների՝ k_1/k_2, հարաբերությունը 434 Կ ջերմաստիճանում:

* * *

8-24. ^{14}C ռադիոակտիվ իզոտոպի կիսատրոհման պարբերաշրջանը 5730 տարի է: Հնէաբանական պեղումների ժամանակ հայտնաբերվել է փայտ, որում նշված իզոտոպի պարունակությունը սկզբնականի համեմատ եղել է 72 %: Որքա՞ն է փայտի տարիքը:

8-25. Երկրորդ կարգի $A + B = C + D$ ռեակցիան իրականացվել է լուծույթում ելանյութերի հետևյալ սկզբնական կոնցենտրացիաներով՝ $[A]_0 = 0.06$ մոլ լ$^{-1}$, $[B]_0 = 0.08$ մոլ լ$^{-1}$: 60 ր անց A նյութի կոնցենտրացիան նվազել է մինչև 0.025 մոլ լ$^{-1}$: Հաշվել արագության հաստատունը և ելանյութերի կիսափոխարկման ժամանակները:

8-26. Նատրիում-24-ի քլորիդը օգտագործում են կենդանի օրգանիզմներում նատրիումի հաշվեկշիռն ուսումնասիրելու համար: Նմուշը պարունակում է 0.050 մգ նատրիում-24 ռադիոակտիվ իզոտոպ: 24.9 ժ հետո նշված իզոտոպի պարունակությունը նվազել է մինչև 0.016 մգ: Հաշվել նատրիում-24-ի կիսատրոհման պարբերաշրջանը:

8-27. Ինչ-որ հորմոնի հիդրոլիզն առաջին կարգի ռեակցիա է՝ 0.125 տարի$^{-1}$ արագության հաստատունով: Որքա՞ն կդառնա 0.0100 Մ լուծույթի կոնցենտրացիան 1 ամիս հետո: Հաշվել հորմոնի կիսափոխարկման ժամանակը:

8-28. Ոսկու մակերևույթի վրա յոդաջրածնի քայքայումը՝ $HI_{(գ)} = 1/2H_{2(գ)} + 1/2I_{2(գ)}$, զրոյական կարգի ռեակցիա է: 1.00 վ ընթացքում յոդաջրածնի կոնցենտրացիան փոքրացել է 0.335 Մ-ից մինչև 0.285 Մ: Հաշվել արագության հաստատունը և կիսափոխարկման ժամանակաշրջանը յոդաջրածնի 0.400 Մ կոնցենտրացիայի պարագայում:

8-29. $CH_3CH_2NO_2 + OH^- = CH_3CHNO_2^- + H_2O$ ռեակցիան 2-րդ կարգի է և 0 ^oC-ում $k = 39.1$ լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$: Պատրաստվել է լուծույթ, որը պարունակում է 0.004 Մ նիտրոէթան և 0.005 Մ նատրիումի հիդրօքսիդ: Ի՞նչ ժամանակահատվածում կփոխազդի նիտրոէթանի 90%-ը:

8-30. Որոշակի ջերմաստիճանում էթիլացետատի 0.01 Մ լուծույթը NaOH-ի 0.002 Մ լուծույթով օճառացվում է 10 %-ով 23 րոպեի ընթացքում: Քանի՞ րոպե կպահանջվի, որպեսզի էսթերն օճառացվի նույն չափով, սակայն KOH-ի 0.005 Մ լուծույթով: Հաշվել, որ ռեակցիան երկրորդ կարգի է, իսկ ալկալիները դիսոցված են ամբողջությամբ:

8-31. Հետևյալ մեծություններից՝ ռեակցիայի արագություն /1/, ռեակցիայի կարգ /2/, ռեակցիայի մոլեկուլայնություն /3/, արագության հաստատուն /4/, քանակաչափական գործակից /5/, որո՞նք կարող են ընդունել՝ ա) բացասական, բ) կոտորակային արժեքներ:

8-32. $A \rightarrow B$ քիմիական ռեակցիայի արագության հաստատունի թվային արժեքն է՝ $k = 0.5$, իսկ սկզբնական կոնցենտրացիան՝ $[A]_0 = 1$ մոլ/լ: Հաշվել A նյութի փոխարկման աստիճանը 1 ժամ անց, եթե ռեակցիան ընթանա՝ ա) զրոյական, բ) առաջին, գ) երկրորդ կարգով:

8-33. Երկրորդ կարգի գազաֆազ ռեակցիայի արագության հաստատունը 25 ^oC-ում 1.0×10^{-3} լ մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է: Որքա՞ն կլինի այդ հաստատունը, եթե կինետիկական հավասարումն արտահայտված լինի ճնշման բար միավորի միջոցով:

8-34. Գազաֆազ ռեակցիայի արագությունը նկարագրվում է $v = k[A]^2[B]$ հավասարումով: Հաստատուն գումարային ճնշման պայմանում A և B նյութերի կոնցենտրացիաների ի՞նչ հարաբերակցության դեպքում ռեակցիայի արագությունը կլինի առավելագույնը:

8-35. Սպիրտային լուծույթում H_2O_2-ի քայքայումը առաջին կարգի ռեակցիա է: 40 ^oC ջերմաստիճանում և ջրածնի պերօքսիդի 0.156 Մ կոնցենտրացիայի պարագայում ռեակցիայի սկզբնական արագությունը 1.14×10^{-5} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է: Հաշվել արագության հաստատունը:

8-36. 2-բութենի և բրոմաջրածնի միջև ռեակցիայի արագությունը 100 °C-ում բութենի 0.15 և հալոգենաջրածնի 0.25 բար ճնշման պայմաններում հավասար է 4.0×10^{-11} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$: Հաշվել արագության հաստատունը նույն ջերմաստիճանում:

8-37. Նատրիումի հիդրօքսիդով էթիլացետատի օճառացման ռեակցիայի արագության հաստատունը 289 Կ-ում 2.38 լ $մոլ^{-1}$ $ր^{-1}$ է: Հաշվել էթիլացետատը 50 %-ով օճառացնելու համար պահանջվող ժամանակը, եթե նշված ջերմաստիճանում վերջինիս 1 $մ^3$ 0.05 Մ լուծույթը խառնվի 1 $մ^3$՝ ա) 0.04 Մ, բ) 0.05 Մ, գ) 0.1 Մ նատրիումի հիդրօքսիդի լուծույթի հետ:

8-38. A + B → 2D երկրորդ կարգի ռեակցիայում A և B նյութերի ելային կոնցենտրացիաները հավասար են 1.5-ական մոլ/լ: Երբ [A]-ն դառնում է 1.0 մոլ/լ, ռեակցիայի արագությունը 2.0×10^{-4} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$ է: Հաշվել արագության հաստատունը և ռեակցիայի արագությունը, երբ [B] = 0.2 մոլ/լ:

8-39. Գազ ֆազում, հաստատուն ծավալի պայմանում ընթացող A = B + C + D ռեակցիայում որոշված են ճնշումը սկզբնական (t=0) պահին՝ p_o, և ընդհանուր ճնշումը t ժամանակ անց՝ p: Արտահայտել արագության հաստատունը ընդհանուր ճնշման միջոցով՝ ընդունելով, որ ռեակցիան առաջին կարգի է:

8-40. Ջրի մեծ ավելցուկի պարագայում հետևյալ ռեակցիան ընթանում է առաջին կարգի օրինաչափությամբ.

$$CH_2ClCOOH + H_2O = CH_2(OH)COOH + HCl$$

Միևնույն ծավալով նմուշի՝ ալկալիով տիտրման արդյունքները բերված են ստորև.

t, րոպե	0	600	780	2070
Ալկալու ծավալը, մլ	12.9	15.8	16.4	20.5

Հաշվել արագության հաստատունը և այն ժամանակը, երբ բոլոր երեք թթուները լուծույթում կլինեն հավասար նյութաքանակներով:

8-41. Ֆենիլդիազոքլորիդը քայքայվում է հետևյալ կերպ.

$$C_6H_5N_2Cl = C_6H_5Cl + N_2$$

323 Կ-ում 10 գ/լ սկզբնական կոնցենտրացիայի պարագայում ստացվել են հետևյալ տվյալները.

Ժամանակ, ր	6	12	18	24	30	∞
Անջատված N_2, սմ^3	19.3	32.6	41.3	46.5	50.4	58.3

Բերված տվյալները մշակել դիֆերենցիալ և ինտեգրալ եղանակներով, որոշել ռեակցիայի կարգը և արագության հաստատունը:

8-42. Վոլֆրամի տաք լարի վրա ամոնիակի քայքայման ռեակցիան ընթացել է ըստ $2NH_3 = N_2 + 3H_2$ հավասարման, իսկ ճնշումը համակարգում մեծացել է հետևյալ կերպ.

Ժամանակ, վ	100	200	600	800	1000
Ճնշման մեծացում, Պա	1466.3	2945.9	8837.8	11717.0	14663.0

Տվյալներն արտահայտել գրաֆիկի տեսքով: Որոշել ռեակցիայի կարգը և արագության հաստատունը՝ ցույց տալով վերջինիս չափման միավորը:

8-43. Ջրածնի պերօքսիդը ջրային լուծույթում քայքայվում է ըստ $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$ հավասարման: Կինետիկային հետևել են միևնույն ծավալով նմուշը կալիումի պերմանգանատով տիտրելու միջոցով:

Ժամանակ, ր	0	5	10	15	20	30	40
$KMnO_4$-ի 0.0015 Մ լուծույթի ծավալը (սմ^3)՝ ծախսված 2×10^{-6} մ^3 ծավալով նմուշի տիտրման վրա	23.6	18.6	14.8	12.1	9.4	5.8	3.7

Որոշել ռեակցիայի կարգը տարբեր եղանակներով և հաշվել արագության հաստատունի միջին արժեքը:

8-44. 583 Կ-ում $AsH_{3(գ)}$-ն քայքայվում է՝ առաջացնելով $As_{(պ)}$ և $H_{2(գ)}$: Հաստատուն ծավալի և ջերմաստիճանի պայմաններում ճնշումը համակարգում փոխվում է այսպես.

t, ժ	0	5.6	6.5	8.0
$p \times 10^{-3}$, Պա	97.75	107.41	109.05	111.35

Ցույց տալ, որ նշված ռեակցիան առաջին կարգի է, և հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունը:

8-45. Էթիլենի և ջրածնի միջև երկրորդ կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 400 °C ջերմաստիճանում 0.391 սմ^3 մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է: Հաշվել ռեակցիայի արագությունն այդ ջերմաստիճանում, սակայն ջրածնի 15 և էթիլենի 5 բար ճնշման պայմաններում:

8-46. Սախարոզի ինվերսիայի՝ հիդրոլիզի հետազոտման ժամանակ ստացվել են հետևյալ տվյալները.

Ժամանակ, ր	0	30	90	130	180
$[C_{12}H_{22}O_{11}]$, Մ	0.500	0.451	0.363	0.315	0.267

Հաշվել՝ ա) ռեակցիայի սկզբնական արագությունը, բ) միջին արագությունը 90 ր ընթացքում, գ) միջին արագությունը 180 ր ընթացքում:

8-47. 746 Կ-ում քլորէթանի ջերմային քայքայման ռեակցիայի՝ $C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$, հետազոտման ժամանակ ստացվել են հետևյալ տվյալները.

Ժամանակ, ր	0	1	2	3	4	8	16
$[C_2H_5Cl]$,Մ	0.100	0.0975	0.0951	0.0928	0.0905	0.0819	0.0670

Հաշվել՝ ա) ռեակցիայի սկզբնական արագությունը, բ) ակնթարթային արագությունը 3-րդ րոպեին, գ) միջին արագությունը 0-16 րոպեի միջակայքում:

8-48. Եղեգնաշաքարը H^+ իոնների առկայությամբ հիդրոլիզվում է՝ ճեղքվելով երկու մոնոզի (գլյուկոզ և ֆրուկտոզ).

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_{6(\text{գլ})} + C_6H_{12}O_{6(\text{ֆր})}$$

Եղեգնաշաքարի լուծույթը լույսի բևեռացման հարթությունը պտտում է աջ, իսկ գլյուկոզի և ֆրուկտոզի խառնուրդը՝ ձախ: Երկու դեպքում էլ պտտման անկյունը համեմատական է լուծված նյութերի կոնցենտրացիային: 298 Կ-ում HCl-ի 0.5 Մ լուծույթում և ջրի մեծ ավելցուկի պարագայում եղեգնաշաքարի լուծույթի բևեռացման հարթության α անկյան փոփոխությունը t ժամանակից կախված՝ եղել է.

t, ր	0	176	∞
α, աստիճան	25.16	5.46	– 8.38

Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունը և շաքարի այն քանակությունը (%), որը կենթարկվի ինվերսիայի 236 րոպեի ընթացքում: Որոշել պտտման անկյունը t = 236 ր պահին:

8-49. $CH_3COCH_{3(\text{գ})} = C_2H_{4(\text{գ})} + H_{2(\text{գ})} + CO_{(\text{գ})}$ ռեակցիայի ընթացքում ընդհանուր ճնշումը փոխվում է հետևյալ կերպ.

t, ր	0	6.5	13.0	19.9
p, կՊա	41.4896	54.3866	65.0504	74.9146

Ցույց տալ, որ ռեակցիան առաջին կարգի է և հաշվել արագության հաստատունի միջին արժեքը փորձի ջերմաստիճանում՝ 298 Կ (V=const):

8-50. Առաջին կարգի ռեակցիան 70 ^{o}C ջերմաստիճանում 60 րոպեում ընթանում է 40 %-ով: Ո՞ր ջերմաստիճանում ռեակցիան կընթանա 80 %-ով 120 րոպեում, եթե ակտիվացման էներգիան 60 կՋ մոլ$^{-1}$ է:

8-51. N_2O_5-ի ջերմային քայքայման ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան 103.5 կՋ մոլ$^{-1}$ է, իսկ Արենիուսի հավասարման նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը՝ $4.6{\times}10^{13}$ վ$^{-1}$: Հաշվել՝ ա) ելանյութի կիսափոխարկման ժամանակը -10 ^{o}C-ում, բ) ռեակցիայի՝ 90 %-ով ընթանալու անհրաժեշտ ժամաքանակը 50 ^{o}C-ում:

8-52. Որքա՞ն պետք է լինի ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան, որպեսզի արագությունը մեծանա 3 անգամ ջերմաստիճանը 10 ^{o}C-ով բարձրացնելիս՝ ա) 300 Կ –ում, բ) 1000 Կ-ում:

8-53. Առաջին կարգի ռեակցիան ունի 25 կկալ մոլ$^{-1}$ ակտիվացման էներգիա և 5×10^{13} վ$^{-1}$ նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչ: Ո՞ր ջերմաստիճանում ռեակցիայի կիսափոխարկման ժամանակը կլինի՝ ա) 1 ր, բ) 30 օր:

8-54. Անդարձելի առաջին կարգի ռեակցիայում 125 ^{o}C-ում 20 րոպե անց ելանյութի փոխարկման աստիճանը եղել է 60 %, իսկ 145 ^{o}C-ում նույնքան փոխարկման աստիճան արձանագրվել է 5.5 րոպեում: Գտնել ռեակցիայի արագության հաստատունները նշված ջերմաստիճաններում, ինչպես նաև ակտիվացման էներգիան:

8-55. Առաջին կարգի ռեակցիան 25 ^{o}C ջերմաստիճանում իրականանում է 30 %-ով 30 րոպեի ընթացքում: Ո՞ր ջերմաստիճանում ռեակցիան կիրագործվի 60 %-ով 40 րոպեում, եթե ակտիվացման էներգիան 30 կՋ մոլ$^{-1}$ է:

8-56. $H_2 + I_2 = 2HI$ ռեակցիայի արագության հաստատունը 683 Կ-ում հավասար է 0.0659 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$, իսկ 716 Կ-ում՝ 0.375 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$: Գտնել ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան և արագության հաստատունը 700 Կ-ում:

8-57. Եռքլորացետատ-իոնը ջրածնի կատիոն պարունակող իոնացնող լուծույթներում քայքայվում է ըստ հետևյալ հավասարման.

$$CCl_3COO^- + H^+ = CO_2 + CHCl_3$$

Արագություն պայմանավորող փուլը C–C կապի միամոլեկուլային ճեղքումն է եռքլորացետատ-իոնում: Ռեակցիան ընթանում է առաջին կարգով, և արագության հաստատուններն ունեն հետևյալ արժեքները՝ 3.11×10^{-4} վ$^{-1}$ 90 ^{o}C-ում և 7.62×10^{-5} վ$^{-1}$ 80 ^{o}C-ում: Հաշվել՝ ա) ակտիվացման էներգիան, բ) արագության հաստատունը 60 °C-ում:

8-58. ԴՆԹ կրկնակի պարույրի պտտումը առաջին կարգի ռեակցիա է՝ 420 կՋ մոլ$^{-1}$ ակտիվացման էներգիայով: 37 °C-ում արագության հաստատունը 4.90×10^{-4} ր$^{-1}$ է: Հաշվել ԴՆԹ-ի կիսափոխարկման ժամանակը 37 և 40 °C-ում:

8-59. $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ ռեակցիայի արագության հաստատունը 298.2 Կ ջերմաստիճանում 0.765 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$ է, իսկ 328.2 Կ-ում՝ 35.5 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$: Գտնել ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան և արագության հաստատունը 313.2 Կ-ում:

8-60. Ելանյութերի հավասար կոնցենտրացիաների պարագայում ռեակցիայի արագությունը 303 Կ-ում կրկնակի ավելի մեծ է, քան 293 Կ-ում: Հաշվել dlnk/dT արժեքը 300 Կ-ում:

8-61. Նույն կարգի երկու ռեակցիայի ակտիվացման էներգիաների տարբերությունը՝ $(E_2 - E_1) = 40$ կՋ մոլ$^{-1}$ է: 293 Կ ջերմաստիճանում արագության հաստատունների հարաբերությունը հավասար է՝ $k_1/k_2=2$: Ո՞ր ջերմաստիճանում կհավասարվեն արագության հաստատունները:

8-62. $A \rightarrow B + C$ գազաֆազ ռեակցիան առաջին կարգի է: Հայտնի է, որ համակարգի սկզբնական ճնշումը՝ $P_0 = 150$ մթն, իսկ 4 րոպե անց համակարգի ընդհանուր ճնշումը դարձել է 180 մթն: Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունը:

8-63. Նույն կարգի երկու տարբեր ռեակցիաների ակտիվացման էներգիաների տարբերությունը՝ $(E_2\text{-}E_1) = 40$ կՋ/մոլ է: 293 Կ ջերմաստիճանում այդ ռեակցիաների արագության հաստատունների հարաբերությունը (k_1/k_2) հավասար է 3-ի: Ո՞ր ջերմաստիճանում կհավասարվեն արագության հաստատունները:

8-64. Առաջին կարգի ռեակցիան 60 ^{0}C ջերմաստիճանում և 50 րոպեում ընթանում է 40 %-ով: Ո՞ր ջերմաստիճանում ռեակցիան կընթանա 80 %-ով 100 րոպեում, եթե ակտիվացման էներգիան 58 կՋ/մոլ է:

8-65. $2N_2O_{5(գ)} = 4NO_{2(գ)} + O_{2(գ)}$ գազաֆազ ռեակցիան առաջին կարգի է: Այդ ռեակցիայի կիսաքայքայման պարբերաշրջանը հավասար է 2.05×10^4 վ: Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունը: Որքա՞ն կլինի ճնշումը համակարգում 15 րոպե հետո, եթե համակարգի սկզբնական ճնշումը եղել է 400 մթն:

8-66. Առաջին կարգի ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան 104.6 կՋ/մոլ է, իսկ նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը՝ 5×10^{13} $վ^{-1}$: Ո՞ր ջերմաստիճանում այդ ռեակցիայի կիսափոխարկման ժամանակը հավասար կլինի 1 րոպեի:

8-67. Առաջին կարգի ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան 35 կՋ/մոլ է, իսկ նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը՝ 4.6×10^{13} $վ^{-1}$: Ո՞ր ջերմաստիճանում տվյալ ռեակցիայի կիսափոխարկման ժամանակը հավասար կլինի 15 օրվա:

8-68. CH_3Cl-ի հիդրոլիզի արագության հաստատունը 25 ^0C ջերմաստիճանում հավասար է 3.32×10^{-10} $վ^{-1}$, իսկ 40 ^0C ջերմաստիճանում՝ 3.13×10^{-9} $վ^{-1}$: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը և ակտիվացման էներգիան:

8-69. Դիտրետբութիլ պերօքսիդի քայքայման գազաֆազ ռեակցիան առաջին կարգի է:

$$(CH_3)_3COOC(CH_3)_3 \rightarrow 2(CH_3)_2CO + C_2H_6$$

Հայտնի է, որ համակարգի սկզբնական ճնշումը $P_0 = 250$ մթն է, իսկ 10 րոպե անց համակարգի ընդհանուր ճնշումը դարձել է 293 մթն: Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունը:

8-70. $CH_3COOCH_3 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + CH_3OH$ ռեակցիան երկրորդ կարգի է: 10 րոպե անց էսթերն օճառացվել է 20 %-ով: Քանի՞ րոպե կպահանջվի, որպեսզի էսթերն օճառացվի 50 %-

ով, եթե էսթերի և հիմքի սկզբնական կոնցենտրացիաները միմյանց հավասար են:

8-71. 600 Կ ջերմաստիճանում միացության քայքայման արագության հաստատունը հավասար է 3.72×10^{-5} վրկ$^{-1}$:

ա) Հաշվել ռեակցիայի կիսափոխարկման ժամանակը:

բ) Ի՞նչ մասնաբաժին կմնա չքայքայված, եթե միացությունը տաքացվի 600 Կ ջերմաստիճանում 3 ժամ:

8-72. $H^+ + OH^- = H_2O$ ռեակցիայի արագության հաստատունը հավասար է 1.3×10^{11} դմ^3 մոլ$^{-1}$ վրկ$^{-1}$: Հաշվել չեզոքացման ռեակցիայի կիսափոխարկման ժամանակը, եթե ելային քանակները եղել են՝

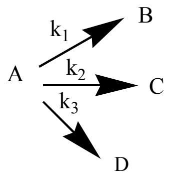
ա) $[H^+] = [OH^-] = 10^{-1}$ Մ

բ) $[H^+] = [OH^-] = 10^{-4}$ Մ

8-73. $2NO_{(գ)} + Cl_{2(գ)} = 2NOCl_{(գ)}$ ռեակցիան երկրորդ կարգի է՝ ըստ NO-ի, և առաջին կարգի՝ ըստ Cl_2–ի: 2 դմ^3 ծավալում փոխազդում են 5 մոլ NO-ն և 2 մոլ Cl_2-ը, իսկ սկզբնական արագությունը եղել է 2.4×10^{-3} մոլ դմ$^{-3}$ վրկ$^{-1}$: Ինչի՞ հավասար կլինի ռեակցիայի արագությունն այն պահին, երբ փոխազդի քլորի 50 %-ը:

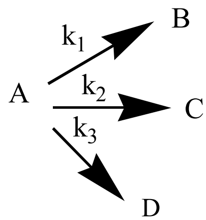
8-74. $O_3 + NO = NO_2 + O_2$ երկրորդ կարգի ռեակցիան ընթանում է 200 Կ ջերմաստիճանում: Այդ ռեակցիայի նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը 7.94×10^8 լ մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է, իսկ ակտիվացման էներգիան՝ 10.5 կՋ/մոլ: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 200 Կ-ում ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան և ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-75. A նյութի քայքայման ռեակցիան կարող է ընթանալ զուգահեռ երեք ուղղություններով.



Ռեակցիան սկսվելու պահից 10 րոպե անց վերջնանյութերի կոնցենտրացիաները խառնուրդում կազմել են՝ [B] = 1.6 մոլ/լ, [C] = 3.6 մոլ/լ, [D] = 7.8 մոլ/լ: Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունները՝ k_1, k_2 և k_3, եթե A նյութի կիսափոխարկման ժամանակաշրջանը 8 րոպե է:

8-76. A նյութի քայքայման ռեակցիան կարող է ընթանալ զուգահեռ երեք ուղղություններով.



Ռեակցիան սկսվելու պահից 5 րոպե անց վերջնանյութերի կոնցենտրացիաները խառնուրդում կազմել են՝ [B] = 3.2 մոլ/լ, [C] = 1.8 մոլ/լ, [D] = 4 մոլ/լ: Հաշվել ռեակցիայի արագության հաստատունները՝ k_1, k_2 և k_3 , եթե A նյութի կիսափոխարկման ժամանակը 10 րոպե է :

8-77. $H_2 + Cl^{\cdot} = HCl + H^{\cdot}$ երկրորդ կարգի գազաֆազ ռեակցիայի կինետիկայի ուսումնասիրման ժամանակ ակտիվացման էներգիան գնահատվել է 23 կՋ/մոլ, իսկ նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը՝ 9.5×10^{13} մոլ$^{-1}$ սմ^3 վ$^{-1}$: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 300 Կ ջերմաստիճանում ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան և ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-78. Առաջին կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 25 ^{0}C ջերմաստիճանում 7.4×10^{-9} վ$^{-1}$ է, իսկ ակտիվացման էներգիան՝ 112 կՋ/մոլ: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 25 ^{0}C-ում նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը, ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան և ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-79. Ցածր ճնշման տակ գազ ֆազում ընթացող օզոնի քայքայման ռեակցիայի ուսումնասիրման ժամանակ գնահատված նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը 4.6×10^{12} լ մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է, իսկ ակտիվացման էներգիան կազմել է 10 կՋ/մոլ: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 25 ^{0}C ջերմաստիճանում ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան և ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-80. Լուծույթում ընթացող երկրորդ կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 5.7×10^{-5} դմ^3 մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է 25 ^{0}C ջերմաստիճանում և 1.64×10^{-4} դմ^3 մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$՝ 40 ^{0}C-ում: Հաշվել այդ ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան և նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը: Հաշվել նաև 25 ^{0}C ջերմաստիճանում ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան և ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-81. Ինչ-որ նյութի քայքայումը առաջին կարգի ռեակցիա է: 25 ^{0}C ջերմաստիճանում ռեակցիայի արագության հաստատունը 1.37×10^{-5} վ$^{-1}$ է, իսկ 37 ^{0}C-ում՝ 5.15×10^{-5} վ$^{-1}$: Հաշվել այդ ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան, նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը, 25 ^{0}C ջերմաստիճանում ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան, ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-82. Լուծույթում ընթացող երկրորդ կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 25 ^{0}C ջերմաստիճանում 3.95×10^4 դմ^3 մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$ է, իսկ ակտիվացման էներգիան 120 կՋ/մոլ: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 25 ^{0}C ջերմաստիճանում ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան, ակտիվացման Գիբսի էներգիան և նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը:

8-83. $Cl\cdot + H_2 \rightarrow HCl + H\cdot$ գազաֆազ երկմոլեկուլային ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան 23 կՋ/մոլ է, իսկ նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը 9.5×10^{13} սմ^3 մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 300 Կ ջերմաստիճանում ակտիվացման էնթալպիան և ակտիվացման էնտրոպիան:

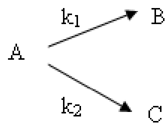
8-84. Առաջին կարգի ռեակցիայի արագության հաստատունը 25 ^{0}C ջերմաստիճանում 7×10^{-9} վ$^{-1}$ է, իսկ ակտիվացման էներգիան՝ 100 կՋ/մոլ: Հաշվել այդ ռեակցիայի համար 25 ^{0}C ջերմաստիճանում նախաէքսպոնենտային բազմապատկիչը, ակտիվացման էնթալպիան, ակտիվացման էնտրոպիան և ակտիվացման Գիբսի էներգիան:

8-85. Առաջին կարգի դարձելի ռեակցիայի՝ $A \rightleftarrows B$, հավասարակշռության հաստատունը՝ K, հավասար է 8-ի, իսկ ուղիղ ռեակցիայի արագության հաստատունը՝ k_1, հավասար է 0.4 վ$^{-1}$: Որքա՞ն ժամանակ հետո A և B նյութերի կոնցենտրացիաները կհավասարվեն, եթե B նյութի սկզբնական կոնցենտրացիան 0 է:

8-86. $A \rightleftarrows B$ առաջին կարգի դարձելի ռեակցիայի համար ուղիղ ռեակցիայի արագության հաստատունը՝ $k_1 = 10^{-2}$ վ$^{-1}$, իսկ $[B]_{հավ}/[A]_{հավ} = 4$: Որքա՞ն կլինի B նյութի կոնցենտրացիան 30 վ անց, եթե A նյութի սկզբնական կոնցենտրացիան՝ $[A]_0 = 0.01$ մոլ/լ, իսկ $[B]_0 = 0$:

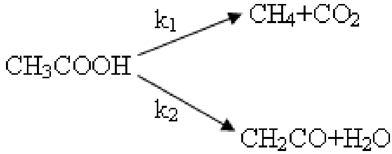
8-87. $A \rightleftarrows B$ առաջին կարգի դարձելի ռեակցիայի համար ուղիղ և հակադարձ ռեակցիայի արագության հաստատունները՝ $k_1 = k_{-1} = 1.48\times10^{-5}$ տարի$^{-1}$, A և B նյութերի սկզբնական կոնցենտրացիաների հարաբերությունը՝ $[B]_0/[A]_0 = 0.07$, իսկ ընթացիկ կոնցենտրացիաների հարաբերությունը՝ $[B]_t/[A]_t = 0.27$: Գնահատե՛ք ռեակցիայի ժամանակը:

8-88. Առաջին կարգի զուգահեռ ռեակցիաներում՝



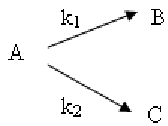
B նյութի ելքը հավասար է 63 %: A նյութը 7 րոպեում փոխարկվում է 1/3 չափով: Գտնել k_1 և k_2:

8-89. 700 ^0C ջերմաստիճանում քացախաթթուն միաժամանակ քայքայվում է երկու ուղղություններով՝



որտեղ $k_1 = 3.5$ վ$^{-1}$ և $k_2 = 4.5$ վ$^{-1}$: Որքա՞ն ժամանակ անց քացախաթթուն կքայքայվի 90%-ով:

8-90. Ցու՛յց տվեք, որ զուգահեռ ռեակցիայի դեպքում՝



գումարային ռեակցիայի ակտիվացման էներգիան կախված է առանձին փուլերի ակտիվացման էներգիաներից՝ հետևյալ առնչությամբ՝

$$E = \frac{k_1E_1 + k_2E_2}{k_1 + k_2}$$

8-91. Էթանի դեհիդրման ($C_2H_6 \to C_2H_4 + H_2$) կինետիկական սխեման հետևյալն է.

$$C_2H_6 \rightarrow 2CH_3\cdot \qquad (k_1)$$
$$CH_3\cdot + C_2H_6 \rightarrow CH_4 + C_2H_5\cdot \qquad (k_2)$$
$$C_2H_5\cdot \rightarrow H\cdot + C_2H_4 \qquad (k_3)$$
$$H\cdot + C_2H_5\cdot \rightarrow C_2H_6 \qquad (k_4)$$

Օգտագործելով ստացիոնար կոնցենտրացիաների մոտավորությունը՝ ներկայացրե՛ք էթիլենի առաջացման արագության արտահայտությունը՝ $\frac{d[C_2H_4]}{dt} = ...$:

8-92. Կազմե՛ք ազոտի(V) օքսիդի ծախսման արագության կինետիկական հավասարումը, եթե այն ընթանում է հետևյալ մեխանիզմով.

$$2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2 \qquad (\text{գումարային})$$
$$N_2O_5 \rightarrow NO_2 + NO_3 \qquad (k_1)$$
$$NO_2 + NO_3 \rightarrow N_2O_5 \qquad (k_{-1})$$
$$NO_2 + NO_3 \rightarrow NO_2 + O_2 + NO \qquad (k_2)$$
$$NO + N_2O_5 \rightarrow 3NO_2 \qquad (k_3)$$

8-93. Ֆերմենտատիվ ռեակցիայի Միխայելիսի հաստատունը հավասար է 0.035 մոլ/լ: Սուբստրատի 0.11 մոլ/լ կոնցենտրացիայի դեպքում ռեակցիայի արագությունը հավասար է 1.15×10^{-3} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$: Որոշել այդ ռեակցիայի առավելագույն արագությունը:

8-94. Սուկցինօքսիդազա ֆերմենտի ազդեցությամբ նատրիումի սուկցինատի օքսիդացման սկզբնական արագությունը որոշվել է սուբստրատի տարբեր կոնցենտրացիաների համար՝

[S], մոլ/լ	0.01	0.002
$v\times10^6$, մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$	1.17	0.99

Որոշել տվյալ ռեակցիայի համար Միխայելիսի հաստատունը:

8-95. Ֆերմենտատիվ ռեակցիայի Միխայելիսի հաստատունը հավասար է 4.8×10^{-4} մոլ/լ: Սուբստրատի 0.01 մոլ/լ կոնցենտրացիայի դեպքում ռեակցիայի արագությունը հավասար է 1.17×10^{-6} մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$: Որոշել այդ ռեակցիայի առավելագույն արագությունը:

8-96. Ֆերմենտատիվ ռեակցիայի սկզբնական արագությունը որոշվել է սուբստրատի տարբեր կոնցենտրացիաների համար.

[S], մոլ/լ	$v\times10^4$ մոլ $լ^{-1}$ $վ^{-1}$
2.5×10^{-4}	2.3
5×10^{-3}	7.8

Որոշել տվյալ ռեակցիայի համար Միխայելիսի հաստատունը:

ՀԱՎԵԼՎԱԾՆԵՐ

Հ.1

ՄԻ համակարգի հիմնական մեծությունները

Ֆիզիկական մեծությունը	Մեծության նշանակումը (նշանը)	Միավորի նշանակումը	Միավորի նշանակումը հայերենում	Միավորի անվանումը հայերենում
Երկարություն	L	m	մ	մետր
Զանգված	M	kg	կգ	կիլոգրամ
Ժամանակ	T	s	վ	վայրկյան
Հոսանքի ուժ	I	A	Ա	ամպեր
Թերմոդինամիկական ջերմաստիճան	Θ	K	Կ	կելվին
Նյութի քանակ	N	mol	մոլ	մոլ
Լույսի ինտենսիվություն (ուժ)	J	cd	կդ	կանդել

Հ.2

Ֆիզիկաքիմիական մեծությունների անցումային միավորներ

Ֆիզիկաքիմիական մեծություններ	Անցումային միավորներ
Զանգված	1 կգ = 10^3 գ = 10^6 մգ = 10^{-3} տ
Երկարություն	1 մ = 10^2 սմ = 10^3 մմ, 1 նմ = 10^{-9} մ
Մակերես	1 $մ^2$ = 10^4 $սմ^2$
Ծավալ	1 $մ^3$ = 10^3 լ = 10^6 $սմ^3$
Ճնշում	1 մթն = 1.013×10^5 Պա = 760 մմ ս.ս. 1 բար = 10^5 Պա = 0.987 մթն 1 մթն = 1.013 բար 1 տոր = 1 մմ ս.ս. = 133.3 Պա 1 Պա = 1 Ն/$մ^2$
Ջերմաստիճան	T (կելվին) = 273.15 + t (ցելսիուս)
Էներգիա	1 Ջ = 10^{-3} կՋ 1 կալ = 4.184 Ջ 1 Ջ = 1 Ն մ =1 կգ $մ^2$ $վ^{-2}$ 1 Ջ = 1 Պա $մ^3$, 1 լ մթն =101.3 Ջ
Մոլային զանգված	Օրինակ՝ M(H_2SO_4) = 98 գ/մոլ կամ 98×10^{-3} կգ/մոլ
Էլեկտրական լիցք	1 Կլ = 1Ա վ
Զանգվածի ատոմային միավոր	1 ԶԱՄ = 1.66 $\times10^{-27}$ կգ = 1.66 $\times$ 10^{-24} գ

Հ.3

Ֆիզիկաքիմիական հաստատուններ

Ֆիզիկաքիմիական հաստատունը	Նշանը	Թվային արժեքը
Ավոգադրոյի հաստա-տուն	N_A	6.022045×10^{23} մոլ$^{-1}$
Ֆարադեյի հաստատուն	F	9.6485×10^{4} Կլ մոլ$^{-1}$
Բոլցմանի հաստատուն	K	1.38066×10^{-23} Ջ Կ$^{-1}$
Լույսի արագությունը	C	2.997925×10^{8} մ վ$^{-1}$
Գազային հաստատուն	R	8.3144 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$
Զանգվածի ատոմային միավոր	ԶԱՄ	1.66057×10^{-27} կգ
Էլեկտրոնի լիցքը		1.6022×10^{-19} Կլ
Էլեկտրոնի զանգվածը	m_e	9.10953×10^{-31} կգ 5.4858×10^{-4} ԶԱՄ , (1/1823 ԶԱՄ)
Պրոտոնի զանգվածը	m_p	1.67265×10^{-27} կգ 1.00728 ԶԱՄ
Նեյտրոնի զանգվածը	m_n	1.67495×10^{-27} կգ 1.00866 ԶԱՄ
Գազի մոլային ծավալը (1 մթն, 0 ^{o}C)	V_m	22.414 լ մոլ$^{-1}$

Հ.4

Որոշ քիմիական նյութերի թերմոդինամիկական պարամետրերը ստանդարտ պայմաններում

Նյութ	$\Delta_f H^o$, կՋ/մոլ	$\Delta_f G^o$, կՋ/մոլ	S^o , Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$	C_p , Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$
$Al_{(պ)}$	0	0	28.33	24.35
$Al_2O_{3(պ)}$	–1675	–1590	50.94	79.0
$CO_{(գ)}$	–110.53	–137.17	197.67	29.14
$CO_{2(գ)}$	-393.51	-394.36	213.74	37.11
$CaO_{(պ)}$	–635.09	–604.03	39.75	42.80
$CaCO_{3(պ)}$	-1206.9	-1128.8	92.9	81.88
$Fe_{(պ)}$	0	0	27.28	25.10
$Fe_2O_{3(պ)}$ հեմատիտ	–824.2	–742.2	87.40	103.85
$H_{2(գ)}$	0	0	130.68	28.82
$H_2O_{(հ)}$	–285.83	–237.13	69.91	75.29
$H_2O_{(գ)}$	–241.82	–228.57	188.83	33.58
$HCl_{(գ)}$	92.31	95.30	186.91	29.12
$N_{2(գ)}$	0	0	191.61	29.13
$NH_{3(գ)}$	–46.11	–16.45	192.45	35.06
NH_4Cl	–315.39	–203.90	94.56	84.10
$NaHCO_3$	–947.4	–881.96	102.1	87.72
Na_2CO_3	–1129	–1066.11	136.0	110.0
$O_{2(գ)}$	0	0	205.14	29.36
$SO_{2(գ)}$	–296.83	–300.19	248.22	39.87
$SO_{3(գ)}$	–395.72	–371.06	256.76	50.67
$CH_{4(գ)}$	–74.81	–50.72	186.26	35.31
$C_2H_{6(գ)}$	–84.68	–32.82	229.60	52.63

$C_6H_{6(գ)}$	+82.93	+129.72	269.31	81.67
$C_6H_{12(գ)}$ ցիկլոհեք-սան	–123.14	+31.91	298.35	106.27
$HCHO_{(գ)}$	–115.90	–109.94	218.77	35.40
$CH_3OH_{(հ)}$	–238.66	–166.27	126.8	81.6
$CH_3OH_{(գ)}$	–200.66	–161.96	239.81	43.89

Հ.5

Էլեկտրահաղորդականության հին և նոր միավորների փոխա-դարձ կապը

	Հին միավորներ	Նոր միավորներ
Տեսակարար ԷՀ	1 Օհմ$^{-1}$ սմ$^{-1}$ (Ս սմ$^{-1}$)	10^{2} Ս մ$^{-1}$
Մոլային ԷՀ	1 Օհմ$^{-1}$ սմ^{2} մոլ$^{-1}$ (Ս սմ^{2} մոլ$^{-1}$)	10^{-4} Ս մ^{2} մոլ$^{-1}$
Համարժե-քային ԷՀ	1 Օհմ$^{-1}$ սմ^{2} գ-էկվ$^{-1}$	z×10^{-4} Ս մ^{2} մոլ$^{-1}$ (z-ը համարժեքային թիվն է)

Հ.6

Իոնների սահմանային շարժունակությունները՝ Λ^{o}, ջրային լուծույթում 298 Կ ջերմաստիճանում

Կատիոն	$\Lambda^{o}\times10^{4}$, Ս մ^{2} մոլ$^{-1}$	Անիոն	$\Lambda^{o}\times10^{4}$, Ս մ^{2} մոլ$^{-1}$
H^{+}	349.8	OH^{-}	198.3
K^{+}	73.5	Cl^{-}	76.4
Na^{+}	50.1	Br^{-}	78.1
Ag^{+}	61.9	I^{-}	76.8
Ba^{2+}	127.2	NO_3^{-}	71.9
Ca^{2+}	119.0	CH_3COO^{-}	40.9
Mg^{2+}	106.1	SO_4^{2-}	160,0
Al^{3+}	189.0	CN^{-}	78.0
Fe^{3+}	204.0	ClO_4^{-}	67.3

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Еремин В., Каргов С., Успенская И., Кузьменко Н., Лунин В., Задачи по физической химии, Экзамен, М., 2002, 320 с.
2. Atkins P., J.de Paula, Keeler J., Physical Chemistry, Oxford University Press, 11th ed., 2018, 1040 p.
3. Atkins P., J. de Paula, Physical Chemistry for the Life Sciences, Freeman and Company, 2006, 699 p.
4. Chang R., Physical Chemistry for the Biosciences, University Science Book, 2005, 678 p.
5. Engel T., Drobny G., Reid P., Physical Chemistry for the Life Sciences, Pearson Education Inc., 2008, 740 p.
6. Laidler K., Meiser J., Sanctuary B., Physical chemistry, Houghton Mifflin Company, 2003, 1060 p.

ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐ

Գլուխ 1

1-1. D_{H_2}=14, $D_{օդ}$ = 0.97: **1-2**. M_r = 80.9, D_{CO_2} = 1.84, D_{CH_4} = 5.06: **1-3**. 3.32 գ: **1-4**. 76.7 %: **1-5**. 333.3 լ: **1-6**. 11.1 մթն: **1-7**. 879 °C: **1-8**. p_{CO2}=0.051 մթն, p_{O2}=0.143 մթն: **1-9**. 627.5 լ: **1-10**. 140.98 գ: **1-11**. 1.52×10^{-7} մ³: **1-12**. 23.9 լ: **1-13**. $p_{ընդ}$ =1.92 մթն, p_{He} =0.5 մթն, p_{Ne}=1.25 մթն, p_{Xe} = 0.165 մթն: **1-14**. 1.3×10^6 մոլեկուլ: **1-15**. 0.0197 մոլ/ր: **1-16**. 4.84×10^5 Պա: **1-17**. 21.9 գ: **1-18**. 3.66 գ: **1-19**. 0.25 լ: **1-20**. 2.94×10^{19} մոլեկուլ: **1-21**. N_2O: **1-22**. 0.47 դմ³: **1-23**. 31.4 գ մոլ$^{-1}$: **1-24**. 28.35 գ մոլ$^{-1}$: **1-25**. X_{N2} = 0.609, P_{N2} = 34.9 մթն, $p_{ընդ}$ = 57.2 մթն: **1-26**. 7.4 լ: **1-27**. $p_{ընդ}$ = 3 մթն, p_{H2} = 0.375 մթն, p_{N2} = 1.125 մթն: **1-28**. 28 % O_2, 72% N_2: **1-29**. 4.8 %: **1-30**. n_{O2} = 1.5 մոլ, p_{O2} = 1.2 մթն, p_{H2} = 1.2 մթն, p_{N2} = 0.8 մթն: **1-31**. 6.2 կգ: **1-32**. 0.156: **1-33**. 0.396 մթն, 0.792 մթն: **1-34**. 101.325 կՊա: **1-35**. ա) 7 մթն, բ) 6.48 մթն: **1-36**. 78.06, C_6H_6: **1-37**. քլորում: **1-38**. 0.465 կգ, ρ_{CO_2}=8.3 կգ/մ³, ρ_{He}=0.0179 կգ/մ³: **1-39**. ա) 0.74, 0.14, 0.12, բ) 0.75×10^5, 0.14×10^5, 0.12×10^5 Պա, գ) 0.39 մ³: **1-40**. 1.667 մոլ: **1-41**. 52.7×10^5 Պա: **1-42**. 20.5×10^5 Պա: **1-43**. ա) 67.4 մթն, բ) 51.1 մթն: **1-44**. Z = 0.88, V_m =1.2 լ մոլ$^{-1}$: **1-45**. ա) 50.6 մթն, բ) 34.8 մթն, Z=0.69: **1-46**. 140 մթն: **1-47**. ա) V_m = 0.135 լ մոլ$^{-1}$, Z=0.695, բ) Z=0.640: **1-48**. 6.76×10^6 լ: **1-49**. 5.38×10^{21}, 1.34×10^{21}: **1-50**. ա) $p_{ընդ}$ = 2.88×10^{-2} բար, բ) X_{O2} = 0.0179, X_{N2} = 0.803, X_{CO} = 0.178, p_{O2} = 5.16×10^{-4} բար, p_{N2} = 2.31×10^{-2} բար, p_{CO} = 5.1×10^{-3} բար: **1-51**. 0.13 լ մոլ$^{-1}$: **1-52**. 17.3 բար: **1-53**. 1.7×10^{12}: **1-54**. 2.15 սմ:

Գլուխ 2

2-1. $6C + 5/2H_2 + 1/2N_2 + O_2 = C_6H_5NO_2$: **2-2**. – 481.8 Ջ: **2-3**. W = 0: **2-4**. W= –7426 Ջ, Q = 7426 Ջ, ΔU = ΔH = 0: **2-5**. –506.5 Ջ: **2-6**. 42.6 կՋ: **2-7**. 1.47 կՋ: **2-8**. W =74.1 կՋ, Q = – 972 կՋ, ΔU = – 898 կՋ: **2-9**. 3.22 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **2-10**. –935 Ջ: **2-11**. ա) W = -4 կՋ, բ) W = -8.22

կՋ: **2-12**. Q = -33.4 կՋ, W = 33.4 կՋ, $\Delta U = \Delta H = 0$: **2-13**. W = -379 Ջ: **2-14**. ա) -112 Ջ, բ) -230 Ջ: **2-15**. ΔH = 40.79 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔU= 37.69 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-16**. W = -2.444 կՋ, Q = 0, ΔU = -2.444 կՋ, ΔH = -4.074 կՋ: **2-17**. ΔU = 6.025 կՋ մոլ$^{-1}$, W = 0.165 Ջ մոլ$^{-1}$: **2-18**. ΔU = 37.6 կՋ մոլ$^{-1}$, W = -3.06 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-19**. W = -16.3 կՋ, Q = 16.3 կՋ, ΔU = 0: **2-20**. 72.7 ^{0}C: **2-21**. 75.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **2-22**. 314 կՋ: **2-23**. -281.73 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-24**. p = 4 բար, C_V = 21.1 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, pV = 4.54 կՋ: **2-25**. W = -1.63 կՋ, Q = 1.63 կՋ: **2-26**. 50.8 Ջ: **2-27**. W = 4122.9 Ջ, Q = 0, ΔU = 4122.9 Ջ, ΔH = 5370 Ջ: **2-28**. 304 Կ: **2-29**. 345 Կ: **2-30**. 3.02×10^3 Ջ: **2-31**. 2.89×10^3 Ջ: **2-32**. C_P = 30.19 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, C_V = 21.87 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **2-33**. -5872.5 կՋ: **2-34**. -2.86 կՋ/մոլ: **2-35**. -23.2 կՋ/մոլ: **2-36**. -238.7 կՋ/մոլ: **2-37**. 2.79 կգ: **2-38**. 38 կՋ/մոլ: **2.39**. ΔU = -971.38 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔH=-973.86 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-40**. ΔU=-3270.3 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔH= -3274.0 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-41**. ΔU=-5635 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔH = -5635 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-42**. -1419.61 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-43**. 13.3 կՋ: **2-44**. 3 մոլ: **2-45**. երկու դեպքում էլ նույնն է՝ 831.4 Ջ/մոլ: **2-46**. 831 Ջ: **2-47**. 3.51 կՋ, 25.3 կՊա: 2-48. 44.0 կՋ/մոլ: **2-49**. ա) -74.8 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) -72.3 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-50**. p = 323.9 կՊա, Q = 1.67 կՋ: **2-51**. ա) -1410.9 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) -1405.9 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-52**. $\Delta_r H$ =-32 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-53**. ա) 49.3 կՋ մոլ$^{-1}$, 226.8 կՋ մոլ$^{-1}$; -631.1 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) 56.73 կՋ/մոլ, 226.8 կՋ մոլ$^{-1}$; -623.7 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-54**. 37.1 Ջ: **2-55**. 40.5 կՋ: **2-56**. 177 կՋ: **2-57**. 29.72 կՋ/մոլ: **2-58**. 77 ^{0}C, W = ΔU = 389.7 Ջ: **2-59**. –118 ^{0}C, –753 Ջ: **2-60**. –99.6 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-61**. ա) $\Delta U = \Delta H = 0$, Q = W = –7.07 կՋ, բ) Q = ΔH = 67.4 կՋ,W = 15.0 կՋ, ΔU =52.4 կՋ, գ) W = 0, Q = ΔU = 17.9 կՋ, ΔH = 23.1 կՋ: **2-62**. ΔH = 33.7 կՋ, ΔU = 29.2կՋ: **2-63**. 126 կկալ: **2-64**. 2.4 կՋ: **2-65**. 83.8 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **2-66**. 46.7 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **2-67**. 978 կՋ: **2-68**. $\Delta_r H^o(1000)$= – կկալ/մոլ: **2-69**. –1810 կՋ: **2-70**. 1167 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-71**. T = 268 Կ, ΔU = -1.78 կՋ, ΔH = -2.96 կՋ: **2-72**. 265 Կ, ձյուն: **2-73**. ΔU = 63 կՋ, ΔH = 60.5 կՋ: **2-74**. Q = 0, ΔU = W = -1200 Ջ, ΔH = -2 կՋ: **2-75**. ա) W = -21.1 կՋ, բ) W = -9.34 կՋ: **2-76**. W_1 = 0, W_2= -23 կՋ, W_3=9 կՋ, $W_{ցիկլ}$ = -14 կՋ: **2-77**. $Q_v = \Delta U$ = 5.72 կՋ, ΔW=0, ΔH=8.01 կՋ: **2-78**. 1) $p_2=0.5\times10^6$ Պա, W = -Q = -1.69 կՋ, ΔU=0, ΔH=0, 2) p_2 = 6.02×10^6 Պա, W=0, ΔU=Q = 748 Ջ, ΔH = 1.25 կՋ, ընդհանուր՝ Q = 2.44 կՋ, W= -1.69 կՋ, ΔU = 748 Ջ, ΔH = 1.25 կՋ: **2-79**. T = 749 Կ, Q = 0, W = ΔU = 5.62 կՋ, ΔH = 9.37 կՋ: **2-80**. 1) ΔU = ΔH = 0, W= -Q = -1.25 կՋ, 2) W=0, Q =ΔU= 854 Ջ, ΔH=1.42 կՋ, ընդհանուր՝ W= -1.25 կՋ, Q = 2.02 կՋ, ΔU = 854 Ջ, ΔH = 1.42 կՋ: 2-81. ΔH = -8.99 կՋ: **2-81**. ΔH = -8.99 կՋ: **2-82**. T = 472 Կ: **2-83**. ա) -5.54 կՋ, բ) -5.52 կՋ: **2-84**. ա) -5.74×10^3 Ջ, բ) -2.1 կՋ, գ) -1.98 կՋ: **2-85**. ΔH=-5.65 կՋ×մոլ$^{-1}$: **2-86**. W=0, Q = 3283.24 Ջ, ΔU = 3283.24 Ջ, ΔH = 4596.85 Ջ, p= 142.66 կՊա: **2-87**. W= -448.96, Q = 2003.94 Ջ, ΔU= 1554.98 Ջ, ΔH=2003.94 Ջ: **2-88**. 46.85 կՋ: **2-89**. 39.9 կՋ: **2-90**. ΔH = Q = 6.67×10^4 Ջ, ΔU = 5.61×10^4 Ջ, W=-1.06×10^4 Ջ: **2-91**. ΔH=Q=4.35×10^4 Ջ, W=-3.74 կՋ, ΔU=3.98×10^4 Ջ: **2-92**. 125.9 կկալ: **2-93**. 1021.3 կՋ: **2-94**. ΔH^0(298 Կ) = -113.5 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔH^0(310 Կ)=-113.06 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-95**. W = -83 Ջ, Q = ΔH =-132 կՋ, ΔU= -132 կՋ: **2-96**. -1336.8 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-97**. ΔH^0(298 Կ) = 2802.7 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔH^0(330 Կ)=2793.7 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-98**. ա) ΔH=-68.9 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) W=-4.96 կՋ, գ) ΔU = -73.9 կՋ: **2-99**. W = -1.24 կՋ, Q = -149.1 կՋ, ΔU = -150.3 կՋ: **2-100**. -5147 կՋ/մոլ, -5152 կՋ/մոլ: **2-101**. 47.8 Կ, 4.1 կգ: **2-102**. ΔU=-1364.47 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔH=-1366.95 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-103**. ա) -74.8 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) -72.3 կՋ մոլ$^{-1}$: **2-104**. ա) -1410.9 կՋմոլ$^{-1}$, բ) -1405.9 կՋմոլ$^{-1}$: **2-105**. ա) 49.3 կՋ մոլ$^{-1}$, 226.8 կՋ մոլ$^{-1}$; -631.1 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) 56.73 կՋ մոլ$^{-1}$, 226.8 կՋ մոլ$^{-1}$; -623.7 կՋ մոլ$^{-1}$:

Գլուխ 3

3-1. 2 մ^3: **3-2**. 21.6 Ջ Կ$^{-1}$: **3-3**. 0.29 Ջ Կ$^{-1}$: **3-4**. ա) 3.65 Ջ, բ) 2722 Ջ: **3-5**. 2.207 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **3-6**. 21.6 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **3-7**. –19.09 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **3-8**. 8.1 Ջ Կ$^{-1}$: **3-9**. չի կարելի: **3-10**. 746 Ջ Կ$^{-1}$: **3-11**. 246.7 Ջ Կ$^{-1}$: **3-12**. 110.0 Ջ Կ$^{-1}$: **3-13**. 17357 Ջ կգ$^{-1}$: **3-14**. ա) չի ընթանա, բ) կընթանա: **3-15**. 514.4 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-16**. –130.6 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-17**. $\Delta_f G^o$(298) = –16.5 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_f G^o$(400) = –6.0 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-18**. –92.1 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-19**. –52.1

կՋ մոլ$^{-1}$: **3-20**. –97.8 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-21**. 31.4 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-22**. –228.6 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-23**. ա) –70.9, բ) –28.6 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-24**. -7.62 Ջ Կ$^{-1}$: **3-25**. ա) 17.6 Ջ Կ$^{-1}$, բ) 10.6 Ջ Կ$^{-1}$: **3-26**. 2.5: **3-27**. ΔS = 29 Ջ Կ$^{-1}$: **3-28**. 7.8 Ջ Կ$^{-1}$: **3-29**. 55.91 Ջ Կ$^{-1}$: **3-30**. 3.5 Ջ Կ$^{-1}$: **3-31**. 2258.4 Ջ Կ$^{-1}$: **3-32**. ΔU = -1.25 կՋ, ΔH= -2.08 կՋ, ΔS= -15.1 Ջ Կ$^{-1}$: **3-33**. 320 Կ: **3-34**. 2.25×10^3 Ջ: **3-35**. 0.24 Ջ Կ$^{-1}$: **3-36**. $\Delta_r G^o$ = 24.4 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_r A^o$ = 16.3 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-37**. W = – 4454.7 Ջ/մոլ, Q = ΔU = ΔH = 0, ΔG = ΔA = 4434 Ջ մոլ$^{-1}$, ΔS = –13.3 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **3-38**. – 26800 Ջ: **3-39**. ΔS = – 531 Ջ Կ$^{-1}$: **3-40**. 116.1 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **3-41**. 103.8 Ջ Կ$^{-1}$: **3-42**. T_2=184 Կ, V_2=45.4 լ, W=1491 կալ, ΔU = –1491 կալ, ΔH = –2478 կալ, Δ S=0: **3-43**. –241.6 կՋ մոլ$^{-1}$, կարող է: **3-44**. ΔH = –36.65 կՋ, ΔU= –26.18 կՋ, ΔA= 249.4 կՋ, ΔG= 238.9 կՋ, ΔS=–27.71 Ջ Կ$^{-1}$: **3-45.** $S^o(H_2O,գ)$ = 196 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, p = 0.84 մթն: **3-46**. ա) $W_{առ}$ = 110.7 Ջ, բ) $W_{առ .օգտ}$ = 109.9 Ջ: 3-47. 6.1 կՋ: **3-48.** V_1 = 0.41 լ, V_2 = 24.8 լ, T_2 = 302 Կ, ΔS = 40.4 Ջ Կ$^{-1}$: **3-49**. ա) V_3 = 29.6 լ, V_4 = 10.4 լ, բ) W = -3.94 կՋ, գ) 0.515: **3-50**. 16.8 Ջ Կ$^{-1}$: **3-51**. ա) W = -1.25 կՋ, ΔU = 1.87 կՋ, Q = ΔH = 3.12 կՋ, ΔS = 8.43 Ջ Կ$^{-1}$, բ) W = 0, ΔU = Q = 1.87 կՋ, ΔH = 3.12 կՋ, ΔS = 5.06 Ջ Կ$^{-1}$, գ) ΔU = ΔH = 0, W = -Q = -1.73 կՋ, ΔS = 5.76 Ջ Կ$^{-1}$: **3-52**. ա) 23.49 Ջ Կ$^{-1}$, բ) 154.4 Ջ Կ$^{-1}$: **3-53**. ա) Q = 0, ΔU = W = -935 Ջ, ΔH = -1.31 կՋ, ΔS = 0, բ) Q = 0, ΔU = W = -748 Ջ, ΔH= -1.05 կՋ, ΔS = 1.24 Ջ Կ$^{-1}$: **3-54**. ա) 100.8 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, բ) 18.94 կՋ մոլ$^{-1}$: **3-55**. $\Delta S_{համ}$ = 53 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, ΔH= 42.6 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta S_{շրջ}$= -142.95 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, $\Delta S_{տիեզ}$ = -89.95 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **3-56**. $\Delta S_{համ}$ = 176.42 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{շրջ}$ = 240.86 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{տիեզ}$ = 417.29 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **3-57**. 330 Կ-ում. $\Delta S_{համ}$ = -379 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{շրջ}$ = -8.38 կՋ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{տիեզ}$ = -8.76 կՋ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **3-58**. 18.2 Ջ Կ$^{-1}$: **3-59**. 9 Ջ Կ$^{-1}$: **3-60**. $\Delta S_{համ}$ = -21.7 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{շրջ}$ = -0.2 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{տիեզ}$ = -21.9 Ջ Կ$^{-1}$: **3-61**. 3.24×10^8 Ջ: **3-62**. $\Delta S_{շրջ}$= -2.8 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{համ}$= 6.7 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{տիեզ}$= 3.9 Ջ Կ$^{-1}$: **3-63**. $\Delta S_{համ}$ = -41.2 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{շրջ}$ = 41.8 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{տիեզ}$ = 0.6 Ջ Կ$^{-1}$: **3-64**. ΔU = 43.34 կՋ, ΔH = 46.44 կՋ, ΔS=126.2 Ջ Կ$^{-1}$: **3-65**. ա) 75 ^{0}C, բ) ΔS_A=22.7 Ջ Կ$^{-1}$, ΔS_B=-20.79

Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{խ}}$ = 1.9 Ջ Կ$^{-1}$: **3-66**. ա) $\Delta S_{\text{շրջ}}$ = -5.8 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{համ}}$ = 5.8 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{տիեզ}}$ = 0, բ) $\Delta S_{\text{համ}}$ = 5.8 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{շրջ}}$ = -3.4 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{տիեզ}}$ = 2.4 Ջ Կ$^{-1}$: **3-67**. ա) W = -1.5 կՋ, Q = 1.5 կՋ, ΔU = 0, ΔH = 0, ΔS = 5.3 Ջ Կ$^{-1}$, ΔG = -1.5 կՋ, բ) W = -630 Ջ, Q = 630 Ջ, ΔU = 0, ΔH = 0, ΔS = 5.3 Ջ Կ$^{-1}$, ΔG = -1.5 կՋ: **3-68**. $\Delta S_{\text{համ}}$ = 162 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{շրջ}}$ = -158 Ջ Կ$^{-1}$, $\Delta S_{\text{տիեզ}}$ = 4 Ջ Կ$^{-1}$: **3-69**. 11.88 Ջ Կ$^{-1}$: **3-70**. -531 Ջ Կ$^{-1}$: **3-71**. -1181 Ջ Կ$^{-1}$: **3-72**. 0.8 Ջ Կ$^{-1}$:

Գլուխ 4

4-1. –36.6 ^{o}C: **4-2**. 1675 Պա: **4-3**. 0.269 մթն: **4-4**. 65.4 ^{o}C: **4-5**. 34.7^{o}C: **4-6**. 2.3×10^{-5} մ^3/մոլ: **4-7**. 117.4 ^{o}C: **4-8**. 60 ^{o}C: **4-9**. 365 Կ: **4-10**. $\Delta_s H$ = 133.73 կՋ/մոլ: **4-11.** 0.141 մթն: **4-12**. 0.285 բար: **4-13**. 33.5 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-14**. $\Delta_s H$=27.41 կՋ/մոլ, $\Delta_s S$=91.98 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **4-15**. 271.8 Կ: **4-16**. 354.4 Կ: **4-17**. ա) 335.9 Կ, բ) 38.19 կՋ մոլ$^{-1}$, 37.2 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-18**. -0.72 Կ (100 բար), -3.62 Կ (500 բար): **4-19**. 1.95 մթն:**4-20**. -136 մթն Կ$^{-1}$: **4-21**. 88.9 տոր: **4-22**. -2.2 Կ: **4-23**. 0.269 մթն: **4-24**. 38.7 կՋ/մոլ, 633.5 մմ ս.ս.: **4-25**. 27.41 կՋ մոլ$^{-1}$, 91.98 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **4-26**. 33.5 կՋ/մոլ: **4-27**. 31.2 կՋ/մոլ: **4-28**. 3612 Ջ մ$^{-3}$: **4-29**. -7.408×10^{-3} Կ բար$^{-1}$: **4-30**. 0.399 մթն: **4-31**. 134.6 տոր: **4-32**. 42.7 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-33**. 46.8 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-34**. 55.07 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-35**. 115 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **4-36**. 28.8 ^{o}C: **4-37**. 8.8 ^{o}C: **4-38**. ա) p = 16 մթն, բ) p = 12 մթն: **4-39**. 361 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-40**. dp/dT = 2.373×10^{7} Պա/Կ, T_2 = 316.33 Կ: **4-41**. T = 280 Կ, p = 5260 Պա, $\Delta_m H^{o}$ = 10.48 կՋ մոլ$^{-1}$: **4-42**. ΔH = 35.6 կՋ մոլ$^{-1}$, $T_{\text{եռ}}$ = 259 Կ**:** **4-43.** 95 (իրականը 60 է), կա ասոցում: **4-44**. Δp = 133 մթն: **4-45**. $\Delta_v H$ = 20.8 կՋ մոլ$^{-1}$, $T_{\text{եռ}}$ = 260 Կ: **4-46**. –21 ^{o}C: **4-47**. 0.132 մթն: **4-48**. T = 265.5 Կ, p=340 կՊա, $\Delta_m H$ = 9.095 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_m S$ = 34.25 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **4-49**. ΔH = 33.2 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔS = 93.9 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, P = 4.51 կՊա, T = 277 Կ: **4-50**. ա) $\Delta H_{\text{գոլ}}$ = 32.1 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{\text{սուբլ}}$ = 37.4 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{\text{հալմ}}$ = 5.3 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) 349.5 Կ, 91.8 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, գ) 264 Կ, 2.84 կՊա: **4-51**. ա) 720 բար, բ) 220 բար, -1.5 ^{0}C: **4-52**. ա) 56.22 տոր, բ) 52.65 տոր: **4-53**. ա) 4.66 բար, բ)

4.10 բար: **4-54**. 8.2 ^0C: **4-55**. $\Delta H_{սուբլ}$ = 16.92 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{գոլ}$ = 14.43 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{հալմ}$ = 2.49 կՋ մոլ$^{-1}$, 73.62 Կ, 5.36×10^{-3} տորր: **4-56**. 16.4 կՋ մոլ$^{-1}$, 38.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **4-57**. $\Delta H_{սուբլ}$ = 231.7 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{գոլ}$ = 206.5 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{հալմ}$ = 25.2 կՋ մոլ$^{-1}$, 1398 Կ, 128 տորր: **4-58**. $\Delta H_{սուբլ}$ = 32.6 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{գոլ}$= 26.9 կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta H_{հալմ}$ = 5.6 կՋ մոլ$^{-1}$, 240.3 Կ, 402 տորր: **4-59**. 86 ^0C: **4-60**. 1.2 կՋ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, 9.84 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ ամինոթթու$^{-1}$: **4-61**. 376.36 Կ, ΔH = 35.69 կՋ մոլ$^{-1}$, ΔS = 94.83 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, $\Delta G = 0$: **4-62**. 1251.2 Կ, 482 Պա, ΔH = 13 կՋ/մոլ, ΔS = 10.39 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, $\Delta G = 0$:

Գլուխ 5

5-1. p = 20.91 կՊա, X_{CHCl3} = 0.635: **5-2**. 3.6×10^{-4}: **5-3**. 7338 Պա: **5-4**. V = 0.09323 լ մոլ$^{-1}$, ΔV = 0.01002 լ մոլ$^{-1}$: **5-5**. 5.7×10^4 Պա: **5-6**. 92.5 մմ: **5-7**. –3 ^oC: **5-8**. S_8: **5-9**. –0.09 ^oC: **5-10**. 1.84: **5-11**. 4.63×10^{-3} գ: **5-12**. 3.9 Կ, 274 գ/մոլ: **5-13**. 12.2 մթն: **5-14**. 121 տորր: **5-15**. 0.623 բար, 1.414 բար: **5-16**. 33.5 գ/մոլ: **5-17**. 1.86 Կ կգ մոլ$^{-1}$: **5-18**. 1400 կգ մոլ$^{-1}$: **5-19**. 0.315 մ: **5-20**. 57.8 սմ^3 մոլ$^{-1}$: **5-21**. 10^{-5} Կ: **5-22**. 106 տորր: **5-23**. 1000 կգ/մոլ: **5-24**. 4.32×10^{-4} մթն: **5-25**. X_A = 0.3, X_B = 0.7: **5-26**. 1.12×10^{-5} մոլ 1 կգ ջրում: **5-27**. 373.36 Կ, 272.37 Կ: **5-28**. 39.7 գ/մոլ: **5-29**. Ոչ: **5-30**. 121.6 գ/մոլ, դիմերի ձևով: **5-31**. 0.295 մոլ/լ, -0.55 ^0C: **5-32**. -35.8 կՋ: **5-33**. 0.51 Կ կգ մոլ$^{-1}$: **5-34**. 16.77 սմ^3 մոլ$^{-1}$: **5-35**. -0.09 ^0C: **5-36**. 26.01 սմ^3 մոլ$^{-1}$, 27 սմ^3 մոլ$^{-1}$: **5-37**. 56.2 սմ^3/մոլ: **5-38**. 59.4 գ/մոլ: **5-39**. 0.357: 5-40. 5065 գ/մոլ: **5-41**. 181.4 գ/մոլ: **5-42**. 160 գ/մոլ: **5-43**. 36.2 գ/մոլ: **5-44**. p = 29.4 կՊա, $\varphi(C_6H_6)$ = 0.581: **5-45**. 16.7 սմ^3 մոլ$^{-1}$: **5-46**. $V_{լթ}$ = 886.6 սմ^3, $V_{հղ}$ = 77.124 սմ^3, ΔV = 0.11 սմ^3 մոլ$^{-1}$: **5-47**. Ն(He) = 1.8×10^{-4}, Ն(N_2) = 3.0×10^{-4}: **5-48**. 244: **5-49**. 0.51 Կ կգ մոլ$^{-1}$: **5-50**. 7: **5-51**. 138.5 գ մոլ$^{-1}$: **5-52**. 182 գ/մոլ, $C_9H_{13}O_3N$: **5-53**. 152.7 գ մոլ$^{-1}$: **5-54**. 1.5 %: **5-55**. 71.46 սմ^3 ջուր, 31.71 սմ^3 էթանոլ: 5-**56**. 49.8 գ մոլ$^{-1}$, 61.5 %: **5-57**. 65 կգ մոլ$^{-1}$: **5-58**. 703 Պա: **5-59**. 2.69×10^{-2} մթն: **5-60**. 7.65 մթն: **5-61**. 24800 գ մոլ$^{-1}$: **5-62**. 373.47 Կ,

1.93×10^6 Պա: **5-63**. 0.88 գ/լ: **5-64**. 5.84 լ, 0.579 լ, 0.0527 լ: **5-65**. 0.967×10^{-4} կգ(96.7 %), 0.9999×10^{-4} կգ(≈100 %): **5-66**. 3.4×10^{-3} մոլ կգ$^{-1}$: **5-67**. 33 % O_2, 67 % N_2: **5-68**. լուծույթում՝ X_1(բ) = 0,257, X_2(տ) = 0.743, գազ ֆազում՝ X_1(բ) = 0.456, X_2(տ) = 0.544: **5-69**. 2.5×10^{-4} մոլ/լ: **5-70**. $p_{\text{ընդ}} = 3.95\times10^5$ Պա, $X(O_2) = 17\times10^{-6}$: **5-71**. ա) 2.5×10^{-3} մոլ, 0.125 մոլ, բ) 3.1 լ: **5-72**. 0.116 բար: **5-73**. 0.272: **5-74**. ա) 63 տորր, 25.4 տորր, բ) 74.9 տորր, 18.2 տորր: **5-75**. $X_{(\text{հեղ})} = 0.67$, $X_{(\text{գոլ})} = 0.44$: **5-76**. -4.2 սմ^3: **5-77**. M = 37.6 գ/մոլ, $\Delta T_{\text{սառ}} = -1.26$ Կ, $p_F/p_F^* = 0.981$, $\pi = 5.37\times10^5$ Պա: **5-78**. 3.9 մգ/լ, 1.4 մգ/լ: **5-79**. 0.327 մոլ: **5-80**. -0.034 լ: **5-81**. 5.33 մթն: **5-82**. 7.14×10^{-3} գ, 2.67×10^{-3} գ: **5-83**. 7 բար, 1.6×10^{-3} մոլ/լ, 3.4×10^{-3} մոլ/լ: **5-84**. ա) -2.31×10^{-10} Ն, բ) -2.94×10^{-12} Ն: **5-85**. 3.91 լ: **5-86**. p_A^* = 193 մմ ս.ս., p_B^* = 403 մմ ս.ս.: **5-87**. $\Delta p = 6.147\times10^{-5}$ մմ ս.ս., $\Delta T_{\text{սառ}} = 2.67\times10^{-4}$ Կ, $\Delta T_{\text{եռ}}=7.3\times10^{-5}$ Կ, π=2.67 տորր: **5-88**. լուծույթում՝ X_A= 0.65, X_B=0.35, գազ ֆազում՝ X_A=0.81, X_B=0.19: **5-89**. 0.5114 Կ կգ մոլ$^{-1}$: **5-90**. ա) գոլորշի ֆազում $X(C_2H_4Br_2) = 0.802$, բ) լուծույթում $X(C_2H_4Br_2) = 0.425$: **5-91**. լուծույթում $X(C_6H_5Cl) = 0.591$, գոլորշի ֆազում $X(C_6H_5Cl) = 0.731$, p = 1.081 մթն: **5-92**. 19.411 կՊա, 0.527, 0.473: **5-93**. p = 90 տորր, k = 671 տորր: **5-94**. 1.80:

Գլուխ 6

6-1. $[CO] = [H_2O] = 0.04$ մոլ/լ, $[CO_2] = 0.06$ մոլ/լ, $K_c = 2.25$: **6-2**. $[N_2O_4]_o$=0.33 մոլ/լ, α = 45.5 %: **6-3**. $K_p = 27$ մթն$^{-0.5}$ = 0.0848 Պա$^{-0.5}$, K_c= 12.22 (մոլ/մ^3)$^{-0.5}$ = 386.4 (մոլ/մ)$^{-0.5}$, K_x= 27: **6-4.** $\Delta_rG^o(3200) = -23.06$ կՋ/մոլ O_2, $\Delta_rG^o(3500) = 24.55$ կՋ/մոլ O_2, $\Delta_rH = -531.1$ կՋ/մոլ O_2: **6-5.** $\Delta_rG = -14.43$ կՋ/մոլ, NH_3-ի առաջացման կողմը: **6-6**. $X_A = 0.178$, $X_B = 0.031$, $X_C = 0.116$, $X_D = 0.675$, $K_p = 9.60$, $\Delta_rG^0=-5.60$ կՋ/մոլ: **6-7**. Իներտ գազի ավելացումը մեծացնում է գումարային նյութաքանակը, և որպեսզի K_p-ն չփոխվի՝ $K_p = p \times n_{CO} \times n_{Cl_2} / n_{COCl_2} \times \sum n_i$, CO-ի և Cl_2-ի նյութաքանակները պետք է մեծանան: **6-8**. 6.25×10^4 Պա^2: **6-9**. $\alpha = 0.42$, $K_p = 0.8\times10^5$: **6-10**. $K_c = 5.93\times10^{-11}$, $K_p = 1.89\times10^{-18}$: **6-11**. – 24.436 կՋ: **6-12**. 2.50×10^4 Պա: **6-13**. $\Delta_rG^0(298) = -21.48$ կՋ (հնարավոր է): **6-14**. 0.67: **6-15**. 0.18: **6-16**. ա) 53 կՋ/մոլ, բ) -53 կՋ/մոլ: **6-17**. 2.7 մոլ դմ$^{-3}$: **6-18**. 42 մոլ: **6-19**. 26 մոլ: **6-20**. 2.48 բար: **6-21**. 60.4 կՋ մոլ$^{-1}$: **6-22**. 0, դրական: **6-23**. ա) 56.8 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) -56.8 կՋ մոլ$^{-1}$: **6-24**. (25 ^{0}C) 55.9 կՋ մոլ$^{-1}$, -80.5 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, (30 ^{0}C) 2.38×10^{-14} մոլ^2 դմ$^{-6}$: **6-25**. 0.256: **6-26**. 93 %: **6-27**. 49.67 %: **6-28**. 0.083: **6-29**. 0.821×10^{-3} կգ: **6-30**. $\alpha = 0.9$, $K_c = 0.081$, m= 20.38 գ: **6-31**. ա) 0.9903, 0.488 %, բ) 0.9142, 4.88 %: **6-32**. 1) 14.59 կՋ, 2) 0, 3) –11.82 կՋ: **6-33**. $\Delta G_1 = 120.0$ կՋ, $\Delta G_2 = 6.5$ կՋ, $\Delta G_3 = 2.1$ կՋ, երեք դեպքում էլ դեպի ձախ: **6-34**. 1) 0.75 կՋ (աջից ձախ), 2) 0(տեղաշարժ չի լինի), 3) –5.2 կՋ (ձախից աջ): **6-35**. 1) – 35.32 կՋ (ձախից աջ), 2) 9.45 կՋ (աջից ձախ): **6-36**. – 399.6 կՋ: **6-37**. 6.26×10^6: **6-38**. 30.1 բար: **6-39**. $\Delta_rG^o = 9.37$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_rH^o = 2.77$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_rS^o = -16.5$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **6-40**. $K_p = 9.24$, $\Delta_rG^o = -12.9$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_rH^o = 161.5$ կՋ մոլ$^{-1}$, $\Delta_rS^o = 249$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$: **6-41**. $K_p = 1.66\times10^{-5}$: **6-42**. $K_p = 0.932$ (p =1 մթն), $K_c = 0.0352$: **6-43**. $K_p = 1.014$, $K_c = 1.871\times10^{-2}$: **6-44**. $K_p = 0.363$, $K_c = 5.69\times10^{-5}$ (5.768 մոլ/մ^3), p = 8.04×10^3 Պա: **6-45**. 7.235×10^{-2}: **6-46**. $\Delta_rH = 111$ կՋ, T = 813.9 Կ: **6-47**. $\Delta_rH = -17.345$ կՋ, $\Delta_rG = -22.270$ կՋ, $\Delta_rS = 0.859$ Ջ/Կ: **6-48**. 51.2 մթն: **6-49**. 0.018, 0.022 մթն: **6-50**. 0.904, 0.096, 19.44 գ, 2.06 գ: **6-51**. $K_P = 0.785$ մթն, $K_C = 0.0321$ մոլ/դմ^3, $K_X = 0.785$, p = 0.589 մթն: **6-52**. $3.77\cdot10^{-5}$ մոլ·դմ$^{-3}$, $2.82\cdot10^{-6}$ բար: **6-53**. 3.77×10^{-5} մոլ դմ$^{-3}$, 2.82×10^{-6} բար: **6-54**. ա) 14.42 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) 0.01 և 0.045 մոլ դմ$^{-3}$: **6-55**. ա) 28.5 կՋ մոլ$^{-1}$, 16.1 կՋ մոլ$^{-1}$, բ) 1.994 մոլ, 1.994 մոլ, 6.3×10^{-3} մոլ, 6.3×10^{-3} մոլ: **6-56**. ա) 35.1 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, բ) 1.66×10^5 մոլ դմ$^{-3}$, գ) -30.6 կՋ մոլ$^{-1}$, 2.27×10^5 մոլ դմ$^{-3}$: **6-57**. 35.1 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, 2.26×10^5 մոլ դմ$^{-3}$: **6-58**. -44.9 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, 895 Կ:

Գլուխ 7

7-1. 3.86 գ Pb: **7-2**. 4.74 : **7-3**. 12 ր 51 վ: **7-4**. 14 ր 10 վ: **7-5**. 0.594: **7-6**. 100.91 °C: **7-7**. 0.00634: **7-8**. $a_{\pm} = 0.139$, a = 3.74×10^{-4}: **7-9**. 0.05 մոլ/կգ: **7-10**. 0.06 մոլ/կգ: **7-11**. 0.08 մոլ/կգ: **7-12**. 2.73 գ: **7-13**. 0.895, 0.367, 0.641: **7-14**. 1.4 %: **7-15**. 0.162 մոլ/լ: **7-16**. 8.223×10^{-2}, 5.56×10^{-4}: **7-17**. 7.44×10^{-5}: **7-18**. 0.02 մոլ կգ$^{-1}$: **7-19**. 0.67: **7-20**. 0.118: **7-21**. 1.826: **7-22**. i = 2.21, α = 0.61: **7-23**. 5.03×10^{-4}: **7-24**. $a_{\pm} = 1.48\times10^{-2}$, a = 2.19×10^{-4}: **7-25**. 0.910: **7-26**. 0.601: **7-27**. 0.761: **7-28**. 100 %: **7-29**. 387.9 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: **7-30**. α = 0.125, [H$^+$] =1.22×10^{-4} մոլ/լ, Λ_0 = 330.7 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: **7-31**. $\Lambda_{Լի}$ = 90.00×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$, Λ_{X^-}=50.5×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$: **7-32**. 5.5×10^{-6} Ս մ$^{-1}$: **7-33**. 0.04 Ս մ^2 մոլ$^{-1}$: **7-34**. 138.3 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: **7-35**. 8.10×10^{-6} մոլ/լ: **7-36**. K = 1.79×10^{-7}, pH = 5.28: **7-37**. k = 0.141 Ս մ$^{-1}$, Λ = 0.0141 Ս մ^2 մոլ$^{-1}$: **7-38**. Λ = 3.55×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$, α = 0.0092, K=1.15×10^{-5}, pH = 2.91: **7-39**. t_+ = 0.4725, t_- = 0.5275: **7-40**. 0.319: **7-41**. 0.83, 0.17: **7-42**. +0.153 Վ: **7-43**. $\Delta_r S$ = −18.76 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **7-44**. 1.47, 49.1, 8.2×10^{16}: **7-45**. 0.86: **7-46**. +1.143 Վ: **7-47**. 0.757: **7-48**. 6.74×10^{-13}: **7-49**. ΔG^o=–70.05 կՋ/կգ, K=1.87×10^{12}, m=7.31×10^{-7} մոլ/կգ: **7-50**. pH = 6.49, a_{H^+} = 3.25×10^{-7}: **7-51**. 1.777×10^{-3} սմ: **7-52**. 8 ժ 13 ր, 9 ժ 8 ր: **7-53**. 15.82 %: **7-54**. 0.02 Ա: **7-55**. 17.282 մմ ս.ս., 100.417 °C: **7-56**. 1.5×10^{-5} մմ ս.ս.: **7-57**. ա) 2.16×10^{-17} , բ) 1.24×10^{-44}, գ) 2.32×10^{-17}: **7-58**. 2.9×10^{-9} մոլ/կգ: **7-59**. $\gamma_{\pm}(Ca^{2+})$ = 0.695, $\gamma_{\pm}(Cl^+)$ = 0.913, $\gamma_{\pm}$ = 0.834: **7-60**. $\gamma_{\pm}(Ca^{2+})$ = $\gamma_{\pm}(SO_4^{2-})$= $\gamma_{\pm}$ = 0.657: **7-61**. ա) 1.96×10^{-9}, բ) 0.94×10^{-20}, գ) 2.11×10^{-9} մոլ/կգ: **7-62**. 1.03×10^{-4} մոլ/լ: **7-63**. K(անոթ)=60 մ$^{-1}$, k = 1.55×10^{-2} Ս մ$^{-1}$, Λ = 1.55×10^{-3} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$, α = 3.97×10^{-2}, pH = 3.40, $K_դ$ = 1.59×10^{-5}: **7-64**. 3.5×10^{-4} մ վ$^{-1}$: **7-65**. 0.097: **7-66**. 116.7 Ս սմ^2 մոլ$^{-1}$: **7-67**. 5.2×10^{-5} մ/վ, 192 վ: **7-68**. α = 4.26×10^{-2}, c(H$^+$) = 3.33×10^{-4} մոլ/լ, pH = 3.48, $K_դ$ = 1.48×10^{-5}: **7-69**. 0.177 մոլ/լ, 2.72×10^{-4} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$: **7-70**. Λ = 1.25×10^{-2} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$, α = 0.583: **7-71**. 0.417, 0.583: **7-72**. Λ_- = 0.00763 Ս մ^2 մոլ$^{-1}$, u_- = 7.91×10^{-8} Ս մ^2 մոլ$^{-1}$: **7-73.** 0.82, 0.0028: **7-74**.

$t_- = 0.528$, $t_+ = 0.472$: **7-75**. 1.55×10^{13}, չի անդրադառնա: **7-76**. 2.0: **7-77**. $\Delta H=-217$ կՋ/մոլ: **7-78**. $\Delta S = 28.0$ Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, E= 0.5314 Վ: **7-79**. E = 0.4910 Վ: **7-80**. $E^o = 1.086$ Վ: **7-81**. 1.2×10^{-18}, 6.7×10^{-7} մոլ/կգ: **7-82**. 1.25 Վ: **7-83**. 3.5: **7-84**. ա) 6.1×10^{20}, բ) 9.7×10^{15}, գ) 8.19: **7-85**. ա) 0.0296 Վ, բ) 0.0414 Վ, գ) 0.050 Վ:

Գլուխ 8

8-1. 90 օր: **8-2**. ա) 2, բ) 3: **8-3.** 5.03 %, 24 ժ 14 ր: **8-4**. 6.11×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ ժ$^{-1}$: **8-5**. n= 3/2: **8-6.** Առաջին կարգ: **8-7**. 15.3 ր: **8-8**. 0.12 սմ^3 մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-9**. 3000 վ: **8-10**. 0.14 ր$^{-1}$: **8-11**. 0.14 ր$^{-1}$: **8-12**. 0.14 ր$^{-1}$: **8-13**. $v_{CO_2}=10$ մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$, $v_{O_2}=3.15$ մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-14**. 2.38×10^{-9} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-15**. 4.5×10^{-5} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-16**. $\nu(Fe^{3+}) = 1.065$ մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$, $\nu(H^+) = 1.704$ մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-17**. 312 Կ: **8-18**. 9.6×10^{-25}, 6.1×10^{-20}: **8-19**. 51.9 կՋ/մոլ: **8-20**. 2.0×10^{-7} վ: **8-21**. 1.88: **8-22**. 69.1 կՋ/մոլ: **8-23**. 1.03×10^{10}: **8-24**. 2720 տարի: **8-25**. 0.25 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$, $\tau(A) = 44.6$ ր, $\tau(B) = 81.1$ ր: **8-26**. 15.1 ժ: **8-27**. c = 0.0099 Մ, $\tau = 5.55$ տարի: **8-28**. 0.05 լ մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$, 4.00 վ: **8-29**. 26.3 ր: **8-30**. 7.4 ր: **8-31**. ա) 2, բ) 1,2,4,5: **8-32**. ա) 0.5, բ) 0.39, գ) 0.33: **8-33**. 4.1×10^{-5} բար$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-34**. 2:1: **8-35**. 7.31×10^{-5} վ$^{-1}$: **8-36**. 7.31×10^{-5} վ$^{-1}$: **8-37**. ա) 24.2ր, բ) 16.8 ր, գ) 6.8ր: **8-38**. 2.0×10^{-4} լմոլ$^{-1}$Կ$^{-1}$, 8×10^{-6} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-39**. $k = (1/t)\times\ln 2p_o/(3p_o-p)$: **8-40**. 4.19×10^{-4} ր$^{-1}$, 27.57 ժ: **8-41**. առաջին, 0.067 ր$^{-1}$: **8-42**. Զրոյական կարգ, 14.7 Պա/վ: **8-43**. առաջին, 0.047 ր$^{-1}$: **8-44**. 0.0403 ժ$^{-1}$: **8-45**. 9.38×10^{-6} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-46**. ա) 2.5×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$ (գրաֆիկից), բ) 1.52×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$, գ) 1.29×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-47**. ա) 2.50×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$ (գրաֆիկից), բ) 2.33×10^{-2} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$ (գրաֆիկից), գ) 2.06×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-48**. k=0.005 ր$^{-1}$, 69.48 %, 1.85^0 աջ պտտում: **8-49**. 0.02591 ր$^{-1}$: **8-50**. 60 ^oC: **8-51**. ա) 62.7 օր, բ) 45.7 ր: **8-52**. ա) 84.9 կՋ/մոլ, բ) 923 կՋ/մոլ: **8-53**. ա) 349 Կ, բ) 270 Կ: **8-54**. $k_{(398)}=4.58\times10^{-2}$ ր$^{-1}$, $k_{(418)}=1.67\times10^{-2}$ ր$^{-1}$, $E_a= 89.3$ կՋ/մոլ: **8-55**. 42 ^oC: **8-56**. 214 կՋ/մոլ, 0.165 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$: **8-57**. ա) 150 կՋ/մոլ, բ) 3.55×10^{-6} վ$^{-1}$: **8-58**. 23.6 ժ, 4.9 ժ: **8-59**. 104 կՋ/մոլ, 5.715 լ մոլ$^{-1}$ ր$^{-1}$: **8-60**. 0.0683 Կ$^{-1}$: **8-61**. 306 Կ: **8-62**. 9.29×10^{-4} վ$^{-1}$: **8-63**. 314 Կ: **8-64**. 340.77 Կ: **8-65**. 3.38×10^{-5} վ$^{-1}$, 409.1 մթն: **8-66**. 349.5 Կ: **8-67**. 91.7 Կ: **8-68**. 7.14 վ$^{-1}$, 116 կՋ/մոլ: **8-69**. 9×10^{-3} ր$^{-1}$: **8-70**. 40 ր: **8-71**. 1.86×10^{4} վ, 0.67: **8-72**. 7.52 կՋ մոլ$^{-1}$, -10.68 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, 10.7 կՋ մոլ$^{-1}$: **8-73**. 1.92×10^{-4} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-74**. 7.174 կՋ մոլ$^{-1}$, -87.84 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, 24.74 կՋ մոլ$^{-1}$: **8-75**. 1.77×10^{-4} վ$^{-1}$, 3.98×10^{-4} վ$^{-1}$, 8.63×10^{-4} վ$^{-1}$: **8-76**. 4.1×10^{-4} վ$^{-1}$, 2.31×10^{-4} վ$^{-1}$, 5.1215×10^{-4} վ$^{-1}$: **8-77**. 18 կՋմոլ$^{-1}$, 6 ՋԿ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **8-78**. 97.5 կՋ մոլ$^{-1}$, 119.6 կՋ մոլ$^{-1}$, 2.3×10^{9} վ$^{-1}$, -74 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **8-79**. 7.52 կՋ մոլ$^{-1}$, -10.68 Ջ մոլ$^{-1}$ Կ$^{-1}$, 10.7 կՋ մոլ$^{-1}$: **8-80**. 54.689 կՋ մոլ$^{-1}$, 2.175×10^{5} դմ^{3} մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$, 49.731 կՋ մոլ$^{-1}$, -159.4 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, 97.256 կՋ մոլ$^{-1}$: **8-81**. 84.838 կՋ մոլ$^{-1}$, 1.0012×10^{10} վ$^{-1}$, 82.359 կՋ մոլ$^{-1}$, -61.77 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, 100.76 կՋ մոլ$^{-1}$: **8-82**. 117.5 կՋ մոլ$^{-1}$, 84.1 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$, 92.4 կՋ մոլ$^{-1}$, 4.18×10^{17} դմ^{3} մոլ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-83**. 18 կՋ մոլ$^{-1}$, 6 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **8-84**. 97.5 կՋ մոլ$^{-1}$, 119.6 կՋ մոլ$^{-1}$, 2.3×10^{9} վ$^{-1}$, -74 Ջ Կ$^{-1}$ մոլ$^{-1}$: **8-85**. 1.84 վ: **8-86**. 2.5×10^{-3} մոլ/լ: **8-87**. 13971.8 տարի: **8-88**. 0.037 ր$^{-1}$, 0.021 ր$^{-1}$: **8-89**. 0.29 վ: **8-91**. $d[C_2H_4]/dt = k_1[C_2H_6]$: **8-92**. $-d[N_2O_5]/dt = 2k_2[NO_2][NO_3] = \frac{2k_1k_2}{k_{-1}+k_2}[N_2O_5]$: **8-93**. 1.52×10^{-3} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-94**. 4.76×10^{-4} մոլ լ$^{-1}$: **8-95**. 1.226×10^{-6} մոլ լ$^{-1}$ վ$^{-1}$: **8-96**. 7.2×10^{-4} մոլ լ$^{-1}$:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Լ. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, Ա. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ,
Շ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱՅԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԺՈՂՈՎԱԾՈՒ

Համակարգչային ձևավորումը՝ Կ. Չալաբյանի
Կազմի ձևավորումը՝ Ա. Պատվականյանի
Հրատ. սրբագրումը՝ Ա. Գույումջյանի

Տպագրված է «ՎԱՌՄ» ՍՊԸ-ում:
Ք. Երևան, Տիգրան Մեծի 48, բն. 43

Ստորագրված է տպագրության՝ 04.06.2020:
Չափսը՝ 60x84 1/16: Տպ. մամուլը՝ 13.875:
Տպաքանակը՝ 200:

ԵՊՀ հրատարակչություն
Ք. Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1
www.publishing.am