

37/4

**ТЕХНОЛОГИК
ЖАРАЁНЛАРНИНГ
ФИЗИК-КИМЁВИЙ
АСОСЛАРИДАН
МАСАЛАЛАР ТЎПЛАМИ**

Касб-хунар коллежлари учун



ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI OLIY VA ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ЎРТА МАХСУС, КАСБ-ҲУНАР ТАЪЛИМИ МАРКАЗИ
ЎРТА МАХСУС, КАСБ-ҲУНАР ТАЪЛИМИНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИНСТИТУТИ

Ҳ.Рустамов, Ш.Нуруллаев

ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ АСОСЛАРИДАН МАСАЛАЛАР Тўплами

*Касб-ҳунар коллежлари учун
ўқув қўлланма*

TERMIZ MUHANDISLIK-
TEKNOLOGIYA INSTITUTI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 2932
• 24 • 06 2022 yil

~~O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLY VA O'RTA MAXSUS T'ALIM
VAZIRLIGI O'RTA MAXSUS
KASB-HUNAR T'ALIM MARKAZI
HONKUNDARYO MILKATI
HONKUNDARYO O'RTA MAXSUS
KASB-HUNAR T'ALIM
MARKAZI~~

~~ISLOM KARIMOV NOMIDIDA TOSHKENT DAVLAT
TEKNIKA UNIVERSITETI TERMIZ FILIALI
AXBOROT-RESURS MARKAZI
INV. № 4837
• 15 • 01 2020 yil~~

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ»

~~YANGIARIQ O'ZBEK OQ SO'JALIK
KASB-HUNAR HONKUNDARYO
RESUR
MARKAZI
2002 YIL
№ 26/06 9~~

Тақризчилар: *А.М.Эминов* — техника фанлари доктори,
профессор,

Й.М.Мақсудов — кимё фанлари номзоди,
доцент.

Технологик жараёнларни ҳар томонлама чуқур ва атрофлича ўрганиш, таҳлил этиш, уларда содир бўлувчи кимёвий реакцияларни бошқариш ва жараёнларнинг оптимал бориш шарт-шароитини белгилаш физик-кимё фанининг назарий қонунлари ҳамда қонуниятларига асосланади. Жараёнларнинг физик-кимёвий асосларини тушуниб этишда, англаб олишда ва физик-кимё кашф этган универсал қонунларнинг амалий аҳамиятини бундай жараёнларга қўллай олишда уларга тегишли масалаларни ечиш муҳим ўрин тутди.

Ушбу қўлланма технологик жараёнларнинг физик-кимёвий асослари бўйича масалалар ечишда касб-хунар коллежлари ўқувчиларига мўлжалланган бўлиб, ўзбек тилида ёзилган биринчи ўқув адабиётидир. Ундан ҳозирги кунда кимё, нефть-газ, қурилиш, озиқ-овқат ва бошқа саноат корхоналарида меҳнат фаолиятини олиб бораётган иш усталари, кичик муҳандислар, ишлаб чиқариш технологияси билан бевоқиф бoғлиқ бўлган ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Р 1708000000—153 Катъий буюрт.—2002
353(04)—2002

ISBN 5-645-03962

© «Ўқитувчи» нашриёти, 2002

КИРИШ

Касб-хунар коллежи ўқувчиларидан «Технологик жараёнларнинг физик-кимёвий асослари» фанидан назарий билимларни чуқурлаштириш, уларнинг амалий моҳиятини тушуниш, технологик жараёнларда содир бўладиган физик-кимёвий ўзгаришларни мутахассис сифатида етарли даражада таҳлил қилиш талаб қилинади. Бу борада ҳар бир фаннинг энг муҳим назарий бўлимларига оид мисол ва масалалар ечиш муҳим аҳамиятга эга.

Юқорида келтирилган талабларни ҳисобга олиб касб-хунар коллежларида ўқитиладиган «Технологик жараёнларнинг физик-кимёвий асослари» фанидан масалалар тўпламини яратиш зарурияти пайдо бўлди. Зеро, таълим тизимининг узлуксизлигини ҳисобга олган ҳолда яратилган дарслик ва ўқув қўлланмаси мазмунини маълум даражада мантиқий тизимда равон ҳамда изчил баён қилиш услубини жиддий равишда ривожлантириш имкониятлари ортди.

Технологик жараёнларни назарий ва амалий жиҳатдан ўрганиш ҳар томонлама тушуниб комплекс равишда таҳлил қилиш ҳамда чуқур ўзлаштириб олиш жараёнида тегишли масалалар ечиш ёш мутахассислар учун муҳим аҳамиятга эга. Ўқув қўлланмада «Технологик жараёнларнинг физик-кимёвий асослари» фани дастурига киритилган барча назарий бўлимларга оид масалалар келтирилган. Шу билан бирга кимё, нефть-газ, озиқ-овқат, қурилиш материаллари ҳамда бошқа техник ихтисосликлар бўйича таълим олаётган талабаларнинг мустақил шуғулланишлари учун ҳам мисол ва масалалар берилган.

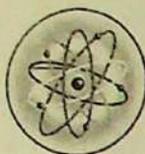
Шунингдек ушбу қўлланманинг ҳар бир бўлимига оид ечиш учун кўплаб масалалар келтирилган.

1963 йилгача амалда қўлланилган бирликлар системасини
ҳозирги СИ системасига ўтказиш коэффициентлари

	Катталиклари номи	СИ система- сида ўлчов бирлиги	1963 йилгача қўлланилган бирликлар системасидаги ўлчов бирлиги	Ҳозирги СИ систе- масига ўтка- зиш коэф- фициенти
<i>l</i>	Узунлик	м	см	10^{-3}
<i>V</i>	Ҳажм	м^3	л	10^{-3}
<i>m</i>	Масса	кг	г	10^{-3}
<i>Q</i>	Иссиқлик	Ж	кал	4,187
<i>d</i>	Зичлик	$\text{кг}/\text{м}^3$	$\text{г}/\text{см}^3$	10^3
<i>p</i>	Босим	Па ($\text{Н}/\text{м}^2$) Па ($\text{Н}/\text{м}^2$)	мм. симоб устуни, атм	$1,33 \cdot 10^2$ $1,0133 \cdot 10^5$
<i>A</i>	Иш	Ж/моль	л·атм/моль ккал/моль	$1,0133 \cdot 10^2$ $4,187 \cdot 10^2$
<i>F</i>	Куч	Н	дина	10^{-5}
<i>E</i>	Энергия	Ж Ж	эрг кал	10^{-7} 4,187
<i>C</i>	Иссиқлик	Ж/моль·град	кал/моль·град	$4,187 \cdot 10^3$
<i>E</i>	Электр юритувчи куч	В	В	1
<i>F, G</i>	Изотермик потенциал	Ж/моль	ккал/моль	$4,187 \cdot 10^3$
<i>H</i>	Энтальпия	Ж/моль	ккал/моль	$4,187 \cdot 10^3$
<i>m</i>	Моляль концентрация	кмоль/1000 кг	моль/1000 г	1
<i>c</i>	Моляр концентрация	кмоль/ м^3	моль/л	1
<i>p</i>	Солиштирма қаршилиқ	Ом·м	Ом·см	10^{-3}
<i>S</i>	Энтропия	Ж/кмоль·град	ккал/моль·град	$4,187 \cdot 10^3$
<i>U</i>	Ички энергия	Ж/кмоль	ккал/моль·град	$4,187 \cdot 10^3$
λ	Эквивалент электр ўтазувчанлик	$\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2/\text{кг-экв}$	$\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2/\text{г-экв}$	10^{-1}
η	Ёпишқоқлик	Па·с ($\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$)	СП	10^{-3}
π	Осмотик босим	Па ($\text{Н}/\text{м}^2$)	атм	$1,0133 \cdot 10^5$

Баъзи бир физик-кимёвий ўзгармас
катталикларнинг қиймати

Авогадро сони	$N_A = 6,0229 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Фарадей сони	$F = 96490 \text{ ампер} \cdot \text{с} = 26,8 \text{ ампер} \cdot \text{соат}$
Планк доимийси	$h = 0,66252 \cdot 10^{-33} \text{ Ж} \cdot \text{с}$
Больцман доимийлиги	$k = 13,805 \cdot 10^{-24} \text{ Ж/град}$
Универсал газ доимийси	$8,3146 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град} = 0,08206 \text{ л-атм/град} = 1,98 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$
Нормал шароитда (273 К ва $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$) моляр ҳажм	$= 22,415 \text{ л.}$
Атмосфера босими	$1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па (Н/м}^2\text{)}$
Абсолют температура	$T = 273,16 + t \text{ }^\circ\text{C}$



І Б О Б

ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ

Умумий термодинамиканинг биринчи қонуни — энергия сақланиш қонунининг миқдорий ифодаси бўлиб, турли энергиялар ўртасидаги миқдорий нисбатни, яъни тенгликни ўрғанади. Биринчи қонун бўйича, жараённинг бориш шароитига, унда қандай моддалар иштирок этганлигига қарамасдан, доимо маълум миқдор энергиянинг бир тури маълум миқдордаги бошқа турига айланади (эквивалентлик, яъни баробарлик қонуни).

Кимёвий термодинамика умумий термодинамиканинг бир бўлими бўлиб, унда умумий термодинамиканинг ҳамма қонун ва тенгламалари ўз кучини сақлайди. Кимёвий реакцияларда иссиқлик ажралади ёки ютилади, электр энергия вужудга келади ва ҳоказо, яъни кимёвий энергия бошқа тур энергияларга айланади. Кимёвий термодинамика кимёвий энергия билан энергиянинг бошқа турлари ўртасидаги миқдорий нисбатни ўрғанади.

Кимёвий энергия — ички энергия деб аталган энергиянинг жараёнда қанчага ўзгарганига (кўпайган ёки камайганига) тенг. *Ички энергия* системани ташкил қилган ҳамма таркибий бўлақларнинг ўзаро таъсир потенциал энергияси билан уларнинг кинетик энергияси йиғиндисига тенг. Ички энергиянинг (U) мутлақ (абсолют) миқдорини ўлчай олмаймиз, лекин жараёнда унинг қанчага ўзгарганлигини билвосита усуллар билан ўлчаш мумкин:

$$\Delta U = U_2 - U_1. \quad (1.1)$$

Биринчи қонуннинг математик ифодаси қуйидагича:

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (1.2)$$

Q — иссиқлик, U — ички энергия, A — иш. Демак, системага берилган иссиқлик системанинг ички энергиясини оширишга ва фойдали иш бажаришга сарф бўлади. Агар катталиқнинг жараёнда ўзгариши фақат системанинг бошланғич ва охири ҳолатига боғлиқ бўлса, бу хил катталиқ *тўлиқ функция* дейилади ва у чексиз кичик миқдорда « d » билан ифодаланади. Тўлиқ функция ифодасини интеграллаш мумкин. Агар катталиқнинг жараёнда ўзгариши системанинг бошланғич ва охири ҳолатидан ташқари системанинг борган йўлига боғлиқ бўлса, бунга *нотўлиқ функция* дейилади ва у чексиз кичик миқдори « δ » ҳарфи билан ифода-

ланади. Агар йўл маълум бўлмаса, нотўлиқ функцияни умумий кўринишда интеграллаш мумкин эмас.

Ички энергия тўлиқ функция бўлиб, иссиқлик ва иш нотўлиқ функциядир.

Агар фойдали иш газни фақат кенгайиб боришидан иборат бўлса,

$$\delta A = pdV; A = \int_1^2 pdV \quad (1.3)$$

ва асосий тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\delta Q = dU + pdV. \quad (1.4)$$

Изохорик — турғун ҳажмда борадиган жараёнларда системанинг ҳолатини белгиловчи ички энергия U бўлса, изобарик — турғун босимда борадиган жараёнларда энтальпия H бўлади:

$$H = U + pV, \\ \Delta H = \Delta U + d(pV). \quad (1.5)$$

Идеал газлар учун:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta nRT. \quad (1.6)$$

Δn — моль сонининг жараёнда ўзгариши.

1.1. Иссиқлик сифими

Атом, моль ва солиштирма иссиқлик сифимлари ифодаси мавжуд. Бу иссиқлик сифимларининг ўлчами қуйидагича:

Солиштирма иссиқлик сифими c — Ж/г·моль·град; C — Ж/моль·град. C_x — Ж/м³·град (ёки Ж ўрнида кал бўлиши мумкин). Булар қуйидагича боғланган:

$$C = M_c; C_x = \frac{M_c}{V}. \quad (1.7)$$

Изохорик ($V = \text{const}$) жараёнлар учун изохорик иссиқлик сифими C_V ва изобарик жараёнлар учун изобарик иссиқлик сифими C_p ифодалари мавжуд:

$$C_p - C_V = R, \quad (1.8)$$

R — универсал газ доимийлиги.

Иссиқлик сифими температурага боғлиқ бўлганлигидан (тўғри мутаносиб), ўртача (\bar{c}) ва чин (C) иссиқлик сифим ифодалари мавжуд. Ўртача иссиқлик сифими (\bar{c}) — масса бирлигидаги модданинг T_1 дан T_2 гача иситилганда сарфланган иссиқлик миқдорининг (Q) температура ўзгаришига нисбати

$$\bar{c} = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}; \quad Q = \bar{c} \cdot m(T_2 - T_1) \quad (1.9)$$

га тенг.

Масса бирлигини чексиз кичик температурада ошириш учун сарфланган иссиқлик чин сигим (C) бўлади, яъни

$$C = \frac{\delta Q}{m \cdot dT}; \quad Q = m \int_{T_1}^{T_2} C dT, \quad (1.10)$$

бу икки тенгламадан

$$\bar{c} = (T_2 - T_1) = \int_{T_1}^{T_2} C dt.$$

Демак, C дан \bar{c} га ўтиш,

$$\bar{c} = \frac{1}{(T_2 - T_1)} \int_{T_1}^{T_2} C dt. \quad (1.11)$$

\bar{c} дан C га ўтиш эса

$$C = \frac{\bar{c}(T_2 - T_1)}{dT}. \quad (1.12)$$

Амалий ҳисоботлар учун иссиқлик сигимининг температура ўзгариши эмперик тенглик билан ифодаланади, яъни

$$\left. \begin{aligned} c &= a + bT + cT^2 + \dots \\ c' &= a + bT + c'dT^{-2} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

a, b, c, c' — коэффициентларнинг қиймати турли моддалар учун маълумотномаларда берилган.

1.2. Термодинамик жараёнлар

Газлар. Иссиқликни ишга айлантирувчи қурилмаларда *ишчи жисм* — иссиқликни иссиқлик манбаидан олиб, бевосита ишга айлантирувчи сифатида газ ва буғ хизмат қилади. Шунга биноан, газлар тўғрисида баҳс юритамиз. Газсимон ҳолатни сиқиш орқали суюқликка айлантириш учун уларни аввало маълум даражада совитиш керак. Бу температура ва босим *критик температура* ва *критик босим* дейилади. Агар газсимон ҳолат критик температурадан юқорида бўлса, у *газ* ва критик температурадан пастда бўлса, *буғ* деб аталади. Масалан, кислородни критик температураси -119°C . Демак, кислородни сиқиш орқали суюқликка айлантириш учун аввало уни -119°C гача совитиш керак. Оддий шароитда у критик температурадан юқорида туради. Шунга кўра у газ деб аталади. Сувнинг критик температураси -374°C . Демак, оддий шароитда сувнинг газсимон ҳолати критик температурадан пастда, шу-

нинг учун сувнинг газсимон ҳолати буғ дейилади. CO_2 нинг критик температураси $+31^\circ\text{C}$. Демак, ёзнинг иссиқ кунларида газ ва қиш вақтида буғ бўлади.

Идеал ва реал газлар тушунчаси мавжуд. Идеал газлар тури амалда йўқ бўлиб, фақат фараз қилинади. Идеал газларда уларнинг заррачалари (атом ва молекула) ўртасида ўзаро таъсир (тортишиш ва итариш) йўқ, деб фараз қилинади ва заррачаларнинг (атом ва молекула) ҳажми умумий ҳажмга нисбатан эътиборга олинмайди. Реал газлар мавжуд бўлиб, юқоридаги фаразлар қилинмайди. Маълум шароитда (юқори температура, газнинг сийракланиши ва ҳ.к.) реал газлар ўз хоссаси билан идеал газларга яқинлашади, мана шундай ҳолларда ва ҳисоблашда катта аниқлик керак бўлмаганда реал газлар учун идеал газларнинг содда тенгламаларини қўллаш мумкин. Биз фақат идеал газлар тўғрисида баҳс юритамиз.

Газларнинг ҳолатини белгиловчи катталиклар (температура, ҳажм, босим ва ҳ.к.) *параметр* (омиллар) деб аталган физик катталиклар билан белгиланади. Бу параметрларга — температура (T), ҳажм (V), босим (p) ва бошқалар киради. Иссиқликнинг ишга айланиши жараёнида бу параметрлар ўзгариб, бир-бирлари билан маълум тенгламалар воситасида боғланади. Икки параметрнинг ўзаро боғланиши Бойль—Мариотт, Гей-Люссак ва Шарль тенгламаларида ифодаланган. Уч параметрнинг (T , V , p) боғланишини Клапейроннинг газ ҳолат тенгламаси (ёки содда қилиб, ҳолат тенглама ёки Клапейрон тенгламаси) да кўриш мумкин:

$$pV = nRT, \quad (1.14)$$

бунда: p — босим, атм ёки Па; T — абсолют температура, К ва V — солиштирма ҳажм, яъни 1 моль газнинг ҳажми, (м^3), n — моль сони:

$$n = \frac{m}{M}, \quad (1.15)$$

бунда: m — газ массаси (кг), M — молекуляр масса, R — ҳамма газларда бир хил қийматга эга бўлган универсал газ доимийлиги (газ доимийлиги), унинг қиймати фақат қайси ўлчов бирлигида ифодаланганига боғлиқ, масалан,

$$\begin{aligned} R &= 1,987 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.} = 0,082 \text{ л-атм/моль} \cdot \text{град.} = \\ &= 0,848 \text{ кг-м/моль} \cdot \text{град.} = 8,314 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.} \end{aligned} \quad (1.16)$$

R нинг физик маъноси — нормал шароитда ($p = 1$ атм, $T = 273,2$ К) $V = 22,4$ л ҳажмини эгаллаган 1 моль газ 1°C га иситилганда кенгайиб бажарган иши.

Нормал шароитда ($p = 1$ атм; $T = 273,2$ К) 1 моль газ, масалан, 2 г водород, 32 г кислород, 28 г азот ҳар бири 22,4 л ҳажми эгаллайди. 1 кмоль газ ҳам 22,4 м³ ҳажми эгаллайди.

Баъзан ҳолат тенгламаси техник ўлчашларда моль ҳисобида эмас, кг ҳисобида ифодаланади:

$$10^4 \cdot pV = mRT, \quad (1.17.)$$

бунда: p — босим, кг/м², V — солиштирма ҳажм, 1 кг газнинг ҳажми (м³), m — масса, кг.

Бир атмосфера босими 10333 кг/м² га тенг. Шунга кўра, босим атмосфера ўлчамидан кг/м² ўлчамига ўтганда p атм ни $1,0333 \cdot 10^4$ (жуда катта аниқлик талаб қилинмаганда 10^4) га кўпайтириш керак бўлади. R — 1 кг га нисбатан ҳисобланганда

$$R = \frac{1,0133 \cdot 10^4 \cdot 22,4}{M \cdot 273} = \frac{848}{M} \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{моль} \cdot \text{град}, \quad (1.18.)$$

M — модданинг молекуляр массаси.

Термодинамик жараёнлар тури. Турли термодинамик жараёнларни ўрганишда, агар ишчи жисм идеал газ бўлса, икки нарса-ни, яъни:

1) турли термодинамик жараёнларда ишчи жисмнинг параметрлари (T_1 , V_1 , p_1) нинг ўзгариши ва уларнинг ўзаро боғланишини;

2) олинган иссиқликни қанча қисми ишга ва қанча қисми ишчи жисмнинг ички энергияси ўзгаришига сарф бўлганини билиш керак бўлади.

Термодинамик жараёнлар тўрт синфга бўлинади: 1) изотермик; 2) изохорик; 3) изобарик; 4) адиабатик.

Термодинамиканинг биринчи қонунининг асосий тенгламаси қуйидагига тенг:

$$Q = \Delta U + A; \quad \delta Q = dU + pdV$$

Бу жараёнларда Q нинг ўзгаришини баҳс этамиз. 1 кг моддани бир градусга қиздириш учун, бир солиштирма иссиқлик керак бўлади: $Q = c$, агар m кг моддани бир градусгача иситиш керак бўлса, температурани кўтариш учун Q иссиқлик керак бўлади, яъни $Q = ct$ ва m кг моддани t °С температурагача иситиш керак бўлса, t маротаба иссиқлик керак бўлади, яъни

$$\delta Q = nCdT \text{ ёки } \delta Q = mCdT, \quad (1.19.)$$

n — моль сони, m — кг. Унда,

$$Q = n \int_{T_1}^{T_2} CdT \text{ ёки } Q = m \int_{T_1}^{T_2} CdT. \quad (1.20.)$$

Агар c — иссиқлик сифими температурага боғлиқ бўлмасдан $c = \text{const}$ бўлса:

$$Q = nC(T_2 - T_1) \text{ ёки } Q = mc(T_2 - T_1). \quad (1.21.)$$

Агар c температурага боғлиқ бўлса, унинг қиймати (1.13.) тенгламадан олинади:

$$\left. \begin{aligned} Q &= n \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT; & Q &= m \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT. \\ \text{Изохорик } (V = \text{const}) \text{ жараёнда,} \\ Q_V &= \Delta U = n \int_{T_1}^{T_2} C_V dT; & Q_V &= \Delta U = m \int_{T_1}^{T_2} C_V dT. \\ \text{Изобарик } (p = \text{const}) \text{ жараёнда,} \\ Q_p &= \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT; & Q_p &= \Delta H = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dT. \end{aligned} \right\} \quad (1.22.)$$

Бу ерда T_1, T_2 — олдинги ва сўнгги температуралар.

Изохорик жараён. Бу жараёнда ҳажм ўзгармайди, яъни $V = \text{const}$ ва $V_1 = V_2$ ҳамда $dV = 0$ бўлади (1.1-расм). Бажарилган иш эса $A = pdV = 0$ га тенг. У ҳолда

$$A = \int pdV = 0 \text{ ва } Q = \Delta U$$

бўлади.

Унда,

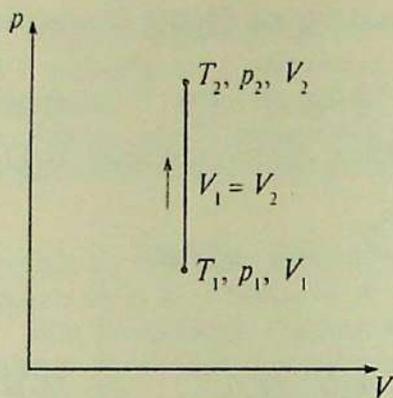
$$Q = \Delta U = mC_V(t_2 - t_1) \quad (1.23.)$$

Демак, системага берилган иссиқлик системанинг фақат ички энергиясини ошишига сарф бўлади. Бу ҳолатда газнинг температураси билан босими ўзгаради ва бу параметрлар Шарль қонунига биноан қуйидагича боғланган:

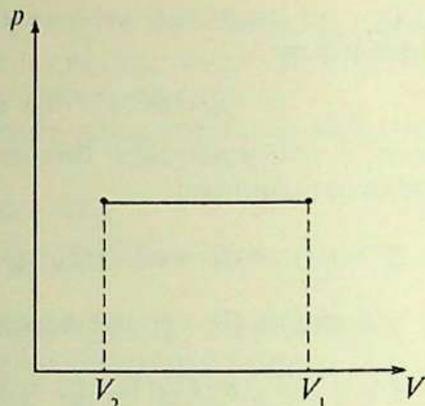
$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (1.24.)$$

T_1, p_1 — дастлабки, T_2, p_2 — жараён сўнггисидаги температура ва босимлар. Демак, изохорик жараёнда босимни ошиши абсолют температура билан тўғри мутаносиб боғланган, яъни босим ошганида температура ҳам ортади (1.1- расм) ва аксинча.

Изохорик жараёнда газ ёндирилганда газнинг ички энергиясини ошиши кимёвий энергия ҳисобига боради. Газ ёнганда кимёвий энергия иссиқлик энергиясига айланиб, ички энергияни оширади.



1.1-расм.



1.2-расм.

Изобарик жараён. Изобарик жараёнда $p = \text{const}$, $p_2 = p_1$, яъни жараён давомида босим ўзгармайди, температура ва ҳажм ўзгаради ва Гей-Люссак қонуни бу параметрларнинг боғланишини ифодалайди:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}. \quad (1.25)$$

Демак, изобарик жараёнда ҳажм температурага тўғри пропорционал, яъни температура кўтарилиши билан ҳажм ошади (1.2- расм). Изобарик жараёнда газ кенгайиб иш бажаради:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1). \quad (1.26)$$

Термодинамиканинг биринчи қонунига мувофиқ $Q = \Delta U + A$, яъни берилган иссиқлик газнинг ички энергиясини оширишга ва иш бажаришга сарф бўлади. Изобарик жараёнда сарфланган иссиқликнинг қанча қисми ишга айланганлигини билиш учун юқоридаги тенгламани Q га бўлиш керак:

$$\frac{Q}{Q} = \frac{\Delta U}{Q} + \frac{A}{Q}, \text{ бундан } 1 = \frac{\Delta U}{Q} + \frac{A}{Q} \text{ ва}$$

$$\frac{A}{Q} = 1 - \frac{\Delta U}{Q} = 1 - \frac{C_v \cdot dT}{C_p \cdot dT} = 1 - \frac{C_v}{C_p} = 1 - \frac{1}{K} = 1 - \frac{1}{1,4} = 0,285, \quad (1.27.)$$

(икки атомли газлар учун $\frac{C_p}{C_v} = 1,4$ га тенг).

Демак, ишчи жисмга берилган иссиқликнинг 0,285 қисми (28,5%) ишга ва 0,715 қисми (71,5%) ички энергияни оширишга сарфланади.

Изобарик жараёнда иссиқлик миқдори — Q_p тенг бўлади:

$$Q_p = \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT; \quad Q = \Delta H = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dT. \quad (1.28.)$$

Агар $C_p = \text{const}$ бўлса, яъни температура ўзгариши билан ўзгар-маса:

$$Q_p = \Delta H = n C_p (T_2 - T_1); \quad Q = m C_p (T_2 - T_1). \quad (1.29.)$$

Изотермик жараён. Бу хил жараёнда $T = \text{const}$, $T_1 = T_2$ ва $dT = 0$ бўлади, яъни жараён давомида температура ўзгармайди. Бу жараёнда ҳажм ва босим ўзгаради (1.3- расм). Улар орасидаги боғ-ланишни Бойль—Мариотт қонуни ифодалайди:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}.$$

Изотермик жараёнда ишчи жисмининг ҳажми ва босим тескари мутаносиб равишда ўзгаради. Термодинамиканинг биринчи қону-нини $Q = \Delta U + A$ тенгламасига мувофиқ изотермик жараёнда $T_1 = T_2$ бўлганлигидан $\Delta U = 0$ бўлади ва $Q = \Delta H + A$. Бундан $Q = A$.

Демак, изотермик жараёнда газга берилган иссиқликнинг ҳам-маси ишга айланади:

$$\begin{aligned} A &= \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} = RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \\ &= 2,3 \cdot RT \cdot \lg \frac{V_2}{V_1} = 2,3 \cdot RT \cdot \lg \frac{p_1}{p_2}. \end{aligned} \quad (1.30.)$$

$$RT = pV \quad \text{ва} \quad p = \frac{RT}{V}.$$

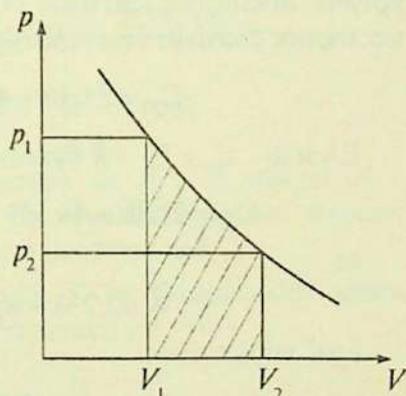
1.3- расмдаги катакларнинг юзаси қиймати жиҳатидан ишга тенг.

Адиабатик жараён. Адиабатик жа-раёнда система (ишчи жисм) ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайди, $Q = \text{const}$ бўлади.

Термодинамиканинг биринчи қонунининг асосий тенгламасига му-вофиқ: $Q = \Delta U + A$ ва адиабатик жара-ёнда $Q = 0$ бўлганлигидан:

$$-\Delta U = A. \quad (1.29.)$$

Демак, адиабатик жараёнда иш фақат ички энергиянинг камайиши ҳисобига бажарилади.



1.3-расм.

1.3. Масалалар ечиш намунаси

1. Кислород 288 К дан 318 К (15 °С–45 °С) га иситилганда ўртача солиштирма (1 кг учун) изохорик иссиқлик сифими C_V ни аниқланг. Кислороднинг изобарик моляр чин иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган:

$$C_p = 31,16 + 3,39 \cdot 10^{-3} T = a + bT, \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Ечиш. (1.8.) тенгламага мувофиқ:

$$\overline{C_V} = \frac{C_p - R}{M},$$

M – кислороднинг молекуляр массаси. $M = 32$ га тенг.

(1.11.) тенгламага мувофиқ:

$$\begin{aligned} \overline{C_p} &= \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} (a + bT) dT = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} (a dT + bT dT) = \\ &= \frac{1}{T_2 - T_1} \left[a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) \right] = \frac{1}{T_2 - T_1} \left[a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2 + T_1)(T_2 - T_1) \right] = \\ &= (a + b) \frac{(T_2 + T_1)}{2} \text{ ва} \end{aligned}$$

$$\overline{C_p} = (a + b) \frac{(T_2 + T_1)}{2} = (31,16 + 3,39 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{288 + 318}{2} = 32,19 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Демак,

$$\overline{C_V} = \frac{C_p - R}{M} = \frac{32,19 - 8,3146}{32} = 0,716 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град.}$$

2. CO_2 нинг 473 К (200 °С) да ҳажм бўйича солиштирма (1 м³ учун) чин иссиқлик сифими (q) ва ҳажм бўйича солиштирма ўртача иссиқлик сифими (C_p) ни аниқланг. CO_2 нинг моляр чин иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган:

$$C_p = 21,36 + 44,14 \cdot 10^{-3} T, \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Ечиш. $C_V = C_p - R$ бўлганлигидан, C_p ни 473 К да аниқлаймиз.

$$C_p = 21,36 + 44,14 \cdot 10^{-3} \cdot 473 = 42,238 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$$

ва

$$C_V = 42,238 - 8,3146 = 33,923 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

1 м³ учун:

$$C_V = \frac{33,923}{22,4} = 1,961 \text{ Ж/м}^3 \cdot \text{град.}$$

1 м³ учун ўртача иссиқлик сифим:

$$\begin{aligned}\bar{C}_p &= \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} C dT = a + \frac{b}{2} T = \\ &= \frac{1}{22,4} \left[21,36 + \frac{44,14}{2} \cdot 473 \right] = 14,154 \text{ Ж/м}^3 \cdot \text{град.}\end{aligned}$$

3. 1773 К (1500 °С) да азотнинг ўртача изохорик C_V иссиқлик сифимини: 1) молекуляр; 2) масса бўйича; 3) ҳажм бўйича аниқланг.

$$\bar{C}_p = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3} T = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3} \cdot 1773 = 35,44 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Ечиш. 1 моль учун:

$$C_p = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3} T = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3} \cdot 1773 = 35,44 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

а) 1 кг учун:

$$C_V = \frac{C_p}{M_{N_2}} = \frac{35,44}{28} = 4,26 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град.}$$

б) 1 м³ учун:

$$C_V = \frac{35,44}{22,4} = 1,58 \text{ Ж/м}^3 \cdot \text{град.}$$

4. Рутин (TiO₂) нинг ўртача иссиқлик сифими 273 К (0 °С) дан T (t °С) градусгача қиздирилганда температура ўзгариши билан қуйидагича ўзгаради:

$$\bar{C} = 0,782 + 1,41 \cdot 10^{-2} t - 0,557 \cdot 10^{-3} t^2 \text{ Ж/г} \cdot \text{град.}$$

1773 К (500 °С) даги чин иссиқлик сифимини аниқланг.

Ечиш. (1.12.) тенгламага мувофиқ:

$$\begin{aligned}C &= \frac{d[\bar{c}(t_2 - t_1)]}{dt} = \frac{d[\bar{c}t_2]}{dt} = 0 + 1,41 \cdot 10^{-2} - \frac{0,552 \cdot 10^{-3}}{t} = \\ &= 1,41 \cdot 10^{-2} + \frac{0,552 \cdot 10^{-3}}{500} = 1,0015 \text{ Ж/г} \cdot \text{град.}\end{aligned}$$

5. $T_1 = 400$ К (273 °С) да температура ва $p_1 = 2$ атм.да $V_1 = 2 \cdot 10^{-1}$ м³ (20 л.) ҳажми эгаллайди. Бу газнинг нормал шароит ($p = 1$ атм, $T_2 = 273$ К) да ҳажми қанчага тенг бўлади?

Ечиш. Аввало, $p = \text{const}$ да, T_1 дан T_2 га ўзгарганида ҳажм Гей-Люссак қонунидан фойдаланиб аниқланади:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ ва } V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1}.$$

Энди турғун температура ($T_2 = \text{const}$) да босим p_1 дан p_2 га келгандаги ҳажми Бойль–Мариотт қонунидан аниқлаймиз.

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{p_1}{p_2} \text{ ва } V_3 = \frac{V_2 \cdot p_1}{p_2} = \frac{V_1 \cdot T_2 \cdot p_1}{T_1 \cdot p_2} = \frac{20 \cdot 273 \cdot 20}{400 \cdot 1} = 27,32 \text{ л.}$$

6. 5 моль газ $T = 298 \text{ К}$ да температура ва 273 мм Hg да қанча ҳажми эгаллайди?

Ечиш. Ҳолат тенгламага мувофиқ: $pV = nRT$ ва

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{5,0 \cdot 0,0821 \cdot 298 \cdot 760}{273} = 120 \text{ л.}$$

7. Дизель моторининг ишга тушган пайтдаги сиқилган газнинг босими 60 атм дан 45 атм тушган. Сиқилган газ тўлдирилган баллоннинг ҳажми $70 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (70 л.), уйнинг температураси 300 К (27 °С). Двигателни ишга туширишда сарф бўлган ҳавонинг массасини аниқланг. $R = 29,27$. Одатда, иссиқлик билан боғланган ҳисоботларда, масалан, ички ёниш двигателларида $R_2 = \gamma R_1$ ифодаси қўлланилади. Бунда: R_1 – газни ёнишдан олдинги қиймати, R_2 – ёнгандан кейинги қиймати, γ – ёниш жараёнида газ молекулалари сонининг ўзгариши.

Ечиш. $\Delta m = m_2 - m_1$ ҳолат тенгламадан:

$$p_1 V_1 = m_1 R T \text{ ва бундан } m_1 = \frac{p_1 V_1}{T},$$

$$p_2 V_2 = m_2 R T \text{ ва бундан } m_2 = \frac{p_2 V_2}{T},$$

демак,

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{pV}{RT} (p_2 - p_1) = \frac{70 \cdot 10^{-3} (60 - 45)}{29,27 \cdot 300} = 1,22 \text{ кг.}$$

8. Ёпиқ идишда 5 кг кислородни 373 К дан 573 К (100 °С дан 300 °С гача) иситиш учун қанча иссиқлик керак бўлади ва қанча нефть керак бўлади? Иссиқлик сиғими температура билан қуйидагича боғланган:

$$C = a + bT = 47,03 + 0,00803 T.$$

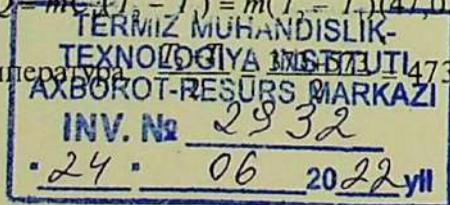
1 кг нефть ёнганда 4187 Ж иссиқлик беради.

Ечиш.

Керакли иссиқлик миқдори Q :

$$Q = mC(T_2 - T_1) = m(T_2 - T_1)(47,03 + 0,00803 T);$$

ўртача температура



$$Q = 5(47,03 + 0,008037)(T_2 - T_1) = 5(47,03 + 0,008037 \cdot 473) \cdot (573 - 273) =$$

керакли нефть.

$$\frac{1036,6}{41,87} = 0,91 \text{ кг.}$$

9. CO_2 нинг моляр изобарик иссиқлик сизими (C_p) 198 К (-75°C) ва 293 К (20°C) чегарасида температура билан қуйидаги тенглама билан боғланган:

$$C_p = 44,14 + 17,354 \cdot 10^{-3} T \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Бу температура чегарасида ички энергиянинг ўзгаришини — $\Delta U = \Delta U_{293} - \Delta U_{198}$ аниқланг.

Ечиш. (1.22.) ва (1.23.) тенгламаларга мувофиқ:

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT \text{ ва } C_p = C_V + R, C_V = C_p - R.$$

Агар $R = 8,314 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$ бўлса,

$$C_V = 35,8254 + 9,04 \cdot 10^{-3} T$$

ва

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} (44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T) dT - 8,3146 = 2179,49 \text{ Ж (520,53 кал).}$$

10. Нормал шароитдаги ($T = 273 \text{ К}$, $p = 1 \text{ атм.}$) газнинг ҳажми $V_0 = 22,4 \text{ л}$ га тенг. Газни икки мартаба сиқиш учун $V = \frac{V_0}{2}$, қанча иш сарф қилиш керак бўлади?

Ечиш. $A_p = p\Delta V$; $\Delta V = \frac{22,4}{2}$ га тенг. Демак, босимни (p) билиш керак. Бу жараён изотермик ($T = \text{const}$) равишда бораётир ва шунга кўра бу жараёнда V , p ўзгаради ва Бойль—Мариотт қонунига мувофиқ:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} \text{ ва } p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{1 \cdot 22,4}{11,2} = 2 \text{ атм.}$$

ва демак,

$$A_p = p\Delta V = 2 \cdot (22,4 - 11,2) = 2 \cdot 11,2 = 22,4 \cdot 1,0133 \cdot 10^5 = 22,69 \cdot 10^5 \text{ Ж}$$

11. 1 моль сув 373 К (100 °С) температурагача буғлантирилиб, 923 К (650 °С) гача иситилган. Бу жараёнда энтальпия (ΔH) ўзгаришини аниқланг. Сув буғининг изобарик моляр иссиқлик сифими (C_p) температура ўзгариши билан қуйидагича боғланган:

$$C_p = 30,0 + 10,71 \cdot 10^{-3} T.$$

Ечиш. (1.22.) тенгламага мувофиқ:

$$\begin{aligned} \Delta H &= n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 1 \cdot \int_{373}^{923} (30,0 + 10,71 \cdot 10^{-3} T) dT = \\ &= 30,0(923 - 373) + \frac{10,71}{2} (923^2 - 373^2) = 16225 \text{ Ж (3875 кал)}. \end{aligned}$$

12. 1.4-расмда кўрсатилган 1–2–3-жараёнларда ҳавонинг дастлабки параметрлари қуйидагича бўлган: $p_1 = 10$ атм, $V_1 = 0,1$ м³ (10 л), $T = 323,2$ К. ($t_1 = 50$ °С). 1–2-жараён изобарик ($p = \text{const}$), 2–3-жараён изотермик ($T = \text{const}$) бўлган. 1–2-жараёнда ҳажм 2 марта ошган, 2–3-жараёнда 10 марта ошган. Ҳавонинг иссиқлик сифими $C_p = 7,118$ Ж/кг·град (1,7 кал/кг·град).

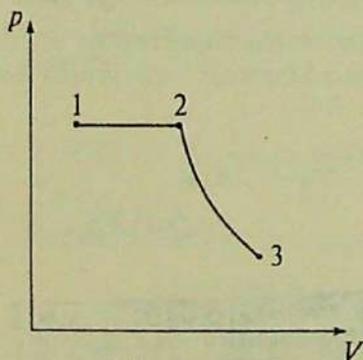
Қуйидагиларни аниқланг: 1) кейинги температура; 2) кейинги босим; 3) ҳавонинг массаси (m); 4) ички энергиянинг ўзгариши (ΔH); 5) бажарилган иш (A); 6) ажралган иссиқлик (Q).

Ечиш. 1–2-жараён $p = \text{const}$, демак, T билан V ўзгаради ва Бойль–Мариотт қонунига мувофиқ:

$$\begin{aligned} \frac{T_2}{T_1} &= \frac{V_2}{V_1}; \quad T_2 = \frac{T_1 \cdot V_2}{V_1} = 323 \cdot 2 = 646 \text{ К (373 °С)} \text{ ва} \\ p_1 &= p_2 = 10 \text{ атм.} \end{aligned}$$

2–3-жараёнларда V ва p ўзгаради, Бойль–Мариотт тенгламасига мувофиқ:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_3}{p_2}; \quad p_3 = \frac{p_2 V_2}{V_3} = 10 \cdot \frac{1}{10} = 1 \text{ атм.}$$



1.4-расм.

3) Газ массаси m ни аниқлаймиз. Ҳолат тенгламасига мувофиқ $p_1 V_1 = mRT$, бундан:

$$p_1 V_1 = mRT \text{ ва } m = \frac{p_1 V_1}{RT},$$

$$m = \frac{10^4 \cdot 100,1}{29,27 \cdot 323} = 1,05 \text{ кг.}$$

4) Ички энергиянинг ўзгариши:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta U_{1-2} + \Delta U_{2-3} = \\ &= C_p m (T_2 - T_1) + C_v m (T_3 - T_2). \end{aligned}$$

$T_2 = T_3$, бўлганлигидан, $mC_v(T_3 - T_2) = 0$ ва

$$C_p = C_v + R = 7,188 + 8,3143 = 15,423.$$

$$\begin{aligned}\Delta U = \Delta U_{1-2} &= C_p m (T_2 - T_1) = 15,423 \cdot 1,05(646 - 323) = \\ &= 523,38 \text{ Ж} = 125,0 \text{ кал}.\end{aligned}$$

5) Бажарилган иш (A) (1.3.) тенгламага мувофиқ:

$$\begin{aligned}A &= A_{1-2} + A_{2-3} = p(V_2 + V_1) + 2,3p_2V_2 \lg \frac{V_3}{V_2} = \\ &= 10^4 \cdot 10(0,2 - 0,1) + 2,3 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot \lg 10 = 5606 \text{ кг} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$
$$A = 10(0,2 - 0,1) + 2,3RT \lg \frac{V_2}{V_1} = 1 + 2,3 \cdot 8,3146 \cdot \lg 10 = 19,22 \text{ Ж}.$$

6) Берилган иссиқлик (Q):

$$Q = \Delta U + A = 523,34 + 19,22 = 542,56 \text{ Ж} (129,58 \text{ кал}).$$

13. 5 кг ҳаво адиабатик кенгайган вақтда температура 600 К дан 300 К (327 °С дан 27 °С) гача совиган. Ҳаво бажарган ишни аниқланг. $C_v = 7,118 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$.

Ечиш. Термодинамиканинг биринчи асосий қонунига мувофиқ: $Q = \Delta U + A$. Адиабатик жараёнда $Q = 0$ га тенг бўлганлигидан:

$$\begin{aligned}\Delta Q = \Delta U &= mC_v(T_2 - T_1) = 5 \cdot 7,118 \cdot (300 - 600) = \\ &= 10677 \text{ Ж} = 10,677 \text{ кЖ} (2,55 \text{ ккал}).\end{aligned}$$

14. 100 г CO_2 газининг 0 °С температура ва $1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимда турибди. Куйидаги:

а) газ изотермик равишда $V = 0,2 \text{ м}^3$ гача кенгайганда;

б) шу ҳажм изобарик равишда кенгайганда;

в) изохорик равишда босим $2,026 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ сиқилган жараёнлардаги Q , A , ΔU , ΔH қийматларини аниқланг.

CO_2 идеал газлар қонунига бўйсунган деб фараз қилинг. $C_p = 3,71 \text{ ж/моль} \cdot \text{град}$ га тенг.

Ечиш. а) изотермик кенгайиш:

$dU = C_v dT$ ва $\Delta H = C_p dT$ бўлганлигидан, изотермик жараёнда ($dt = 0$) $\Delta U = 0$ ва $\Delta H = 0$ га тенг бўлади.

Изотермик жараёнда $dH = 0$ га тенг бўлганлигидан, изотермик жараёнда $Q = A$ бўлади. (1.30.) тенгламадан A ва Q аниқланади:

$$Q = A = 2,3nRT \lg \frac{V_2}{V_1},$$

бу тенгламани йиғиш учун аввало n ва V_1 (газнинг олдинги ҳажми) ларни аниқлаш керак.

$n = m/M = 2,27$ моль; CO_2 нинг молекуляр массаси: $M = 44$. Бошланғич ҳолат тенгламасидан (V_1) ни аниқланади:

$$V_1 p_1 = nRT; \quad V_1 = \frac{nRT}{p_1} = \frac{2,27 \cdot 8,314 \cdot 273}{1,013 \cdot 10^5} = 0,0509 \text{ м}^3$$

ва ниҳоят:

$$Q = A = 2,3 \cdot 2,27 \cdot 8,314 \cdot 273 \cdot \lg \frac{0,2}{0,0509} = 7070 \text{ Ж} = 7,07 \text{ кЖ};$$

б) жараён изобарик бўлганида (1.29.) тенгламага мувофиқ:

$$Q_p = \Delta H = nC_p(T_2 - T_1) = \frac{nC_p T_1}{V_1}(V_2 - V_1).$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ тенгламадан } T_2 = T_1 \cdot \frac{V_2}{V_1}.$$

$$Q_p = \Delta H = \frac{nC_p T_1}{V_1}(V_2 - V_1) = \frac{2,27 \cdot 37,1 \cdot 273}{0,0509}(0,2 - 0,0509) = 67410 \text{ Ж} = 67,4 \text{ кЖ}.$$

Газ изобар кенгайгандаги бажарилган иш (1.26.) тенгламага мувофиқ:

$$A = p(V_2 - V_1) = 1,013 \cdot 10^5(0,2 - 0,0509) = 15000 \text{ Ж} = 15 \text{ кЖ}.$$

ΔU ни аниқлаш (1.27.) тенгламага мувофиқ амалга оширилади:

$$\Delta U = Q - A = 67,4 - 15 = 37,2 \text{ кЖ};$$

в) изохорик жараён. Жараёнда ҳажм ўзгармаганлигидан (1.3.) тенгламага мувофиқ $A = 0$ бўлади ҳамда (1.2.) ва (1.9.) тенгламаларга мувофиқ:

$$Q_v = \Delta U = nC_v(T_2 - T_1) = \frac{nC_v T_1}{p_1}(p_2 - p_1).$$

$C_p = C_v + R$ бўлганлигидан

$$C_v = C_p - R = 37,1 - 8,314 = 28,8 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

$$Q_v = \Delta U = \frac{nC_v T_1}{p_1} = \frac{2,27 \cdot 28,8 \cdot 273}{1,013 \cdot 10^5}(2,026 \cdot 10^5 - 1,013 \cdot 10^5) = 17900 \text{ Ж} = 17,9 \text{ кЖ}.$$

(1.5.), (1.6.) тенгламалардан изохорик жараён учун $-\Delta H$:

$$\Delta H = \Delta U + V(p_2 - p_1) = 17,9 - 0,0509(2,026 - 1,013) \cdot 10^5 = 23,1 \text{ Ж}.$$

15. Толуолнинг қайнаш температураси 383 К, солиштирма бугланиш иссиқлиги 33,6 кЖ/моль. Бугни идеал газ деб фараз қилинг. Суюқлик ҳажми буг ҳажмига нисбатан жуда кичик бўлганлигидан,

уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Толуолнинг молекуляр массаси $M = 92,14$. 6 г толуол буғлатилгандаги Q , A , ΔU , ΔH ларнинг қий-матларини аниқланг.

Ечиш. Буғланиш жараёни изобарик ($p = \text{const}$) жараён бўлган-лигидан (1.22.) тенгламага мувофиқ:

$$Q = \Delta H = nL = \frac{m}{M} L,$$

L — буғланиш иссиқлиги, M — молекуляр масса.

$$Q_p = \Delta H = \frac{6}{92,14} \cdot 33,6 \cdot 10^3 = 2,19 \cdot 10^3 \text{ Ж}.$$

Бажарилган иш A — изобарик жараёнда (1.26.) тенгламага му-вофиқ:

$$A = p(V_6 - V_c) = pV_6 = nRT = \frac{6 \cdot 8,314 \cdot 383}{92,14} = 203 \text{ Ж},$$

V_6 , V_c — буғ ва суюқлик ҳажми.

ΔU ни (1.5.) тенгламага мувофиқ аниқлаймиз:

$$\Delta H = \Delta(U + pV) = \Delta U + p \cdot \Delta V = \Delta U + p \cdot V_6,$$

ва

$$\Delta U = \Delta H - p \cdot V_6 = \Delta H - nRT = 2190 - 203 = 1987 \text{ Ж}.$$

16. 1 моль N_2 билан 3 моль H_2 аралашмаси $T_1 = 298$ К дан $T_2 = 500$ К гача қиздирилганда ички энергия ва энтальпиянинг қанчага ўзгаришини аниқланг.

$$C_{p,N_2} = 29,176 \cdot 10^3 - 0,8510T + 2,0131 \cdot 10^{-3}T^2 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

$$C_{p,H_2} = 27,3139 \cdot 10^3 - 5,2327T - 0,0004187 \cdot 10^{-3}T^2 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

Ечиш. (1.21.) тенгламага мувофиқ:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_{N_2} + \Delta H_{H_2} = \int_{298}^{500} C_{p,N_2} dT + 3 \int_{298}^{500} C_{p,H_2} dT = \\ &= \int_{298}^{500} (C_{p,N_2} + C_{p,H_2}) dT = \int_{298}^{500} [(29,176 \cdot 10^3 - 0,8380T - 2,013 \cdot 10^{-3}T^2) + \\ &+ 3(27,3159 \cdot 10^3 - 5,2337 - 0,004187 \cdot 10^{-3}T^2)] dT = 23832,88 \cdot 10^3 \text{ Ж}. \end{aligned}$$

$$\Delta U = U_2 - U_1; U_1 = H_1 - p_1V_1; U_2 = A_2 - p_1V_2 \text{ ва}$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta H - p_1V_1 + p_2V_2 = \Delta H - (n_{N_2} + n_{H_2})RT_2 = \Delta H - 4RT_2 + 4RT_1 = \\ &= 23852,88 \cdot 10^3 - 4 \cdot 8,314 \cdot (500 - 298) = 174134,36 \cdot 10^3 \text{ Ж}. \end{aligned}$$

17. Газ (атм, турғун босимда) 10 литрдан 16 литргача кенгайиш жараёнида 300 кал (1256,1 Ж) иссиқлик ютилган. Ички энергиянинг ўзгаришини аниқланг.

Ечиш. (1.2.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta U = Q - A; \quad Q = 300 \text{ кал} = 1256,1 \text{ Ж.}$$

$$A = p(V_2 - V_1) = 1(16 - 10) = 6 \text{ л-атм.}$$

$$A = 6 \cdot 1,0133 \cdot 10^2 = 607,98 \text{ Ж.}$$

$$\Delta U = 1256,1 - 607,98 = 649,02 \text{ Ж.}$$

18. Бошланғич босими $p = 750$ мм. симоб устунига тенг бўлган 1 м^3 ҳавони турғун ҳажмда 0° дан 1°C гача иситиш учун қанча иссиқлик керак бўлади? Нормал шароитда ҳавонинг зичлиги $d = 0,00129 \text{ г/см}^3$. Турғун босимда солиштирма иссиқлик сифими $C_p = 0,24 \text{ кал/г} \cdot \text{град.}$, $C_p/C_v = 1,4$.

Ечиш. (1.20.) тенгламага мувофиқ:

$$Q = m C_v dT,$$

m — ҳавонинг массаси,

$$d = \frac{m}{V}; \quad m = d \cdot V = 1,29 \cdot 10^{-3} 10^6 = 1,29 \cdot 10^3 \text{ г.}$$

$$\frac{C_p}{C_v} = 1,4 \quad \text{ва} \quad C_v = \frac{C_p}{1,4} = \frac{0,24}{1,4} = 0,172.$$

Демак,

$$Q = m C_v dT = 1,29 \cdot 10^3 \cdot 0,172 \cdot 1 = 222 \text{ кал.}$$

Масалалар

1. Кислороднинг 288 К (15°C) ва 318 К (45°C) оралиғидаги ўртacha массаси (кг бўйича) ва солиштирма изохорик иссиқлик сифими C_v ни аниқланг. Молекуляр иссиқлик сифими температура ўзгариши билан қуйидагича боғланган:

$$C_v = 23,146 + 3,8 \cdot 10^{-3} T \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Кислороднинг молекуляр массаси $M = 32$ га тенг.

2. 288 К (15°C) температурада молекуляр массаси 1 кг , ҳажми 1 м^3 бўлган азотнинг изохорик иссиқлик сифимини C_v аниқланг. Азотнинг молекуляр иссиқлик сифими C_v температура билан қуйидагича боғланган:

$$C_v = 19,22 + 9,19 \cdot 10^{-3} T.$$

3. 200 К–300 К чегарасида аммиак NH_3 нинг изобарик моляр (чин) иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган:

$$C_p = 24,8 + 32,5 \cdot 10^{-3} T - 7,36 \cdot 10^{-6}.$$

200 К–300 К температура чегарасида NH_3 нинг ўртача моляр изобарик иссиқлик сифимини аниқланг.

4. 10^{-3} м^3 (100 л) идишда 300 К (27 °С) температурада 300 г кислород жойлашган. Идишдаги босим қанчага тенг?

$R = 0,0821 \text{ л-атм/град}$. Кислороднинг молекуляр массаси 32 га тенг.

5. Температура 288 К (215 °С) дан 318 К (45 °С) гача ўзгариш жараёнида кислороднинг солиштирма ўртача иссиқлик сифими C_v қанчага тенг?

C_v температура билан қуйидагича боғланган:

$$C_v = a + bt = 47,03 + 0,20803 T; \text{ ўртача температура} = \frac{288+318}{2}.$$

6. Тургун ҳажм ва 1773 К (1500 °С) да азотнинг молекуляр, масса (солиштирма) ва ҳажм иссиқлик сифимларини топинг.

Азотнинг молекуляр иссиқлик сифими C_v температура билан қуйидагича боғланган:

$$C_v = 27,87 + 0,00427 T; \text{ азотнинг молекуляр массаси } M = 28.$$

7. 1 моль (18 кг) сув буғланганда буғланиш ишини аниқланг. Буғланиш-қайнаш температураси 373 К (100 °С) ва босим 1 атм да боради. Сув ҳажми $18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (18 л.); ҳаво ҳажми $= 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (22,4 л.) га тенг.

8. Сув буғини изобарик моль иссиқлик сифими (C_p) 273 К ва 923 К (0 °С–650 °С) температура чегарасида ўзгариши қуйидаги тенгламага мувофиқ ўзгаради:

$$C_p = 30,0 + 10,71 \cdot 10^{-3} T \text{ Ж /моль} \cdot \text{град}.$$

Ички энергия ΔU нинг қўпайишини аниқланг ($\Delta U = \Delta U_{923} - \Delta U_{273}$).

9. 1 атм ва 273 К (0 °С) да карбон (II) оксид CO нинг солиштирма массасини аниқланг?

10. $p = 1 \text{ атм}$ ва 273 К (0 °С) да 1 моль газ ҳажми $22,4 \text{ м}^3$ га тенг. $p = 5 \text{ атм}$ ва $T = 303 \text{ К}$ (30 °С) да моль газнинг ҳажми қанчага тенг?

11. Агар кислород тўлдирилган баллон ҳажми 60 м^3 , босими 12,1 атм ва температураси 298 К (25 °С) бўлса, кислороднинг массаси қанча бўлади?

12. 3 кг метан CH_4 газини сиқиш учун 800 кЖ иш сарфланган,

12. 3 кг метан CH_4 газини сиқиш учун 800 кЖ иш сарфланган, бу чоғда ички энергия 595 кЖ га кўпайган. Иссиқлик миқдорини аниқланг.

13. 1 кг симоб тургун 3,98 атм босимда буғлатилган. Буғлатиш учун 293 кЖ/кг иссиқлик сарф бўлган. Қайнаш температурасида суюқ симобнинг ва буғнинг солиштирма ҳажми (1 кг) мос равишда $0,0798 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ ва $0,0756 \text{ м}^3/\text{кг}$ га тенг. Кенгайиш ишини ва ички энергиянинг ўзгаришини аниқланг.

14. Ёнилғи ёнишидан ҳосил бўлган газ аралашма 64 атм тургун босимда 39 см^3 дан 60 см^3 гача кенгайган. Жараён охиридаги температура 2220 К га тенг бўлган. 1 кг ёнилғи ёнганда 42200 кЖ/кг иссиқлик ажралади. Қуйидагиларни: а) дастлабки температурани; б) бажарилган ишни; в) ички энергия ўзгаришини; г) энтальпия ўзгаришини; д) қанча ёнилғи ёнганлигини аниқланг.

15. 450 К температурада 2 кг газ 3 атм дан 9,4 атм гача сиқилган. Қанча иш сарф қилинган?

16. $1,013 \cdot 10^5$ Па босимдаги ва $67,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ҳажми ишғол қилган H_2 водород тургун ҳажмда ички энергияси 8650 Ж га ошгунча қиздирилган. $C_p(\text{H}_2) = 28,83 \text{ Ж/моль}$ га тенг. Охирги босим қанчага тенг?

3,2 моль идеал газ тургун босимда 5000 Ж иш бажаргунча қиздирилган. Ички энергияси ва энтальпия қанчага ўзгарди?

$$C_p = \frac{5}{2} R \text{ га тенг.}$$

17. 0,12 кг водород ва 1,4 кг азотдан иборат газ аралашмаси $1,1013 \cdot 10^6$ Па босим остида турибди. Шу аралашмани 250 К температурада $1,1013 \cdot 10^5$ Па босимгача изотермик равишда кенгайтирилган. Газларни идеал газлар деб фараз қилинг. Газларни бажарган иши (A) қанчага тенг?

18. 11 г CO_2 ва 1 г H_2 дан иборат газ аралашмасини тургун босимда 275 К дан 400 К гача қиздирилган. CO_2 ва H_2 ларнинг иссиқлик сифими $C_p = \frac{5}{2} R$ ва $C_p = \frac{7}{2} R$ га тенг.

A , Q , ΔU , ΔH ларнинг бу жараёндаги қийматларини аниқланг.

19. Нормал босимда бутаннинг (C_4H_{10}) буғланиш иссиқлиги 224 кЖ/моль. Бутаннинг қайнаш температураси 272,6 К га тенг. 9,8 г бутан буғланганда A , Q , ΔU , ΔH қанчага тенг бўлади? (Буг ҳажмига нисбатан суюқ бутаннинг ҳажмини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бугни идеал газ деб фараз қилинг.)

20. 1 моль (18 г) сувнинг яширин буғланиш иссиқлиги $Q = 40739,5 \text{ Ж/моль}$ (9730 кал/моль). 1 моль (18 г) сувни буғлатиш

учун 22,382 кЖ сарф қилинган. Бугни кенгайтириш учун бу иссиқликнинг қанча қисми (Q_2) сарф бўлган?

Масалаларнинг жавоблари

1. 0,759 Ж/кг·град. 2. 0,7 Ж/кг·град. 3. 33,7 Ж/моль·град. 4. 2,308 атм. 5. 986 Ж/кг·град. 6. 35,44; 1,266; 1,58. 7. 22,382 кЖ. 8. 676 Ж. 9. 1,47 кг/м³. 10. 24,68 л. 11. 0,95 кг. 12. 265 кЖ. 13. 30,02 Ж/кг; 263 кЖ/кг. 14. 647 кЖ/кг; 912 кЖ/кг; 14,3 · 10³ кг. 15. 305 кЖ. 16. 2,12 · 10⁶ Па. 17. 627 кЖ. 18. 2, 205, 1, 420, 0, 720 мм Нг. 19. 33; 0,384; 37,02 кЖ. 20. 2,27.

1.4. Газ аралашмалари

Аксарият ҳолларда амалда битта газ эмас, балки бир қанча газлар аралашмаси билан учрашишга тўғри келади. Масалан, ёнилғи ёнганда бир қанча газлар аралашмаси ҳосил бўлади. Бундай ҳолларда иссиқликка алоқадор ҳисоблар олиб борилганда, газ аралашмаларининг параметри — системанинг ҳолатини белгиловчи физик катталикларни, яъни системанинг параметрларини (температура, ҳажм, босим, иссиқлик сифимлари каби омилларни) билиш керак бўлади.

Босим. Газ аралашмасидан бирор бир газнинг (бошқа газлар бўлмаганда деб фараз қилинганда) газ аралашмасининг ҳажмини ишғол қилгандаги босими, шу газнинг парциал босими (p_i) дейилади, яъни ҳар қайси газнинг аралашмасидаги босимидир. Дальтон қонунига мувофиқ: газ аралашмасининг босими (p) айрим газларнинг парциал босимлари йиғиндисига тенг:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_i = \sum p_i. \quad (1.32.)$$

Агар ҳаво кислород ва азотдан иборат деб фараз қилинса, ҳавонинг босими шу температурада кислород ва азотнинг парциал босимларининг йиғиндисига тенг.

Газ аралашмасининг таркиби — масса (кг), моль сони ва ҳажм бирлик ўлчамларида ифода қилинади.

Масса. Аралашмадаги бирор газнинг массасини газ аралашмасининг массасига нисбати шу газнинг *масса қисми* (g) дейилади.

$$g_1 = \frac{m_1}{m}; \quad g_2 = \frac{m_2}{m}; \quad \dots; \quad g_i = \frac{m_i}{m}, \quad (1.33.)$$

m_1, m_2, m_i — айрим газларнинг массаси, m — газ аралашмасининг массаси. Бунда

$$\sum m_i = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = m, \quad (1.34.)$$

$$\sum g_i = g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n = g. \quad (1.35.)$$

Одатда, масса нисбати фоиз билан ифодаланеди. Масалан: масса-си бўйича ҳаво – 23,2% кислороддан, 76,8% азотдан (водород ва бoшқа газлар билан биргаликда) иборат.

1 м³ ҳажмдаги газ массасига *солиштирма масса* (γ) дейилади. Бир газнинг солиштирма массасини (γ_i) аралашма солиштирма массасига нисбати (γ) – маълум газнинг солиштирма масса қисми дейилади.

Ҳажм. Ҳар қайси газ аралашмаси маълум ҳажмни ишғол қилади. Ҳар қайси газ аралашманинг ҳамма ҳажмида бир текис аралашган бўлмасдан, ҳар қайсиси айрим жойланган деб фарз қилинса ва бу ҳолда уларнинг ҳажми V_1, V_2, V_n бўлса, газ аралашмасининг ҳажми (V) шу айрим газлар ҳажмининг йиғиндисига тенг бўлади.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n. \quad (1.36.)$$

Ҳажми V ва температураси T бўлган аралашмада маълум газни парциал босими p_i бўлсин. Шу аралашмани ўзгармас температурада сиқилса, p_i қиймати аралашманинг умумий босими p га тенгланса, унда Бойль–Мариотт қонунига мувофиқ:

$$p_i V = p V_i \text{ ва } V_i = V \frac{p_i}{p}. \quad (1.37.)$$

Шундай қилиб, айрим газларнинг ҳажмини аниқлаш мумкин. Бу V_1, V_2, V_n ҳажмга *келтирилган ҳажм* дейилади.

(1.36.), (1.37.) тенгламалардан:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V \frac{p_1}{p} + V \frac{p_2}{p} + V \frac{p_3}{p} + \dots + V \frac{p_n}{p},$$

$$\sum p_i = p. \quad (1.38.)$$

Ҳар қайси газнинг келтирилган ҳажмини газ аралашмасининг умумий ҳажмга нисбати *ҳажм қисми* дейилади.

$$r_1 = \frac{V_1}{V}; r_2 = \frac{V_2}{V}; \dots; r_n = \frac{V_n}{V} \quad (1.39)$$

ва

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V. \quad (1.40.)$$

$$\sum r_i = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n = 1.$$

(1.36.) тенгламадан:

$$p_i = \frac{V_i}{V} p = r_i p. \quad (1.41.)$$

Аралашмадаги ҳар қайси газнинг парциал босими умумий босимнинг келтирилган ҳажм қисми кўпайтмасига тенг.

Маълум температура ва босимда турли газларнинг бир моли бир хил ҳажмни ишғол қилади. Демак, аралашма (ёки айрим газларнинг) ҳажми қандай газлигига қарамасдан, фақат моль сонига (n) мутаносиб бўлади. Аралашманинг маълум температура ва босимдаги ҳажми қандай газлардан иборат эканлигига эмас, фақат умумий моль сонига боғлиқ.

V — 1 моль газ ҳажми бўлса, n_1 моль газнинг ҳажми — V_1 қуйидагича бўлади:

$$V_1 = n_1 \bar{V}. \quad (1.42)$$

Моль қисм. 1 моль газ (n_1) аралашмасининг моль сонининг умумий моль сонига (n) нисбати *моль қисм* дейилади:

$$f = \frac{n_1}{n}; \quad n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n = \sum n_i = n. \quad (1.43)$$

1 м³ ҳажмдаги газ массаси *солиштирма масса* дейилади (γ). Нормал шароитда ($T = 273 \text{ К}$, $p = \text{атм да}$)

$$\gamma = \frac{M}{22,4} \text{ кг/м}^3. \quad (1.44)$$

Ҳажм бирликдан масса бирликка ва аксинча ифода қилиш бўйича Клапейроннинг ҳолат диаграммасига мувофиқ айрим газ учун қуйидаги тенгламани, яъни боғланишни олиш мумкин:

$$r = \frac{V_1}{V} = \frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{M}{M_1} = \frac{n_1}{n} = \frac{p_1}{p} = \frac{R_1}{R}. \quad (1.45)$$

V_1 , R_1 , M_1 , γ_1 , n_1 — айрим газлар, ишорасизлар эса аралашмага мансуб; R_1 бир хил газ учун $R = R_1 n$ га, n — газлар моллар сонининг йиғиндиси, R — аралашма газ доимийлиги.

(1.5.) Масалалар ечиш намунаси

1. Қуруқ ҳаво ҳажм бўйича фоиз ҳисобида қуйидаги таркибдаги газлардан иборат:

азот — 78,03%; кислород — 20,99%; аргон — 0,933%;

CO₂ — 0,13%.

Бу газларнинг парциал босимини аниқланг. Атмосфера босими 740 мм симоб устунига тенг.

Ечиш. (1.45.) тенгламага мувофиқ:

$$\frac{n_i}{n} = \frac{p_i}{p} \quad \text{ва} \quad p_i = \frac{n_i}{n} p,$$

p_i , n_i — i - газнинг парциал босими ва моль сони, n — газларнинг моль сони, p — газлар аралашмасининг умумий босими. Шартли

равишда $n = 1$ га тенг деб фараз қилинса (агар 1 моль газ учун ҳисоб қилинса), газларнинг парциал босими уларнинг аралашмадаги ҳажм бўйича таркибига (фоизда) мутаносибдир.

$$p_{N_2} = 0,7803 \cdot 740 = 577 \text{ мм симоб устуни} = \frac{577}{760} = 0,76 \text{ атм};$$

$$p_{O_2} = 0,2099 \cdot 740 = 155,3 \text{ мм симоб устуни} = \frac{155,3}{760} = 0,204 \text{ атм};$$

$$p_{Ar} = 0,00933 \cdot 740 = 6,9 \text{ мм симоб устуни} = \frac{6,9}{760} = 0,091 \text{ атм};$$

$$p_{CO_2} = 0,003 \cdot 740 = 0,222 \text{ мм симоб устуни} = \frac{0,222}{760} = 0,0029 \text{ атм}.$$

2. Ҳаво массаси бўйича 23% кислород ва 77% азотдан иборат. Ҳавони: 1) ҳажм ўлчови бўйича таркибини (r); 2) ҳавонинг газ доимийси (R); 3) ўртача молекуляр массасини (M); 4) кислород ва азотнинг парциал босимини (p_{O_2} , p_{N_2}) аниқланг. Ҳавонинг босими 1 атм га тенг.

Ечиш. 1) Аралашманинг ҳажмий таркиби (1.45.) тенгламадан аниқланади:

$$r = \frac{V_1}{V} = \frac{n_1}{n}.$$

(1.14.) тенгламага мувофиқ ўз навбатида:

$$n = \frac{m}{M} \left[\frac{\text{кг}}{\text{моль массаси}} \right] \text{ ва}$$

$$n_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n} = \frac{m_{O_2}/M_{O_2}}{m_{O_2}/M_{O_2} + m_{N_2}/M_{N_2}} = \frac{0,23/32}{0,23/32 + 0,77/28} = 0,21.$$

$$n_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n} = \frac{m_{N_2}/M_{N_2}}{m_{N_2}/M_{N_2} + m_{O_2}/M_{O_2}} = \frac{0,77/28}{0,77/28 + 0,23/32} = 0,79.$$

Демак, умумий ҳажм бўйича ҳавонинг 21% ни кислород, 79% ни азот ташкил қилади.

2) Газ доимийси (R). Бир моль газ учун $R = 8,3146$ Ж/моль · град. Газ доимийси ҳамма газлар учун бир хил қийматга эга бўлганида, аралашманинг nR қиймати аралашманинг қандай газлардан иборатлигига эмас, балки умумий моль сонларига боғлиқ. Амалда газ аралашмасининг умумий доимийси қуйидагича аниқланади:

$$R = n_1 R_1 + n_2 R_2 + \dots + n_n R_n = R \sum n_i.$$

$$R = 8,314 \cdot \left[\frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{M_{N_2}} \right] = 8,314 \cdot \left[\frac{23}{32} + \frac{77}{28} \right] = 28,158 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

3) Газ аралашмасининг умумий молекуляр массаси (M) (1.45.) тенгламадан:

$$M = \sum r_i M_i = r_{O_2} M_{O_2} + r_{N_2} M_{N_2} = 0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28 = 28,84.$$

4) Парциал босимлар (1.41.) тенгламага мувофиқ тенг:

$$p_{O_2} = p \cdot r_{O_2} = 1 \cdot 0,21 = 0,21 \text{ атм.}$$

$$p_{N_2} = p \cdot r_{N_2} = 1 \cdot 0,79 = 0,79 \text{ атм.}$$

3. Газ аралашмаси масса ўлчами бўйича қуйидаги таркибдан иборат:

$$H_2 - 8,4\%, \text{ CH}_4 - 48,7\%, \text{ C}_2\text{H}_4 - 10,9\%, \text{ CO} - 17\%, \\ \text{CO}_2 - 7,6\%, \text{ O}_2 - 0,1\%, \text{ N} - 6,7\%.$$

1) Нормал шароитда ($T = 273$, $p = 1$ атм) аралашманинг ҳажм бўйича таркибини; 2) аралашманинг солиштирма массасини аниқланг.

Ечиш. 1) Газ аралашмасининг ҳажм бўйича таркиби (1.45.) тенгламага мувофиқ:

1 моль газ учун:

$$r_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{n_{O_2}/M_{O_2}}{\sum n_i/M_i} = \frac{m}{M_1 \cdot \sum m_i/M_i},$$

$$\text{бунда } \sum n_i/M_i = \frac{0,084}{2} + \frac{0,487}{16} + \frac{0,109}{28} + \frac{0,17}{28} + \frac{0,76}{44} + \frac{0,001}{32} + \frac{0,067}{28} = 0,0869,$$

демак, водород учун:

$$r_{H_2} = \frac{m_{H_2}}{M_{H_2} \cdot \sum m_i/M_i} = \frac{0,084}{2 \cdot 0,0869} = 0,48.$$

Бошқа газлар учун шу йўл билан топилади.

(1.44.) тенгламага мувофиқ γ эритмани солиштирма массаси:

$$\gamma = \frac{\gamma_1 R_1}{R},$$

ўз навбатида R :

$$R = \sum R_i n_i = 8,314 \cdot \left[\frac{0,084}{2} + \frac{0,48}{16} + \frac{0,109}{28} + \frac{0,17}{28} + \frac{0,076}{44} + \frac{0,001}{32} + \frac{0,067}{28} \right] = 0,72,$$

аралашманинг солиштирма массаси:

$$\gamma = \frac{\gamma_1 R_1}{R} = \frac{8,3146 \cdot 100 / 22,4 \cdot 10^{-3}}{0,72} = \frac{8,3146 \cdot 4,46 \cdot 10^{-3}}{0,72} = 0,516 \text{ кг/м}^3.$$

4. Аралашма ҳажм ўлчов қисми бўйича қуйидаги моддалардан иборат:

CO — 0,1%; H₂ — 0,45%; CH₄ — 0,35%; C₂H₄ — 0,04%;
CO₂ — 0,03%; N₂ — 0,03%.

Аралашмадаги газларнинг масса ўлчамидаги қисми (g) ни аниқланг.

Ечиш. Клапейрон тенгласини айрим газ ва аралашма учун ёзамиз:

$$\text{айрим газ учун: а) } pV_1 = \frac{m_1}{M_1} RT ;$$

$$\text{аралашма учун б) } pV = \frac{m}{M} RT .$$

(а) тенгламани (б) тенгламага бўлинса:

$$\frac{V_1}{V} = \frac{m_1 M_1}{m M}; \quad \frac{m_1}{m} = g_1 \quad \text{ва} \quad \frac{V_1}{V} = r \quad \text{бўлганлигидан:}$$

$$r = \frac{g_1 M_1}{M}, \quad \text{бундан} \quad g_1 = \frac{r_1 M_1}{M} \quad \text{ва (1.45.) тенгламадан} \quad M = \sum r_1 M_1 ,$$

$$M = \sum r_i M_i = 0,1 \cdot 28 + 0,45 \cdot 2 + 0,35 \cdot 16 + 0,04 \cdot 28 + \\ + 0,03 \cdot 44 + 0,03 \cdot 28 = 12,58.$$

CO₂ учун:

$$g_{\text{CO}_2} = \frac{r_1 \cdot M_1}{M} = \frac{0,03 \cdot 44}{12,58} = 0,105 .$$

g нинг қиймати бошқа газлар учун ҳам шундай усул билан аниқланади.

5. Юқоридаги мисолда нормал шароитдаги аралашманинг солиштирма массасини ва CH₄ нинг парциал босимини аниқланг. Аралашманинг умумий босими 0,9 атм. га тенг.

Ечиш. Нормал шароитда бир моль газ 22,4 м³ ҳажмни эгаллайди. Аралашманинг моль массаси (γ) ҳамма газларнинг моль массаси йиғиндисига тенг. Бир газнинг моль массаси (1.44.) тенгламага мувофиқ r₁M₁ га тенг.

$$\gamma = \frac{M}{22,4} = \frac{12,58}{22,4} = 0,56 \text{ кг/м}^3 .$$

(1.41.) тенгламага мувофиқ CH₄ нинг парциал босими:

$$P_{\text{CH}_4} = P \cdot r_{\text{CH}_4} = 0,9 \cdot 0,35 = 0,315 \text{ атм} .$$

6. Нефть ёнганда қуйидаги таркибли (моль массаси сони бўйича) газ аралашмаси ҳосил бўлади.

$$n_{\text{O}_2} = 0,07 \text{ моль}; \quad n_{\text{N}_2} = 0,66 \text{ моль};$$

$$n_{\text{CO}_2} = 0,07 \text{ моль}; \quad n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,066 \text{ моль}.$$

Қуйидагиларни аниқланг: 1) аралашманинг моль массаси; 2) нормал шароитда аралашманинг солиштирма ҳажми; 3) сув буғининг парциал босими. Ёнишда ҳосил бўлган газлар аралашмасининг босими $p = 1,15$ атм.

Ечиш. 1) Аралашманинг моль массаси (1.45.) тенгламага мувофиқ:

$$\frac{M}{M_1} = \frac{n_1}{n} \quad \text{ва} \quad M = (n_1 M_1) / n,$$

$$M = \sum \frac{n_i M_i}{n_i} = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + \dots + n_n M_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n} =$$

$$= \frac{0,07 \cdot 32 + 0,66 \cdot 28 + 0,07 \cdot 44 + 0,066 \cdot 18}{0,07 + 0,66 + 0,07 + 0,066} = 27,1.$$

2) Солиштирма ҳажм, яъни 1 кг газ ҳажми

$$V = \frac{V}{M} = \frac{22,4}{27,1} = 0,77 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

3) Сув буғи босими (1.41.) тенгламадан:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}}{n} = \frac{1,15 \cdot 0,066}{0,07 + 0,66 + 0,07 + 0,066} = 0,087 \text{ атм}.$$

1.6. Газлар аралашмасининг иссиқлик сиғими

Аралашма таркиби қандай ифодаланишига (масса қисми, ҳажм қисми, моль қисми ва ҳ.к.) қараб, аралашманинг иссиқлик сиғими ҳам турлича тенгламаларда ифода қилинади.

Иссиқлик сиғими ҳам турлича ифодаланади: 1 кг, 1 м³, 1 моль аралашманинг иссиқлик сиғими бор. Агар 1 м³ аралашманинг иссиқлик сиғими C_x , 1 моль аралашманинг иссиқлик сиғими C , 1 кг аралашманинг иссиқлик сиғими \bar{c} билан белгиланса, бу хил иссиқлик сиғимлар ўртасида қуйидаги боғланишлар бўлади:

$$C = \bar{c} \cdot M \quad \text{ва} \quad C_x = \frac{C_x \cdot M}{V}; \quad \bar{c} = \frac{C}{M}, \quad (1.46.)$$

V — нормал шароитда ($T = 273$ К, $p = 1$ атм) аралашма ҳажми ва $22,4 \cdot 10^{-3}$ м³ (22,4 л) га тенг. M — аралашманинг молекуляр массаси.

Агар аралашма таркиби масса қисми билан ифодаланган бўлса, 1 кг газлар аралашмаси иссиқлик сифимини (C) аниқланг. Аралашмани 1°C га иситиш учун керак бўлган иссиқлик ҳамма газни 1°C иситишга сарф бўлади:

$$C \cdot m = C_1 \cdot m_1 + C_2 \cdot m_2 + \dots + C_n \cdot m_n, \quad (1.47.)$$

m – аралашманинг массаси, m_1, m_2, \dots, m_n – айрим газларнинг массаси.

Юқоридаги тенгламадан:

$$\bar{c} = \frac{m_1}{m} \cdot C_1 + \frac{m_2}{m} \cdot C_2 + \dots + \frac{m_n}{m} \cdot C_n = \sum g_i \cdot C_i. \quad (1.48.)$$

Бу тенгламадаги C_1, C_2, C_n лар 1 кг учун (Ж/кг).

Агар аралашма таркиби ҳажм қисми ўлчами билан берилган бўлса, 1 кг аралашманинг иссиқлик сифими (C) қуйидагича аниқланади.

(1.32.) ва (1.45.) тенгламадан:

$$\frac{M}{M_1} = \frac{V}{V_1} \quad \text{ва} \quad M = r_1 M_1;$$

$$g = \frac{M_1}{M} = \frac{r_1 M_1}{\sum r_i M_i} \quad \text{ва} \quad C = \sum C_i g_i = \frac{\sum C_i r_i g_i}{\sum r_i g_i}. \quad (1.49.)$$

Бунда ҳам ҳамма иссиқлик сифимлар (C_1, C_2, C_n) 1 кг га мансуб.

Агар аралашманинг таркиби моль сонлари билан ифодаланган бўлса, 1 кг аралашманинг иссиқлик сифими қуйидагича аниқланади.

n_1, n_2, n_n – айрим газларнинг ва n – газ аралашмасини умумий моль сони бўлсин. Газларнинг моль сони уларнинг ҳажм қисмига мутаносиб (1.32.) ва (1.) тенгламалар бўйича:

$$n = \frac{m}{M}; \quad m = nM \quad \text{ва} \quad g = \frac{m_i}{m} = \frac{m_i}{\sum m_i};$$

$$C = \sum g_i C_i = \frac{\sum n_i M_i C_i}{\sum n_i M_i} \quad (1.50.)$$

Аралашма таркиби ҳажм қисми билан берилган бўлса, 1 м^3 аралашманинг 1 м^3 га мансуб аниқ сифими (C_v) қуйидагича аниқланади:

$$C_v \cdot V = \sum C_{x_i} \cdot V_i$$

ва бундан:

$$C_x = \frac{\sum C_{x_i} V_i}{V} = \sum r_i C_i. \quad (1.51.)$$

Аралашма таркиби ҳажм қисми билан берилган бўлса, 1 моль газ аралашмасини иссиқлик сифими (C) қуйидагича аниқланади. (1.32.) тенгламадан: 1 моль газ нормал шароитда $22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (22,4 л) га тенглигидан 1 моль аралашманинг иссиқлик сифими $22,4 \cdot C$ га тенг бўлади ва

$$22,4 \cdot C = \sum C_i \cdot V_i = \sum C_i \cdot r_i \cdot 22,4$$

ҳамда

$$C = \sum 22,4 \cdot r_i \cdot C_i$$

ёки

$$C = \sum r_i \cdot C_i = \sum r_i \cdot M_i \cdot C_i. \quad (1.52.)$$

Икки атомли газларнинг 1 кг аралашмасини иссиқлик сифими қуйидагича аниқланади: агар молекуляр иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган бўлса:

$$C_i M_i = A + BT,$$

A , B — ўзгармас сонлар; юқоридаги тенгламадан

$$C = \sum g_i C_i = (A + BT) \sum \frac{n_i}{n_i M_i}. \quad (1.53.)$$

Агар аралашма таркиб моль сони (n) ўлчамида берилган бўлса, аралашманинг моляр иссиқлик сифими

$$C = \sum n_i C_i. \quad (1.54.)$$

1.7. Масалалар ечиш намунаси

1. Ҳаво масса ўлчови бирлигида $g_N = 0,758$ (азот) ва $g_O = 0,232$ (кислород) дан иборат. Турғун босимда ва 473 К (200 °С) температурада ҳавонинг ўртача иссиқлик сифимини 1 кг ($C_{\text{ўрт}}$), 1 м³ ($C_{\text{ўрт}}$) ни аниқланг. Газларнинг 1 кг иссиқлик сифими температура ўзгариши билан қуйидаги тенглама бўйича ўзгаради:

N_2 учун:

$$C = 0,984 + 0,0796 \cdot 10^{-3} t^\circ = 0,984 + 0,0796 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cong 1 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

O_2 учун:

$$C = 0,802 + 0,0693 \cdot 10^{-3} t^\circ = 0,802 + 0,0693 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cong 0,876 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

Икки атомли газлар учун моляр иссиқлик сифими:

$$C = 24,77 + 2,227 \cdot 10^{-3} t^\circ = 24,77 + 2,227 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cong 24,59 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

Ечиш. (1.47.) тенгламага мувофиқ 1 кг аралашма учун ўртача иссиқлик сифими:

$$C_{\text{срт}} = \sum g_i C_i = 0,758 \cdot 1 + 0,232 \cdot 0,876 = 0,97 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

Бу ҳисобни бошқачароқ қилиб ҳам бажариш мумкин. N_2 ва O_2 лар икки атомли молекулалар бўлгани учун моляр иссиқлик сифимида берилган. Шунга кўра уни 1 кг да ҳисоблаш керак. Бунинг учун уларни молекуляр массага бўлиш керак. (1.50.) тенгламага мувофиқ:

$$C_{\text{срт}} = \sum g_i C_i = (24,72 + 2,227 \cdot 10^{-3} \cdot 200) \left(\frac{0,738}{28} + \frac{0,232}{32} \right) = 0,97 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$$

($g = \frac{m}{M}$ га тенг, бунда m — масса (кг); M — молекуляр масса).

1 м³ учун аралашманинг ўртача иссиқлик сифими ($c_{\text{срт}}$); икки атомли молекула учун берилган маълумотларнинг бир моль учун берилгани ҳисобга олинса ва бир моль газ 22,4 м³ эътиборга олинса, 1 м³ учун:

$$C_{\text{срт}} = \frac{1}{22,4} (24,72 + 2,227 \cdot 10^{-3} \cdot 200) = \frac{17,95}{22,4} = 1,23 \text{ Ж/м}^3 \cdot \text{град}.$$

2. 1,2 кг кислород ва 2,8 кг азот аралашмаси 313 К (40 °С) дан 873 К (600 °С) гача иситилган. Шу температура чегарасида масса бўйича ўртача иссиқлик сифимини (C) аниқланг. Бу газларнинг 1 кг иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган (312 К–873 К чегарасида):

O_2 учун:

$$C = 0,8625 + 0,139 \cdot 10^{-3} \frac{t_1 + t_2}{2} = 0,8625 + 0,139 \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 0,907 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$$

N_2 учун:

$$C = 0,984 + 0,159 \cdot 10^{-3} \frac{t_1 + t_2}{2} = 0,984 + 0,159 \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 1,0 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

$$\text{Ўртача иссиқлик: } \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{40 + 600}{2} = 320 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ечиш.

$$\text{Ўртача масса қисми: } g_{O_2} = \frac{1,2}{1,2 + 2,8} = \frac{1,2}{4} = 0,3; \quad g_{N_2} = \frac{2,8}{4} = 0,7;$$

аралашманинг ўртача иссиқлик сифими (1.47.) тенгламага мувофиқ:

$$C = \sum g_i C_i = 0,3 \cdot 0,907 + 0,71 = 0,986 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

Бу ҳисобни бошқача бажариш мумкин: O_2 ва N_2 ни икки атомли газ бўлганлиги учун икки атомли газлар учун берилган маълумотлардан фойдаланиш мумкин. Икки атомли газларнинг 1 моль иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган:

$$C = 22,77 + 2,227 \cdot 10^{-3} t.$$

Демак, 40–600 °С чегарасида

$$C = 22,77 + 2,227 \cdot 10^{-3} \cdot 320 = 26,98 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$$

ва 1 кг аралашма учун

$$C = 28,98 \left(\frac{0,3}{32} + \frac{0,7}{28} \right) = 1 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

3. Ёнилғи ёнганда ҳажм ўлчов бирлигида қуйидаги таркибли газ аралашмаси ҳосил бўлган:

$$r_{CO_2} = 0,078; r_{H_2O} = 0,170; r_{N_2} = 0,714; r_{O_2} = 0,038.$$

Турғун босим ва 573 К (300 °С) температурада 1 моль, 1 кг ва 1 м³ учун ўртача иссиқлик сифимини аниқланг. Бу газлар температура ўзгариши билан моляр иссиқлик сифими қуйидаги тенгламалар бўйича ўзгаради:

$$CO_2 \text{ учун } C = 44,14 + 9,6410 \cdot 10^{-3} t^\circ;$$

$$H_2O \text{ учун } C = 0,197 + 140,1 \cdot 10^{-3} t^\circ;$$

$$N_2 \text{ учун } C = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3} t^\circ;$$

$$O_2 \text{ учун } C = 31,46 + 3,30 \cdot 10^{-3} t^\circ.$$

Ечиш. (1.51.) тенгламага мувофиқ 1 моль учун:

$$\begin{aligned} C_{\text{ўрт}} = \sum r_i C_i &= 0,078 \cdot (44,14 + 9,64 \cdot 10^{-3} \cdot 300) + \\ &+ 0,17 \cdot (0,197 + 140,1 \cdot 10^{-3} \cdot 300) + 0,714 \cdot (27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3} \cdot 300) + \\ &+ 0,038 \cdot (31,46 + 3,30 \cdot 10^{-3} \cdot 300) = 14,4 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}. \end{aligned}$$

1 кг га тўғри келган иссиқлик сифими (1.7.) тенгламага мувофиқ $C = c/M$, бунда M — аралашманинг молекуляр массаси, ўз навбатида (1.45.) тенгламага мувофиқ

$$M = \sum r_i M_i = 0,078 \cdot 44 + 0,17 \cdot 18 + 0,714 \cdot 28 + 0,038 \cdot 32 = 27,7;$$

$$C_{\text{ўрт}} = \frac{14,4}{27,4} = 0,52 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$$

га тенг.

1 м³ аралашмани иссиқлик сифими ($C_{\text{ўрт}}$) (1.18.) ва (1.24.) тенгламаларга мувофиқ аниқланади:

$$C_{\text{ўрт}} = \frac{C}{V} = \frac{14,4}{22,4} = 0,64 \text{ Ж/м}^3 \cdot \text{град}.$$

4. 1 кг нефть ёнганда қуйидаги таркибдаги газлар аралашмаси ҳосил бўлган: 2 атомли газлар — 0,896 моль; CO_2 — 0,072 моль; H_2O буғи — 0,065 моль. Турғун босимда 1 кг нефть ёнганда ҳосил бўлган газ аралашмасини, 1 моль ёниш маҳсулотини ва 273 К дан 323 К (0°C – 50°C) чегарасида 1 моль ва 1 кг учун ўртача иссиқлик сифимини аниқланг. Бу газларнинг моляр иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган (моляр сифим):

$$2 \text{ атомли газлар учун: } C = 27,68 + 2,224 \cdot 10^{-3} T;$$

$$\text{CO}_2 \text{ учун } C = 44,14 + 9,64 \cdot 10^{-3} T;$$

$$\text{H}_2\text{O буғи учун } C = 0,197 + 140,1 \cdot 10^{-3} T.$$

Ечиш. 1 кг нефть ёнганда ҳосил бўлган газ аралашмасининг температураси:

$$T_{\text{урт}} = \frac{273+323}{2} = 275,5^\circ\text{C}.$$

Газ аралашмасининг моляр иссиқлик сифими (1.53) тенгламага мувофиқ:

$$C = \sum n_i C_i = 0,896 \cdot (27,68 + 2,24 \cdot 10^{-3} \cdot 275,5) + 0,072 \cdot (44,14 + 9,64 \cdot 10^{-3} \cdot 275,5) + 0,065 \cdot (0,197 + 140,6 \cdot 10^{-3} \cdot 275,5) = 30,36 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

Ёниш маҳсулоти 1 кг учун (1.26.) тенгламага мувофиқ:

$$C_{\text{урт}} = \frac{C}{n} = \frac{30,36}{0,896+0,072+0,065} = 29,39 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

5. $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (60 л) ёпиқ идишдаги ҳаво 373 К дан 673 К (100 – 400°C) иситилган, ҳавонинг олдинги босими 15 атм бўлиб, 23,2% кислород ва 76,8% азотдан иборат. Аралашмани иситиш учун қанча ёнилғи керак бўлади? Икки атомли газларнинг чин моляр иссиқлик сифими температура билан қуйидагича боғланган

$$C = 19,22 + 4,19 \cdot 10^{-3} T.$$

1 кг нефть ёнганда 41870 Ж (10000 кал) иссиқлик чиқади.

Ечиш. Масалада кг масса ўлчамида берилганлигидан, ҳавонинг массасини (кг)да билиш керак бўлади. Идишдаги ҳавонинг массаси (m) ни Клапейрон тенгламасидан фойдаланиб топилади:

$$pV = mRT, \text{ бундан: } m = \frac{pV}{RT} = \frac{1,5 \cdot 10^4 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{29,27 \cdot 373} = 0,825 \text{ кг}.$$

$$R = 29,27 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{град}; \quad 15 \text{ атм} = 15 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$$

ва кислороднинг массаси:

$$m_{\text{O}_2} = 0,232 \cdot 0,825 = 0,191 \text{ кг}.$$

Азотнинг массаси:

$$m_{N_2} = 0,768 \cdot 0,825 = 0,634 \text{ кг.}$$

Қанча ёнилғи зарур бўлишини билиш учун қанча миқдорда иссиқлик сарф бўлишини билиш керак.

$$Q = Q_{O_2} + Q_{N_2} = m_{O_2} \cdot C + m_{N_2} \cdot C = C(m_{O_2} + m_{N_2})(t_2 - t_1).$$

$$T_{\text{срт}} = \frac{100+400}{2} = 250 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Демак,

$$C = 19,22 + 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 19,22 + 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 20,27 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$$

ва

$$Q = 20,27 \left(\frac{0,191}{32} + \frac{0,634}{28} \right) (400 - 100) = 174,06 \text{ Ж (41,57 кал/кг)}.$$

Агар ёнилғи нефть бўлса, 1 кг ёнганда 41,870 Ж (10000 кал) иссиқлик ҳосил бўлиши:

$$m = \frac{174,06}{41,870} = 4,15 \text{ кг.}$$

$$m = \frac{41,57}{10000} = 4,15 \text{ кг.}$$

6. Идишдаги 10 кг ҳаво 573 К (310 °С) дан 283 К (10 °С) гача совирилганда, дастлабки босим $p_1 = 6$ атм. Иссиқлик сифими $C_V = 7,118$ Ж/кг·град. (1,7 кал/кг·град.) га тенг. Ҳаво совирилганда қанча иссиқлик ажралишини ва охириги босимини аниқланг.

Ечиш. 1) Охириги босимни аниқлаймиз (жараён турғун ҳолатда $V = \text{const}$ боради) ва босим билан температура ўзгарганлигидан Шарль қонунига мувофиқ:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ ва } \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{6 \cdot 283}{573} = 2,9 \text{ атм.}$$

2) Совишда ажралган иссиқлик тенг:

$$Q = C_V \cdot m \cdot (t_2 - t_1) = 7,188 \cdot 10 \cdot (10 - 300) = -2064,2 \text{ Ж (423 кал)}.$$

7. Метан турғун босимда $p = \text{const}$ кенгайганда бажарган ишни, бу жараённи амалга ошириш учун керак бўлган иссиқлик миқдори, ички энергияни қанчага ўзгарганини аниқланг. Бошланғич параметри: $p_1 = 10$ атм, $V_1 = 1$ м³, $m = 5$ кг га тенг, кейинги ҳажм дастлабкига нисбатан 10 мартаба катта, иссиқлик сифими: $C_V = 1,926$ Ж/кг·град (0,46 кал/кг·град).

Ечиш. 1) ΔU ни аниқлаймиз. (1.22.) тенгламага мувофиқ:

T_1, T_2 ни қийматлари номаълум. Турғун босимда температура ва ҳажм ўзгарган. Шунга кўра температура ўзгариши ҳажм ўзгариши орқали ифода қилинади.

T_1, T_2 ҳолат тенграмаси орқали аниқланади:

$$pV_1 = mRT_1 \quad \text{ва} \quad T_1 = \frac{pV_1}{mR};$$

$$pV_2 = mRT_2 \quad \text{ва} \quad T_2 = \frac{pV_2}{mR},$$

температуранинг бу қийматларини юқоридаги тенгламага қўйилса:

$$\Delta U = \frac{mC_V p}{mR} (V_2 - V_1) = \frac{C_V p}{R} (V_2 - V_1),$$

$$\Delta U = \frac{C_V p}{R} (V_2 - V_1) = \frac{1,926 \cdot 10}{0,52} (10 - 1) = 333,35 \text{ Ж} (79,61 \text{ кал}).$$

1 моль учун $R = 8,3146$ ва 1 кг метан учун ($M_{\text{CH}_4} = 12 + 4 = 16$);

2) бажарилган ишни аниқлаймиз. (1.26.) тенгламага мувофиқ:

$$A = p(V_2 - V_1) = 10(10 - 1) = 90 \text{ л-атм} = 90 \cdot 1,0133 \cdot 10^2 = 912 \text{ Ж},$$

(1 ж = $1,0133 \cdot 10^2$ л-атм).

3) керакли иссиқликни (1.2) тенгламадан аниқлаймиз:

$$Q = \Delta U + A = 333,35 + 912 = 34247 \text{ Ж} = 34,247 \text{ кЖ} = 8,18 \text{ кал}.$$

8. Турғун босимда ($p = \text{const}$) 5 кг ҳаво сиқилган ва бу вақтда ҳавонинг температураси 600 К дан 300 К ($327 - 37$ °С) гача пасайган. Ҳавонинг иссиқлик сифими 7,118 Ж/кг ($0,17$ кал/кг·град.) га тенг.

1) Сиқилиш учун сарфланган ишни; 2) ички энергиянинг ўзгаришини; 3) ҳавонинг берган иссиқлик миқдорини аниқланг.

Ечиш. 1) Ички энергиянинг ўзгаришини (ΔU) аниқлаймиз:

$$\Delta U = mc(T_2 - T_1) = 5 \cdot 1,926 \cdot (300 - 600) = -3210 \text{ Ж} (766,7 \text{ кал});$$

2) ишни (1.26.) тенгламага мувофиқ аниқлаймиз, яъни:

$$A = p(V_2 - V_1).$$

Бунда ҳажм номаълум, температура маълум. Шунга кўра ҳажмни температура орқали ифодалаш учун ҳолат тенграмасидан фойдаланамиз:

$$pV = mRT; \quad V = \frac{mRT}{p}.$$

Бу қийматлар юқоридаги тенгламага қўйилса:

$$A = mR(T_2 - T_1) = 58,3146 \cdot (600 - 300) =$$
$$= 12471,9 \text{ Ж} (12,472 \text{ кЖ ёки } 1,247 \text{ ккал}).$$

Чиққан иссиқлик (Q) тенг:

$$Q = \Delta U + A = 3210 + 12471,9 = 15681,9 \text{ Ж (3745,4 кал)}.$$

9. 300 К (27 °С) температурадаги 5 кг ҳаво изотермик равишда ($T = \text{const}$) кенгайди ва бу вақтда унинг босими 10 мартаба камаяди. Ҳавонинг бажарган ишини ва жараёни амалга ошириш учун керак бўлган иссиқлик миқдорини аниқланг. Ҳавонинг моль массаси 28,84 га тенг.

Ечиш. Ишни (1.26.) тенгламага мувофиқ аниқлаймиз:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = 2,3nRT \cdot \lg \frac{V_2}{V_1} = 2,3nRT \cdot \lg \frac{p_1}{p_2}.$$

$$\text{Моль сони } n = \frac{m}{M} = \frac{5}{28,84} = 0,173$$

ва

$$A = 2,3nRT \cdot \lg \frac{p_1}{p_2} = 2,3 \cdot 0,173 \cdot 8,3146 \cdot 1 = 33,08 \text{ Ж}.$$

Иссиқлик миқдори (1.3.) тенгламага мувофиқ $Q = \Delta U + A$ ва изотермик жараёнда $\Delta U = 0$ га тенг бўлганидан $Q = A$ бўлади. Демак,

$$Q = 33,08 \text{ Ж} = \frac{33,08}{4,187} = 7,9 \text{ кал}.$$

10. $T = 303 \text{ К}$ (30 °С) температура ва $p_1 = 1 \text{ атм}$ босимдаги 1 кг ҳаво изотермик равишда босими $p_2 = 10 \text{ атм}$ етгунча сиқилади. Кейинги ҳажми V_2 , кейинги температураси T_2 , бажарилган иш A ва ички энергия ўзгаришларини аниқланг. Ҳавонинг молекуляр массаси $M = 28,84$.

$p_1 V_1 = p_2 V_2$, бундан $V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2}$ ва ўз навбатида $V_1 = \frac{RT_1}{p_1}$, шунга кўра

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{p_1 RT_1}{p_2 p_1} = \frac{nRT_1}{p_2}.$$

Ҳавонинг моль сони $= \frac{1}{28,84} = 0,03467$ бўлганлигидан,

$$V_2 = \frac{nRT_1}{p_2} = \frac{0,03467 \cdot 8,3146 \cdot 303}{10} = 0,02883 \text{ м}^3.$$

T_2 ни аниқлаймиз. Жараён изотермик бўлганлигидан:

$$T_1 = T_2 = 303 \text{ К}.$$

Ички энергиянинг ўзгариши (ΔU):

$$\Delta U = c(T_2 - T_1) = 0.$$

Бажарилган иш (A) (1.30.) тенгламага мувофиқ:

$$A = 2,3nRT \cdot \lg \frac{p_1}{p_2} = 2,3 \cdot 0,03467 \cdot 8,3146 \cdot \lg \frac{1}{10} = 0,664 \text{ Ж}.$$

11. 373 К (100 °С) температурадаги 5 кг СО гази турғун босимда $p = \text{const}$ да қиздирилганда кенгайиб 98,1 Ж иш бажарилган. Кейинги температуранини аниқланг.

Ечиш. (1.3.) тенгламага мувофиқ: $Q = \Delta U + A$ ва $A = Q - \Delta U$.

Ўз навбатида (1.29.) тенгламага мувофиқ:

$$Q = nC_p \Delta T \text{ ва } \Delta U = nC_v \Delta T,$$

моль ҳисобида: $Q = nC_p \Delta T$, $\Delta U = nC_v \Delta T$.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{5}{26} = 0,192, \quad M_{\text{CO}} = 12 + 16 = 28.$$

ва

$$A = Q - \Delta U = nC_p \Delta T - nC_v \Delta T = n\Delta T(C_p - C_v) = n\Delta TR.$$

(1.7.) тенгламага мувофиқ: $C_p - C_v = R$, бундан

$$\Delta T = \frac{A}{nR} = \frac{98,1}{0,192 \cdot 8,3146} = 60 \text{ °С},$$

$$T_2 = \Delta T + T_1 = 60 + 100 = 160 \text{ °С}.$$

Турли миқдордаги икки хил модда аралашмасида температураси юқори бўлган модда иссиқлик беради ва температураси паст бўлган, яъни совуқ модда уни қабул қилади ва аралашма мувозанат ҳолатда бу температура оралиғидаги температура — T (мувозанат температура) га тенг бўлади. Масалан, T_1 температурада m_1 кг сув, T_2 температурада m_2 кг сув билан аралаштирилганда, $T_2 > T_1$ бўлса, иккинчи сув иссиқлик беради, биринчиси қабул қилади. Бу вақтда иссиқлик миқдори Q_2 :

$$Q_2 = m_2 C(T_2 - T).$$

Совуқ сувни қабул қилган миқдори Q_1 :

$$Q_1 = m_1 C(T - T_1)$$

ва

$$Q_1 = -Q_2, \quad m_1 C(T - T_1) = m_2 C(T_2 - T).$$

Бу тенгламалардан мувозанат температураси T :

$$T = \frac{\sum m_i \cdot C_i \cdot T_i}{\sum m_i \cdot C_i} = \frac{m_1 \cdot C_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot C_2 \cdot T_2}{m_1 C_1 + m_2 C_2}$$

га тенг.

Ҳар хил параметрдаги газлар аралашганда аралашма температураси ва босими қуйидагича аниқланади. Юқоридаги тенглама-

даги m ни pV орқали ҳолат тенгламаси воситасида алмаштирилади:

$m = \frac{pV}{RT}$ ва бу қийматни юқоридаги тенгламага қўйилса:

$$T = \frac{\sum p_i \cdot V_i}{\sum \frac{p_i \cdot V_i}{T_i}},$$

ва аралашма босими (p):

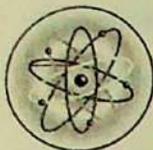
$$p = \frac{\sum p_i \cdot V_i}{V}.$$

12. $T_1 = 300$ К (27 °С) температура ва 10 атм босимдаги 1 м³ бир газ, $T_2 = 300$ К (57 °С) даги ва $p_2 = 2$ атм даги 2 м³ газ билан аралаштирилган. Аралашманинг босим ва температурасини аниқланг.

Ечиш.

$$p = \frac{\sum p_i \cdot V_i}{V} = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{10 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{1 + 2} = 4,7 \text{ атм.}$$

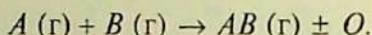
$$T = \frac{\sum n_i \cdot V_i}{\sum \frac{p_i \cdot V_i}{T_i}} = \frac{10 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{\frac{10 \cdot 1}{300} + \frac{2 \cdot 2}{300}} = 308 \text{ К (35 °С).}$$



II Б О Б

ТЕРМОКИМЁ

Термокимё боби термодинамиканинг биринчи қонунини кимёвий реакцияларга татбиғидир. Ҳамма кимёвий реакцияларда иссиқлик ажралади (ёки ютилади), яъни кимёвий энергия иссиқлик энергиясига айланади. Ҳар қандай жараёнда, шу жумладан, кимёвий реакцияларда ажралиб чиққан (ёки ютилган) иссиқлик *иссиқлик эффекти* дейилади. Системадан ажралган иссиқлик минус (-), ютилган иссиқлик плюс (+) ишора билан ифодаланади. Термокимёвий реакцияларда модданинг агрегат ҳолати: газ (г), суюқ (с), қаттиқ (қ) ва иссиқлик эффекти кўрсатиб ёзилади:



«+» аломати эндотермик, «-» аломати экзотермик реакциялар учун мансуб.

(1.2.) тенгламага мувофиқ реакция турғун ҳажмда изохорик равишда олиб борилганда:

$$Q_V = \Delta U, \quad (2.1)$$

изобарик — турғун босимда олиб борилганда

$$Q_p = \Delta H. \quad (2.1)$$

Q_V , Q_p — изохорик ва изобарик *иссиқлик эффекти* дейилади.

Бу Q_V ва Q_p ўртасида қуйидаги боғланиш бор:

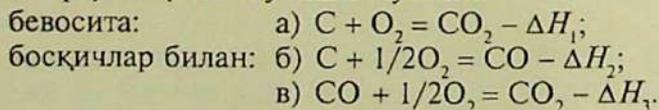
$$Q_p = Q_V - \Delta n RT, \quad (2.2.1)$$

Δn — моль сонлар фарқи:

$$\Delta n = (\sum n_i)_{\text{макс.}} + (\sum n_i)_{\text{даст.}}$$

Q_V , Q_p ларнинг қиймати системанинг маълум ҳолатларда қандай йўллар билан содир бўлганлигига боғлиқ эмас ва шунга кўра улар тўлиқ функция бўлади.

Гесс қонуни. Кимёвий реакцияларнинг изохорик ва изобарик иссиқлик эффектлари системанинг бошланғич ва охири ҳолатларига боғлиқ бўлиб, жараёни бориш йўлига, қандай оралиқ, босқичлар орқали борганлигига боғлиқ эмас. CO_2 гази С ва O_2 дан икки йўл билан: бевосита ва CO оралиқ модда ҳосил бўлиш йўли орқали ҳосил бўлиши мумкин:



(б) ва (в) тенгламалар қўшилса, (а) тенглама келиб чиқади. Демак, $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ бўлади. Булардан иккитаси маълум бўлса, учинчисини ҳисоблаш мумкин.

Стандарт иссиқлик эффектлари. Турли термохимиявий ҳисоботларда, таққосланишларда иссиқлик эффектлари бир хил шароитга мослашган бўлиши керак. 298 К (25 °С) ва $1,013 \cdot 10^5$ Па (1 атм) шундай шароит сифатида қабул қилинган. Бу шароитдаги иссиқлик эффектлари *стандарт иссиқлик эффектлари* дейилади, ΔH_{298}^0 билан белгиланади ва 1 моль тоза моддага нисбатан ҳисобланган бўлади. Унинг қийматлари кўп моддалар (реакциялар) учун маълумотномаларда берилган.

Иссиқлик эффекти ифодалари қуйидагича: молекулани ҳосил бўлиш иссиқлиги ΔH_x , ёниш иссиқлиги ΔH_e ва реакция иссиқлиги ΔH_p . Ҳосил бўлиш иссиқлиги — 1 моль молекулани оддий моддалардан ҳосил бўлгандаги иссиқлик эффекти. Ёниш иссиқлиги — 1 моль модда ёнганда ажралган иссиқлик. Реакция иссиқлиги эса маълум реакциянинг иссиқлик эффектидир, n — моль сони.

Гесс қонунидан иккита хулоса келиб чиқади:

$$\Delta H_x = (\sum n_i \Delta H_x)_{\text{макс.}} + (\sum n_i \Delta H_x)_{\text{даст.}}, \quad (2.3)$$

яъни реакция иссиқлик эффекти — маҳсулотларнинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффектлари йиғиндисидан дастлабки моддаларнинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти йиғиндиси фарқига тенг. Худди шундай

$$\Delta H_e = (\sum n_i \Delta H_e)_{\text{даст.}} + (\sum n_i \Delta H_x)_{\text{макс.}}. \quad (2.4)$$

Турли моддаларнинг стандарт ҳосил бўлиш ва ёниш иссиқлик эффектлари маълумотномада берилган.

Кирхгофф қонуни. Реакциядаги иссиқлик эффектлари температурага боғлиқ. Бу боғланиш Кирхгофф қонунида қуйидагича ифодаланган:

$$\Delta H_T = \Delta H_1 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT, \quad (2.5)$$

ΔH_1 , $\Delta H_T - T_1$ ва T_2 температуралардаги иссиқлик эффектлари.

Одатда, ΔH_1 сифатида стандарт иссиқлик эффектлари олинади. Бунда Кирхгофф тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\Delta H_T = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT, \quad (2.6)$$

бунда

$$\Delta C_p = (\sum n_i c_{p_i})_{\text{макс.}} + (\sum n_i c_{p_i})_{\text{даст.}}, \quad (2.7)$$

Масалан, $A + B = C + D$ реакция бораётган бўлса, BC моддаларнинг ΔC_p си қуйидаги қийматга эга бўлса:

$$\text{а) } C_p A = a_1 + b_1 T + c_1 T^2;$$

$$\text{б) } C_p B = a_2 + b_2 T + c_2 T^2;$$

$$\text{в) } C_p C = a_3 + b_3 T + c_3 T^2;$$

$$\text{г) } C_p D = a_4 + b_4 T + c_4 T^2.$$

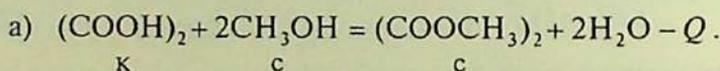
$\Delta C_p = (C_{p1} C + C_{p1} D) - (C_{p1} A + C_{p1} B)$ тенг бўлади, демак,

$$\Delta C_p = [(a_3 + b_3 T + c_3 T^2) + (a_4 + b_4 T + c_4 T^2)] - [(a_1 + b_1 T + c_1 T^2) + (a_2 + b_2 T + c_2 T^2)] = \Delta a + \Delta b T + \Delta c T^2.$$

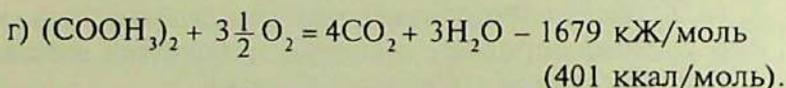
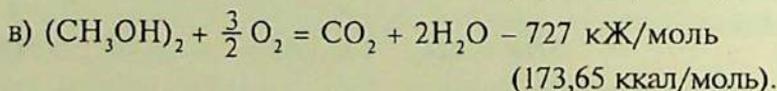
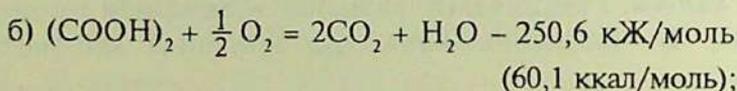
$$\begin{aligned} \Delta H_T &= \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T (\Delta a + \Delta b T + \Delta c T^2) dT = \\ &= \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T (\Delta a + \Delta b T dT + \Delta c T^2 dT) = \\ &= \Delta H_{298}^0 + \Delta a(T - 298) + \frac{\Delta b}{2}(T^2 - 298^2) + \frac{\Delta c}{3}(T^3 - 298^3). \end{aligned}$$

2.1. Масалалар ечиш намунаси

1. Шавел кислотанинг метил спирти билан эфирлаш реакциясининг иссиқлик эффектини аниқланг. Бу шароитда реакция қуйидагича боради:



Бу модданинг ёниш иссиқлиги қуйидагича:

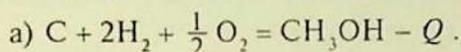


Ечиш. v тенгламани 2 га кўпайтириб, унга b тенгламани кўшиб, бу йиғиндидан z тенглама олинса, a тенглама келиб чиқади, яъни: $(b + 2v) - z = a$.

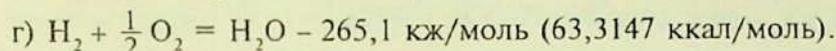
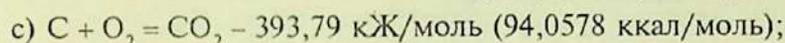
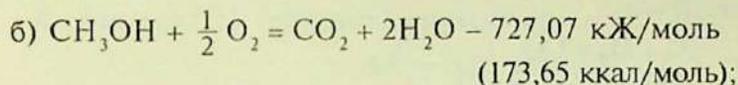
Демак:

$$Q = 250,6 + 2 \cdot 727 - 1679 = 24,187 \text{ кЖ (6,4 ккал)}.$$

2. CH_3OH нинг ҳосил бўлиш реакциясининг иссиқлик эффектини аниқланг:



Қуйидаги моддаларнинг ёниш реакция иссиқлик эффекти маълум:

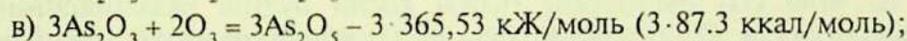
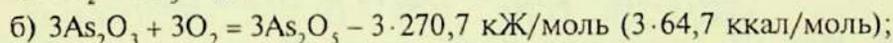
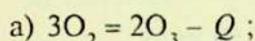


Ечиш. z тенгламани 2 га қўпайтириб, уни v тенгламага қўшиб, буни b тенгламасидан олинса, a тенглама чиқади, яъни: $z - (b + 2v) = a$.

Демак:

$$Q = 727,07 - (393,79 + 2 \cdot 205,1) = 238,7 \text{ кЖ/моль} \\ (57,64 \text{ ккал/моль}).$$

3. Кислороднинг озонга айланиш реакциясининг иссиқлик эффектини тажрибада ўлчаш мумкин эмас. Уни мишьяк (III) оксидни кислород ва озон билан оксидлаш реакцияларининг иссиқлик эффекти воситасида аниқлаш мумкин, бунда қуйидаги реакциялар боради:



Ечиш. b тенгламадан v тенглама айирилса, a тенглама келиб чиқади, яъни $(b - v) = a$ ва

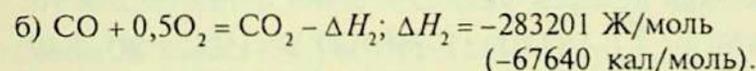
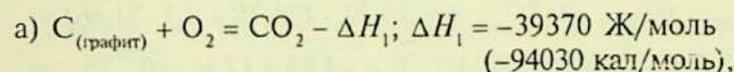
$$Q = 3 \cdot 270,9 - 3 \cdot 365 = 3 \cdot 94,63 \text{ кЖ} (3 \cdot 22,6 \text{ ккал}).$$

Демак, 1 молекула озон ҳосил бўлганда

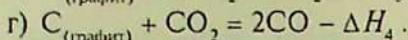
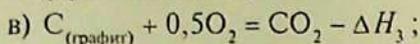
$$3 \cdot 94,63/2 = 141,245 \text{ кЖ} (33,6 \text{ ккал})$$

иссиқлик ютилади.

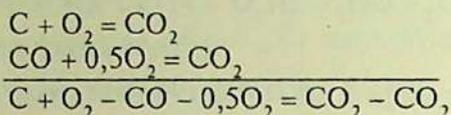
4. Қуйидаги реакцияларда ҳосил бўладиган иссиқлик эффектлари қуйидагиларга тенг:



Шу маълумотлардан фойдаланиб, ушбу реакцияларнинг иссиқлик эффектини аниқланг:



Ечиш. *a* реакциядан *b* реакция айирилса, *в* реакция келиб чиқади, яъни $a - b = в$.



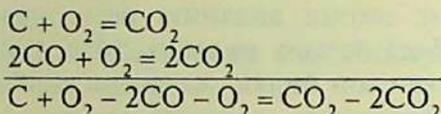
ва $C + 0,5O_2 = CO$.

Демак:

$$\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -104949 \text{ Ж} (-26390 \text{ кал}).$$

г реакцияни амалда ўтказиш мумкин эмас. Гесс қонунидан юқоридаги йўл билан ёки амалда ўтказиш мумкин бўлган бошқа кимёвий реакцияларнинг иссиқликларидан фойдаланиб аниқлаш мумкин.

Худди шундай $г = a - 2б$,



ва $C + CO_2 = 2CO$.

Демак:

$$\Delta H_4 = \Delta H_1 - 2\Delta H_2 = -172314 \text{ Ж} (91250 \text{ кал}).$$

5. Мис (II) оксиднинг (CuO) ҳосил бўлиш реакциясининг ($Cu + 0,5O_2 = CuO$) 500 К (227 °С) температурадаги иссиқлик эффекти қийматини аниқланг. Стандарт иссиқлик эффекти қиймати $\Delta H_{298}^0 = -517012 \text{ Ж} (-37500 \text{ кал})$ га тенг.

Бу моддаларнинг иссиқлик сифими температура билан $C_p = \varphi(T)$ қуйидагича ўзгаради:

$$Cu: C_p = 22,78 + 6,28 \cdot 10^{-3} T \text{ (Ж/моль)}$$

$$O_2: C_p = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3} T$$

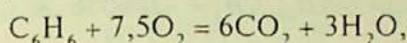
$$CuO: C_p = 38,79 + 20,08 \cdot 10^{-3} T$$

$$\text{Ечиш. (2.6.) тенгламадан } \Delta H_T = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT,$$

$$\begin{aligned} \Delta C_p = C_{p,CuO} - (C_{p,Cu} + 0,5C_{p,O_2}) = 38,79 - (22,78 + 0,5 \cdot 31,46) + \\ + [20,08 - 16,28 + 0,5 \cdot 3,39] \cdot 10^{-3} T = -1,85 + 12,11 \cdot 10^{-3} T; \end{aligned}$$

$$\Delta H_{500} = 517012 - \int_{298}^{500} (-1,85 + 12,11 \cdot 10^{-3} T) dT = -156128 \text{ Ж/моль.}$$

6. Турғун босимда $p = \text{const}$ ва 298 К (25 °С) да бензол оксидланиб, CO_2 ва H_2O ҳосил қилганда,



$\Delta H_p = 3269461$ Ж иссиқлик ажралади. Изохорик иссиқлик эффекти ΔH_v ни аниқланг.

Ечиш. (2.2.1) тенгламага мувофиқ:

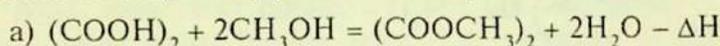
$$\Delta H_p = \Delta H_v + \Delta nRT,$$

$$\begin{aligned} \Delta H_v &= \Delta H_p - \Delta nRT = 326946 + 1,5 \cdot 8,3146 \cdot 298 = \\ &= -329461 \text{ Ж } (-78008 \text{ кал}), \end{aligned}$$

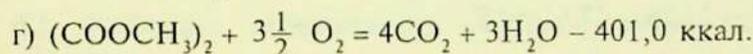
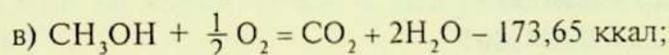
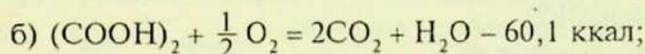
($\Delta n = 6 - 7,5 = -1,5$) фақат газсимон ҳолат эътиборга олинади.

Масалалар

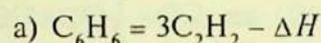
1. Шавел кислотани метил спирти билан эфирлаш реакциясининг иссиқлик эффектини аниқланг.



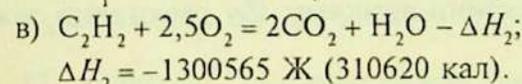
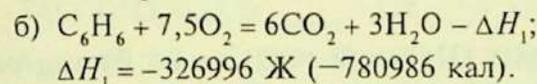
реакцияда иштирок қилган моддаларнинг ёниш иссиқлиги қуйидагича:



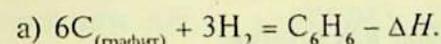
2. Бензолдан ацетилен олиш реакциясининг иссиқлик эффектини аниқланг.



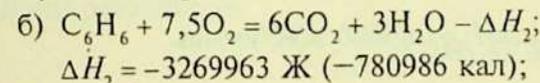
Моддаларнинг ёниш иссиқлик эффекти маълум:



3. Бензолнинг ҳосил бўлиш реакциясининг иссиқлик эффектини ёниш иссиқлигидан фойдаланиб аниқланг:



Бу моддаларнинг ёниш иссиқлик эффекти маълум:



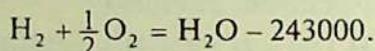
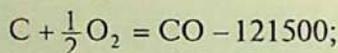
$$в) C_{\text{(графит)}} + O_2 = CO_2 - \Delta H_3; \Delta H_3 = -393787 \text{ Ж} (-94050 \text{ кал});$$

$$г) H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O - \Delta H_4; \Delta H_4 = -286056 \text{ Ж} (-68320 \text{ кал}).$$

4. 1 атм да C_2H_4 ёнганда $C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$ рўй беради: а) сув буғ ҳолида бўлганда; б) сув суюқ ҳолда бўлганда (ΔH_p , ΔH_v) қанчага тенг?

5. Бензол C_6H_6 нинг буғланиш яширин иссиқлик эффекти $T_1 = 323 \text{ К} (50^\circ\text{C})$ да 415 кЖ/кг га, $T_2 = 353 \text{ К} (80^\circ\text{C})$ да 398 кЖ/кг га тенг. Суюқ бензолнинг иссиқлик сифими $C_c = 1,74 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{град}$ келтирилган температура чегарасида бензол буғининг ўртача иссиқлик температурасини аниқланг.

6. $390 \text{ К} (17^\circ\text{C})$ да CO ва H_2O газларнинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти 121500 кЖ/моль ва 243000 кЖ/моль га тенг:



Бу моддаларнинг моляр изобарик иссиқлик сифимлари температура билан қуйидагича боғланган:

$$C \text{ учун } C_p = 4,61 + 0,0201 T$$

$$H_2O \text{ учун } C_p = 36,9 - 0,00797 T$$

$$CO \text{ учун } C_p = 27,25 + 0,004180 T$$

$$H_2 \text{ учун } C_p = 27,25 - 372 \cdot 10^{-3} T$$

Турғун босимда ($p = \text{const}$) да $C + H_2O = CO + H_2$ реакциянинг 200°C да иссиқлик эффектини аниқланг.

7. Углерод (II) оксид (CO) $293 \text{ К} (20^\circ\text{C})$ да $CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2$ ёнганда $\Delta H_v = 283000 \text{ кЖ/моль}$ иссиқлик ажралади. Шу температурада ΔH_p ни аниқланг.

8. Углеродни ёниб, углерод (II) оксид (CO) ҳосил бўлиш реакциясининг иссиқлик эффектини аниқланг (бу реакцияни тажрибада ўтказиб бўлмайди).

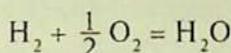
$$а) C + \frac{1}{2} O_2 = CO - \Delta H_x = 283000.$$

Маълумки:

$$б) C + O_2 = CO_2 - \Delta H_2; \Delta H_2 = 406000 \text{ кЖ/кмоль}.$$

$$в) CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2 - \Delta H_3; \Delta H_3 = 285000 \text{ кЖ/кмоль}.$$

9. 273 К (0 °С) да сув буғи ҳосил бўлгандаги реакция иссиқлик эффекти



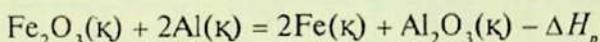
208483 кЖ/кмоль га тенг. Реакция 290 К (17 °С) температурада олиб борилгандаги изохорик иссиқлик эффекти ΔH_ν ни аниқланг. Реакцияда иштирок қилган моддаларнинг моляр иссиқлик сифми температура билан қуйидагича боғланган:

$$\text{H}_2 \text{ учун } C_\nu = 19,45 + 3,14 \cdot 10^{-3} T \text{ кЖ/кмоль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{O}_2 \text{ учун } C_\nu = 2,03 + 3,14 \cdot 10^{-3} T \text{ кЖ/кмоль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{H}_2\text{O буғи учун } C_\nu = 24,10 + 6,57 \cdot 10^{-3} T \text{ кЖ/кмоль} \cdot \text{град.}$$

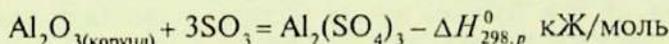
10. Қуйидаги реакциянинг иссиқлик эффектини (ΔH_p) аниқланг.



Al_2O_3 нинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти – 1670 кЖ/моль, Fe_2O_3 нинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти – 821 кЖ/моль⁻¹⁶ га тенг.

11. Ромбик олтингургуртни моноклиник олтингургуртга айланиш, $S_{\text{ромб}} \rightarrow S_{\text{моноклиник}}$, стандарт иссиқлик эффекти 0,297 кЖ/моль га тенг. Бу жараёни 450 К даги ўтиш иссиқлик эффекти қанчага тенг?

12. Қуйидаги реакциянинг стандарт иссиқлик эффектини аниқланг.



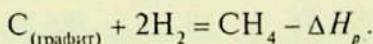
дастлабки моддалар ва маҳсулотларнинг стандарт ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти қуйидагича:

$$2\text{Al} + 1,5\text{O}_2 = \text{Al}_2\text{O}_3(\text{корунд}) - \Delta H_1; \Delta H_1 = -1675 \cdot 10^3 \text{ кЖ/моль}$$

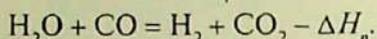
$$S_{(\text{ромб})} + 1,5\text{O}_2 = \text{SO}_2 - \Delta H_2; \Delta H_2 = -395,210 \cdot 10^3 \text{ кЖ/моль}$$

$$2\text{Al} + 3\text{S} + 6\text{O}_2 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - \Delta H_3; \Delta H_3 = -3434 \cdot 10^3 \text{ кЖ/моль.}$$

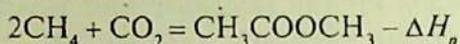
13. Қуйидаги маълумотлардан фойдаланиб, метан CH_4 нинг ҳосил бўлиш стандарт иссиқлигини аниқланг. Метаннинг ёниш иссиқлиги $\Delta H_{\bar{e},\text{CH}_4} = -890,964 \cdot 10^6$ Ж/кмоль; водороднинг ёниш иссиқлиги $\Delta H_{\bar{e},\text{H}_2} = -286,043 \cdot 10^6$ Ж/кмоль; углерод (графит)нинг ёниш иссиқлиги $\Delta H_{\bar{e},\text{C}} = -353,795 \cdot 10^6$ Ж/кмоль; CH_4 нинг ҳосил бўлиш реакцияси



14. Водородни ёниш иссиқлиги $\Delta H_{H_2} = -211,84$ кЖ/моль, СО ни ёниш $CO \rightarrow CO_2$ иссиқлиги $\Delta H_{CO} = -285,16$ кЖ/моль. Куйидаги реакциянинг иссиқлик эффектини (ΔH_p) аниқланг:



15. $T = 500$ К да газ ҳолидаги ацетоннинг метан ва CO_2 дан ҳосил бўлиш реакциясининг



иссиқлик эффектини аниқланг. Куйидаги маълумотлар берилган:

Модда	$\Delta H_{298}^0 \cdot 10^{-6}$, Ж/кмоль	$a \cdot 10^{-3}$, Ж/кмоль	b Ж/кмоль	$c^1 \cdot 10^{-3}$ Ж/кмоль	$c \cdot 10^{-3}$ Ж/кмоль
H_2O (г)	-242,000	30,146	11,305	—	—
CH_3COOCH_3 (г)	-216,796	21,489	201,926	—	63,576
CO_2	-398,706	44,173	9,044	-8,541	—
CH_4	-74,901	17,484	60,502	—	-1,118

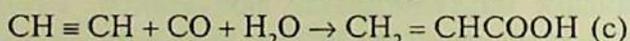
16. C_2H_2 , CO_2 ва H_2O (с) ларнинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти мос равишда 54190; 94052 ва 68317 К/моль га тенг. 5 моль C_2H_2 ёнганда қанча иссиқлик ажралади?

17. $CaO + CO_2 = CaCO_3$ реакциясининг иссиқлик эффекти 42498 ккалга тенг. CaO ва CO_2 ларнинг ҳосил бўлиш иссиқлиги мос равишда 151900 ва 94052 кал/моль га тенг. $CaCO_3$ нинг ҳосил бўлиш иссиқлигини аниқланг.

18. Сув ва сув буғини ҳосил бўлиш иссиқлиги мос равишда $-285,8$ ва $-241,8$ кЖ/моль га тенг. $25^\circ C$ да 1 моль сувнинг буғланиш иссиқлигини аниқланг.

19. Аморф углерод, графит ва олмоснинг ёниш иссиқликлари мос равишда $-409,2$; $-394,6$ ва $395,3$ кЖ/г-атом га тенг: 1) аморф углероднинг графитга; 2) аморф углеродни олмосга; 3) графитни олмосга ўтиш аллотропик айланиш иссиқлигини аниқланг.

20. Акрил кислотанинг синтез қилиш реакциясининг

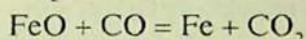


стандарт (1 атм ва 298 К) иссиқлик эффектини аниқланг.

Реакцияда иштирок қилган моддаларнинг ҳосил бўлиш иссиқлиги кЖ/моль ҳисобида куйидагича:

модда	$CH \equiv CH$	CO	H_2O	$CH_2 = CHCOOH$ (с)
ΔH_{298}^0 , кЖ/моль	226,76	-110,50	-285,84	-384,37

21. 1200 К ва турғун босимда 100 кг темир (II) оксиднинг углерод (II) оксид билан қайтарилганда:



ажралган иссиқлик миқдорини аниқланг. Реагентларнинг изобарик моляр иссиқлик сифими C_p қуйидаги ифодага тенг:

$$\text{Fe}: C_p = 19,25 + 21,0 \cdot 10^{-3} T \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{CO}_2: C_p = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{CO}: C_p = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3} T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{FeO}: C_p = 52,80 + 6,21 \cdot 10^{-3} T - 3,19 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

22. 1200 °С да сувнинг моляр буғланиш иссиқлигини аниқланг. 100 °С да сувнинг солиштирма буғланиш иссиқлиги 539 кал/г га тенг. Сув ва сув буғини солиштирма иссиқлик сифими мос равишда 1,0 ва 0,45 кал/г·град га тенг.

23. 25 °С ва турғун босимда 1 г водороднинг ёниб сув ҳосил қилишида 34158 кал иссиқлик ажралади. 25 °С да сувнинг солиштирма яширин буғланиш иссиқлиги 584 кал/г га тенг. Сув буғи, водород ва кислороднинг моляр иссиқлик сифими қуйидаги қийматга эга:

$$\text{H}_2\text{O}: C_p = 7,2 + 2,7 \cdot 10^{-3} T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{H}_2: C_p = 6,909 + 0,12 \cdot 10^{-3} T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{O}_2: C_p = 5,057 + 5,69 \cdot 10^{-3} T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

100 °С ва турғун босимда сув буғини ҳосил бўлиш иссиқлигини аниқланг.

24. 227 °С ва турғун босимда рух оксиднинг ҳосил бўлиш реакцияси $\text{Zn} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{ZnO}$. Ҳосил бўлиш реакциясининг иссиқлик эффектини аниқланг. 25 °С ва турғун босимда унинг ҳосил бўлиш иссиқлик эффекти 83170 кал/моль га тенг. Реакцияда иштирок қилган моддаларнинг моляр иссиқлик сифими қиймати қуйидагича:

$$\text{O}_2: C_p = 11,71 + 1,22 \cdot 10^{-3} T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{Zn}: C_p = 5,25 + 2,7 \cdot 10^{-3} T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{Zn}: C_p = 5,75 + 3,34 \cdot 10^{-3} T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

25. $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$ (с) реакциянинг 300 К да иссиқлик эффекти 90,72 кЖ.га тенг. Моддаларнинг моляр иссиқлик сифими:

$$\text{CO}: C_p = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3} T - 0,96 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

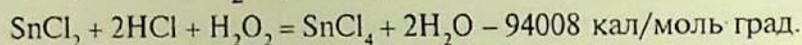
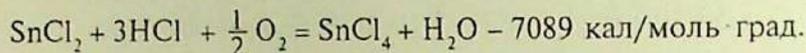
$$\text{H}_2: C_p = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,582 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{CH}_3\text{OH}: C_p = 81,6 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

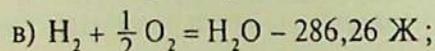
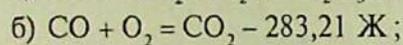
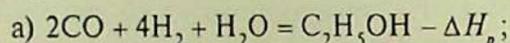
500 ва 1000 К да реакциянинг иссиқлик эффектини аниқланг.

26. 15 °C да этил спиртнинг суюқланиш иссиқлиги – 27,62 кЖ/моль га тенг. 0°–75 °C чегарасида спирт ва спирт буғини солиштирма ўртача иссиқлик сифими мос равишда 2,418 ва 1,597 Ж/г·град. га тенг. 60 °C да 500 г спиртнинг буғланиши учун керак бўлган иссиқлик миқдорини аниқланг.

27. Қуйидаги маълумотлардан фойдаланиб, водород пероксиднинг қайтарилиш реакциясининг $\text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2$ иссиқлик эффектини аниқланг.

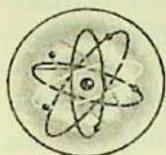


28. Спирт ҳосил бўлиш реакциясининг изобарик иссиқлик эффектини (ΔH_p) қуйидаги моддаларнинг ёниш иссиқликларидан фойдаланиб аниқланг:



Масалаларнинг жавоблари

1. 6,41 кал. 2. 631784 кЖ. 3. 490 Ж. 4. 200 Ж/м³. 5. 1,172 кЖ/кг.
 6. –124188 кЖ/кмоль. 7. 286218 кЖ/кмоль. 8. 121000 кЖ/кмоль.
 9. 240000 кЖ/кмоль. 10. –849 кЖ/кмоль. 11. 449 Ж/моль.
 12. $573,4 \cdot 10^6$ Ж/моль. 13. $34,918 \cdot 10^6$ Ж/моль. 14. 43,42 кЖ/моль.
 15. $92179,4 \cdot 10^3$ Ж/моль. 16. 1553 кал. 17. 28843 кЖ/моль. 18. 44 кЖ/моль.
 19. 4,64 кЖ/г, 13,9 кЖ/г, 0,7 кЖ/г. 20. 214,78 кЖ.
 21. 329,90 кЖ. 22. 9504 кЖ/моль. 23. 7979 кЖ/моль. 24. 8259 кал.
 25. 19,52 кЖ, 84,72 кЖ. 26. 2117 кЖ/моль. 27. 23117 кал/моль.
 28. 300,5 Ж. (71,7 кал).



III БОБ

ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ

Қонуниңг вазифаси. Биринчи қонунда энергияни бир хилининг бошқа хилига айланиши билан борадиган жараён содир бўлса, энергиянинг бу ўтиши эквивалент қонунга бўйсунган ҳолда бўлади. Лекин, бу ҳолат жараён умуман маълум шароитда борадими ёки йўқми? деган саволга жавоб бермайди. Иккинчи қонун бу камчиликни тўлдиради. Унинг асосий вазифаси жараён (реакция)нинг йўналишини, яъни бориш-бормаслигини, қайси томонга боришини олдиндан айтиб бериш ва мувозанат қачон қарор топишининг термодинамик шартини аниқлашдан иборатдир.

Бу саволларга *термодинамик функциялар* (потенциаллар) деб аталган уч катталикларнинг — энтропия (S), Гельмгольц (F) ва Гиббс функцияларининг (G) турли хил жараёнларда ўзгаришини аниқлаш (ҳисоблаш) орқали жавоб олинади.

3.1. Жараёнларнинг синфланиши

Ўзича борадиган ва ўз-ўзича бормайдиган жараёнлар. Табиатдаги реал жараёнлар бир томонга йўналган бўлиб, ўзича (энергия сарфламасдан) боради. Масалан, иссиқлик иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтади, турли босимдаги газлар ўз босимини тенглаштиради, электр оқими юқори потенциалдан паст потенциал томон оқади ва ҳоказо. Бу жараёнларда система иш бажаради. Бу жараёнларнинг тескариси, *ўз-ўзича бормайдиган жараёнлар* дейилади. Масалан, иссиқликнинг совуқ жисмдан иссиқ жисмга ўтиши (совуткичларда). Лекин бу хил жараёнлар бориши учун энергия сарфланиши керак. Демак, бундай жараёнлар бориши учун, уларни ўз-ўзича борувчи жараёнлар билан биргаликда олиб бориш керак.

Термодинамик қайтар ва қайтмас жараёнлар. Қайтар жараёнларда система ва системанинг атрофи жараён тугаганидан сўнг ўзининг олдинги ҳолатига қайтади. Жараён қайтар бўлиши учун: а) жараён бир йўлдан бориб, шу йўлдан қайтиши; б) жараённинг ҳамма босқичи мувозанат ҳолатдан чексиз кичик фарқ қилиши; в) жараённинг ҳамма босқичи қайтар бўлиши; г) қарама-қарши кучларнинг фарқи чексиз кичик бўлиши; д) жараён тезлиги чексиз кичик бўлиши керак. Термодинамик қайтар жараён идеал жараён бўлиб, табиатда бу жараён йўқ. Лекин унга маълум даражада яқин-

лашиш мумкин. Юқоридаги шартларга бўйсунмайдиган жараён қайтмас бўлади. Табиатдаги жараёнлар қайтмас жараёнлар турига киради.

Иссиқлик ва ишнинг бир-бирига айланиши. Иш иссиқликка тўла айланади. Лекин иссиқлик ишга тўла ўтмайди, фақат бир қисми ўтади. Агар T_1 – иссиқлик манбаининг температураси ва T_2 – совутгичнинг температураси бўлса ва Q_1 – иссиқлик манбаидан олинган, Q_2 – совутгичга берилган иссиқлик бўлса, бажарилган иш (A)

$$A = Q_1 - Q_2 \quad (3.1)$$

га ва фойдали иш коэффициентини эса

$$\eta \leq \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (3.2)$$

га тенг бўлади. Бараварлик аломати қайтар жараёнга ва тенгмаслик аломати қайтмас жараёнга тегишлидир.

3.2. Энтропия (S)

Изолирланган (ажралган) системада борадиган жараёнларнинг йўналишини энтропиянинг ўзгариши кўрсатади. *Энтропия* ҳолат функцияси бўлиб (тўлиқ функция), унинг ўзгариши фақат системанинг дастлабки ва охири ҳолатига боғлиқ, жараённинг табиатига боғлиқ эмас. Унинг ўзгариши қайтар ва қайтмас жараёнда бир хил бўлади. Қайтмас жараёнларнинг ҳисобларида қайтар жараён тенгмасидан фойдаланиш керак. Агар жараён бир қанча босқичдан иборат бўлса, жараёнда энтропиянинг ўзгариши ҳамма босқичларнинг энтропиясини ўзгариши йиғиндисига тенг бўлади:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots \text{ ва } \Delta S = \sum \Delta S_i \quad (3.3)$$

Система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда энтропия:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \text{ ёки } \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}, \quad (3.4)$$

$$TdS \geq dQ \quad (3.5)$$

га тенг бўлади, бунда Q – жараёнда ажралган (ёки ютилган) иссиқлик, T – температура.

Бу ерда ва бундан кейин « \Rightarrow » аломати қайтар ва « \gg » аломати қайтмас жараён учун мансуб. (3.4) ва биринчи қонун тенгламасининг асосий тенгламаларидан

$$\left. \begin{aligned} \delta Q &= dU + \delta A \\ TdS &\geq \delta Q \end{aligned} \right\} \quad TdS \geq dU + \delta A \quad (3.6.)$$

$$TdS \geq dU + pdV \quad (3.7.)$$

Уни ўзгариши қайтар ва қайтмас жараёнда бир хил бўлади ва ҳисоботларда қайтмас жараёнлар учун қайтар жараён тенгламасини қўллаш мумкин.

Энтропия турли жараёнда қуйидагича ўзгаради:

$$\Delta S \geq 0. \quad (3.8)$$

Демак, изолирланган системада борадиган қайтар жараёнда энтропия ўзгармайди ($S_1 > S_2$) ва қайтмас жараёнлар энтропияни ошиш томонига боради ($S_2 > S_1$). S_1 , S_2 – системанинг дастлабки ва жараёндаги сўнгги қийматлари. Энтропия максимал қийматга эга бўлганда мувозанат қарор топади:

$$\Delta S = 0 \text{ ва } d^2S < 0. \quad (3.9)$$

Энтропияни турли жараёнларда ўзгариши қуйидаги тенгламадан фойдаланиб ҳисобланади:

а) изотермик ($T = \text{const}$) жараёнларда – фазовий ўзгаришлар, яъни бир агрегат ҳолатдан бошқа агрегат ҳолатга ўтишлар ва ҳоказо. Жараёнда n – моль модда учун энтропиянинг ўзгариши:

$$\Delta S = n \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{n}{T} \int_1^2 \delta Q = \frac{nQ_T}{T} = \frac{n\Delta H}{T}, \quad (3.10)$$

бунда, Q_T , ΔH – яширин ўтиш иссиқлиги, T – ўтиш температураси;

б) изобарик ($p = \text{const}$) жараёнда n моль моддани T_1 дан T_2 гача иситилганда:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T}. \quad (3.11)$$

Агар моляр иссиқлик сифими ($C_p \neq \varphi(T)$) температурага боғлиқ эмас, деб фараз қилинса:

$$\Delta S = nC_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = 2,3nC_p \cdot \lg \frac{T_2}{T_1}. \quad (3.12)$$

Агар $C_p = \varphi(T)$ температурага боғлиқ бўлса,

$$C_p = a + bT + cT^2 + \dots$$

Демак,

$$\begin{aligned} \Delta S &= n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T} (a + bT + cT^2 + \dots) dT = n \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{a dT}{T} + b dT + c T dT \right) = \\ &= 2,3a \cdot \lg \frac{T_2}{T_1} + nb(T_2 - T_1) + n \frac{c}{2} (T_2^2 - T_1^2). \end{aligned} \quad (3.13)$$

в) n моль идеал газ, ўзгармас босим ($p = \text{const}$) да T_1 дан T_2 гача иситилганда, ҳажми V_1 дан V_2 гача кенгайса (бу хил жараён T , V – температура ва ҳажмда ўзгаради): $TdS = dH + pdV$,

$$dU = C_V dT; \quad p = \frac{RT}{V} \quad \text{ва} \quad \Delta S = 2,3nC_V \cdot \lg \frac{T_2}{T_1} + 2,3nR \cdot \lg \frac{V_2}{V_1} \quad (3.14.)$$

ёки C_V нинг температура билан ўзгариши

$$C_V = a + bT + cT^2$$

га тенг бўлса,

$$\Delta S = 2,3na \cdot \lg \frac{T_2}{T_1} + nb(T_2 - T_1) + \frac{nc}{2}(T_2^2 - T_1^2) + 2,3nR \cdot \lg \frac{V_2}{V_1}. \quad (3.15.)$$

Агар, n моль газ изотермик ($T = \text{const}$) равишда V_1 дан V_2 гача кенгайса, (3.14.) тенгламадан:

$$\Delta S = 2,3nR \cdot \lg \frac{V_2}{V_1}. \quad (3.16.)$$

Агар $V = \text{const}$ да $T_1 > T_2$ ва $p_1 > p_2$ га ўзгарса:

$$\Delta S = 2,3nC_V \cdot \lg \frac{T_2}{T_1} - 2,3nR \cdot \lg \frac{p_2}{p_1}. \quad (3.17.)$$

Агар n моль $T = \text{const}$ да идеал газ p_1 дан p_2 гача сиқилса, (3.17.) тенгламадан:

$$\Delta S = 2,3nR \cdot \lg \frac{p_1}{p_2} \quad (3.18.)$$

ёки иссиқлик сифими температура билан ўзгарса ($C_V = a + bT + cT^2$),

$$\Delta S = 2,3nR \cdot \lg \frac{T_2}{T_1} + nb(T_2 - T_1) + \frac{nc}{2}(T_2^2 - T_1^2) - 2,3nR \cdot \lg \frac{p_2}{p_1}. \quad (3.19.)$$

3.3. Изотермик потенциаллар (F , G)

Гельмгольц функцияси (Изохорик потенциал). Жараённинг йўналиши ва термодинамик мувозанат шартини изотермик-изохорик ($T = \text{const}$, $V = \text{const}$) жараёнларда *Гельмгольц функцияси* (F) нинг (бу катталик *изохорик потенциал* деб ҳам аталади) ўзгариши кўрсатади:

$$F = U - TS. \quad (3.20.)$$

Қайтар жараёнда бажарилган максимал иш (A_{max}) Гельмгольц функциясининг камайишига тенг:

$$A_{\text{max}} = -\Delta F, \quad (3.21.)$$

қайтар жараёнда F ўзгармайди ($F_1 = F_2$). Қайтмас жараён F потенциалнинг камайиши томонига боради:

$$F_1 > F_2 \text{ ва } \Delta F \leq 0. \quad (3.22)$$

Мувозанат ҳолатда F маълум минимум қийматда бўлади:

$$\Delta F = 0 \text{ ва } \delta^2 F > 0. \quad (3.23)$$

$F = U - TS$ дифференцияланса: $dF = dU - SdT - TdS - pdV$, бу тенгламага агар dU қиймати $dU = TdS - pdV$ қўйилса:

$$\Delta F = -SdT - pdV \quad (3.24)$$

ва $T = \text{const}$ бўлганда, $dT = 0$ ва $SdT = 0$ бўлади. (3.24.) тенгламадан:

$$\Delta F = -pdV = \frac{RT}{V} dV,$$

унда

$$\Delta F = -2,3nRT \cdot \lg \frac{V_2}{V_1} = 2,3nRT \cdot \lg \frac{V_1}{V_2} = -2,3nRT \cdot \lg \frac{p_2}{p_1} \quad (3.25)$$

ва ΔF^0 ни 298 К да стандарт катталиклардан ҳисоблаш қуйидаги-ча амалга оширилади:

$$\Delta F_{298}^0 = \Delta U_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0, \quad (3.26)$$

бунда,

$$\Delta U_{298}^0 = (\sum \Delta H_{298}^0)_{\text{махс}} - (\sum \Delta H_{298}^0)_{\text{ласт}},$$

$$\Delta S_{298}^0 = (\sum \Delta S_{298}^0)_{\text{махс}} - (\sum \Delta S_{298}^0)_{\text{ласт}}.$$

Гиббс функцияси. Изотермик-изобарик жараёнларда ($T = \text{const}$, $p = \text{const}$) жараённинг йўналиши ва мувозанат шартини *Гиббс функцияси* G нинг ўзгариши кўрсатади. Бу катталик *изобарик потенциал* деб аталади, яъни

$$\Delta G = U - TS + pV = H - TS = F - pV. \quad (3.27)$$

Изотермик-изобарик равишда борадиган қайтар жараёнда ба-жарилган максимал иш:

$$(A_{\text{мах}}): A_{\text{мах}} = -\Delta G, \quad (3.28)$$

жараёнда эса

$$\Delta G \leq 0 \quad (3.29)$$

бўлади.

« \Rightarrow » аломати қайтар ва « \leftarrow » аломати қайтмас жараёнга мансуб, яъни қайтар жараёнда G ўзгармайди ($G_1 = G_2$) ва қайтмас жараёнда камаяди ($G_1 > G_2$).

G нинг минимум қийматида мувозанат қарор топади:

$$\Delta G < 0; d^2G > 0. \quad (3.30.)$$

$$G = U - TS + pV \text{ ва } dF = dU - TdS - SdT + Vdp = pdV, \quad (3.31.)$$

агар бу тенгламага dU қиймати $dU = TdS + pdV$ қўйилса,

$$dG = -SdT + Vdp. \quad (3.32.)$$

T, V турғун бўлганда:

$$\Delta G = V(p_2 - p_1) \quad (3.33.)$$

ва

$$dG = -SdT + Vdp = -SdT + \frac{RT}{p} dp = -SdT + 2,3RT \cdot \lg \frac{p_2}{p_1}, \quad (3.34.)$$

изотермик жараёнда ($T = \text{const}$):

$$dG = 2,3nRT \cdot \lg \frac{p_2}{p_1} = 2,3nRT \cdot \lg \frac{V_2}{V_1}. \quad (3.35.)$$

ΔG_{298}^0 қийматини стандарт катталикларда ҳисоблаш қуйидагича амалга оширилади:

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0, \quad (3.36)$$

бунда,

$$\Delta H_{298}^0 = (\sum \Delta H_{298}^0)_{\text{махс}} - (\sum \Delta H_{298}^0)_{\text{ласт}},$$

$$\Delta S_{298}^0 = (\sum \Delta S_{298}^0)_{\text{махс}} - (\sum \Delta S_{298}^0)_{\text{ласт}}.$$

3.4. Масалалар ечиш намунаси

Иссиқлик иши асосан ички ёнар двигателларда (масалан, дизель двигатели) амалга оширилади. Шу сабабли бу хил двигателларда борадиган жараёнларни масалалар ечиш орқали ўрганамиз.

1. Машина ёмон мойланганлиги сабабли унинг ишқаланадиган 150 кг қисми 30 минут давомида 50 °С гача қизиган. Машинани қуввати қанчага камайди? Пўлатнинг иссиқлик сифими — 0,4606 Ж/г (0,11 кал/град.) га тенг.

Вақт бирлигида (1 с да) бажарилган иш двигател қуввати дейилади, бирлиги Ватт (Вт, W): 1 Вт = Ж/с га тенг.

Кўпинча, иш ва энергияни йирик бирлиги ҳам ишлатилади: Киловатт·соат (кВт·соат) = 3,6 · 10 Ж га тенг.

Ечиш. Ишқаланиш натижасида ажралган иссиқлик (Q):

$$Q = mct^\circ = 150 \cdot 0,4606 \cdot 50 = 3454,245 \text{ Ж (825 кал).}$$

СИ системасида $Q = A$ га тенг, демак, ишқаланиш натижасида машинанинг йўқотган қуввати:

$$W = \frac{A}{t} = \frac{3454,245}{30 \cdot 60} = 1,919 \text{ ж/с}.$$

2. Ички ёниш двигателларида ишқаланиш ва бошқа сабаблар натижасида ўз қувватининг бир қисмини йўқотишида ҳосил бўлган қувватга амалий *эффектив қувват* (W_2) ва йўқолиш бўлмаган ҳолдаги қувватга *тўла қувват* (W_T) дейилади. Двигатель эф-фектив қувватининг тўла қувватига нисбати двигателнинг *механик фойдали иш коэффициентини* (ФИК) (η_m) дейилади. Бир соатда ишқаланиш натижасида ажралган иссиқлик миқдорини аниқланг. Эффе-ктив қувват 50 Ж/с га ва ФИК 0,78 га тенг.

Ечиш. $\eta_m = \frac{W_2}{W_T}$, бундан $W_T = \frac{W_2}{\eta_m} = \frac{50}{0,78} = 64 \text{ Ж/с}.$

Демак, ишқаланиш натижасида йўқотилган қувват (ΔW):

$$\Delta W = W_T - W_2 = 64 - 50 = 14 \text{ Ж/с}$$

ва бир соатда йўқотилган иссиқлик:

$$14 \cdot 60 \cdot 60 = 14 \cdot 36 = 50400 \text{ Ж} = 50,4 \text{ кЖ}$$

га тенг.

Иссиқлик двигателларида уларнинг қувват (иш) манбаи турли ёнилғи (нефть, кўмир)ларнинг ёниши натижасида ажралган иссиқ-ликдир. Лекин бу иссиқликнинг турли сабаблар (ишқаланиш) би-лан буг юрувчи трубаларда, буғланиш қозонида ва бошқаларда қисман йўқолиши содир бўлади.

Ёнилғи ёнишида ажралган иссиқликнинг механик ишқала-нишга айланишига *фойдали иш коэффициентини* (ФИК) (η_m) дейи-лади. Бу ёқилган ёнилғининг қанчаси фойдали бўлганини кўрсата-ди. Демак, у амалда олинган эффе-ктив механик иш (A_2) билан ис-сиқликнинг ҳаммасидан олинган тўла ишқаланиш (A_1) нинг нис-батига тенг.

Агар, Q — 1 килограмм ёнилғи ёнгандаги ажралган иссиқлик бўлса ва n — ёқилган ёнилғининг миқдори (кг) бўлса, ёнилғи ён-ганда ажралган иш иссиқлик $Q \cdot n$ (Ж) га тенг бўлади. СИ систе-масида ҳам механик иш $Q \cdot n$ (Ж) га тенг. Агар амалда олинган эф-фектив механик иш 1 соатда A_2 бўлса,

$$\eta_m = \frac{A_2}{Q \cdot n}.$$

3. Дизель машинасининг фойдали иш эффекти (η_m) ни аниқ-ланг. Машина 1 кВт (кВт·соат) иш бериши учун 0,18 кг нефть ке-рак бўлади.

Ечиш. 1 кг нефть ёнганда 4187 Ж (10000 кал) иссиқлик ажра-
лади:

$$\eta_1 = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{60 \cdot 60}{n \cdot Q} = \frac{3600}{0,18 \cdot 4187} = 0,46.$$

Демак, олинган иссиқликнинг фақат 46% гина ишга айланади
ва 54%и эса фойдасиз йўқолади.

Агар ёнилғи сифатида кўмир ёқилса, 1 кВт иш олиш учун 0,9
кг кўмир ёқиш керак бўлади. 1 кг кўмир ёнганда 29309 Ж иссиқ-
лик ажралиб чиқади. Бунда эффективлик:

$$\eta_2 = \frac{3600}{0,9 \cdot 29309} = 0,186.$$

Агар нефть ва кўмирнинг баҳоси маълум бўлса, юқоридаги на-
тижалардан фойдаланиб, қайси ёнилғининг ёниши 1 кВт ишни
олишда арзонроқ бўлишини ҳисоблаб аниқлаш мумкин.

4. 40 Вт ток берувчи дизель моторининг η_1 ни аниқланг. 1,5
соат давомида 10,8 кг нефть сарф қилинган. Нефть таркиби С –
86% ва Н – 13%, О – 1% га тенг.

Ечиш. 1 соатда қанча иссиқлик ажралганини аниқлаймиз.
Юқоридаги таркибли нефтнинг 1 кг ёнгандаги иссиқлик миқдори
қуйидагича аниқланади:

$$\begin{aligned} Q &= 4,187(81 \cdot C + 246,13 - 26,0) = \\ &= 4,187(81 \cdot 86 + 246 \cdot 13 - 1 \cdot 20) = 42448 \text{ Ж/кг (10138 кал/кг);} \\ n &= 10,8/401,3 = 0,18 \text{ кг/соат} \end{aligned}$$

ва

$$\eta_2 = \frac{60 \cdot 60}{n \cdot Q} = \frac{3600}{0,18 \cdot 42448} = 0,46.$$

5. Ички ёниш двигателларига қуйидагича миқдорда нефть
сарфланади: 1) 5–10 Вт қувватли двигателлар учун 1 кВт·соат га
0,3 кг нефть; 2) 20–30 Вт двигателлар учун 1 кВт·соат га 0,462
кг нефть керак бўлади. 1 кг нефть ёнганда 41870 Ж/кг (10000
кал/кг) иссиқлик ажралиб чиқади. Иқтисодий фойдали иш ко-
эффициентини аниқланг.

$$\text{Ечиш. 1) } \eta_1 = \frac{60 \cdot 60}{n \cdot Q} = \frac{3600}{0,3 \cdot 41870} = 0,29 \text{ ёки } 29\%.$$

$$2) \eta_2 = \frac{60 \cdot 60}{n \cdot Q} = \frac{3600}{0,462 \cdot 41870} = 0,19 \text{ ёки } 19\%.$$

6. Турғун босимда 1 кмоль калий бромидни 300 К дан 400 К
гача иситилганда энтропия қанчага ўзгаради? Қаттиқ ҳолдаги ка-

лий бромидни солиштирма иссиқлик сифими температура ўзгариши билан қуйидаги тенгламага мувофиқ ўзгаради:

$$C_p = 40,4 \cdot 10^{-2} + 12,8 \cdot 10^{-3} T, \text{ Ж/г} \cdot \text{град.}$$

Ечиш. Бу ҳолда энтропиянинг ўзгариши (3.11.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta S = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT.$$

Масала шартига мувофиқ $n = 1$ га тенг. $M_{\text{кбр}} = 39 + 80 = 119$.
1 кмоль КВг учун моляр иссиқлик сифим $C_{p1} = C_p M = C_p \cdot 119 \cdot 10^3$,

$$C_p = (40,0 \cdot 10^{-2} + 12,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 119 \cdot 10^3.$$

Демак,

$$\begin{aligned} \Delta S &= \int_{300}^{400} \left(\frac{(40,4 \cdot 10^{-2} + 12,8 \cdot 10^{-3} T) \cdot 119 \cdot 10^3}{T} \right) dT = \\ &= 119 \cdot 10^3 \cdot \int_{300}^{400} \left(\frac{40,4 \cdot 10^{-2} dT}{T} + \frac{12,8 \cdot 10^{-3} dT}{T} \right) = \\ &= 119 \cdot 10^3 \cdot \left[40,4 \cdot 2,3 \lg \frac{400}{300} + 12,8(400 - 300) \right] = 248500 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{град.} \end{aligned}$$

7. 2 моль метан турғун температурада $p_1 = 101,3 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ дан $p_2 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимгача кенгайганда энтропия ўзгаришини аниқланг.

Ечиш. (3.18.) тенгламага мувофиқ температура турғун бўлганда:

$$\Delta S = -2,3nR \cdot \lg \frac{p_2}{p_1} = 2,3nR \cdot \lg \frac{p_1}{p_2}.$$

Демак:

$$\Delta S = 2,3 \cdot 2 \cdot 8,314 \cdot \lg \frac{1,013 \cdot 10^5}{1,013 \cdot 10^5} = 73,4 \text{ ж/моль} \cdot \text{град.}$$

8. $1,013 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ босимда 2 грамм сув 0° дан 150°C температурага иситилганда энтропиянинг ўзгаришини аниқланг. Сувнинг буғланиш яширин иссиқлиги $\Delta H = 2,255 \text{ кЖ/г}$. Буғнинг иссиқлик сифими температура билан қуйидагича ўзгаради:

$$C_p = 30,13 + 11,3 \cdot 10^{-3} T, \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Сувнинг иссиқлик сифими турғун деб фараз қилинса, унда унинг қиймати $C_p = 75,30 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$ га тенг бўлади.

Ечиш. Бу жараён уч босқичдан иборат:

1) суяқ сувнинг 0° дан 100°C гача иситилиши;

- 2) 100 °C да сувнинг буғга айланиши;
 3) буғнинг 100 °C дан 150 °C гача исиши.

Умумий энтропия шу босқичлардаги энтропиялар ўзгаришини йигиндисига тенг:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3;$$

а) биринчи босқичда энтропиянинг ўзгариши ($C_p = \text{const}$) да (3.12.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta S_1 = 2,3n C_p \cdot \lg \frac{T_2}{T_1} = 2,3 \cdot \frac{2}{18} \cdot 75,30 \cdot \lg \frac{373}{273} = 2,61 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град};$$

б) иккинчи босқичда энтропиянинг ўзгариши (3.10.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta S_2 = \frac{n\Delta H}{T} = \frac{2 \cdot 2,55 \cdot 10^3}{18 \cdot 373} = 12,09 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град};$$

в) учинчи босқичда энтропиянинг ўзгариши (3.12.) ва (3.13.) тенгламаларга мувофиқ:

$$\begin{aligned} \Delta S_3 &= 2,3n \cdot \int_{373}^{423} \frac{C_p dT}{T} = \frac{2,3 \cdot 2}{18} \int_{373}^{423} \frac{(30,13 + 11,3 \cdot 10^{-3}) dT}{T} = \\ &= \frac{2,3 \cdot 2 \cdot 30,13}{18} \cdot \lg \frac{423}{373} + \frac{2,3 \cdot 2}{18} \cdot 11,3 \cdot 10^{-3} \cdot (423 - 373) = 0,49 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}. \end{aligned}$$

Демак,

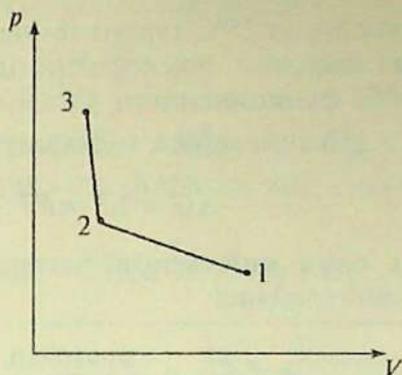
$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = 2,61 + 12,09 + 0,49 = 15,19 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

9. Адиабатик жараёнда системага иссиқлик берилмайди ва олинмайди ҳам, яъни жараёнда иссиқлик ўзгармайди $Q = \text{const}$; $dQ = 0$ бўлади. Газ кенгайганда температура билан босим ўзгаради. Газ кенгайганда ташқаридан иссиқлик олмаганлигидан кенгайиш ички энергия камайиши ҳисобига бажарилади ва натижада температура пасаяди ва аксинча, $VQ = 0$ бўлганда $\Delta S = 0$ бўлади, яъни энтропия ўзгармайди. $\Delta S = 0$ бўлганда $S_1 = S_2$ бўлади. Адиабатик равишда газ сиқилганда температура ошади. $dQ = \Delta U + A$ бўлганлигидан $dQ = 0$ бўлганда иш ички энергиянинг ўзгариши: $-\Delta U = A$ га тенг бўлади.

Демак, $A = \Delta U = mc(T_2 - T_1)$ га тенг бўлади.

1 кг ҳаво олдин адиабатик (1-2- жараёнлар) равишда сиқилди (3.1- расм) ва 2-3-жараёнда турғун ҳажмда $V = \text{const}$ амалга оширилади (босим кучаяди). 1- жараёнда ҳажм 6 маротаба камаяди ва 2-3- жараёнларда босим 1,5 маротаба ошади. Ҳавонинг иссиқлик сифими $C_v = 0,712 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}$. (1,7 кал/кг · град.)га тенг. 1, 2, 3- жараёнларда ҳавонинг энтропия ўзгаришини аниқланг.

3.1-расм.



Ечиш. 1-2- жараёнлар:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2.$$

(3.4.) тенгламага мувофиқ ($dQ = 0$ бўлганлигидан) 1-2- жараёнларда $\Delta S = 0$ га тенг, яъни энтропия ўзгармайди. 2-3-жараёнларда энтропиянинг ўзгариши (3.14.) тенгламадан фойдаланиб топилади:

$$\begin{aligned} \Delta S_{2-3} &= C_V \cdot \lg \frac{T_1}{T_2} = C_V \cdot \lg \frac{p_1}{p_2} = 2,3 \cdot 0,712 \cdot \lg 1,5 = \\ &= 0,289 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град} = 0,069 \text{ кал/кг} \cdot \text{град} \end{aligned}$$

ва

$$\Delta S = \Delta S_{1-2} + \Delta S_{2-3} = 0,289 \text{ Ж/кг} \cdot \text{град}.$$

10. 3 кг азот турғун ҳажмда $V = \text{const}$ 300 К (27 °С) дан 500 К (227 °С) гача иситилган. Азотнинг иссиқлик сифими температура ўзгариши билан қуйидагича ўзгаради:

$$C_p = 17,87 + 4,24 \cdot 10^{-3} T, \text{ Ж/моль} \cdot \text{град};$$

$$C_V = C_p - R = 17,87 + 4,4 \cdot 10^{-3} T - 8,3146 = 9,5554 + 4,24 \cdot 10^{-3} T.$$

Энтропиянинг ўзгаришини аниқланг.

Ечиш. (3.15.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta S = n \left[a \ln \frac{T_2}{T_1} + b(T_2 - T_1) \right]; \quad \Delta n = \frac{m}{M} = \frac{3}{28} = 0,107 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град};$$

$$\Delta S = 0,107 \cdot (9,554 \cdot 2,3 \cdot \lg 1,7 + 4,24 \cdot 10^{-3} \cdot 200) \cong 6,36 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

11. 1 атм босимда сув 373 К (100 °С) да қайнаб буғланади, яъни 1 моль сув буғга айланади. 1 моль суюқ сувнинг буғга айлангандаги энтропия ўзгаришини аниқланг. 1 моль сувнинг 373 К да буғланиши учун 40664,1 Ж иссиқлик керак бўлади.

Ечиш. (3.10.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{40664,1}{373} = 108,99 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град} (26,03 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}).$$

12. 10 м^3 кислород 25°C турғун температурада $1,013 \cdot 10^5$ дан $10,13 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ гача сиқилган. Кислородни идеал газ деб фараз қилиб, бу жараёнда Гиббс функциясининг ўзгаришини аниқланг.

Ечиш. (3.35.) тенгламага мувофиқ:

$$\Delta G = 2,3 \cdot nRT \cdot \lg \frac{p_2}{p_1}.$$

n — моль сони қийматини газларнинг ҳолат тенгламасидан фойдаланиб аниқлаймиз:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 10}{8,314 \cdot 295} = 409 \text{ моль}$$

ва

$$\Delta S = 2,3 \cdot nRT \cdot \lg \frac{p_2}{p_1} = 2,3 \cdot 409 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot \lg \frac{10,03 \cdot 10^5}{1,013 \cdot 10^5} = 2330 \text{ кЖ}.$$

13. 1 кмоль идеал газ 298 К температурада 1 м^3 дан 10 м^3 ҳажмгача кенгайган. Газнинг бажарган ишини, Гельмгольц ва Гиббс функцияларининг ўзгаришини аниқланг.

Ечиш. F ва G ларнинг ўзгариши (3.25.) ва (3.35.) тенгламаларга мувофиқ:

$$\Delta F = 2,3nRT \cdot \lg \frac{V_1}{V_2},$$

$$\Delta G = 2,3nRT \cdot \lg \frac{p_2}{p_1} = 2,3nRT \cdot \lg \frac{V_1}{V_2}.$$

Демак:

$$\Delta F = -2,3 \cdot 1 \cdot 8,314 \cdot 10^3 \cdot 298 \cdot \lg \frac{1}{10} = -5,702 \cdot 10^3 \text{ Ж},$$

$$\Delta G = -2,3 \cdot 1 \cdot 8,314 \cdot 10^3 \cdot 298 \cdot \lg \frac{1}{10} = -5,702 \cdot 10^3 \text{ Ж}.$$

$$A = -\Delta F = 5702 \text{ Ж}.$$

14. 291 К температурада 1 моль суюқ толуол $1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимдан $10,13 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ га сиқилган. Келтирилган босим чегарасида суюқликнинг сиқилишини эътиборга олманг ($V = \text{const}$). Гиббс функциясининг ўзгаришини аниқланг. Толуолнинг зичлиги $d = 867 \text{ кг/м}^3$ га тенг. Молекулалар массаси $M = 92,14$.

Ечиш. (3.36.) тенгламага мувофиқ: $dG = -SdT + Vdp$.

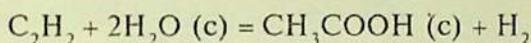
T , V турғун бўлганда:

$$\Delta G = V(p_2 - p_1) = \frac{92,14}{867} (10,13 \cdot 10^6 - 1,013 \cdot 10^5) = 96,99 \approx 97 \text{ кЖ}.$$

$d = M/V$ тенгламадан V ни қиймати аниқланади:

$$V = \frac{M}{d}.$$

15. Қуйидаги реакция учун ΔU_{298}^0 , ΔH_{298}^0 , A , ΔS_{298}^0 , ΔG_{298}^0 ларнинг стандарт қийматини аниқланг. Керакли катталиклар маълумотномаларда берилган.



Молда	ΔH_{298}^0 , Ж/моль	ΔS_{298}^0 , Ж/моль · град.
C_2H_2 (r)	$226,75 \cdot 10^3$	200,8
H_2O (c)	$-285,84 \cdot 10^3$	69,96
CH_3COOH (c)	$-484,9 \cdot 10^3$	199,8
H_2	0	130,6

Ечиш. Термодинамиканинг биринчи қонунига мувофиқ:

$$\Delta H = \Delta U + pV = \Delta U + \Delta nRT$$

стехиометрик коэффициентларни n ҳисоблаганда фақат газсимон моддаларгина эътиборга олинади: $\Delta n = 1 - 1 = 0$.

$$\Delta nRT = 0 \text{ ва } \Delta U_{298}^0 = \Delta H_{298}^0.$$

Демак:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= (\sum \Delta n \cdot \Delta H_{298}^0)_{\text{маҳс}} - (\sum \Delta n \cdot \Delta H_{298}^0)_{\text{ласт}} = \\ &= (-484,9 \cdot 10^3) - (226,75 - 2 \cdot 285,84 \cdot 10^3) = 139,47 \cdot 10^3 \text{ Ж/моль}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^0 &= (\sum \Delta n \cdot \Delta S_{298}^0)_{\text{маҳс}} - (\sum \Delta n \cdot \Delta S_{298}^0)_{\text{ласт}} = \\ &= (199,8 + 130,6) - (2 \cdot 69,96 + 200,8) = 50,26 \text{ Ж/моль}; \end{aligned}$$

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 = 139,47 \cdot 10^3 - 298 \cdot 50,26 = 154,96 \text{ кЖ/моль};$$

$$A = -\Delta G = -154,96 \text{ кЖ/моль}.$$

16. $0,5N_2 + 1,5H_2 = NH_3$ реакция учун 400 К да ΔG^0 ўзгариш қийматини аниқланг. $\Delta G_{298}^0 = 14,496 \cdot 10^3$ Ж/моль га тенг.

$$\Delta S_{298, NH_3}^0 = 192,5, \quad \Delta S_{N_2}^0 = 191,5, \quad \Delta S_{H_2}^0 = 130,6 \text{ Ж/моль}.$$

Ечиш. (3.36.) тенгламага мувофиқ: $p = \text{const}$ бўлганда,

$$dG = -SdT + Vdp.$$

$p = \text{const}$ ва $dp = 0$ бўлганда:

$$\int_{298}^T dG = \int_{298}^T SdT$$

ва

$$\Delta G_T^0 = \Delta G_{298}^0 - \Delta S_{298}^0 \int_{298}^T dT,$$

$$\Delta G_T^0 = \Delta G_{298}^0 - \Delta S(T - 298),$$

$$\Delta S = \Delta S_{\text{NH}_3}^0 - 0,5\Delta S_{\text{N}_2}^0 - 1,5\Delta S_{298, \text{H}_2}^0 = 192,5 - (0,5 \cdot 191,5 + 1,5 \cdot 130,6) =$$

$$= -99,15 \text{ кЖ/моль} \cdot \text{град},$$

$$\Delta G_T^0 = -14,496 - [-99,15(400 - 298)] = 86,634 \text{ кЖ/моль} \cdot \text{град}.$$

Масалалар

1. 10 г азотни N_2 : а) турғун босим; б) турғун ҳажмда 0°C дан 100°C гача қиздирилганда энтропиянинг ўзгариши қанчага тенг? Азотни $C_p = 6,954$ кал/град га тенг, у турғун бўлиб температурага боғлиқ эмас, деб фараз қилинг.

2. Сувнинг яширин буғланиш иссиқлиги $\Delta H = 2,255$ кЖ/г, суюқ сувнинг $C_p = 75,30$ Ж/моль \cdot град га тенг, моляр изобарик иссиқлик сифимининг турғун деб фараз қилинади, сув буғининг изобарик иссиқлик сифими температура билан қуйидагича ўзгаради:

$$C_p = 30,13 + 11,3 \cdot 10^{-3}T, \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

2 г сувни 0 дан 150°C га $1,013 \cdot 10^5$ Н/м² босимда буғлатилганда энтропия қанчага ўзгаради?

3. 10 г бромбензол $429,8$ К да қайнайди, яширин буғланиш иссиқлиги $\Delta H = 241,9 \cdot 10^3$ Ж/кг га тенг. 10 г бром бензол буғлангандаги энтропиянинг ўзгариши қанчага тенг бўлади?

4. Ҳамма температура чегарасида $S_{298} = 219,02$ Ж/моль \cdot град га тенг. AgCl нинг суюқланиш температураси 728 К га тенг. Қаттиқ кумуш хлориднинг $C_p = 66,94$ Ж/моль, суюқланиш яширин иссиқлиги $\Delta H = 12886,7$ Ж/моль га тенг. Қаттиқ кумуш хлориднинг $S_{298} = 90,07$ Ж/моль, иссиқлик сифими $C_p = 62,26 + 4,18T - 11,30 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$ га тенг.

870 К да кумуш хлориднинг энтропиясини аниқланг.

5. 1 кмоль кадмий сульфид 100°C дан 0°C гача иситилганда энтропия қанчага ўзгаради? Кадмий сульфиднинг изобарик моляр иссиқлик сифими температура билан қуйидаги тенгламага мувофиқ ўзгаради:

$$C_p = 54,0 + 3,8 \cdot 10^{-3}T, \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}.$$

6. 10 г криптон моддаси изотермик равишда ҳажми $0,05 \text{ м}^3$ дан $0,2 \text{ м}^3$ гача ва босими $1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ дан $0,2133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ гача камайганда энтропия ўзгаришини аниқланг.

7. 1 кг мис суюқланганда энтропиянинг ўзгариши қанчага тенг? Миснинг суюқланиш температураси $1083 \text{ }^\circ\text{C}$, солиштирма яширин суюқланиш иссиқлиги $41,6 \text{ кал/град}$ га тенг.

8. 1 г-атом кумуш $25 \text{ }^\circ\text{C}$ дан $225 \text{ }^\circ\text{C}$ гача қиздирилганда энтропия ўзгаришини аниқланг. Миснинг изобарик грамм-атом иссиқлик сифими температура билан қуйидагича ўзгаради:

$$C_p = 5,593 + 1,49 \cdot 10^{-3} T, \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град.}$$

9. $0,001 \text{ м}^3$ водород $0,0005 \text{ м}^3$ метан билан аралаштирилганда энтропия ўзгаришини аниқланг. Аралашма ҳосил қилувчи газлар аралашидан олдин $25 \text{ }^\circ\text{C}$ температура ва $0,012 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимда бўлган.

10. $0,02 \text{ м}^3$ ҳажми ишғол қилган 1 моль газ изотермик кенгайгандаги энтропия ўзгариши $32,28 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$ га тенг. Газ кенгайгандан кейинги ҳажми қанчага тенг?

11. CO нинг 506 К температура ва 2 атм даги моляр энтропиясини аниқланг. CO нинг стандарт энтропияси $\Delta S_{298}^0 = 47,301 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}$ га тенг. Изобарик моляр иссиқлик сифими температура билан қуйидаги тенгламага мувофиқ ўзгаради:

$$C_p = 6,342 + 1,836 \cdot 10^{-3} T.$$

12. 293 К температура ва $p_{\text{Ar}} = 1,0133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ даги 1 моль аргонни, $T_{\text{N}_2} = 323 \text{ К}$ температура ва $p_{\text{N}_2} = 1,0133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимдаги азот билан аралаштирилган. Аралашманинг босими $p = 1,0133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ га тенг. Уларнинг изобарик иссиқлик сифимлари баён этилган температура ва босим турғун бўлиб: $C_{V, \text{N}_2} = 20,935 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$; $C_{V, \text{Ar}} = 12,561 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$ га тенг. Аралашини жараёнида энтропияни ўзгариши қанчага тенг?

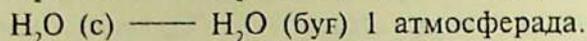
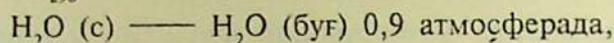
13. 2 моль метил спиртини CH_3OH $25 \text{ }^\circ\text{C}$ дан $100 \text{ }^\circ\text{C}$ гача иситилганда энтропиянинг ўзгаришини аниқланг. Метанолнинг қайнаш температураси $T_k = 61,7 \text{ }^\circ\text{C}$ га тенг. Солиштирма яширин буғланиш иссиқлиги $\Delta H_k = 1100,4 \text{ Ж/г}$, суюқ метанолнинг моляр иссиқлик сифими $C_c = 81,50 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$, метанол буғининг моляр иссиқлик сифими $C_{p,б}$:

$$C_{p,б} = 15,28 + 105,2 \cdot 10^{-3} T - 31,04 \cdot 10^{-3} T^2 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

14. 7 г азотни $27 \text{ }^\circ\text{C}$ температурада $0,5$ дан 3 атмосферага сиқилганда Гельмгольц функциясининг ўзгаришини аниқланг.

15. Қуйидаги жараёнларда 25 °С да изохорик потенциалнинг ΔF ўзгаришини аниқланг.

$$\Delta F_{298}^0 = 2055 \text{ кал/моль га тенг.}$$



16. Қуйидаги маълумотлардан:

$$\Delta H_{298}^0 (\text{ZnO}) = -8317 \text{ кал/моль;}$$

$$\Delta H_{298}^0 (\text{CO}) = -26416 \text{ кал/моль;}$$

$$\Delta H_{298}^0 (\text{CO}_2) = -94052 \text{ кал/моль;}$$

$$\Delta H_{298}^0 (\text{Zn}) = 0;$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{ZnO}) = 10,5 \text{ кал/моль} \cdot \text{град;}$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{CO}) = 47,301 \text{ кал/моль} \cdot \text{град;}$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{CO}_2) = 51,06 \text{ кал/моль} \cdot \text{град;}$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{Zn}) = 9,95 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}$$

фойдаланиб 25 °С да қуйидаги реакция $\text{ZnO} + \text{CO} = \text{Zn} + \text{CO}_2$ Гельмгольц функциясининг стандарт қийматини аниқланг.

17. Қуйидаги маълумотлардан фойдаланиб:

$$\Delta H_{298}^0 (\text{Cd}) = 0; \Delta H_{298}^0 (\text{AgCl}) = -126,8 \text{ кЖ/моль;}$$

$$\Delta H_{298}^0 (\text{Ag}) = 0; \Delta H_{298}^0 (\text{CdCl}_2) = -398,0 \text{ кЖ/моль,}$$

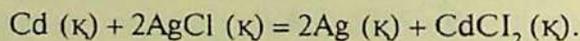
$$\Delta S_{298}^0 (\text{Cd}) = 51,76 \text{ Ж/г-атом} \cdot \text{град;}$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{AgCl}) = 669,07 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град;}$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{Ag}) = 42,69 \text{ Ж/г-атом} \cdot \text{град;}$$

$$\Delta S_{298}^0 (\text{CdCl}_2) = 115,3 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Изобарик потенциаллари (ΔG_{298}^0) нинг қуйидаги реакцияда ўзгаришини аниқланг:



18. 25 °С да 1 г-атом графитнинг энтропияси 5,72 Ж/град. 1 г-атом олмоснинг энтропияси 2,38 Ж/град га тенг. Олмоснинг ёниш иссиқлиги графитнинг ёниш иссиқлигидан 752 Ж кўп. Изотермик равишда графитнинг олмосга ўтишида изобар потенциалининг ўзгаришини аниқланг.

19. $\text{Fe} + \text{CO}_2 = \text{FeO} + \text{CO}$ реакция учун:

$\Delta F_T^0 = 17597 + 30,02T - 11,54T \cdot \ln T + 11,578 \cdot 10^{-3}T^2 - 1,3 \cdot 10^5 T^{-1}$ га тенг.

ΔH_{500}^0 ва ΔS_{500}^0 даги қийматларни аниқланг.

20. $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{H}_2\text{O} (\text{с}) + \text{CO}_2$ реакцияда CH_4 10 атм да, кислород 5 атм да ва CO_2 20 атм да олинган. ΔF_{298}^0 нинг қийматини аниқланг.

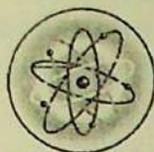
21. 1 моль суюқ бензол қайнаш температураси $80,1^\circ\text{C}$ да ва $p_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимдан $p_2 = 9,11 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимдаги бугга айланиш жараёнида изобарик потенциалнинг ўзгаришини аниқланг.

22. 1 моль идеал газ изотермик равишда 773 К температурада $p_1 = 5,05 \cdot 10^3$ дан $1,01310^4 \text{ Н/м}^2$ гача сиқилган. ΔU , ΔH , ΔF , ΔG , A ларнинг қийматини аниқланг.

23. $298,2 \text{ К}$ температура ва $5,063 \cdot 10^5 \text{ Па}$ босимда $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ кислород адиабатик равишда $1,043 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га қадар кенгайтирилган. $C_{p,0} = 20,63 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$, $298,2 \text{ К}$ температура ва $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ да моляр энтропия $S_{298}^0 = 206 \text{ Ж/моль}$ га тенг. ΔU , ΔH , ΔS , A , ΔG ларнинг ва охириги V ва T ни аниқланг.

Масалаларнинг жавоблари

1. $0,778 \text{ кал/град}$. 2. $15,19 \text{ Ж/град}$. 3. $5,5 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$. 4. $177,70 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$. 5. $31,18 \text{ кЖ/моль} \cdot \text{град}$. 6. $0,384 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$. 7. $30,68 \text{ кал/град}$. 8. $3,166 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$. 9. $100,34 \text{ ж/моль, град}$. 10. 2 м^3 . 11. $50,86 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}$. 12. $15,841 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$. 13. $238,6 \text{ Ж/град}$. 17. $266,7 \text{ кал}$. 15. 1998 кал ; 2055 кал . 16. 14578 кал . 17. $122,32 \text{ кЖ}$. 18. $2492,8 \text{ Ж/г-атом}$. 19. $\Delta H = 21633 \text{ кал}$, $\Delta S = 12,03 \text{ ккал/град}$. 20. 196998 кал . 21. $310,2 \text{ Ж/моль}$. 22. $A = 4476 \text{ Ж}$; $\Delta U = 0$; $\Delta H = 0$; $\Delta S = 5,76 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град}$; $\Delta F = -4470 \text{ Ж/моль}$. 23. $\Delta U = -469 \text{ Ж/моль}$; $\Delta U = -662,5 \text{ Ж/моль}$; $A = -3820 \text{ Ж/моль}$; $\Delta G = -3621 \text{ Ж/моль}$; $\Delta V = 3,7 \text{ м}^3$; $T = 188,6 \text{ К}$.

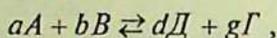


IV B O B

КИМЁВИЙ РЕАКЦИЯЛАР МУВОЗАНАТИ

Мувозанат константа. Қайтар реакцияларда бир хил шароитда реакция бир вақтнинг ўзида икки томонга боради ва мувозанат қарор топганда дастлабки моддаларнинг бир қисми ўзгармасдан қолади. Мувозанатда қарор топган концентрациялар (ёки парциал босимлар) *мувозанат концентрация (парциал босим)* дейилади. Реакция унумини мувозанат константаси (K) қиймати кўрсатади. Агар мувозанат константаси маълум бўлса, мувозанат ҳолатдаги система таркибини ва аксинча, мувозанат ҳолатдаги таркибдан мувозанат константани аниқлаш мумкин.

Мувозанат константа идеал системалар (ўта суюлтирилган эритмалар ва ўта кичик босимдаги аралашмалар) учун концентрация ва босим орқали ифодаланади. Мувозанат константа ифодаси қаср махражида дастлабки ва суратида маҳсулот моддаларига мансуб катталиклар бўлади.



реакция учун:

$$K_c = \frac{C_D^d \cdot C_G^g}{C_A^a \cdot C_B^b}, \quad (4.1)$$

бу ерда: a, b, d, g — стехиометрик коэффициентлар,
 C_A, C_B, C_D, C_G — мувозанат ҳолатдаги моляр концентрациялардир.

Газлар аралашмалари учун мувозанат парциал босимлар орқали ифодаланади:

$$K_p = \frac{p_D^d \cdot p_G^g}{p_A^a \cdot p_B^b}. \quad (4.2)$$

i — газнинг мувозанатдаги парциал босимини Дальтон қонунидан фойдаланиб моль сони (n_i) орқали ҳисоблаб, аниқлаш мумкин:

$$\frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{p_i}{\sum p_i} \quad \text{ва} \quad p_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \sum p_i, \quad (4.3)$$

бунда: n_i — i модданинг моль сони,

$n = \sum n_i$ — ҳамма моддаларнинг моль сони йиғиндиси,

$p = \sum p_i$ — умумий босим.

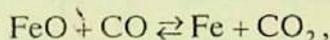
Бу ифодалар ўртасида қуйидагича боғланиш бор:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}, \quad (4.4.)$$

$$\Delta n = (d + g) - (a + b) \text{ ёки } \Delta n = (\sum n_i)_{\text{маҳс}} - (\sum n_i)_{\text{даст}}.$$

Агар, $\Delta n = 0$ бўлса $K_p = K_c$ га тенг.

Гетероген системаларда фақат газсимон моддаларнигина парциал босимлари эътиборга олиниб, суюқ ва қаттиқ ҳолатдаги моддаларнинг босими уларнинг миқдорига боғлиқ бўлмаганлигидан мувозанат константаси ифодасида бу катталиклар эътиборга олинмайди. Масалан,



FeO — қаттиқ; CO, CO₂ — газ:

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} \quad (4.5.)$$

бўлади.

Мувозанат константанинг қиймати реакция учун дастлабки олинган моддаларнинг концентрацияси (босим) га боғлиқ бўлмасдан, фақат температурага боғлиқ.

4.1. Мувозанат константасини аниқлаш

Мувозанат константасининг қийматини тажриба ўтказиш билан амалда ҳисоблаш мумкин. Назарий аниқлашда изотермик потенциаллар (Гельмгольц ва Гиббс функцияларидан), яъни F , G қўлланилади. Реакцияда иштирок этган моддаларнинг маълумотномаларда берилган термодинамик хоссаларидан фойдаланиб, реакциядаги изотермик потенциалларнинг ўзгариши назарий аниқланади. K_c ни ΔF ва K_p ни ΔG нинг ўзгариши орқали топилади.

Агар реакцияда иштирок қилган моддалардан ҳар бирининг мольлар концентрацияси бирга тенг бўлса:

$$C_A = C_B = C_D = C_G = 1; \quad p_A = p_B = p_D = p_G = 1 \text{ атм},$$

шунга кўра система стандарт ҳолатда дейилади. Бу ҳолатдаги ΔF , ΔG нинг ўзгариш қиймати стандарт қиймат дейилади ва ΔF^0 , ΔG^0 билан ифодаланади.

Термодинамиканинг иккинчи қонунига мувофиқ:

$$\Delta F^0 = -2,3 RT \lg K_c \text{ ва } \Delta G^0 = -2,3 RT \lg K_p. \quad (4.6.)$$

Бу тенгламалардан:

$$\lg K_c = -\frac{\Delta F}{2,3RT} \quad \text{ва} \quad \lg K_p = -\frac{\Delta G}{2,3RT}. \quad (4.7.)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta F^0 &= \Delta U_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 \quad \text{ва} \quad \Delta G^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0, \\ \lg K_c &= -\frac{\Delta U_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} \quad \text{ва} \quad \lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} \end{aligned} \right\} \quad (4.8.)$$

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT; \quad (4.9.)$$

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}, \quad (4.10.)$$

$$\Delta C_p = (\sum n \cdot C_p)_{\text{махс}} - (\sum n \cdot C_p)_{\text{ласт}},$$

$$\Delta H_{298}^0 = (\sum n \cdot \Delta H_{298}^0)_{\text{махс}} - (\sum n \cdot \Delta H_{298}^0)_{\text{ласт}},$$

$$\Delta S_{298}^0 = (\sum n \cdot \Delta S_{298}^0)_{\text{махс}} - (\sum n \cdot \Delta S_{298}^0)_{\text{ласт}}.$$

Бу тенгламалардан:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T \cdot \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p dT + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T} \quad (4.11.)$$

ва

$$\lg K_p = \frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} - \frac{1}{2,3RT} \int_{298}^T \Delta C_p dT + \frac{1}{2,3RT} \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}. \quad (4.12.)$$

Тахминий ҳисоблаш.

Агар $C_p = 0$ тенг деб фараз қилинса,

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R}. \quad (4.13.)$$

$C_p \neq \varphi(T)$ бўлса, яъни C_p лар температура билан ўзгармайди, деб фараз қилинса:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} - \frac{\Delta C_p}{2,3RT} (T - 298) - T \cdot \lg \frac{T}{298}. \quad (4.14.)$$

Агарда аниқ ҳисоблаш керак бўлса, тенгламада C_p ларнинг температурага боғланиши ҳисобга олинади.

(4.12) тенгламани Тёмкин-Шварцман усули билан ечиш мумкин. Бу тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} + \frac{I}{2,3R}, \quad (4.15.)$$

бунда

$$I = \frac{1}{T} \int_{298}^T \Delta C_p dT + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p dT}{T}. \quad (4.16.)$$

C_p ни температурага боғланиши (4.16.) тенгламага қўйилса,

$$I = \Delta a M_0 + \Delta b M_1 + \Delta c M_2 + \Delta c^1 M_{-2}. \quad (4.17.)$$

M_0, M_1, M_2, M_{-2} — температурага боғлиқ функциялар бўлиб, уларнинг қийматлари маълумотномаларда берилган.

a, b, c, c^1 — тенгламалардаги иссиқлик сифимини температура билан боғланишидаги коэффициентлар.

Бу ерда $\Delta a = (\sum a_i)_{\text{макс}} - (\sum a_i)_{\text{дист}}$.

4.2. Масалалар ечиш намунаси

1. $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ реакциянинг 108 К даги мувозанат константаси $K = 1$ га тенг. Реакция учун дастлаб 2 моль CO ва 3 моль H_2O олинган, ҳамма моддалар газ ҳолида. Моль фоиз ҳисобида мувозанат ҳолат таркибини, яъни моддаларнинг мувозанат концентрацияларини аниқланг.

Ечиш. Мувозанат қарор топганда X моль CO_2 ҳосил бўлган, деб фараз қилинса, H_2 нинг миқдори ҳам X молга тенг. Демак, дастлабки моддаларнинг мувозанатдаги моль сони $n_{\text{CO}} = 2 - x$ ва $n_{\text{H}_2\text{O}} = 3 - x$ га тенг. Бу қийматларни мувозанат константа тенгламаси ифодаси (4.1.) га қўйилса:

$$1 = \frac{x_{\text{CO}_2} \cdot x_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{CO}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{x^2}{(2-x)(3-x)}.$$

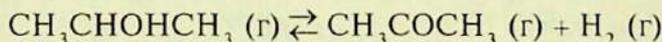
Бу тенгламадан x аниқланади: $x = 1,2$.

$n = \sum n_i = 2 + 3 = 5$ га тенг ва мувозанат ҳолат таркиби қуйидагича бўлади:

$$\text{CO}_2 = \frac{1,2 \cdot 100}{5} = 24\% \quad \text{H}_2 = \frac{1,2 \cdot 100}{5} = 24\%$$

$$\text{CO} = \frac{(2-1,2) \cdot 100}{5} = 16\% \quad \text{H}_2\text{O} = \frac{(3-1,2) \cdot 100}{5} = 36\%$$

2. Газ фазасида, 200 °С да изопропил спиртнинг ацетонга дегидратланиш (адсорбсизланиш) реакцияси:



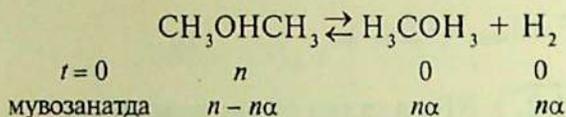
$9,7 \cdot 10^4$ Н/м² босимда мувозанат константаси $K_p = 6,92 \cdot 10^4$ Н/м² га тенг. 200 °С да изопропил спиртнинг диссоциланиш константаси

α ни аниқланг. Газ аралашмаси идеал газлар қонунига бўйсунади, деб фараз қилинсин.

Ечиш. (4.2.) тенгламага мувофиқ:

$$K_p = \frac{P_{\text{ацетон}} \cdot P_{\text{H}_2}}{P_{\text{изопропил спирт}}}$$

Демак, α ни топиш учун мувозанат константа ифодасини α орқали ифода қилиш керак. Агарда изопропил спиртининг дастлабки олинган миқдори n моль бўлса, мувозанат қарор топганда моддаларнинг моль сони:



$$\sum n_i = n(1 - \alpha) + n\alpha + n\alpha = n(1 + \alpha)$$

Демак, Дальтоннинг парциал қонунига мувофиқ (4.3.) тенглама:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \cdot P,$$

P — умумий босим.

$$P_{\text{спирт}} = \frac{n(1-\alpha)}{n(1+\alpha)} \cdot P = \frac{n-1}{n+1} \cdot P,$$

$$P_{\text{ацетон}} = P_{\text{H}_2} = \frac{n\alpha}{n(1+\alpha)} \cdot P = \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot P.$$

Агар бу қийматларни K_p тенгламаси ифодасига қўйилса,

$$K_p = \frac{P_{\text{ацетон}} \cdot P_{\text{H}_2}}{P_{\text{спирт}}} = \frac{\alpha^2 P}{1-\alpha^2}; \quad K_p(1-\alpha^2) = \alpha^2 P,$$

$$K_p - K_p \alpha^2 = \alpha^2 P; \quad K_p = \alpha^2 P + K_p \alpha^2 = \alpha^2 (P + K_p)$$

ва бу тенгламадан:

$$\alpha^2 = \frac{K_p}{P + K_p} = \frac{1}{1 + \frac{P}{K_p}} = \frac{1}{1 + \frac{9,7 \cdot 10^4}{6,92 \cdot 10^4}} = 0,415 \quad \text{ва} \quad \alpha = 0,045.$$

3. $\text{H}_2 + \text{J}_2 \rightleftharpoons 2\text{HJ}$ реакцияси 693 К температурада $K_c = 50,25$ га тенг. Реакция учун $0,846 \cdot 10^{-3}$ кг J_2 ва $0,0212 \cdot 10^{-3}$ кг H_2 олиб, ҳажми 10^{-3} м³ бўлган идишга жойлаштирилган. Ҳосил бўлган HJ миқдорини аниқланг.

Ечиш. (4.1.) тенгламага мувофиқ:

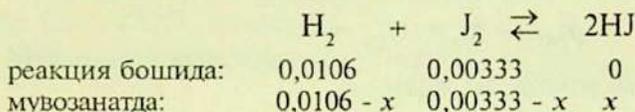
$$K_c = \frac{c_{\text{HJ}}^2}{c_{\text{H}_2} \cdot c_{\text{J}_2}}.$$

Демак, олдин дастлабки олинган моддаларнинг моль сони (n) ва унинг концентрациясини аниқлаб, сўнг мувозанат концентрацияларини аниқлаш керак. $n = m/M$ бўлганликдан:

$$n_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2}} = \frac{0,0212 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{2} = 0,0206 \text{ моль } \text{H}_2$$

$$n_{\text{J}_2} = \frac{m_{\text{J}_2}}{M_{\text{J}_2}} = \frac{0,846 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{254} = 0,00333 \text{ моль } \text{J}_2$$

(кг дан г га ўтиш учун 10^3 га кўпайтирилади). Агар ҳосил бўлган HJ нинг миқдори x деб олинса ва 1 моль H_2 ва J_2 дан 2 моль HJ ҳосил бўлишини эътиборга олсак,



Бу қийматларни $c = (n/V)$ юқоридаги (4.1.) тенгламага қўйилса:

$$K_c = \frac{c_{\text{HJ}}^2}{c_{\text{H}_2} \cdot c_{\text{J}_2}} = \frac{(n_{\text{HJ}}/V)^2}{(n_{\text{H}_2}/V) \cdot (n_{\text{J}_2}/V)} = \frac{(4x^2/10^{-3})^2}{(0,0106-x/10^{-3}) \cdot (0,00333/10^{-3})} = 50,25.$$

Агар бу тенглама йиғилса,

$$46,26x^2 - 0,701 \cdot 10^5 \cdot x + 1,77337 \cdot 10^{-2} = 0$$

ва

$$x = \frac{0,7015 \pm \sqrt{0,7025^2 - 4 \cdot 1,7730 \cdot 46,25}}{2 \cdot 46,25} = (0,7015 \pm 0,4049) / 92,50.$$

Бундан, $x_1 = 11,961$; $x_2 = 3,206 \cdot 10^{-3}$.

Ҳосил бўлган HJ миқдори (n_{HJ}) дастлабки олинган H_2 ва J_2 (n_{H_2} , n_{J_2}) миқдоридан катта бўлиши мумкин эмас. Шунга кўра HJ миқдори x_1 бўлиши мумкин эмас. Демак, HJ миқдори $x = 3,206 \cdot 10^{-3}$ моль. Мувозанат ҳолатда HJ грамм миқдори:

$$m = x M_{\text{HJ}} = 3,206 \cdot 10^{-3} \cdot 128 \cdot 10^{-3} = 0,821 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

$$M_{\text{HJ}} = 1 + 128,91 = 128 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

4. $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ реакциянинг 63°C даги $K_p = 1,27$ га тенг. Умумий босим: 1) 1 атм; 2) 10 атм бўлганда мувозанат ҳолат таркибини аниқланг.

Ечиш. (4.5.) тенгламага мувофиқ:

$$K_p = \frac{p_{\text{NO}_2}^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

Парциал босимлар аниқланади. Босим 1 атм бўлганда:

$$p_{\text{NO}_2} + p_{\text{N}_2\text{O}_4} = 1$$

ва

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} = 1 - p_{\text{NO}_2}$$

Демак,

$$K_p = \frac{p_{\text{NO}_2}^2}{1 - p_{\text{NO}_2}} = 1,27$$

Бундан

$$K_p = K_p - K_{p,\text{NO}_2} = p_{\text{NO}_2}$$

ва

$$p_{\text{NO}_2}^2 + K_p p - K_p = 0$$

Бу тенглама p_{NO_2} га нисбатан йиғилса,

$$p_{\text{NO}_2} = 0,658 \text{ атм}; \quad p_{\text{N}_2\text{O}_4} = 1 - 0,658 = 0,342 \text{ атм.}$$

Дальтоннинг парциал босимлар қонунига мувофиқ:

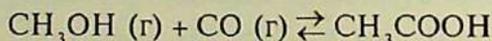
$$p_i / \sum p_i = n_i / \sum n_i, \quad n_i / \sum n_i = N \text{ моль}$$

бўлганлигидан, парциал босимлар нисбати моддаларнинг моль нисбийлигига тенг. Таркибни моль нисбий фоиз билан ифода қилиш учун олинган қийматларни 100 га кўпайтириш керак. Демак, мувозанат аралашма 65,86% NO_2 ва 34,2% N_2O_4 дан иборат.

Худди шундай 10 атм учун: $K_p = \frac{p_{\text{NO}_2}}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$

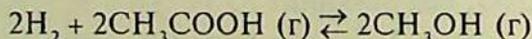
Бу тенгламага $K_p = 1,27$ қўйилса ва тенглама юқоридан йиғилса $p_{\text{NO}_2} = 2,96$ атм, $p_{\text{N}_2\text{O}_4} = 7,02$ атм бўлади. Демак, аралашмада 29,8% NO_2 ва 70,2% N_2O_4 бор.

5. 600 К температурада



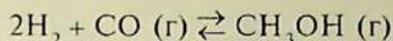
реакциясининг $K_{p,1} = 2,78 \cdot 10^{-9}$ Н/м² га тенг.

600 К температурада



реакциясининг $K_{p,2} = 6,5 \cdot 10^{-6}$ Н/м² га тенг.

600 К температурада



реакциянинг мувозанат константаси $K_{p,3}$ ни аниқланг.

Ечиш.

$$\text{а) } K_{p,3} = \frac{p_{\text{CH}_3\text{OH}}}{p_{\text{H}_2}^2 \cdot p_{\text{CO}}}; \quad \text{б) } K_{p,1} = \frac{p_{\text{CH}_3\text{COOH}}}{p_{\text{CH}_3\text{OH}} \cdot p_{\text{CO}}}; \quad \text{в) } K_{p,2} = \frac{p_{\text{CH}_3\text{OH}}}{p_{\text{H}_2}^2 \cdot p_{\text{CH}_3\text{OH}}};$$

(б) ва (в) тенгламаларнинг ўнг томонлари ўзаро кўпайтирилса, (а) тенглама келиб чиқади.

$$\text{Демак, } K_{p,3} = K_{p,1} \cdot K_{p,2} = 2,78 \cdot 10^{-9} \cdot 6,5 \cdot 10^{-6} = 1,81 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^2.$$

6. 25 °С температурада газ аралашмасининг дастлабки таркиби қуйидагича бўлган: $a = 12\% \text{ CO}_2$; $b = 1\% \text{ H}_2$; $c = 10\% \text{ CO}$; $d = 15\% \text{ H}_2\text{O}$ ва $e = 62\% \text{ азот}$, сув 25% га қайтарилиб ($\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + 0,5\text{O}$), сўнг водород ва кислороднинг фоизи $y = 2,75\%$ га тенг ва натижада $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$ айланган.

Мувозанат константаси $K = 0,623$ га тенг.

$$K = \frac{(a+y)(b+y)}{(c-y)(d-y)}$$

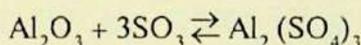
Газ аралашмасининг кейинги таркибини аниқланг. Газ аралашмасининг сўнгги таркиби қуйидагича бўлган:

14,75% CO_2 ; 3,75% H_2 ; 7,25% CO ; 12,25% H_2O ; 62,0% N_2 .

Ечиш.

$$K = \frac{(a+y)(b+y)}{(c-y)(d-y)} = \frac{4,75 \cdot 3,75}{7,25 \cdot 11,25} = 0,625.$$

7. 298 К да қуйидаги реакциянинг мувозанат константаси (K_p) ни аниқланг:



Моддаларнинг стандарт ҳосил бўлиш эффеќтини ΔH_{298}^0 ва стандарт энтропия S_{298}^0 қийматини маълумотлардан олинг.

	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Al_2O_3	SO_2
ΔH_{298}^0 , кЖ/моль,	-3434	-1675	-395,2
S_{298}^0 , кЖ/моль·град	239,2	50,94	256,23

Ечиш. (4.7.) тенгламадан фойдаланилади:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta G}{2,3RT} \quad \text{ва} \quad \lg K_{p,298} = -\frac{\Delta G_{298}^0}{2,3RT}.$$

Ўз навбатида, (4.8.) ва (4.9.) тенгламаларга мувофиқ:

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0;$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= \Delta H_{298(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)}^0 - (\Delta H_{298(\text{Al}_2\text{O}_3)}^0 + \Delta H_{298(\text{SO}_2)}^0) = \\ &= -343,4 - (-1675 - 3 \cdot 395,2) = -573,4 \text{ кЖ.} \end{aligned}$$

$$\Delta S_{298}^0 = 239,2 - (50,92 + 3 \cdot 256,82) = -580,43 \text{ Ж.}$$

$$\Delta G_{298}^0 = -573,4 \cdot 10^3 - 298 \cdot (-580,4) = -400,43 \cdot 10^3 \text{ Ж.}$$

Шунга биноан

$$\lg K_p = -\frac{\Delta G_{298}^0}{2,3RT} = -\frac{400,43 \cdot 10^3}{2,3 \cdot 8,314 \cdot 298} = -70,19, \text{ бундан } K_p = 5,1 \cdot 10^{-69}.$$

8. $\text{PbSO}_4 \rightleftharpoons \text{PbO} + \text{SO}_3$ (г) реакция учун қуйидаги берилган маълумотлардан фойдаланиб, 400 К да мувозанат константа K_p ни аниқланг.

$$\text{PbSO}_4: \Delta H_{298}^0 = -219500 \text{ кал/моль}; \Delta S_{298}^0 = 35,2 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{PbO}: \Delta H_{298}^0 = -52070 \text{ кал/моль}; \Delta S_{298}^0 = 16,6 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{SO}_3: \Delta H_{298}^0 = -94400 \text{ кал/моль}; \Delta S_{298}^0 = 61,24 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{PbSO}_4: C_p = 16,96 + 31,0 \cdot 10^{-3} \cdot T + 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{PbO}: C_p = 10,60 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot T \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\text{SO}_3: C_p = 13,7 + 1,42 \cdot 10^{-3} \cdot T + 3,12 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

Ечиш. (4.8.) тенгламага мувофиқ:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta G}{2,3RT}.$$

Ўз навбатида ΔG нинг қиймати (4.8.) тенгламага қўйилса,

$$\Delta G = \Delta H_T - T\Delta S$$

бўлади.

Юқоридагиларга биноан,

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= (\Delta H_{298, \text{PbO}}^0 + \Delta H_{298, \text{SO}_3}^0) - (\Delta H_{298, \text{PbSO}_4}^0) = \\ &= [(-52070) + (-94400)] - (-219500) = 72980 \text{ кал/моль}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^0 &= (\Delta S_{298, \text{PbO}}^0 + \Delta S_{298, \text{SO}_3}^0) - (\Delta S_{298, \text{PbSO}_4}^0) = \\ &= (16,6 + 61,24) - 35,2 = 42,64 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}; \end{aligned}$$

$$\Delta C_p = C_{p, \text{PbO}} + C_{p, \text{SO}_3} - C_{p, \text{PbSO}_4} = 13,7 + 6,42 \cdot 10^{-3} T + 3,12 \cdot 10^{-5} T^2;$$

$$\Delta H_{400} = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^{400} \Delta C_p dT; \quad \Delta S_{400} = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^{400} \frac{\Delta C_p dT}{T}$$

$$\text{ва } \Delta G_{400} = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 + \int_{298}^{400} \Delta C_p dT + \int_{298}^{400} \frac{\Delta C_p dT}{T}.$$

Шунга кўра

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} + \frac{1}{2,3RT} \int_{298}^{400} \Delta C_p dT + \frac{1}{2,3R} \int_{298}^{400} \frac{\Delta C_p dT}{T}$$

1-таҳмин: агар, $\Delta C_p = 0$ деб фараз қилинса, (4.13.) тенгламага мувофиқ:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} = -\frac{72980}{2,3 \cdot 1,98 \cdot 400} + \frac{42,60}{2,3 \cdot 1,98} = -30,54;$$

$$K_p = 3,1 \cdot 10^{-31}, \text{ бунда } R = 1,9 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

2-таҳмин: агар $C_p \neq \varphi(T)$, яъни C_p температурага боғлиқ эмас, деб фараз қилинса, (4.14.) тенгламага мувофиқ:

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_{298}^0}{2,3RT} + \frac{\Delta S_{298}^0}{2,3R} + \frac{\Delta C_p}{2,3RT} (T - 298) + T \cdot \lg \frac{T}{298}$$

Маълумотларга мувофиқ ўртача C_p :

$$C_{p, \text{PbO}} = 15,81 \text{ кал/моль} \cdot \text{град};$$

$$C_{p, \text{SO}_4} = 14,17 \text{ кал/моль} \cdot \text{град};$$

$$C_{p, \text{PbSO}_4} = 26,15 \text{ кал/моль} \cdot \text{град};$$

$$\Delta C_p = 15,81 + 14,17 - 26,13 = 3,83 \text{ кал/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\lg K_p = -39,92 + 9,34 - \frac{3,83}{2,3 \cdot 1,98 \cdot 400} (400 - 298) - 400 \lg \frac{400}{298} = -30,76,$$

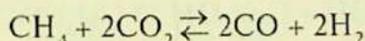
$$K_p = 5,77 \cdot 10^{-31}.$$

Агар тенгламани Тёмкин—Шварцман усули билан ечилса ва $M_0 = 0,0392$; $M_1 = 0,0130 \cdot 10^3$; $M_2 = 0,0364 \cdot 10^5$ қийматларни (4.15.) ва (4.16.) тенгламага қўйилса,

$$\lg K_p = -\frac{56545}{2,3 \cdot 1,98} = -30,39 = 31,64,$$

$$K_p = 4,07 \cdot 10^{-31}.$$

9. Тёмкин—Шварцман усули билан 1200 К температурада қуйидаги реакциянинг:



мувозанат константаси K_p ни аниқланг.

Керакли маълумотлар қуйидаги жадвалда берилган:

$$M_0 = 0,641; M_1 = 339.$$

Модда	ΔH_{298}^0 , кЖ/моль	ΔS_{298}^0 , кЖ/моль·град.	C_p	
			a	$b \cdot 10^{-3}$
CO	-110,5	157,4	28,41	4,10
H ₂	0	130,6	27,28	3,26
CH ₄	-74,85	186,2	17,45	60,46
CO ₂	-395,3	213,6	44,14	9,04

Ечиш. Бу маълумотлардан ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 , Δa , Δb ларнинг қиймати ҳисобланади.

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= 2\Delta H_{298,CO}^0 + 2\Delta H_{298,H_2}^0 - (\Delta H_{298,CH_4}^0 + \Delta H_{298,CO_2}^0) = \\ &= -247,35 \text{ кЖ/моль.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^0 &= 2\Delta S_{298,CO}^0 + 2\Delta S_{298,H_2}^0 - (\Delta S_{298,CH_4}^0 + \Delta S_{298,CO_2}^0) = \\ &= 256,29 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.} \end{aligned}$$

$$\Delta a = (2a_{CO} + 2a_{H_2}) - (a_{CH_4} + a_{CO_2}) = 49,79 \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

$$\Delta b = (2b_{CO} + 2b_{H_2}) - (b_{CH_4} + b_{CO_2}) = 54,78 \cdot 10^{-3} \text{ Ж/моль} \cdot \text{град.}$$

Агар бу маълумотларни (4.15.) ва (4.16.) тенгламаларга қўйилса,

$$\lg K_p = -\frac{247,350}{2,3,8,314 \cdot 1200} + \frac{256,29}{2,3,8,314} + \frac{I}{2,3,8,314};$$

$$I = \Delta a \cdot M_0 + \Delta b \cdot M_1 = -49,7 \cdot 0,641 + 54,72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,339 = 44,51 \approx 3,5;$$

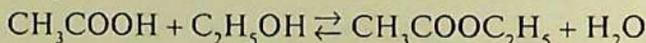
$$I = \frac{44,51}{2,3R} = \frac{44,51}{2,3 \cdot 8,314} = 2,32;$$

$$\lg K_p = -\frac{247,350}{2,3,8,314 \cdot 1200} + \frac{256,29}{2,3,8,314} + 2,32 = 3,5;$$

$$K_p = 3,106 \cdot 10^3.$$

Масалалар

1. Этил сирка кислота эфирини олиш учун 1 кмоль сирка кислота ва 1 кмоль этил спирти реакцияга киришилган.



$K_c = \frac{1}{4}$ га тенг. Мувозанат таркибини аниқланг.

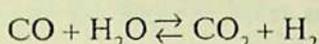
2. Қуйидаги реакцияда: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$

930 К да $K_c = 1,0$ град га тенг аралашманинг мувозанат таркибини фоиз билан аниқланг. K_p қанчага тенг?

3. CO_2 қуйидаги реакция бўйича: $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$

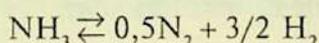
2273 К температура ва $10,133 \cdot 10^4$ Па да ажралган. $K_p = 2,460 \cdot 10^{-4}$ га тенг. Диссоциланиш даражаси α ни аниқланг.

4. 1080 К температурада қуйидаги реакциянинг:



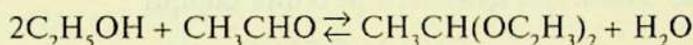
мувозанат константаси $K_p = 1$ тенг. Реакция учун 2 моль CO_2 ва 3 моль H_2O олинган. Мувозанат ҳолатдаги аралашма таркибини (моль фоизи билан) аниқланг.

5. 600 К да аммиакнинг диссоциланиш реакцияси:



мувозанат константаси $K_p = 669,7 \cdot 10^{-5} \text{Н/м}^2$ га тенг. 600 °С ва $10,13 \cdot 10^5 \text{Н/м}^2$ да аммиакнинг диссоциланиш даражаси α ни ва аммиакнинг мувозанат ҳолатдаги миқдорини (ҳажм фоизда) аниқланг.

6. 298 К да 1 моль этил спирти ва 0,091 моль ацетальдегид аралашмаси мувозанат ҳолатда $63 \cdot 10^{-3}$ м ҳажмни ишғол қилади. Бунда 90,72% ацетальдегид реакцияга киришади. Қуйидаги реакциянинг:

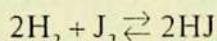


мувозанат константаси K_c ни аниқланг.

7. $\text{PCl}_3 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{PCl}_5$ реакциянинг 500 К да мувозанат константаси $K_p = 2,961 \cdot 10^{-5} \text{Н/м}^2$. Умумий босим $8,104 \cdot 10^5 \text{Н/м}^2$ га тенг. 500 К да PCl_5 нинг диссоциланиш даражасини аниқланг.

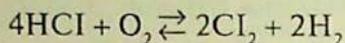
8. Аммиак синтезида $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ реакция учун олинган дастлабки H_2 ва N_2 лар нисбати $n_{\text{N}_2} / n_{\text{H}_2} = 1$ бўлса, $K_p = 0,0069$ ва мувозанатдаги босим 100 атм бўлса, мувозанат аралашмада аммиак неча моль фоизни ташкил қилади?

9. 800 °С температура ва $1,013 \cdot 10^3 \text{Н/м}^2$ босимда водород йодиднинг диссоциланиш даражаси 8,7% га тенг:



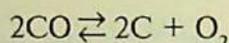
Реакциянинг мувозанат константаси K_p ни аниқланг.

10. Реакция учун HCl ва O₂ баравар ҳажмда олинган, реакция 800 К температурада олиб борилган. Мувозанат қарор топганда мувозанат аралашмада 1 атм босимда хлор 18,66% молни ташкил қилган. Қуйидаги реакциянинг:



мувозанат константаси K_p ни аниқланг.

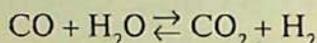
11. 1000 К да CO₂ ⇌ C + O₂ реакциясининг мувозанат константаси $K_p = 1,778 \cdot 10^{-21}$ га тенг. Худди шу температурада ва $p = 1$ атм да CO₂ нинг диссоциланиш реакцияси $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$ нинг мувозанат константаси $K_p = 2 \cdot 10^{-5}$ га тенг. 1000 К да қуйидаги реакциянинг:



мувозанат константаси K_p ни аниқланг.

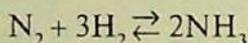
12. CO + H₂O ⇌ CO₂ + H₂ реакциянинг мувозанат ҳолатида CO₂, H₂, CO, H₂O ларнинг парциал босими мос равишда 0,116; 0,484; 0,200 ва 0,200 атм га тенг. Шуларга кўра: а) реакциянинг мувозанат константаси (K_p) ни аниқланг; б) мувозанат ҳолатда 15 моль CO, 15 моль H₂O ва 65,16 моль CO₂ билан мувозанатда бўлган водород қанча молга тенг?

13. 1 моль CO, 1 моль H₂O, 1 моль H₂ ва 1 моль CO₂ дан иборат газ аралашмасида қуйидаги реакция борган:



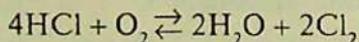
Мувозанат ҳолатда CO нинг миқдори 0,16 молга тенг бўлган. Реакциянинг мувозанат константаси K_p ни аниқланг.

14. 1 моль азот ва 3 моль водород аралашмаси билан қуйидаги реакция ўтказилган:



10,13 · 10⁵ Н/м² босимдаги мувозанат ҳолатда 0,5 моль NH₃ ҳосил бўлган. K_p ни аниқланг. Ҳажм ҳисобида NH₃ аммиак аралашмани неча фоизини ташкил қилади?

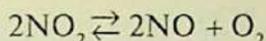
15. 4,9 моль HCl ва 5,1 моль O₂ олиниб, 480 °С температурада реакция ўтказилган:



Мувозанат ҳолатда босим 723 мм симоб устунига тенг бўлган. Олинган HCl нинг 76%и реакцияга киришган. Реакциянинг мувозанат константаси K_p ни аниқланг.

16. $0,5\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO}_2$ реакциянинг K_p ва K_c ни аниқланг. NO_2 нинг диссоциланиш даражаси $\alpha = 0,533$, босими $5,40 \cdot 10^4$ Па га тенг.

17. 767 К температура ва $9,899 \cdot 10^4$ Па босимда азот (IV) оксид NO_2 қуйидаги реакция бўйича диссоциланган:

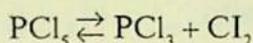


Шунга мувофиқ:

а) реакциянинг K_p ва K_c ни аниқланг;

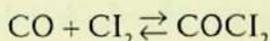
б) шу температурада NO_2 80% диссоциланиш учун босим қанчага тенг бўлиши керак?

18. PCl_5 қуйидагича диссоциланади:



500 К ва 1 атм босимда 1 л мувозанатдаги аралашма 3,133 г га тенг. α ва K_p ни аниқланг.

19. 1 моль CO ва 1 моль дан Cl_2 дан иборат газ аралашмаси 550°C ва 1 атм да реакцияга киришган:

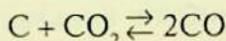


Мувозанат ҳолатда 0,2 моль COCl_2 ҳосил бўлган. K_p ва K_c ни аниқланг.

20. 2500 К температурада ва 1 атм босимда сув буғи 4,20% диссоциланган: $2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{O}_2$.

K_p ни аниқланг.

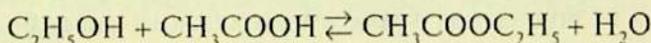
21. Углерод CO_2 билан қуйидагича реакцияга киришган:



Мувозанат ҳолатда $T = 900$ К ва $p = 1$ атм да газ аралашмаси CO моль ҳисобида 35,28% ни ташкил қилган. K_p ни аниқланг ва 10 атм босимда мувозанатда қанча фоиз CO бўлади?

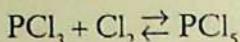
22. 30°C температурада $5 \text{O}_2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons 5\text{O}_2 + \text{Cl}_2$ реакциянинг $K_p = 2,9 \cdot 10^{-2}$ га тенг. 30°C ва 0,5 атм да $5\text{O}_2\text{Cl}_2$ нинг диссоциланиш даражаси α ни аниқланг.

23. Эфирланиш реакцияси:



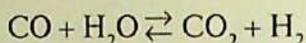
$K_p = 3,3$ га тенг. Агар реакция учун 1 моль спирт ва 1 моль кислота олинса, қанча эфир ҳосил бўлади?

24. 500 К температурада



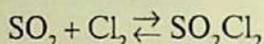
реакциянинг $K_p = 2,961 \cdot 10^{-5} (\text{Н/м}^2)^{-1}$ га тенг. Умумий босим $8,201 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ бўлганда 500 К да диссоциланиш даражаси қанчага тенг?

25. 20% CO ва 80% H_2O аралашма олиб, 800 К температурага-ча иситилган:



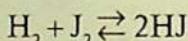
реакциянинг $K_p = 4,12$ га тенг. Мувозанат ҳолатда аралашма таркибини ва 1 кг сув буғи олинганда қанча водород ҳосил бўлишини аниқланг?

26. 375 К температурада



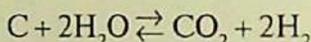
реакцияни $K_c = 9,27$ O_2 ва Cl_2 дан 1 кмоль/м³ олинганда SO_2Cl_2 нинг мувозанат концентрациясини аниқланг.

27. 445 К температурада



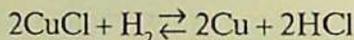
реакциянинг $K_p = 50$ га тенг. 1,27 г йод ва 0,02 г водород олиб 445 К гача иситилган, мувозанат ҳолатда аралашма ҳажми 1 л га тенг бўлган. Қанча моль HI ҳосил бўлишини ва газ аралашмаларнинг мувозанат парциал босимларини аниқланг.

28. 1400 К температурада



реакциянинг $K_p = 0,78$. Умумий босими 1 атм бўлган мувозанатдаги газ аралашмасининг таркибини аниқланг.

29. Парциал босимлари атм билан ифодаланган қуйидаги реакция

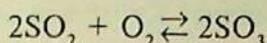


$K_p = 2,1$ га тенг. Реакция бошланишдан олдин газ фаза 0,1 моль H_2 ва 0,02 моль HCl дан иборат бўлган. Мувозанат ҳолатда умумий босим 1 атм тенг бўлган. Неча грамм мис ҳосил бўлганлигини аниқланг.

30. 400 °С ва $10,13 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ босимда аммиакнинг диссоциланиш даражаси α ва мувозанат аралашмада ҳажми фоиз билан, аммиакнинг миқдорини аниқланг.

440 °С да реакциянинг мувозанат константаси $K_p = 78,59 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ га тенг.

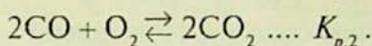
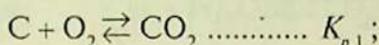
31. 727 К температурада



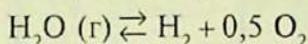
реакциянинг $K_p = 3,417 \cdot 10^5 \text{ (Н/м}^2\text{)}^{-1}$ га тенг.

Қандай босим остида SO_3 нинг диссоциланиши 20% га тенг бўлади? SO_3 нинг диссоциланишини 5% гача камайтириш учун қанча босим керак бўлади?

32. $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ реакциянинг мувозанат константа K_p ни қуйидаги реакциялар мувозанат константаси орқали аниқланг.



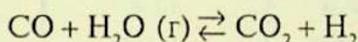
33. 1500 К да сув буғини қуйидаги реакция бўйича



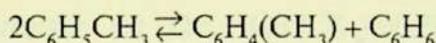
диссоциланиш даражаси $\alpha = 2,21 \cdot 10^{-4}$ га тенг. CO_2 нинг шу температурада қуйидаги реакция бўйича:



диссоциланиш даражаси $\alpha = 4,8 \cdot 10^{-4}$ га тенг. Шу температурада қуйидаги реакциянинг мувозанат константаси K_p ни аниқланг.



34. Тёмкин–Шварцман усулидан фойдаланиб, газ фазасида, 800°К ва $1,033 \cdot 10^5$ Па да бораётган



реакциянинг ΔG ни аниқлаш орқали K_p нинг қийматини, мувозанат ҳолатдаги моль нисбий ифодасидан аралашма таркибини аниқланг.

$$M_0 = 0,3597; M_1 = 0,1574 \cdot 10^3;$$

$$C_p^0 (\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3) = 160;$$

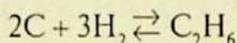
$$C_p^0 (\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)) = 5,02 + 653,76 \cdot 10^{-3} \cdot T;$$

$$C_p^0 (\text{C}_6\text{H}_6) = 33,90 + 548,6 \cdot 10^{-3} \cdot T.$$

35. $\Delta H_{298, \text{H}_2}^0 = 34,21$ кал/моль·град, $\Delta H_{298, \text{C}_2\text{H}_6}^0 = -20236$ кал/моль·град.

$$\Delta H_{298, \text{C}}^0 = 0. \quad \Delta S_{298, \text{C}_2\text{H}_6}^0 = 54,85 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}, \quad \Delta S_{298, \text{C}}^0 = 1,361$$

кал/моль·град, $\Delta S_{298, \text{H}_2}^0 = 31,21$ кал/моль·град. Шу маълумотлардан фойдаланиб, 298 К да қуйидаги реакциянинг мувозанат константаси K_p ни аниқланг.



36. $T = 1000 \text{ K}$ да $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ реакциянинг мувозанат константаси K_p ни аниқланг. Қуйидаги маълумотлардан фойдаланинг: $\Delta H_{298, \text{CO}_2}^0 = -91052 \text{ кал/моль}$; $\Delta H_{298, \text{CO}}^0 = -26416 \text{ кал/моль}$; $\Delta H_{298, \text{H}_2\text{O}}^0 = -57799 \text{ кал/моль}$; $\Delta H_{298, \text{H}_2}^0 = 0$; $\Delta S_{298, \text{CO}_2}^0 = 51,06 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}$; $\Delta S_{298, \text{H}_2}^0 = 31,211 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}$; $\Delta S_{298, \text{CO}}^0 = 47,301 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}$; $\Delta S_{298, \text{H}_2\text{O}}^0 = 45,100 \text{ кал/град} \cdot \text{моль}$.

$$\Delta C_p = 1,72 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}.$$

37. $\text{NiS} (\kappa) + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NiO} (\text{r}) + \text{H}_2\text{S} (2)$ реакциянинг 600 K даги K_p ни аниқланг.

Қуйидаги маълумотлардан фойдаланинг:

№	Модда	ΔH_{298}^0 , ккал/моль	ΔH_{298}^0 кал/моль · град	Иссиқлик сифими, кал/моль · град $C = \varphi(T)$ тенглама коэффициентлари		
				a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^3$
1.	NiO	-58,4	9,22	13,69	0,83	-2,91
2.	H ₂ S	-4,815	49,15	7,10	3,25	—
3.	NiS	-18,6	13,4	9,28	3,40	—
4.	H ₂ O (r)	-57,798	45,166	7,20	2,70	—
5.	H ₂ O (C)	-58,217	26,716	—	—	—

38. 400 K да $\text{PbSO}_4 \rightleftharpoons \text{PbO} + \text{SO}_3 (\text{r})$ реакциянинг K_p ни аниқланг. Қуйидаги маълумотлардан фойдаланинг:

$$\Delta H_{298, \text{PbSO}_4}^0 = -219500 \text{ кал/моль}; \Delta H_{298, \text{PbO}}^0 = -52070 \text{ кал/моль};$$

$$\Delta H_{298, \text{SO}_3}^0 = -54450 \text{ кал/моль}; \Delta S_{298, \text{PbSO}_4}^0 = 35,2 \text{ кал/моль} \cdot \text{град};$$

$$\Delta S_{298, \text{PbO}}^0 = 16,6 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}; \Delta S_{298, \text{SO}_3}^0 = 61,24 \text{ кал/моль} \cdot \text{град}.$$

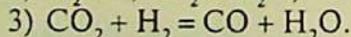
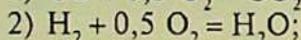
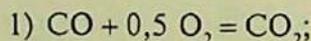
400 K да ҳисоблаш учун Тёмкин—Шварцман усули билан ҳисоблаш учун: $M_0 = 0,0392$; $M_1 = 0,030 \cdot 10^3$; $M_2 = 0,0364 \cdot 10^{-5}$.

$$C_p (\text{PbSO}_4) = 45,86 + 129,70 \cdot 10^{-3} T;$$

$$C_p (\text{PbO}) = 37,87 + 27,70 \cdot 10^{-3} T;$$

$$C_p (\text{SO}_3) = 57,32 + 26,86 \cdot 10^{-3} T.$$

39. $\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 + \text{O}_2$ системасида қуйидаги реакциялар боради:



Бу реакцияларнинг мувозанат константаси:

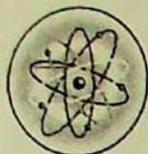
$$K_1 = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{O}_2}^{0,5}}; \quad K_2 = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2} \cdot P_{\text{O}_2}^{0,5}}; \quad K_3 = \frac{P_{\text{CO}} \cdot P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{H}_2}};$$

$$K_1 = 7,33 \cdot 10^{-8}; \quad K_2 = 3,94 \cdot 10^{-8}.$$

K_3 ни аниқланг.

Масалаларнинг жавоблари

1. $\text{CH}_3\text{COOH} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = 1$ моль; $\text{CH}_3\text{COCH}_3 = 1$ моль. 2. Хаммаси бир хил — 25%; $K_p = K_c = 1,0$. 3. 30,083. 4. $\text{CO}_2 = \text{H}_2 - 24\%$; $\text{CO} - 16\%$; $\text{H}_2\text{O} - 36\%$. 5. 0,00903; 0,488 моль, %. 6. $72,35 \cdot 10^{-3}$. 7. 0,2. 8. 34,9%, моль. 9. $2,59 \cdot 10^{-2}$ (H/M^2)⁻¹. 10. 2,8. 11. $7,9 \cdot 10^{-28}$. 12. 1,4; 8,84. 13. 27,56. 14. $3,44 \cdot 10^{-13}$; 14,3%. 15. $3,92 \cdot 10^{-5}$ H/M^2 . 16. 0,932; 0,0352. 17. 0,365; 5,768 моль/ M^3 ; $0,632 \cdot 10^4$ Па. 18. 0,617; 0,615. 19. 0,563; 38. 20. $4,11 \cdot 10^{-5}$. 21. 0,1923; 12,9%. 22. 0,234. 23. 0,661. 24. -2. 25. $\text{CO} - 1,49\%$; $\text{H}_2\text{O} - 59,85\%$; $\text{CO} - 37,05\%$; $\text{H}_2 - 1,68\%$. 26. 0,721. 27. $9,314 \cdot 10^{-3}$; 418,7; 23,95; 14,1 мм Hg. 28. 48,49; 24,25; 27,25%, моль. 29. 0,933 г. 30. 0,9255; 3,86 моль, %. 31. $51,54 \cdot 10^5$ H/M^2 ; $43,34 \cdot 10^3$ H/M^2 . 32. $K_p = K_{p,1} = K_{p,2}$. 33. 0,31. 34. 5,2518; $\text{C}_6\text{H}_6 = \text{C}_7\text{H}_{10} = 62,17$; $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 = 0,1783$. 35. $5,98 \cdot 10^5$. 36. $5,93 \cdot 10^5$. 37. 1,337. 38. $4,07 \cdot 10^{-31}$. 39. 5,37.



V B O B

ЭРИТМАЛАР

5.1. Эритмалар турлари ва концентрация

Бир (ёки бир қанча) модданинг бошқа бир (ёки бир қанча) моддалар ичида текис тарқалишидан ҳосил бўлган системага *эритма* дейилади. Эритмаларнинг энг аҳамиятли хоссаси уларнинг таркиби қандай моддалардан ва қанчадан иборат эканлигидир.

Барча эритмалар ўзидан электр оқимини ўтказишига кўра икки синфга бўлинади: *электролит* ва *ноэлектролитлар*. Ноэлектролит эритмаларга кўпроқ ўзидан электр оқимини ўтказмайдиган органик моддалар эритмаси киради. Электролит эритмалар ўзларидан электр оқимини яхши ўтказди ва бу хил эритмаларга кислота, асос, кўпгина тузлар эритмаси ва тузларнинг суюқ эритмаси киради. Эритмалар эритувчи ва эрувчи (ёки эриган) моддадан ташкил топади. Эриш жараёнида ўз агрегат ҳолатини сақлаб қолган модда шартли равишда *эритувчи* бўлиб ҳисобланади.

Оддий шароитда қаттиқ ҳолда бўлиб (масалан, туз, металл, металл оксидлари), уларнинг аралашмаси қиздирилиб, суюқликка айлантирилганда ҳосил бўлган эритма яна совутилганда биринчи навбатда кристалланган (ёки чўкмага тушган) модда *эрувчи* бўлиб ҳисобланади.

Эритмаларнинг хоссалари уни ҳосил қилган моддаларнинг (эрувчи ва эритувчи) табиати ва миқдорига боғлиқ.

Эритмалар таркиби концентрация ифодаси орқали кўрсатилади. Эритма ёки эритувчининг маълум масса миқдори ёки ҳажмида эриган модда миқдorigа *концентрация* дейилади. Концентрация икки хил усул билан — *масса* ва *ҳажм* ўлчамида ифодаланади. Концентрация бир ифодаланиш усулидан иккинчи усулга ўтиши керак бўлса, у ҳолда эритманинг зичлиги (d) маълум бўлиши шарт. Эритма зичлиги $d = m/V$ га тенг. Ҳажм усулида моляр (c) ва нормал (n) концентрация бўлиб, масса усулида фоиз (%), моляль (m) ва моль нисбий (M) концентрация ифодалари мавжуд.

Моляр концентрация — 1 литр (л) эритмада эриган модданинг моллари сонига тенг. *Нормал концентрация* — 1 литр эритмада эриган модданинг грамм-эквивалент сонига тенг (СИ системасида $\text{кг}/\text{м}^3$). *Фоиз (%) концентрация* — 100 грамм эритмада эриган модданинг грамм сонларига тенг. *Моляль концентрация* — 1000 грамм эритувчида эриган модданинг моллар сонига тенг.

Физик кимёда кўпинча *моль нисбати* (парциал моль қисми) ифодасидан фойдаланилади. Агар $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ лар 1, 2, 3, ..., i моддаларнинг эритмадаги моль сонлари бўлса, i -компонентнинг моль нисбати

$$N_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (5.1.)$$

га тенг бўлади.

Масалан, A ва B моддалардан иборат бўлган эритмадаги A модданинг моль нисбати N_A га тенг, яъни

$$N_A = \frac{n_A}{n_A + n_B},$$

B модданинг моль нисбати N_B қуйидагига тенг:

$$N_B = \frac{n_B}{n_A + n_B},$$

n — моддаларнинг умумий моль сонлари. Доимо

$$\sum N_i = n = 1 \dots \quad (5.2.)$$

Агар $N'_i = 100N_i$ бўлса, моль фоиз бўлади. Бундан $N'_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \cdot 100$ ва фоиз ифодасида $\sum N'_i = 100$ бўлади.

5.2. Суялтирилган эритмалар хоссаси. Сув буғи. Буғланиш жараёни ва буғ турлари

Суюқлик ичида ва юзасида жойлашган молекулалар кинетик (ҳаракат) энергияси жиҳатидан бир-биридан фарқ қилади. Суюқлик ичкарасида ҳар қайси молекула ҳар томондан бошқа молекулалар билан бир текисда ўралганлиги сабабли уларнинг кинетик энергияси 0 га тенг бўлади. Юзада жойлашган молекулалар фақат бир томондан — суюқлик томонидан ўралгани сабабли улар маълум кинетик энергияга эгадирлар. Суюқлик иситилганда молекулалар ҳаракати тезлашади ва кинетик энергияси ҳам ошади ва натижада, суюқлик юзасидан молекулалар суюқликни қолдириб ҳавога чиқади, яъни буғланади. Молекулаларнинг бундай бир томонлама ҳаракати (буғланиш) давомида ҳосил бўлган буғ *тўйинмаган* буғ дейилади.

Буғланиш жараёни давом этиши билан ҳаводаги буғланган молекулаларнинг сони кўпая боради ва уларнинг бир-бири билан тўқнашиши кўпаяди ва идиш деворига, суюқлик юзасига урилиши натижасида кинетик энергияси камаяди ҳамда улар суюқликка айланади

(конденсатланади). Бора-бора бу икки томонли ҳаракат тезлиги бараварлашади, яъни буғланувчи ва суюқланган молекулалар сони тенглашади. Мувозанат қарор топади. Бу вақтда ҳосил бўлган буғга *тўйинган буғ* дейилади.

Сувнинг охириги томчиси ҳам буғлангандан (тўла буғлангандан) сўнг ҳосил бўлган буғ *тўйинган қуруқ буғ* дейилади.

5.3. Рауль қонуни

Агар бир-бирида чексиз эриган суюқликдан иборат эритма бўлса ва p_1^0 , p_2^0 — моддаларнинг тоза ҳолдаги тўйинган буғ босими, ҳамда p_1 , p_2 — шу температурадаги мана шу моддаларнинг эритма устидаги тўйинган буғ босими бўлса, у ҳолда доимо $p_1^0 > p_1$ бўлади. Бунда $\Delta p_1 = p_1^0 - p_1$ ёки $\Delta p_2 = p_2^0 - p_2$ буғ босимининг камайиши ва $(p^0 - p)/p^0$ буғ босимининг нисбий камайиши дейилади.

Рауль қонунига мувофиқ биринчи модданинг буғ босимининг нисбий камайиши эритмадаги иккинчи модданинг моль нисбатига тенг, яъни

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = N_2 \quad \text{ва} \quad \frac{p_2^0 - p_2}{p_2^0} = N_1 \quad (5.3)$$

Агар $N_1 + N_2 = 1$ тенг эканлигини ҳисобга олсак:

$$1 - \frac{p_1}{p_1^0} = 1 - N_1, \\ p_1 = N_1 p_1^0 \quad \text{ва} \quad p_2 = N_2 p_2^0. \quad (5.4)$$

(5.3) ва (5.4) тенгламалар Рауль қонунининг математик ифодаси бўлиб, бу қонунга бўйсунган эритмалар *идеал эритмалар* деб аталади.

Эритманинг умумий босими p тенг.

$$p = N_1 p_1^0 + N_2 p_2^0 = p_2^0 + N_1 (p_1^0 - p_2^0). \quad (5.5)$$

Агар эрувчи модда учувчан бўлмаса (яъни қаттиқ модда бўлса), у ҳолда эритманинг буғ босими эритувчининг эритма устидаги буғ босими (p_1) га тенг бўлади.

Эритмалар ўта суюлтирилган бўлса, эрувчининг моль сонини (n_2) эритувчининг моль сонига (n_1) нисбатини ҳисобга олмаса ҳам бўлади, яъни $n_1 + n_2 \cong n_1$ деб қабул қилинади.

Шунга кўра,

$$\frac{p_1^0 - p}{p_1^0} = \frac{\Delta p}{p_1^0} = N_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \cong \frac{n_2}{n_1}, \quad (5.6)$$

бу ерда,

$$n_1 = \frac{g_1}{M_1}; \quad n_2 = \frac{g_2}{M_2}, \quad (5.7.)$$

бунда, g_1 — эритувчи миқдори,
 g_2 — эриган модда миқдори.

Эритмада эриган модданинг молекуляр массаси қуйидаги тенглама бўйича аниқланади:

$$M = \frac{g_2 \cdot M_1}{g_1} \cdot \frac{p_1^0}{\Delta p}. \quad (5.8.)$$

5.4. Эритмаларнинг музлаш температураси

Эритма доимо тоза эритувчига нисбатан паст температурада музлайди. Эритмаларнинг музлаш температураларининг пасайиши — ΔT шу эритмада эриган модда концентрациясига (m) тўғри пропорционалдир, яъни:

$$\Delta T_M = E \cdot m, \quad (5.9.)$$

бу ерда, $\Delta T_M = T^0 - T$ га тенг;

бунда: T^0 — тоза эритувчининг музлаш температураси,
 T — эритманинг музлаш температураси,
 m — эриган модданинг моляль концентрацияси,
 E — пропорционаллик коэффициенти ёки *криоскопик доимийлик*.

Агар $m = 1$ га тенг бўлса, $E = \Delta T_M$ бўлади. Демак, E — қиймати 1 моляль эритманинг музлаш температурасининг пасайишига тенг. E қиймати фақат эритувчининг табиати, хоссасига боғлиқ бўлиб, эриётган модда табиатига боғлиқ эмас. Ҳар қайси эритувчининг E қиймати доимо турли қийматларга эга. Турли эритувчилар учун E нинг қиймати маълумотномаларда берилган.

Агарда G грамм эритувчида g грамм модда эриган бўлса, моляль концентрация (m) қуйидагича бўлади:

$$m = \frac{g \cdot 1000}{M_2 \cdot G}, \quad (5.10.)$$

M_2 — эривчининг молекуляр массаси.

(5.10.) тенгламани (5.9.) тенгламага қўйсак:

$$\Delta T_M = \frac{E \cdot g \cdot 1000}{M_2 \cdot G}, \quad (5.11.)$$

Шунга кўра (г-см.сек. ўлчов системасида) (5.11) тенгламадан:

$$M_2 = \frac{E \cdot g \cdot 1000}{T_M \cdot G}, \quad (5.12.)$$

СИ ўлчов системасида

$$M = \frac{E \cdot g}{\Delta T_M \cdot G}. \quad (5.13.)$$

Демак, чексиз суюлтирилган эритмаларда эриган модданинг молекуляр массаси (5.11.) тенглама асосида аниқланади. Шу сабабли моддаларнинг молекуляр массасини эритманинг музлаш температурасининг пасайиши орқали аниқлаш усули *криоскопик усул* дейилади.

5.5. Эритмаларнинг қайнаш температураси

Эритмалар тоза эритувчига нисбатан юқори температурада қайнади. Эритмаларнинг қайнаш температураси эритма концентрацияси ортиб борган сари кўтарилиб боради. Агар, T_0 — тоза эритувчининг, T — эритманинг қайнаш температураси бўлса, $\Delta T = T - T_0$; ΔT — эритманинг қайнаш температурасини кўтарилиши дейилади. ΔT концентрацияси билан қуйидагича боғланган:

$$\Delta T = Km, \quad (5.14.)$$

бунда, K — пропорционаллик коэффиценти бўлиб, *эбулиоскопик константа* (доимийлик) дейилади. Эритманинг қайнаш температурасини ўлчаш орқали эриган модданинг молекуляр массасини аниқлаш мумкин. Молекуляр массани бундай аниқлаш усулига *эбулиоскопик* усул дейилади. Эриган модданинг молекуляр массаси қуйидаги тенглама асосида аниқланади:

$$M_2 = \frac{K \cdot g \cdot 1000}{G \cdot \Delta T_K}. \quad (5.15.)$$

СИ ўлчови бирлигида:

$$M_2 = \frac{K \cdot g}{G \cdot \Delta T_K}, \quad (5.16.)$$

бу ерда g , G — эрувчи ва эритувчининг миқдорлари.

5.6. Эрувчанлик

Газларнинг суюқликларда эриши.

Газлар суюқликларда маълум миқдорда эрийди ва бу эрувчанлик газнинг хилига, эритувчига, температура ва парциал босимга боғлиқ.

Паст босимда газларнинг эрувчанлигини парциал босимга боғлиқлиги Генри қонуни бўйича ифодаланади:

$$N_2 = k p_{\text{газ}}, \quad (5.17.)$$

бу ерда: N_2 — суюқликда эриган газнинг моль нисбати;
 p — эритма устидаги газнинг (парциал) босими;
 k — Генри константаси.

$p_{\text{газ}}$ қиймати унинг газдаги концентрациясига пропорционал (мутаносиб) бўлганлигидан (5.17.) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$N_{\text{суюқ}} = k^1 \cdot N_{\text{газ}} \quad \text{ва} \quad k^1 = \frac{N_{\text{суюқ}}}{N_{\text{газ}}}. \quad (5.17б.)$$

Агар газ концентрациясини C 1 литр эритмада граммларда ифода этилса, (5.17.) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$C = k^1 p. \quad (5.18.)$$

Бу қонун фақат кичик босимдагина ўз кучини сақлайди. Амалда (5.17.) тенгламадаги эрувчанликни моль нисбат (N) билан эмас, балки 1 литр эритмада эриган газ ҳажми (V) бирлигида ифодалаш қабул қилинган ва Генри қонуни қуйидагича ёзилади:

$$V_T = k_{\text{эп}}^1 \cdot p_2, \quad (5.19.)$$

бунда, V_T — T температурадаги эриган газ ҳажми.

Газларнинг эрувчанлигини аниқлашда эрувчанлик коэффициенти (l) дан фойдаланилади ва у қуйидагига тенг :

$$l = k^1 \cdot \frac{RT}{M_2}, \quad (5.20.)$$

l маълум температурада бир ҳажм эритмада қанча ҳажм газ эриганлигини кўрсатади.

Идеал ва кучли миқдорда суюлтирилган идеал эритмаларда газларнинг эрувчанлиги босимга боғлиқ эмас. Идеал эритмаларда газларнинг эрувчанлиги Рауль қонунига кўра аниқланиши мумкин, яъни:

$$N_2 = \frac{p_2}{p_2^0}, \quad (5.21.)$$

бунда: N_2 — эритмадаги газ қисми;

p_2 — эритма билан мувозанатда турган тоза газнинг буғ босими;

p_2^0 — шу температурада суюқланган газнинг тўйинган буғ босими.

Агар газ идеал газлар қонунига бўйсунди, деб фараз қилинса, Гей-Люссак қонунига биноан:

$$\frac{V_T}{V_0} = \frac{T}{T_0} \text{ ва } \frac{k}{k_{\text{ют}}} = \frac{T}{T_0} = \frac{T}{273,16}. \quad (5.22.)$$

$1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ парциал босим, нормал температура 273 К да эриган газнинг ҳажми *адсорбция (ютилиш) коэффициентлари* ($k_{\text{ют}}$) дейилади. (5.22.) тенгламада $V_0 = 273,16 \text{ К}$ да эритувчининг ҳажм бирлигида эриган газ ҳажми ($V_0 = k_{\text{ют}} \cdot p_2$); $k_{\text{ют}}$ — газнинг ютилиш коэффициенти.

Газлар эриганда иссиқлик ажралади. Шу сабабли Ле-Шателье принципига мувофиқ температура ортиши билан эрувчанлик камаяди, яъни $\frac{dN}{dT} < 0$. Бу боғланиш қуйидагича ифодаланади:

$$\left(\frac{d \ln N}{dT}\right)_p = \frac{\Delta H_3}{RT^2}, \quad (5.23.)$$

бу ерда, ΔH_3 — газнинг парциал эриш иссиқлиги. Агар бу тенглама $T_2 \rightarrow T_1$ оралигида интегралланса:

$$\ln N = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta H_3}{RT^2} dT, \quad (5.24.)$$

ΔH_3 температурага боғлиқ бўлмаса, яъни турғун сон деб фараз қилинса, у ҳолда

$$\ln \frac{N_2}{N_1} = \frac{\Delta H_3(T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2}, \quad (5.25.)$$

бунда, N_1, N_2 — мос равишда T_1 ва T_2 температурадаги эрувчанлик. Моддаларнинг идеал эрувчанлиги эритувчи табиатига боғлиқ эмас. Шредер тенграмаси бўйича идеал эрувчанликни ҳисоблаш мумкин:

$$\ln N_2 = \frac{\Delta H_3(T - T_{\text{суюқ},2})}{2,3 \cdot R \cdot T_{\text{суюқ},2}}. \quad (5.26.)$$

Шредер тенграмасини қаттиқ моддаларнинг суюқликда эришига ҳам қўллаш мумкин.

5.7. Масалалар ечиш намунаси

1. Температура 298 К да 10% ли CaCl_2 эритмасининг зичлиги $1,22 \text{ г/см}^3$ га тенг. Эритма таркибини моль нисбати (N), моляль (m), моляр (C), нормал (H) концентрациялари орқали ифодаланг.

Ечиш. а) эритманинг моль нисбати — $N_i = n_i / \sum n_i$ га тенг.

Концентрациянинг бир ифодасидан бошқа ифодаларига ўтишганда аввал эритманинг грамм (g) ва моль сони (n) билан ифодаланган таркибини аниқлаш керак бўлади. $g \rightleftharpoons N$ га ўтишда

$$n = \frac{g}{M} = \frac{\text{молданинг грамм миқдори}}{\text{молданинг молекуляр массаси}}$$

тенгладасидан фойдаланилади.

$$M_{\text{CaCl}_2} = 40,1 + 2 \cdot 35,46 = 111,02 \approx 111,$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 2 + 16 = 18$$

10% эритмада 10 г CaCl_2 ва 90 г сув бор.

$$n_{\text{CaCl}_2} = 10 / 111 = 0,0901 \text{ моль};$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 90 / 18 = 5 \text{ моль}.$$

Демак,

$$N_{\text{CaCl}_2} = \frac{0,0901}{0,0901+5} = 0,0177.$$

$\sum N_i = 1$ га тенг бўлганлигидан,

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0,0177 = 0,9823$$

га тенг;

б) моляль концентрация (m):

$$0,0901 \text{ моль } \text{CaCl}_2 \text{ — } 90 \text{ г сувда}$$

$$m \text{ моль — } 1000 \text{ г да}$$

$$m = \frac{0,091 \cdot 1000}{90} = 1;$$

в) моляр концентрацияни аниқлаш учун $d = m/V$ тенгладаси ёрдамида масса системасидан ҳажм системасига ўтиш керак, яъни 100 г эритма қанча ҳажмни ишғол қилишини билиш керак:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{100}{1,22} = 81,967 \text{ см}^3,$$

демак,

$$0,0901 \text{ моль } \text{CaCl}_2 \text{ — } 81,967 \text{ см}^3 \text{ эритмада}$$

$$c \text{ — } 1000 \text{ см}^3 \text{ эритмада,}$$

ундан

$$c = \frac{0,0901 \cdot 1000}{81,967} = 1,099 \text{ см}^3 \cdot \text{моль};$$

г) нормал концентрация қуйидагича аниқланади: CaCl_2 тузида 1 моль 2 г-экв га тенг бўлганлигидан: $H = 2 \cdot 1,099 = 2,198$.

2. 298 К да 0,0177 моль нисбатига тенг бўлган CaCl_2 ning сувдаги эритмасининг зичлиги $1,22 \text{ г/см}^3$ га тенг. Эритма таркибини фоиз (%), моляль, моляр ва нормал концентрациялар билан ифодаланг.

Ечиш. Таркибий қисмларнинг миқдорини моль ва грамм билан куйидагича аниқлаш мумкин:

$$\text{а) } 0,0177 = \frac{n_{\text{CaCl}_2}}{n_{\text{CaCl}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{ва} \quad 0,9823 = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{CaCl}_2}}$$

тенгламаларни ечиб, n_{CaCl_2} ва $n_{\text{H}_2\text{O}}$ аниқлаш мумкин. Сўнг $g = nM$ тенгласидан фойдаланиб, эритманинг грамм билан ифодаланган таркибини аниқлаш мумкин;

б) (қулайроқ усул). Таркибий қисмлардан биттасининг моль қийматини (n) хоҳлаган қийматда юқоридаги тенгламалардан бирортасини қўллаб, иккинчи модданинг моль миқдорини аниқлаш мумкин. Фараз қилайлик, сувнинг моль миқдори 100 г эритмада,

яъни $n_{\text{H}_2\text{O}} = 100 / 18 = 5,5$ бўлади. Унда $0,0177 = \frac{n_{\text{CaCl}_2}}{n_{\text{CaCl}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}}}$ тенгламасидан:

$$n_{\text{CaCl}_2} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} N_{\text{CaCl}_2}}{1 - N_{\text{CaCl}_2}} = \frac{0,0177 \cdot 5,55}{0,9823} = 0,1$$

ва

$$g_{\text{CaCl}_2} = 0,1 \cdot 111 = 11,1, \quad g = 5,55 \cdot 18 = 100.$$

Моляль концентрация (m):

$$\begin{array}{l} 0,1 \text{ моль } \text{CaCl}_2 \text{ — } 100 \text{ г сувда} \\ m \text{ — } 1000 \text{ г сувда} \end{array}$$

$$m = \frac{0,1 \cdot 100}{100} = 1.$$

Фоиз концентрацияда (%):

$$\text{эритманинг массаси} = 100 + 11,1 = 111,1 \text{ г.}$$

$$\begin{array}{l} 111,1 \text{ г эритмада — } 11,1 \text{ г } \text{CaCl}_2 \\ 100 \text{ г — } \% \end{array}$$

$$\% = \frac{100 \cdot 11,1}{111,1} = 10.$$

Моляр концентрацияда (c):

бунда олдин эритма ҳажми аниқланади, яъни:

$$V = \frac{g}{M} = \frac{111,1}{1,22} = 91,005 \text{ см}^3.$$

91,005 см³ эритмада — 0,1 моль CaCl₂ бор
 1000 — C моль CaCl₂ бор

$$c = \frac{0,1 \cdot 100}{91,05} = 1,098 \text{ моль}.$$

Нормал концентрация (*n*) қуйидагича ҳисобланади:

$$n = 2C = 2 \cdot 1,098 = 2,196.$$

3. 298 К да 0,098 моляль концентрацияли CaCl₂ эритманинг зичлиги 1,22 г/см³ га тенг. Эритманинг моль нисбати, фоиз, моляр ва нормал концентрация ифодаларини аниқланг.

Ечиш. Масалани ечиш учун CaCl₂ ва сувнинг миқдорини моль ва грамм билан ифодалаш керак. Масала шартига кўра эритма 0,098 моль CaCl₂ ва 1000 г сувдан иборат. 1000 г сувнинг миқдори $n_{\text{H}_2\text{O}} = 1000/18 = 55,5$ моль, CaCl₂ ни грамм билан ифодаланган миқдори $n = g/m$ дан $g_{\text{CaCl}_2} = nM = 0,098 \cdot 111 = 108,78$ г [$M_{\text{CaCl}_2} = 111$].

Моль нисбати (*N*):

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{CaCl}_2}} = \frac{55,5}{55,5 + 0,098} = 0,998$$

ва

$$N_{\text{CaCl}_2} = 1 - N_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0,998 = 0,012.$$

Фоиз концентрация (%):

эритма массаси $m = 1000$ г сув + 108,78 г CaCl₂ = 1108,78.
 Демак,

1108,78 г эритмада — 108,78 г CaCl₂ бор.
 100 г эритмада — g

$$g, \% = \frac{108,78 \cdot 100}{1108,78} = 10.$$

Моляр концентрация: олдин эритма ҳажми аниқланади:

$$d = m/V \text{ дан } V = \frac{m}{d} = \frac{1108,78}{1,22} = 908,8 \text{ см}^3.$$

Демак,

908,8 см³ эритмада — 0,098 моль CaCl₂ бор
 1000 см³ эритмада — c моль CaCl₂ бор

$$d = m/V \text{ дан } c = \frac{0,098 \cdot 1000}{908,8} = 1,078 \text{ моль}.$$

Нормал концентрация: $n = 2c = 2 \cdot 1,078 = 2,156$.

4. 15 °C да 2,31 моль/л моляр концентрацияли H_2SO_4 нинг зичлиги 1,145 г/см³ га тенг. Эритма таркибини нормал, моль нисбати, моляль, фоиз концентрацияларда ифодаланг.

Ечиш. Эритма таркибини грамм (g) ва моль сони (n) даги миқдорларини аниқлаймиз. Эритма массаси: $m = Vd = 1000 \cdot 1,145 = 1145$ г. $g_{H_2SO_4} = nM = 2,31 \cdot 98 = 226,38$ г; $g_{H_2O} = 1145 - 226,38 = 918,2$ г. $n_{H_2SO_4} = 2,31$ моль/л; $n_{H_2O} = 918,2/18 = 51,0$ моль/л.

Моль нисбати (N):

$$N_{H_2SO_4} = \frac{2,31}{2,31+51,0} = 0,043;$$

$$N_{H_2O} = 1 - 0,043 = 0,957$$

Моляль концентрацияда (m):

918,2 г сувда — 2,31 моль H_2SO_4 бор
1000 да эса — m

$$m = \frac{2,31 \cdot 1000}{918,2} = 2,52.$$

Фоиз концентрацияда (%):

1145 г эритмада — 226,38 гр. H_2SO_4 бор
100 да эса — %

$$\% = \frac{226,38 \cdot 1000}{1145} = 19,77\%.$$

Нормал концентрацияда (n):

$$n = 2c = 2 \cdot 2,31 = 4,62.$$

5. 100 °C да 5% ли шакарнинг $C_{12}H_{22}O_{11}$ сувдаги эритмасида эритманинг буғ босимини ва моль нисбатини аниқланг. Шакарнинг моль массаси $M = 342,31$ га тенг.

Ечиш. 5% ли шакар эритмасининг буғ босими (5.4.) тенгламадан фойдаланиб аниқланади:

$$p_1 = N_1 p_1^0 = p_1^0 (1 - N_2) \text{ ва } p_1 = p_1^0 - p_1^0 (1 - N_2).$$

100 °C да p_1^0 сувнинг буғ босими 760 мм. симоб устунига тенг. N_2 қанднинг моль нисбати (5.1.) тенгламасига мувофиқ аниқланади:

$$N_2 = \frac{\frac{g_2}{M_2}}{\frac{g_1}{M_1} + \frac{g_2}{M_2}} = \frac{\frac{5}{342,3}}{\frac{5}{342,3} + \frac{95}{18}} = 0,0028 \text{ ва}$$

$$p_1 = p_1^0 - p_1^0 N_2 = 760 - 760 \cdot 0,0028 = 757,87 \text{ мм.с.м.уст.} = \frac{757,87}{760} = 0,915 \text{ атм.}$$

Шакар учувчан модда бўлмаганлиги учун p_1 — қанднинг эмас, эритманинг буғ босими бўлади.

6. Метил хлорид эритмаси устидаги тўйинган буғ босими 273 К да $p_{\text{CH}_3\text{Cl}}^0 = 2,64 \cdot 10^5$ Па га, этил хлорид эритмаси устидаги эса $p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}}^0 = 0,638 \cdot 10^5$ Па га тенг. Этил хлоридни метил хлориддаги эритмаси Рауль қонунига бўйсунди, деб қабул қилиниб, 50% ли эритмадаги буғ таркибини (моль нисбий миқдорда) аниқланг.

Ечиш. Буғнинг таркибини аниқлаш учун метил хлорид ва этил хлоридларнинг парциал босимлари Рауль қонуни тенгламасидан фойдаланиб ҳисобланади.

Масала шартига кўра, эритма таркиби фоиз миқдорда берилганлиги сабабли, олдин уни моль миқдорга айлантириш керак:

$$M_{\text{CH}_3\text{Cl}} = 50,5; \quad M_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} = 64,5.$$

100 г эритмада моль миқдорлар ($n = g/M$) га тенг, яъни

$$n_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{50}{50,5} = 0,99,$$

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} = \frac{50}{64,5} = 0,775.$$

Эритмадаги моль нисбатни ҳисоблаймиз:

$$N_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{0,99}{0,99 + 0,775} = 0,561,$$

$$N_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} = \frac{0,775}{1,765} = 0,439.$$

Парциал буғ босимларни аниқлаймиз:

$$p_{\text{CH}_3\text{Cl}} = p_{\text{CH}_3\text{Cl}}^0 \cdot N_{\text{CH}_3\text{Cl}} = 2,64 \cdot 10^5 \cdot 0,561 = 1,48 \cdot 10^5 \text{ Па,}$$

$$p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} = p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}}^0 \cdot N_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} = 0,638 \cdot 10^5 \cdot 0,433 = 0,28 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Энди буғнинг таркибини моль миқдорда топамиз. Дальтоннинг парциал босимлар қонунига мувофиқ:

$$\frac{n_i}{n} = \frac{p_i}{p}; \quad n_i = \frac{p_i}{p} \cdot n,$$

бунда

$$n = \sum n_i = 0,99 + 0,755 = 1,765,$$

$$p = \sum p_i.$$

Демак,

$$n_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{p_{\text{CH}_3\text{Cl}}}{p_{\text{CH}_3\text{Cl}} + p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}}} \cdot n = \frac{1,48 \cdot 10^5}{1,48 \cdot 10^5 + 0,28 \cdot 10^5} \cdot 1,765 = 0,48,$$

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} = \frac{p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}}}{p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}} + p_{\text{CH}_3\text{Cl}}} \cdot n = \frac{0,28 \cdot 10^5}{0,28 \cdot 10^5 + 1,48 \cdot 10^5} \cdot 1,765 = 0,281.$$

7. Таркибида учувчан бўлмаган (қаттиқ модда) эрувчи модда бўлган сувли эритманинг буғ босими тоза эритувчи (сув)нинг буғ босимидан 2% кам. Эритманинг моляль концентрацияси (m) ни аниқланг.

Ечиш. (5.3.) тенгламадан фойдаланамиз. Агар сувнинг буғ босими 100 мм симоб устунига тенг, деб фараз қилинса, масала шартига мувофиқ эритманинг буғ босими 2% кам, яъни 98 мм. Симоб устунига тенг бўлади.

$$\frac{p_0 - p_1}{p_0} = \frac{100 - 98}{100} = N_2, \text{ бундан } N_2 = 0,02 \text{ га тенг бўлади.}$$

Моль нисбатидан эрувчи моддаларнинг моль сони (N) аниқланади:

$$N_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2},$$

$$n_2 = m; \text{ ва } n_1 - \text{сувнинг моль сони } n_1 = \frac{1000}{18} = 55,56 \text{ га тенг.}$$

$$\text{Унда, } N_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}, \text{ яъни } 0,02 = \frac{n_2}{55,56 + n_2},$$

бу тенгламадан:

$$n_2 = m = 1,13 \text{ моль.}$$

Демак, 1000 г сувда 1,13 моль модда эриган.

8. Техник сирка кислота 16,4 °C да музлайди. Тоza ҳолдаги сирка кислота эса 16,7 °C да музлайди ва унинг криоскопик доимийси 3,9 га тенг. Техник сирка кислотадаги қўшимчаларнинг моляль концентрациясини ҳисобланг.

Ечиш. Сирка кислотанинг қўшимчалар иштирокида музлаш температурасининг пасайишини аниқлаймиз:

$$\Delta T_{\text{муз}} = T_{\text{муз}}^0 - T_{\text{муз}} = 16,7 - 16,4 = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

(5.8.) тенгламага мувофиқ 1000 граммдаги сирка кислота қўшимчалари миқдорини, яъни концентрациясини ҳисоблаймиз:

$$m = \Delta T_{\text{муз}} / E = 0,3 / 3,9 = 0,08 \text{ моль.}$$

9. Таркибида 100 г бензол ва 0,2 г текширилаётган моддаси бор эритманинг музлаш температураси бензолнинг музлаш температурасига нисбатан 0,17 К га паст. Криоскопик константаси 5,16 град/моль га тенг. Модданинг молекуляр массасини ҳисобланг.

Ечиш. Эритмада эриган модданинг молекуляр массасини (5.12.) тенгламадан фойдаланиб топамиз:

$$M = \frac{1000 \cdot 5,16 \cdot 0,2}{100 \cdot 0,17} = 60,23.$$

10. Электролит бўлмаган 0,6 г модда (А модда) 25 грамм сувда эриганда эритманинг қайнаш температураси 0,204 °С га кўтарилди. Сувнинг эбулиоскопик доимийси 0,512. А модданинг молекуляр массасини топинг.

Ечиш. (5.15.) тенгламага биноан сувда эриган модданинг молекуляр массаси қуйидагига тенг:

$$M_2 = \frac{K_{H_2O} \cdot g \cdot 1000}{\Delta T_k \cdot G} = \frac{0,512 \cdot 0,6 \cdot 1000}{0,204 \cdot 25} = 60.$$

11. Таркибида 0,01 моль учмайдиган модда 200 г сувда эритилган. Сувнинг эбулиоскопик константаси 0,512. Эритманинг қайнаш температураси топинг.

Ечиш. $\Delta T = T - T_{H_2O}$ ва $T = T_{H_2O} + \Delta T$,

бунда, T_{H_2O} — сувнинг, T — эритманинг қайнаш температураси. $T_{H_2O} = 373,16$ К га тенг.

Демак, масалани ечиш учун ΔT ни аниқлаш керак:

$$\Delta T = E \cdot m,$$

бу ерда, m — эритманинг моляль концентрацияси.

Масала шартига кўра

$$\begin{array}{l} 0,01 \text{ моль модда} \text{ — } 200 \text{ г сувда} \\ m \text{ — } 1000 \text{ г сувда эриган.} \end{array}$$

Демак, $m = \frac{0,01 \cdot 1000}{200} = 0,05$.

Шунга кўра, $\Delta T = 0,512 \cdot 0,05 = 0,0256$.

Энди T_k ни топиш мумкин:

$$T = T_{H_2O} + \Delta T = 373,16 + 0,0256 = 373,186 \text{ К.}$$

12. Кислороднинг температураси 298 К ва босими $399,9 \cdot 10^2$ Н/м² га тенг бўлгандаги сувда эрувчанлиги $16 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ га тенг. Генри коэффициентини ҳисобланг.

Ечиш. Газнинг эрувчанлиги Генри қонунига биноан (5.17) тенглама бўйича аниқланади:

$$N_2 = k \cdot p, \text{ бундан } k = \frac{N_2}{p}.$$

$$\text{Демак, } k = \frac{16 \cdot 10^{-3}}{399,9 \cdot 10^2} = 0,04 \cdot 10^{-5} \text{ кг/Н} \cdot \text{м}^2.$$

13. Сув устидаги газ аралашмаси ҳажм бирлигида 78% N_2 ва 22% O_2 дан иборат. Температура 0°C бўлганда азотнинг эрувчанлик коэффиценти $L_{N_2} = 0,024$ ва кислороднинг эрувчанлик коэффиценти $L_{O_2} = 0,049$ га тенг. Эриган газ аралашмасининг суюқликдаги фоизли таркибини аниқланг.

Ечиш. Масалани ечиш учун:

1) 1 м^3 сувда эриши мумкин бўлган N_2 ва O_2 нинг ҳажм бирлигидаги миқдорини ҳисоблаймиз.

(5.17.б) тенгламага мувофиқ: $N_{2 \text{ суюқ}} = k \cdot N_{2 \text{ газ}}.$

Демак, $N_{2 \text{ суюқ}}$ ни аниқлаш учун $N_{2 \text{ газ}}$ ни билиш керак.

$$V_{N_2} = 0,024 \cdot 0,78 = 0,011872 \text{ м}^3,$$

$$V_{O_2} = 0,049 \cdot 0,22 = 0,01078 \text{ м}^3.$$

Шунга кўра, 1 м^3 сувда эриган газ ҳажми:

$$0,011872 + 0,01078 = 0,02265 \text{ м}^3.$$

2) Сувда эриган газнинг фоизли таркибини топамиз:

$$N_2 = \frac{0,011872 \cdot 100}{0,02265} = 52,46\%,$$

$$O_2 = \frac{0,01078 \cdot 100}{0,02265} = 47,54\%.$$

14. H_2S ни 295 K температура ва 51987 Н/м^2 босимда анилин эритмаси эрувчанлиги $10,6 \text{ кг/м}^3$ га, худди шу температурада босим 154628 Н/м^2 бўлганда, эрувчанлик $31,6 \text{ кг/м}^3$ га тенг. Шундай шароитда Генри қонуни сақланиб қоладими?

Ечиш. (5.17) тенгламага мувофиқ: $k = p/N_2.$

Газ фазаси билан мувозанатда турган эритма концентрацияси босимни эрувчанликка нисбати Генри коэффицентига тенг. У эса босим ўзгаришига боғлиқ эмас. Шунга кўра:

$$k = \frac{51987}{10,6} = 4904,4; \quad k = \frac{154628}{31,6} = 4893,3.$$

Олинган натижалар шундай шароитда газнинг эрувчанлиги Генри қонуни бўйича боришини кўрсатади.

15. Температура $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ва босим $1,013 \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$ бўлганда ацетиленнинг этанолда эрувчанлигини ҳисобланг. Эритма идеал эритма, деб ҳисобланг. Суюқ ацетиленнинг буғ босими $26,64 \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$ босимда 8 ҳажм ацетилен 1 ҳажм этанолда эрийди.

Ечиш. 1) (5.21) тенгламага биноан идеал эритмадаги ацетиленнинг моль миқдори аниқланади:

$$N_{\text{C}_2\text{H}_2} = \frac{p}{p^0} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{26,64 \cdot 10^5} = 0,038.$$

2) 100 граммда 97% ли спирт қанча ҳажми эгаллашини топамиз:

$$V_{\text{спирт}} = 97/0,789 = 123\text{ мл.}$$

3) 123 мл ҳажмга эга бўлган спиртта эриган ацетилен эгаллаган ҳажми аниқлаймиз:

$$V_{\text{C}_2\text{H}_2} = 123 \cdot 8,5 = 1045\text{ мл.}$$

4) Спирттаги ацетиленнинг моль миқдорини топамиз. Ацетиленнинг моллар сони қуйидагига тенг:

$$n_{\text{C}_2\text{H}_2} = \frac{pV}{RT} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 1045 \cdot 10^{-6}}{8,314 \cdot 273} = 0,0467.$$

Этанолнинг моляр сони эса қуйидагига тенг:

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{g}{M} = \frac{97}{46} = 2,11.$$

Шулардан фойдаланиб, ацетиленнинг эрувчанлигини ҳисоблаймиз:

$$n_{\text{C}_2\text{H}_2} = \frac{0,0467}{2,11+0,0467} = 0,022.$$

Ацетиленнинг эрувчанлиги натижаларидаги бундай фарқ ($0,11 \neq 0,038 - 0,022$) унинг спирттаги эритмаси идеал эритма деб ҳисобланиши мумкин эмаслигини кўрсатади.

Масалалар

1. Эритма 50% H_2O дан, 35% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ва 15% CH_3COOH дан иборат таркибга эга. Компонентларнинг моль нисбатини топинг.

2. 50% ли AgNO_3 сувли эритмасининг (зичлиги 1,668 г/мл) моляр, моляль, моль нисбати ва нормал концентрация ифодаларини аниқланг.

3. Концентрацияси 30% бўлган CaCl_2 (зичлиги 1,282 г/мл) сувли эритмасининг моляр, моляль, моль нисбати ва нормал концентрация ифодаларини топинг.

4. 200 г бензол, 100 г этил спирти ва 50 г ацетон ўзаро аралаштирилиб эритма ҳосил қилинган. Шу эритма компонентларининг моль нисбати қанчага тенг?

5. 10% ли NaCl эритмасининг зичлиги 1,071 г/см³ га тенг. Эритма таркибидаги тузнинг 1000 г сувдаги моль нисбатини топинг.

6. 10% ли сульфат кислота эритмасининг моляль концентрациясини аниқланг.

7. Таркибида 1,405 моль/л миқдорда AgNO_3 эриган эритмани фоиз, моляль, моль нисбати ва нормал концентрациясини топинг. Эритманинг 20 °С даги зичлиги 1,194 г/мл га тенг.

8. Зичлиги 20 °С да 1,05 г/мл га тенг эритмада 0,05 моль HCl эриган. Шу эритманинг фоиз, моляр, моль ва нормал концентрацияларини ҳисобланг.

9. 2,31% ли NH_3 эритмасининг зичлиги 0,99 г/см³ га тенг. Эритманинг моляр, моляль концентрацияси ва моль нисбати концентрацияларини топинг.

10. 20 °С да зичлиги 1,045 бўлган 4,462% ли SiSO_4 эритмасининг моляр, моляль концентрация қийматларини аниқланг.

11. 60% ортофосфат кислота эритмасининг 293 К даги зичлиги 1426 кг/м³ га тенг. H_3PO_4 нинг моляль, моляр ва моль нисбати концентрацияларини топинг.

12. Коцентрацияси 1,65 моль/1000 г бўлган FeSO_4 эритмасининг зичлиги 1,213 г/мл га тенг. Эритманинг фоиз, моляр, моль нисбати ва нормал концентрацияларини ҳисобланг.

13. Концентрацияси 30% бўлган AlCl_3 эритмасининг 293 К даги зичлиги 1,242 г/мл га тенг. Эритманинг моляр, моляль, моль нисбати ва нормал концентрацияларини топинг.

14. Метил спиртининг (CH_3OH) 20% ли сувли эритмасининг зичлиги 0,9681 г/см³ га тенг. Эритманинг моляр, моляль ва моль нисбати концентрацияларини топинг.

15. KCl эритмасида 250г KCl ва 1000г H_2O бор. Эритма зичлиги 1,133 г/см³. Эритманинг моляр, моляль, фоиз ва моль нисбати концентрацияларини топинг.

16. 175,0 г ZnCl_2 рух хлорид 325,0 г сувда эритилган. Олинган эритма 293 К (20 °С) да 370,0 см³ ҳажмда бўлган. Рух хлориднинг

эритмадаги концентрацияларини аниқланг: 1) моляр; 2) парциал; 3) моль нисбати ва моль фоизи; 4) фоиз; 5) моль нисбати; 6) сувнинг моль нисбати. Рух молекуласининг массаси $M_{ZnCl} = 136,3$; $M_{H_2O} = 18$.

17. 298 К (25 °С) да қанднинг сувдаги 0,2 моляль эритмасининг тўйинган буғ босимини аниқланг. Бу температурада сувнинг тўйинган буғ босими 23,756 симоб устунига тенг.

18. Концентрацияси 25% бўлган глюкоза ($C_6H_{12}O_6$) эритмаси устидаги 298 К да буғ босимни ҳисобланг. Бунда тоза эритувчи тоза сувнинг шу температурадаги тўйинган буғ босими $3,721 \cdot 10^3$ Па га тенг.

19. Дибромпропан ($C_3H_6Br_2$) ва дибромэтан ($C_2H_4Br_2$) ларнинг 360 К даги тўйинган буғ босимлари мос равишда 130 ва 172 мм симоб устунига тенг. Бу модда эритмалари Рауль қонунига бўйсунмади. Эритманинг концентрацияси 50% бўлгандаги умумий буғ босимини топинг.

20. Сув буғи босими 25 °С да 23,76 мм симоб устунига тенг. 6 г мочевиначининг 180 г $CO(NH_2)_2$ сувда эришидан ҳосил бўлган эритма устидаги буғ босимини аниқланг.

21. Этил эфирининг $C_2H_5COOC_2H_5$ 20 °С да буғ босими 442 мм симоб устунига тенг. 100 г эфирда 15 г бензальдегиднинг эришидан ҳосил бўлган эритманинг тўйинган буғ босимини аниқланг.

22. Сувнинг 25 °С даги буғ босими 23,76 мм симоб устунига тенг. 5% ли шакар ($C_{12}H_{22}O_{11}$) эритмасининг буғ босимини аниқланг.

23. Концентрацияси 10% ли глицерин ($C_3H_8O_3$) эритмасининг буғ босимини ҳисобланг. Сув буғи босими 23,8 мм симоб устунига тенг.

24. 293 К да этил эфирида $C_2H_5COOC_2H_5$ эриб, 3% эритма ҳосил қилган анилин $C_6H_5NH_2$ эритмасининг буғ босимини топинг. Шу температурада тоза эфирнинг буғ босими $5,89 \cdot 10^4$ н/м² (ёки 422,2 мм сим. уст.) га тенг.

25. 1,14 г қалай метали 100 г симобда эриб ҳосил қилган амальгама эритмаси устидаги симоб буғ босими 754,1 мм симоб устунига тенг. Шу температурадаги тоза симобнинг буғ босимини аниқланг.

26. 500 г сувда 0,01 моль учувчан бўлмаган модда эриган. Буғ босимининг нисбий камайишини аниқланг.

27. Эритманинг буғ босимини тоза сувнинг буғ босимидан 1% паст бўлиши учун глицериннинг ($C_3H_8O_3$) сувдаги эритмасининг концентрацияси қанча фоизда бўлиши керак?

28. 100 °C сувда 5% қанд ($C_{12}H_{22}O_{11}$) эриганда эритманинг буғ босими қанчага тенг бўлади? Эритманинг буғ босими 5% ли қанд эритмасига барабар бўлиши учун глицериннинг сувдаги эритмасида неча фоиз қанд эриши керак?

29. Симоб буғ босимининг 765,6 мм Hg устунидан 754,1 мм Hg устунига пасайиши учун 100 г симобда қанча қалай эриши керак?

30. Эритма 0,5 °C гача музламаслиги учун 1 кг сувга қанча грамм глицерин қўшиш керак? Сувнинг криоскопик константаси 1,86 га тенг.

31. Сувли эритма 0,5% мочевина – $(NH_2)_2CO$ ва 1% глюкозадан $C_6H_{12}O_6$ иборат. Агар сувнинг криоскопик константаси 1,86 бўлса, эритманинг музлаш температураси қанчага тенг?

32. Углерод (IV)-олтингугурти (CS_2) 46,20 °C да қайнайди. Унинг эбулиоскопик константаси 2,3 бўлган 50 г CS_2 да 0,9373 г бензой кислота эритилган. Ҳосил бўлган эритма 46,39 °C да қайнайди. CS_2 да эриган бензой кислотанинг молекуляр массасини ҳисобланг.

33. Сувнинг эбулиоскопик константаси 0,512. 5% ли шакар ($C_{12}H_{22}O_{11}$) эритмасининг қайнаш температурасини аниқланг.

34. Массаси 0,0106 кг (10,6 г) бўлган этил спирти эритмасида $0,40 \cdot 10^{-3}$ кг (0,401 г) салицил кислота бор. Бу эритма тоза спиртга нисбатан 0,337 °C юқори температурада қайнайди. Этил спирти қайнаш температурасининг молекуляр ошиши 1,19 га тенг. Салицил кислотанинг молекуляр массасини ҳисобланг.

35. Тоза бензолнинг музлаш температураси 278,5 К. Таркибида $0,2242 \cdot 10^{-3}$ кг (0,2242г) камфораси бор. $3,055 \cdot 10^{-2}$ кг (30,55 г) бензол эритмасининг музлаш температураси 278,254 К га тенг. Бензолнинг қотиш температурасининг моль пасайиши 5,16. Камфоранинг молекуляр массасини ҳисобланг.

36. Текшириш учун олинган сирка кислота 16,4 °C да музлайди. Амалда тоза сирка кислота 16,7 °C да музлайди. Унинг криоскопик константаси $3,9 \cdot 1000$ г. Сирка кислота таркибида қанча моль қўшимча борлигини топинг.

37. Эритманинг музлаш температурасини 5 °C га пасайтириш учун 1000 г сувда қанча глицерин ($M = 92$) эритиш керак? Сувнинг криоскопик константаси 1,85 га тенг.

38. Босим 300 мм симоб устунига ва температура 25 °C га тенг бўлганда кислородни сувда эрувчанлиги 16 мг/л. 1 л эритмага нисбатан эрувчанликни молда, босимни атм да ифода этиб, Генри константасини топинг.

39. 20 °C ва 700 мм симоб устунида 100 см³ сувда 3,54 см³ CH₄ эрийди. Эрувчанлик коэффициентини аниқланг.

40. CO₂ ни 25 °C ва 5,065 · 10⁵Н/м² босимда сувда эрувчанлигини ҳисобланг. CO₂ учун Генри константаси 7,492 · 10⁵ г/м · Н га тенг.

41. Учувчан бўлмаган 5 г модда 25 г CCl₄ да эритилган. Ҳосил бўлган эритма 81,5 °C да қайнайди. CCl₄ 76,8 °C да қайнайди ва унинг эбулиоскопик константаси 5,02 га тенг. Эритмада эриган модданинг молекуляр массасини топинг.

42. Тоза олтингугурт (IV) углероди (CS₂) 46,2 °C да қайнайди. Таркибида 0,21 г олтингугурт ва 19,18 г CS₂ бўлган эритма 46,304 °C да қайнайди. CS₂ нинг эбулиоскопик константаси 2,37 га тенг. CS₂ да эриган олтингугурт молекуласида қанча атом мавжуд?

43. Азотнинг 1,013 · 10⁵ Н/м² ва T = 20 °C даги идеал эрувчанлигини ҳисобланг. Бунда нормал қайнаш температураси 195,8 °C, ΔH_{буғ} = 5577,3 ж/моль.

44. 20 °C ва 700 мм. симоб устунида 100 мл сувда 3,54 см³ CH₄ эрийди. CH₄ нинг эрувчанлик коэффициентини топинг.

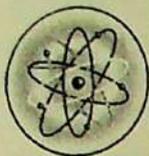
45. 100% ли SO₂ нинг дизель мойида 10 °C да эрувчанлиги 40,6 г/л, 20 °C да 23,4 г/л ни ташкил этади. Эрувчанликнинг моляр иссиқлигини топинг.

46. 100 г сувда 0 °C да сут кислотанинг эрувчанлиги 2,35 г га, 24,8 °C да эса 6,76 г га тенг. Кислотанинг сувда эрувчанлигининг иссиқлигини аниқланг.

47. CO₂ ни 20 °C да сувда эрувчанлиги 0,878 см³/мл, 30 °C да 0,665 см³/мл га тенг. Эрувчанлик идеал ҳолатда боради деб, CO₂ ни сувда эришини (ΔH) ҳисобланг.

Масалаларнинг жавоблари

1. 0,335; 0,261; 0,0066. 17. 23,67 мм сим. уст. 18. 3,6 · 10³ Па. 19. 152 мм сим. уст. 20. 23,52 мм сим. уст. 21. 400,5 мм сим. уст. 22. 27,67 мм сим. уст. 23. 23,29 мм сим. уст. 24. 5,75 · 10⁴ Па. 25. 768 мм сим. уст. 26. 0,00036. 27. 0,05 моляль. 28. 1,42% масса бўйича; 757,87 мм сим. уст. 29. 1,14 г. 30. 24,732. 31. 0,26 °C. 32. 226,9. 33. 100,6 °C. 34. 138,8. 35. 152,8. 36. 0,08 моль. 37. 24,8 г. 38. 19,21 · 10⁻³. 39. 0,0354 г. 40. 3,795 кг/м³. 41. 106,4. 42. 8 атом. 43. 17,6 · 10⁻⁴; 0,260 (2,4%). 44. 0,0354; 0,033. 45. -38100 Ж/моль. 46. 0,8667 Ж/моль. 47. -20348 Ж/моль; 1,18 · 10⁶ см³.



VI БОБ

ЭЛЕКТРОЛИТ ЭРИТМАЛАР

Электролит бўлмаган эритмалар нейтрал молекулалардан иборат. Эритмаларда электролитик диссоциланиш содир бўлиши туфайли электролит эритмалар таркибида нейтрал молекулалар билан бирга ионлар ҳам мавжуд бўлади. Шу сабабли электролит эритмаларнинг осмотик босими, қайнаш температурасининг ошиши, музлаш температурасининг пасайиши ва бошқа физик-кимёвий параметрлари бир хил концентрацияда олинган ноэлектролит эритмаларникига nisbatan катта бўлади. Ноэлектролит эритмаларга тегишли қонунларни электролит эритмаларга тадбиқ этиш учун уларни i – коэффициентига кўпайтириш керак. Одатда $i > 1$ ва бу коэффициентни *изотоник ёки Вант-Гофф коэффициенти* дейилади.

Ноэлектролит ва электролит эритмалар учун айрим катталикларни қуйидагича ифодалаш қабул қилинган:

Ноэлектролит эритмалар
учун (назарий топилган)

Электролит эритмалар
учун (тажрибада топилган)

осмотик босим:

$$(p_{\text{осм}})_{\text{наз}} = CRT$$

$$(p_{\text{осм}})_{\text{таж}} = iCRT \quad (6.1.)$$

эритма музлаш температура-
сининг пасайиши:

$$(\Delta T_{\text{м}})_{\text{наз}} = mE$$

$$(\Delta T_{\text{м}})_{\text{таж}} = imE \quad (6.2.)$$

Эритма қайнаш температура-
сининг ошиши:

$$(\Delta T_{\text{к}})_{\text{наз}} = mE$$

$$(\Delta T_{\text{к}})_{\text{таж}} = imE \quad (6.3.)$$

буғ босими:

$$\frac{p^0 - p}{p^0} = \frac{\Delta p}{p} = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

$$\frac{p^0 - p}{p^0} = \frac{\Delta p}{p^0} = \frac{in_2}{n_1 + n_2} \quad (6.4.)$$

молекуляр масса:

$$(M)_{\text{наз}} = \frac{E \cdot g \cdot 1000}{G \cdot \Delta T}$$

$$(M)_{\text{таж}} = \frac{i \cdot E \cdot g \cdot 1000}{G \cdot \Delta T} \quad (6.5.)$$

Бу тенгламалардан фойдаланиб i ни аниқлаш мумкин:

$$i = \left(\frac{p_{\text{гаж}}}{p_{\text{наз}}} \right)_{\text{осм.босим}} = \left(\frac{\Delta T_{\text{г}}}{\Delta T_{\text{н}}} \right)_{\text{муз}} = \left(\frac{\Delta T_{\text{г}}}{\Delta T_{\text{н}}} \right)_{\text{қай}} = \frac{\left(\frac{\Delta p}{p_0} \right)_{\text{гаж}}}{\left(\frac{\Delta p}{p_0} \right)_{\text{наз}}}, \quad (6.6.)$$

бундаги t , n — аломати шу катталикларни тажрибада (амалда) ва назарий ҳисоблаб топилган қийматидир.

Электролит эритмаларнинг электролитик диссоциланиш хусусиятини диссоциланиш даражаси (α) белгилайди ва у қуйидагига тенг:

$$\alpha = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{диссоциланган молекулалар сони}}{\text{молекулаларнинг дастлабки умумий сони}}. \quad (6.7.)$$

Бундан ионларнинг концентрацияси

$$C = \alpha \cdot C_0 \quad (6.8.)$$

га тенг.

α нинг қийматига нисбатан эритмалар кучли ва кучсиз электролитларга бўлинади. Кучли электролитларнинг ҳамма концентрациядаги молекулалари тўла диссоциланади, демак $\alpha = 1$ бўлади. Кучсиз электролитларда $\alpha < 1$ бўлиб, эритма суюлтирилган сари α миқдори ошиб боради. Бу хил эритмаларда α изотоник коэффициент билан қуйидагича боғланган:

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1}, \quad (6.9.)$$

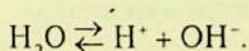
бу ерда, n — молекулалар диссоциланганда ҳосил бўладиган ионлар сони (масалан, NH_4OH , CH_3COOH ларда 2 та, CaCl_2 да 3 та, AlCl_3 да 4 тага тенг ва ҳоказо).

Диссоциланиш жараёни қайтар бўлиб, AB электролит учун ($AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$) диссоциалланиш константаси (K_d) қуйидагига тенг:

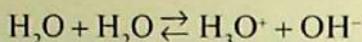
$$K_d = \frac{[A^+][B^-]}{[AB]} = \frac{C_0\alpha \cdot C_0\alpha}{C_0 - C_0\alpha} = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot C_0 = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot \frac{1}{V}, \quad (6.10.)$$

бунда, $[AB]$ — диссоциланмаган молекула концентрацияси, C_0 — электролит эритма концентрацияси. V — суюлтириш деб айтилади ва у бир килограмм-эквивалент (1 кг-экв) модда тутган эритма ҳажми, $\text{м}^3/\text{см}^3$.

Сувнинг диссоциланиши — сув жуда кам миқдорда бўлса ҳам қуйидагича диссоциланади:



Амалда эса бу жараён:



ҳолда содир бўлади.

Сувнинг диссоциланиш константаси:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad (6.11.)$$

Бунда, $[\text{H}_2\text{O}]$ ни ўзгармас (const) деб қабул қилиш мумкин, у ҳолда

$$\begin{aligned} K_{\text{H}_2\text{O}} \cdot [\text{H}_2\text{O}] &= [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = \text{const}, \\ K_{\text{в}} &= [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] \end{aligned} \quad (6.12.)$$

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ турғун бўлганлигидан реакция муҳитини (кислотали ёки асосли ҳолатини) H^+ ва OH^- дан бирини концентрацияси орқали аниқлаш мумкин. H^+ концентрацияси орқали муҳит pH ни ифода қилиш қуйидагича қабул қилинган:

$$pH = -\lg[\text{H}^+] \text{ ва } [\text{H}^+] = 10^{-pH}; [\text{OH}^-] = \frac{K_{\text{в}}}{[\text{H}^+]}, \quad (6.13.)$$

бунда, $K_{\text{в}}$ – сув ионларининг кўпайтмаси.

Эрувчанлик кўпайтмаси (L). Бу катталиқ қийин эрувчи тузлар учун (масалан, AgCl) хос бўлиб, тўйинган эритмаларда ионлар концентрациясининг кўпайтмаси *эрувчанлик кўпайтмаси (L)* қиймати га тенг. Масалан, AgCl учун

$$L_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-]. \quad (6.14.)$$

Эрувчанлик кўпайтмаси маълум электролит учун бирор температурада ўзгармас қийматга эга. Эритувчида туз ионларининг концентрацияси кўпайтмаси L га етгунича эрийди, ундан ошганидан сўнг эса чўкма туша бошлайди. Ҳар қайси ионнинг эритмадаги концентрацияси *эрувчанлик (C)* дейилади ва у қуйидагига тенг:

$$C = \sqrt{L}. \quad (6.15.)$$

6.1. Электролит эритмаларнинг электр ўтказувчанлиги

Электролит эритмаларда электр зарядини (оқимини) ионлар ташиб ўтади ва электр ўтказувчанлик қаршиликнинг (R) тескари қиймати га тенг. Кузатилган қаршилик

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

бўлганлигидан кузатилган электр ўтказувчанлик қуйидагига тенг:

$$\lambda_k = \frac{1}{R} \text{ ва } \lambda_c = \frac{1}{\rho}. \quad (6.16)$$

Бундан,

$$\lambda_k = \lambda_c \cdot \frac{S}{l}. \quad (6.17)$$

Бу тенгламаларда: l — ўтказгич узунлиги;
 S — сатҳи (кўндаланг кесим юзаси);
 ρ — солиштирма қаршилиқ;
 λ_c — солиштирма электр ўтказувчанлик.

Солиштирма электр ўтказувчанлик (λ_c) — юзаси 1 м² (1 см²), ораларидаги масофа 1 м (ёки 1 см) бўлган иккита текис электродлар орлигига жойлаштирилган эритмадан оқиб ўтган электр миқдоридир. Унинг ўлчов бирлиги Ом⁻¹ · см⁻¹. Кузатилган солиштирма электр ўтказувчанлик (λ_c) эквивалент электр ўтказувчанлик (λ_s) билан ифодаланади. λ_s — ораларидаги масофа 1 м (1 см) бўлган икки электрод орлигига таркибида 1 кг-экв (1 г-экв) эриган модда тутган эритмадан оқиб ўтган электр миқдоридир. Улар қуйидагича боғланган:

$$\lambda_s = \lambda_c \cdot V \text{ ва } \lambda_s = \frac{\lambda_c}{C} \text{ [Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2/\text{кг} - \text{экв}], \quad (6.18)$$

бунда, V — суюлтириш бўлиб, 1 г-экв (ёки кг-экв) эриган модда тутган эритма ҳажми.

Эски ўлчов бўйича: $\lambda_s = (\lambda_c \cdot 1000/c)$ [Ом⁻¹ · см²/г — экв].

Баъзан, электролит эритмаларнинг *моляр* электр ўтказувчанлиги (λ_m) ҳам аниқланади. Кучсиз электролитларда эритма суюлтирилган сари λ_s ошиб боради ва чексиз суюлтирилганда ўзининг энг юқори (максимал) қийматига етади. Бундай шароитдаги электр ўтказувчанлик λ_∞ қилиб белгиланади ва Кольрауш қонунига мувофиқ:

$$\lambda_\infty = \lambda_+ + \lambda_-, \quad (6.19)$$

бунда, λ_+ , λ_- — катион ва анион ҳаракатчанлиги.

λ_+ , λ_- — 1 кг-экв (г-экв) ионнинг вақт бирлиги 1 м (1 см) масофага олиб ўтган электр миқдори, яъни кулонлар сони.

Диссоциланиш даражаси маълум концентрациядаги эквивалент электр ўтказувчанлик ва λ_∞ билан қуйидагича боғланган:

$$\alpha = \frac{\lambda_s}{\lambda_\infty}. \quad (6.20)$$

Шунга кўра

$$K_n = \frac{\alpha^2 \cdot C_0}{1 - \alpha} = \frac{\lambda_+^2 \cdot C_0}{\lambda_+ (\lambda_+ - \lambda_-)} \quad (6.21.)$$

Катион ва анионларнинг ҳаракат тезлиги ҳар хил бўлганлигидан, уларни ташиб ўтган электр миқдори ҳам турлича бўлади. Электролит эритмалардан электр оқими ўтганида ҳар бир ион маълум миқдордаги электр зарядини ташиб ўтади. Ҳар қайси ионнинг ташиб ўтган электр миқдорини умумий оқиб ўтган электр миқдoriga нисбати *ионнинг ташиш сони* (n_+ , n_-) дейилади. Ионларнинг ташиш сони қуйидагига тенг:

$$\left. \begin{aligned} n_+ &= \frac{\lambda_+}{\lambda_+ + \lambda_-} = \frac{\lambda_+}{\lambda_\infty} \\ n_- &= \frac{\lambda_-}{\lambda_+ + \lambda_-} = \frac{\lambda_-}{\lambda_\infty} \end{aligned} \right\} \quad (6.22.)$$

$$n_+ + n_- = 1. \quad (6.23.)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda_+ &= n_+ \cdot \lambda_\infty \\ \lambda_- &= n_- \cdot \lambda_\infty \end{aligned} \right\} \quad (6.24.)$$

Ташиш сони электролиз натижасида катод ва анод участкаларида эритма концентрациясининг ўзгаришини аниқлаш орқали қуйидагича топилади:

$$n_+ = \frac{P_a}{P_a + P_k}; \quad n_- = \frac{P_k}{P_a + P_k}, \quad (6.25.)$$

P_a , P_k — анод ва катод участкаларида эритма концентрациясининг ўзгариши.

Кучли электролитларда эритма ҳамма концентрацияда тўлиқ диссоциланган бўлиб, доимо $\alpha = 1$ бўлади. Бу хил электролитларнинг электр ўтказувчанлиги Кольрауш қонуни бўйича

$$\lambda_+ = \lambda_\infty - a\sqrt{c} \quad (6.26.)$$

ифода қилинади. Бунда, a — ҳар қайси электролит учун эритувчи ва температурага боғлиқ бўлган турфун катталиқ.

6.2. Масалалар ечиш намунаси

1. 143 г $MgCl_2$ нинг 2 л эритмаси $t_m = -3,7$ °С да музлайди. Сувнинг криоскопик константаси $E = 1,86$ га тенг. Диссоциланиш даражаси (α) ни аниқланг.

Ечиш. Эритма концентрацияси билан музлаш температураси берилган. Таркидан эритманинг моляль концентрациясини (m) аниқлаш мумкин.

Бу икки маълумотдан фойдаланиб бевосита α ни аниқлаш мумкин эмас. Чунки, $\alpha = \varphi(C, t_m)$ боғланган бевосита тенглама йўқ.

α қандай катталиқ билан бевосита боғланган ва бу катталиқни масала шартидан келтириб аниқлаш мумкинлигини топамиз. α тенглама (6.9.) га биноан i билан бевосита боғланган. Демак, i маълум бўлса, α ни аниқлаш мумкин.

i ни эса (6.6.) тенгламадан ҳисоблаб топиш мумкин. Бунинг учун назарий музлаш температурасини билиш керак.

Назарий музлаш температурасини (6.2) тенгламадан фойдаланиб аниқлаймиз. Бунинг учун моляль концентрацияни (m) билиш керак.

Шундай қилиб: таркиб $\rightarrow m \rightarrow t_{\text{муз.назарий}} \rightarrow i \rightarrow \alpha$.

Шу тартибда масала ечилади: $M_{\text{MgCl}_2} = 24,2 + 35,52 = 95,3$.

$$\left. \begin{array}{l} (143/95,3) \text{ — } 2000 \\ m \text{ — } 1000 \end{array} \right\} m = \frac{143 \cdot 1000}{95,3 \cdot 2000} = 0,75.$$

$$t_{\text{М.наз.}} = Em = \frac{1,86 \cdot 143 \cdot 1000}{95,3 \cdot 2000} = 1,39,$$

$$i = \frac{\Delta t_{\text{таж.}}}{\Delta t_{\text{наз.}}} = \frac{3,7}{1,39} = 2,65,$$

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1} = \frac{2,65-1}{3-1} = 0,825.$$

2. 293 °С да сувнинг буғ босими $p_{\text{H}_2\text{O}} = 17,54$ мм симоб устунига тенг. 2,21 г CaCl_2 нинг 100 г сувдаги эритмасини буғ босими 17,41 мм симоб устунига тенг. α ни аниқланг.

Ечиш. α нинг буғ босими билан бевосита боғланган тенглама йўқ. α фақат i билан боғланган, i эса p билан (6.4.) тенглама орқали боғланган. Демак, олдин i ни (6.6.) тенгламадан фойдаланиб топилганидан сўнг α аниқланади.

$$\frac{p^0 - p}{p^0} = \frac{in_2}{n_1 + n_2} \text{ ва бундан } i = \frac{(p^0 - p)(n_1 + n_2)}{p^0 \cdot n_2}.$$

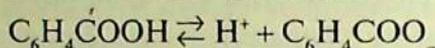
$$n_1, n_2 \text{ ни аниқланади: } i = M_{\text{CaCl}_2} = 111;$$

$$n_1 = \frac{2,21}{111} = 0,02; \quad n_2 = \frac{100}{18} = 5,55;$$

$$i = \frac{(p^0 - p)(n_1 + n_2)}{p^0 \cdot n_2} = \frac{(17,54 - 17,41)(5,55 + 0,02)}{17,54 \cdot 0,02} = 2;$$

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1} = \frac{2-1}{3-1} = 0,5 \text{ ёки (50\%).}$$

3. 293 К да *o*-бензой кислотанинг диссоциланиш



константаси $K_d = 1,4 \cdot 10^{-3}$ га тенг. *o*-бензой кислотанинг 0,5 моль/м³ концентрацияли эритмадаги диссоциланиш даражаси (α) қанчага тенг?

Ечиш. K_d билан α боғланган тенглама (6.10.):

$$K_d = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot C_0.$$

Бу тенглама α га нисбатан ечилса:

$$\alpha^2 C_0 + K_d \alpha - K_d = 0,$$

бундан:

$$\alpha = \frac{-K_d \pm \sqrt{K_d^2 + 4K_d C_0}}{2C_0} = \frac{-1,4 \cdot 10^{-3} + \sqrt{(1,4 \cdot 10^{-3})^2 + 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}}{2 \cdot 0,5} = 5,13 \cdot 10^{-3};$$

$(1,4 \cdot 10^{-3})^2 \ll 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5$ бўлганлигидан $(1,4 \cdot 10^{-3})^2$ ҳисобга олинмайди.

4. $\frac{1}{200}$ Н концентрацияли кислота эритмаси *pH* нимага тенг?

Ечиш. (6.13.) тенгламага мувофиқ:

$$pH = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(5 \cdot 10^{-3}) = -\lg(5 + 3) = 0,7 + 3 = 2,3.$$

5. Кислотанинг *pH* = 6,3 га тенг. Водород ионининг концентрацияси нимага тенг?

Ечиш. (6.13.) тенгламага мувофиқ:

$$[\text{H}^+] = 10^{-pH}; \lg[\text{H}^+] = -6,3 = 7,7 = -5 \cdot 10^{-7}.$$

6. 0,1 н NH_4OH эритмасининг *pH* = 11,27 га, сув ионларнинг кўпайтмаси $K_b = 0,71 \cdot 10^{-14}$ га тенг. NH_4OH нинг диссоциланиш константаси K_d ни аниқланг.

Ечиш. (6.10) тенгламага мувофиқ:

$$K_d = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot C_0.$$

Демак, K_d ни аниқлаш учун α ни pH ва K_b қийматларини боғлаган тенглама (6.7.) дан фойдаланилади:

$$\alpha = \frac{C}{C_0}; \quad \alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{C_0}.$$

Ўз навбатида (OH^-) қиймати pH ни, яъни (H^+) қийматидан фойдаланиб топилади:

$$pH = -\lg[\text{H}^+]; \quad [\text{H}^+] = 10^{-pH}; \quad \lg[\text{H}^+] = -11,27 \quad \text{ва} \quad [\text{H}^+] = 1,86 \cdot 10^{11}$$

ва

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_b}{[\text{H}^+]} = \frac{0,71 \cdot 10^{-14}}{1,86 \cdot 10^{11}} = 3,82 \cdot 10^{-5},$$

шунга кўра,

$$\alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{C_0} = \frac{3,82 \cdot 10^{-5}}{0,1} = 3,82 \cdot 10^{-4},$$

НИҲОЯТ:

$$K_d = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot C_0 = \frac{(3,82 \cdot 10^{-4})^2}{1-3,82 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,1 = 1,459 \cdot 10^{-8},$$

($1 - 3,82 \cdot 10^{-4} \cong 1$ қабул қилинди).

7. AgBO_3 нинг тўйинган эритмасида $m = 0,0081$ моль туз бор. Бу эритмага $0,0085$ моль AgNO_3 қўшилган. AgBO_3 нинг AgNO_3 қўшилгандаги сўнгги эрувчанлигини аниқланг. $\alpha_{\text{AgBO}_3} = 1$ ва $\alpha_{\text{AgNO}_3} = 1$ тенг.

Ечиш. (6.14.) тенгламага мувофиқ:

$$L_{\text{AgBO}_3} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{BO}_3^-] = n^2 = (0,0081)^2 = 6,55 \cdot 10^{-5}.$$

AgBO_3 нинг AgNO_3 га қўшилгандаги эрувчанлиги $C_1 = [\text{BO}_3^-]$; (Ag^+) концентрацияси:

$$\left. \begin{array}{l} \text{AgBO}_3 \text{ дан ҳосил бўлган} = C_1 \\ \text{AgNO}_3 \text{ дан ҳосил бўлган} = C_2 \end{array} \right\} [\text{Ag}^+] = C_1 = C_2.$$

Демак,

$$L_{\text{AgBO}_3} = (C_1 + C_2) \cdot C_1 = (0,0085 + C_1) \cdot C_1 = 6,55 \cdot 10^{-5},$$

бундан, $C_1 = 0,0049$ моль/л = $49 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

8. 25°C да AgCl нинг эрувчанлиги $C_1 = 1,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Шу температурада AgBr нинг эрувчанлиги $C_2 = 7 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Эритмадаги $[\text{Ag}^+]$, $[\text{Cl}^-]$, $[\text{Br}^-]$ ионларнинг концентрациясини аниқланг.

$$\text{Ечиш. } L_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = (1,5 \cdot 10^{-5})^2 = 2,25 \cdot 10^{-10}$$

$$L_{\text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Br}^-] = (7 \cdot 10^{-7})^2 = 4,9 \cdot 10^{-13}$$

Эритмада катионларнинг концентрацияси анионларнинг концентрациясига тенг бўлиши керак, яъни

$$[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{Br}^-] \text{ ёки } [\text{Br}^-] = [\text{Ag}^+] - [\text{Cl}^-],$$

Br нинг бу миқдорини AgBr га қўйилса,

$$L_{\text{AgBr}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Br}^-] = [\text{Ag}^+]_2 - [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-],$$

иккинчи томондан:

$$L_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = 2,25 \cdot 10^{-10} \text{ га тенг ва } [\text{Cl}^-] = \frac{2,25 \cdot 10^{-10}}{[\text{Ag}^+]}$$

Cl⁻ ионининг бу қиймати юқоридаги AgBr тенгламага қўйилса:

$$L_{\text{AgBr}} = [\text{Ag}^+][\text{Br}^-] = [\text{Ag}^+] - [\text{Cl}^-] = [\text{Ag}^+] - \frac{2,25 \cdot 10^{-10}}{[\text{Ag}^+]} = 4,9 \cdot 10^{-13}$$

$$\text{Бундан: } [\text{Ag}^+] = \sqrt{L_{\text{AgCl}} + L_{\text{AgBr}}} = \sqrt{2,25 \cdot 10^{-10} + 4,9 \cdot 10^{-13}} = 1,502 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{Cl}^-] = \frac{2,25 \cdot 10^{-10}}{1,502 \cdot 10^{-3}} = 1,498 \cdot 10^{-5}$$

ва [Br⁻]: $L_{\text{AgBr}} = 4,9 \cdot 10^{-13}$ бўлганлигидан:

$$[\text{Br}^-] = \frac{4,9 \cdot 10^{-13}}{1,502 \cdot 10^{-3}} = 3,21 \cdot 10^{-5}$$

9. 0,1 н KCl эритмасининг солиштирма қаршилиги $\rho = 709,22 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}$. Солиштирма λ_c ва эквивалент электр ўтказувчанлик (λ_s) ни аниқланг.

Ечиш. (6.16.) тенгламага мувофиқ:

$$\lambda_c = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{709,22} = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1} = 0,141 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$$

λ_s ни (6.18.) тенгламадан фойдаланиб топилади:

$$\lambda_s = \frac{\lambda_c}{C} = \frac{0,141}{0,1} = 0,141 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{кг} - \text{экв} \cdot \text{м}^2$$

10. 25 °C да чексиз суюлтирилган электр ўтказувчанлиги $\lambda_\infty = 42,8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{кг} - \text{экв} \cdot \text{м}^2$. Диссоциланиш константаси $K_d = 7,9 \cdot 10^{-10}$ тенг. 0,2 кг-экв/м³ концентрацияли HCN эритмасининг солиштирма ўтказувчанлиги қанчага тенг?

Ечиш. (6.18.) тенгламага мувофиқ $\lambda_c = C\lambda_+$. Демак, олдин λ_+ ни аниқлаш керак. Эритма концентрацияси ва диссоциланиш константаси билан боғланган тенглама Оствальднинг суялтириш қонунидир (6.20-тенглама). Берилган маълумотлардан фойдаланиб, тенглама орқали λ_+ ни ва сўнг λ_c ни аниқлаш керак.

$$K_d = \frac{\lambda_+^2 \cdot C_0}{\lambda_+ \cdot (\lambda_+ - \lambda_c)},$$

бу тенгламани λ_+ га нисбатан ечилса,

$$\lambda_+ = \frac{-\lambda_c \pm \sqrt{\lambda_c^2 - 4\lambda_c \cdot K_d \cdot C_0}}{2 \cdot C_0} \cong \frac{\lambda_c}{2 \cdot C_0} (-1 \pm \sqrt{1 + K_d \cdot C_0}).$$

λ_+ нолдан кичик бўлиши мумкин эмаслигидан:

$$\begin{aligned} \lambda_c &= \lambda_+ \cdot C_0 = \frac{\lambda_c}{2 \cdot C_0} (\sqrt{1 + 4 \cdot K_d \cdot C_0} - 1) = \\ &= \frac{42,8}{2} \sqrt{1 + 4 \cdot 7,9 \cdot 10^{-10} \cdot 0,2} - 1 = 6,8 \cdot 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}. \end{aligned}$$

11. 291 К да 0,1 Н сирка кислота CH_3COOH нинг солиштирма электр ўтказувчанлиги $\lambda_c = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$ га ва 0,001 н натрий ацетат CH_3COONa нинг $\lambda_c = 7,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1}$ га тенг. Водород ионининг ҳаракатчанлиги $\lambda_{\text{H}^+} = 348,82$ га, натрий ионнинг ҳаракатчанлиги $\lambda_{\text{Na}^+} = 50,11$ га тенг. 291 К да сирка кислотанинг диссоциланиш константиси қанчага тенг?

Ечиш. (6.10.) тенгламага мувофиқ:

$$K_d = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} \cdot C_0.$$

Демак, масалани ечиш учун α ни топиш керак. Ўз навбатида (6.20.) тенгламага кўра $\alpha = \lambda_+ / \lambda_c$ бўлганлигидан λ_+ ни λ_c дан, яъни $\lambda_+ = \lambda_c / C$ тенгламадан, λ_+ ни эса Кольрауш қонуни ($\lambda_c = \lambda_+ + \lambda_-$) дан фойдаланиб аниқлаш керак бўлади. Лекин, $\lambda_c = \lambda_{\text{H}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$ бўлганлиги сабабли олдин $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$ ни аниқлаб олиш керак. Шу амалларни охиридан бошлаб бажариш керак:

$$\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = \frac{\lambda_c \cdot 1000}{c} = \frac{4,7 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 4,71 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-2} = 4,71 \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

$\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}$ ни аниқлаймиз: CH_3COOH эритмаси жуда ҳам кучли суялтирилган ҳолатда амалда $\lambda_c = \lambda_+$ га тенг бўлади.

$$\lambda_{\text{CH}_3\text{COONa}} = \lambda_{\text{Na}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}, \text{ бундан, } \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = \lambda_{\text{CH}_3\text{COONa}} - \lambda_{\text{Na}^+}.$$

Демак, $\lambda_{\infty, \text{CH}_3\text{COONa}}$ ни топиш керак. У қуйидагига тенг:

$$\lambda_{\infty, \text{CH}_3\text{COONa}} = \frac{\lambda_c \cdot 1000}{C} = \frac{1,81 \cdot 10^{-5}}{0,001} = 78,1.$$

$$\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 78,1 - 50,11 = 27,99.$$

$$\lambda_{\infty, \text{CH}_3\text{COOH}} = \lambda_{\text{H}^+} + \lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 348,82 + 27,99 = 376,81.$$

Булар ёрдамида α топилади: $\alpha = \frac{4,71 \cdot 10^{-3}}{376,81} = 0,0125$ (ёки 1,25%).

12. Таркибида 0,178% хлор тутган NaCl эритмасидан электр оқими ўтказилганда анод участкасида 226,94 г эритмада 0,04679 г Cl_2 бор бўлган. Катод участкасида 331,44 г эритмада 0,05302 г Cl_2 бор бўлган. Cl^- ва Na^+ ионларининг ташиш сони — n_{Na^+} , n_{Cl^-} ларни аниқланг.

Ечиш. Аввало электролиздан олдин ва сўнг эритмада қанча Cl_2 борлиги топилади:

Анодда:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ г эритмада} \text{ — } 0,1784 \text{ г } \text{Cl}_2 \\ 226,99 \text{ — } x \end{array}$$

$$x = \frac{226,99 \cdot 0,1784}{100} = 0,405.$$

Катодда:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ г эритмада} \text{ — } 0,1784 \text{ г } \text{Cl}_2 \\ 331,49 \text{ — } x \end{array}$$

$$x = \frac{331,49 \cdot 0,1784}{100} = 0,591.$$

Демак, олдин анодда 0,405 г, катодда 0,591 г Cl_2 бор бўлган.

Концентрация ўзгариши эса қуйидагича:

$$\text{анодда: } 0,405 - 0,4679 = 0,358 = p_a;$$

$$\text{катодда: } 0,591 - 0,053 = 0,538 = p_k;$$

$$\text{ва } p_a + p_k = 0,809.$$

(6.23.) ва (6.25.) тенгламаларга мувофиқ:

$$n_{\text{Cl}^-} = \frac{p_k}{p_{\text{Cl}^-} + p_{\text{Na}^+}} = \frac{0,538}{0,896} = 0,6;$$

$$n_{\text{Na}^+} = 1 - n_{\text{Cl}^-} = 1 - 0,6 = 0,4.$$

13. Натрий ацетат CH_3COONa эритмасининг $\lambda_{\infty} = 82 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$. Калий ацетат CH_3COOK эритмасининг $\lambda_{\infty} = 140,8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$ га тенг.

$n_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 0,4$, $n_{\text{K}^+} = 0,5$ га тенг. Калий ацетат эритмасининг чексиз суюлтирилгандаги электр ўтказувчанлигини $\lambda_{\infty, \text{CH}_3\text{COOK}}$ аниқланг.

Ечиш. (6.19.) тенгламага (Кольрауш қонунига) мувофиқ:

$$\lambda_{\infty, \text{CH}_3\text{COOK}} = \lambda_{+, \text{K}} + \lambda_{-, \text{CH}_3\text{COO}^-}.$$

Харакатчанликни (λ_+ , λ_-) ташиш сонлари (n_+ , n_-) билан ўзаро боғлаган (6.24.) тенгламадан фойдаланиб, уларни ҳисоблаймиз:

$$\lambda_+ = n_+ \cdot \lambda_{\infty}; \quad \lambda_- = n_- \cdot \lambda_{\infty};$$

$$\lambda_{+, \text{K}^+} = 0,50 \cdot 140,8 = 70,4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2;$$

$$\lambda_{-, \text{CH}_3\text{COO}^-} = 0,4 \cdot 82 = 32,8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2;$$

$$\lambda_{\infty, \text{CH}_3\text{COOK}} = 32,8 + 70,4 = 103,2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2.$$

Масалалар

1. 291 К да $C_1 = 0,8718$ кмоль/м³ концентрациядаги қанднинг сувдаги эритмасининг осмотик босими p_k , $C_2 = 0,5$ кмоль/м³ концентрациядаги NaCl нинг сувдаги эритмасини осмотик босимига p_{NaCl} га тенг. NaCl нинг диссоциланиш даражаси α ни аниқланг.

2. CaCl₂ нинг сувдаги 7,5% эритмаси бир атмосферада $T_k = 347$ К да қайнайди. Сувнинг буг босими 347 К да 787 мм. симоб устунига тенг. Изотоник коэффицент i ни аниқланг.

3. С моляр концентрацияли глицериннинг осмотик босими p_r ва NaNO₃ нинг $C_2 = 8,49$ г/100 г сувли эритмасининг осмотик босими p_1 тенг. NaNO₃ нинг эритмасида $\alpha = 0,640$ га тенг. Глицериннинг концентрациясини аниқланг.

4. 11,74 г NaCl нинг 200 г сувдаги эритмасида $\alpha = 0,70$ га тенг. Эритманинг музлаш температурасини ва музлаш температурасининг пасайиши ΔT_m ни аниқланг.

5. 0,1 моль тузнинг 100 г сувдаги эритмаси $t_m = -0,054$ °С да музлайди ва $\alpha = 0,72$ га тенг. Бу туз диссоциланганда қанча ион (n) ҳосил бўлади?

6. MgCl₂ тузи эритмасининг тажрибада топилган музлаш температураси $t_m = -3,7$ °С бўлган. Диссоциланиш даражаси $\alpha = 0,825$. Сувнинг криоскопик доимийлиги 1,86. 300 г сувда неча грамм MgCl₂ тузи эриган? Эритмалар таркибини аниқланг.

7. 298 К да *o*-йодбензой кислотанинг диссоциланиш константаси $K_d = 1,4 \cdot 10^{-3}$ га тенг. 0,5 кг·ион/м³ эритмада диссоциланиш даражаси α нимага тенг?

8. Этиламин бромидни C₂H₅NH₃Br 0,05 кмоль/м³ эритмасида pK_d (яъни $\lg K_d$) = 3,662 га тенг. Изотоник коэффицент i ни аниқланг.

9. Алюминий хлориднинг сувдаги 0,05% эритмасида $\alpha = 1$ га тенг ва уни идеал эритма деб қабул қилиб, эритма устидаги сув буғининг нисбий камайиши $(p_0 - p)/p_0$ ни аниқланг.

10. 298 К да аммоний гидроксид NH_4OH нинг 0,1 м эритмасида $K_a = 1,77 \cdot 10^{-5}$ га тенг. H^+ , OH^- ионларининг концентрациясини аниқланг.

11. Эритманинг $pH = 4,70$ ва $pH = 12,5$ га тенг. Эритмалардаги (H^+) ва (OH^-) миқдори қанчага тенг? $K_b = 1,2 \cdot 10^{-14}$ га тенг.

12. 0,1 н NH_4OH эритмасининг $pH = 11,27$ га тенг. Сув ионларининг кўпайтмаси $K_b = 0,71 \cdot 10^{-14}$ га тенг. NH_4OH нинг диссоцияланиш константасини аниқланг.

13. $\frac{1}{400}$ н HCl кислотанинг, $\frac{1}{500}$ н HCl кислотанинг pH ни аниқланг.

14. $\frac{1}{200}$ н NaOH эритмасининг pH ни аниқланг. Сув ионларининг кўпайтмаси $K_b = 1,2 \cdot 10^{-14}$ га тенг.

15. 298 К да аммоний гидроксид NH_4OH нинг диссоциланиш константаси $K_a = 1,77 \cdot 10^{-5}$ га тенг. 0,1 моль эритмасининг (H^+), (OH^-), pH ни аниқланг. Сув ионлари кўпайтмаси $K_b = 1,008 \cdot 10^{-14}$ га тенг.

16. AgVO_3 нинг тўйинган эритмасида $m = 0,0081$ моль туз бор. Бу эритмага $m = 0,0085$ моль AgNO_3 қўшилган. $\alpha_{\text{AgNO}_3} = \alpha_{\text{AgVO}_3} = 1$ тенг. AgVO_3 нинг бу эритмада эрувчанлигини аниқланг.

17. 298 К да CuCl_2 нинг сувда ва 0,025 М MgSO_4 эритмасида эрувчанлигини аниқланг. CuCl_2 нинг эрувчанлик кўпайтмаси $L = 3,2 \cdot 10^{-7}$ га тенг.

18. 25 °С да AgBr нинг 0,001 моляль KBr эритмасидаги эрувчанлик кўпайтмасини аниқланг.

19. Юзаси 5 см² бўлган ва бир-биридан 2 см масофада жойлашган икки электрод ўртасида 0,05 н KNO_3 эритмаси билан тўлдирилган. 0,05 н KNO_3 нинг эквивалент электр ўтказувчанлиги $\lambda_{\pm} = 109$ см³·Ом⁻¹·г-эқв⁻¹ га тенг. Солиштирма электр ўтказувчанликни аниқланг.

20. Юзаси 4 см² бўлган ва ораларидаги масофа 0,7 см бўлган икки электрод пластинкаси оралига жойлашган, ҳажми 0,1 молга тенг идиш CuSO_4 га тўлдирилган. Эритма қаватининг қаршилиги 23 Ом. Солиштирма ва эквивалент электр ўтказувчанликни аниқланг.

21. Юзаси 2 см² ва 5 см оралиқда жойлашган ҳажмга 1 моль бўлган AgNO₃ эритмаси тўлдирилган. $\lambda_{\infty} = 94,3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2/\text{г-экв}^{-1}$. Солиштирма электр ўтказувчанлигини аниқланг.

22. Хлор сирка кислота CH₂ClCOOH нинг диссоциланиш константаси $K_d = 1,4 \cdot 10^{-3}$, $V = 260 \text{ л/моль}$ суюлтирилган эритманинг эквивалент электр ўтказувчанлиги 174,8 Ом⁻¹·см²·г-экв⁻¹. Эритмани чексиз суюлтирилгандаги эквивалент электр ўтказувчанлиги (λ_{∞}) ни аниқланг.

23. 25 °С да калий нитрат эритмасини чексиз суюлтирилгандаги электр ўтказувчанлиги 103,97 Ом⁻¹·см²·г-экв га тенг. Нитрат ионнинг ҳаракатчанлигини ва чексиз суюлтирилган эритмада ташиш сонини аниқланг.

24. KCl эритмасининг $\lambda_{\infty} = 130,1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$ га тенг. Cl⁻ ионнинг ташиш сони 0,5 га тенг. K⁺ ва Cl⁻ ионларининг ҳаракатчанлигини аниқланг.

25. Ёғ кислота C₃H₇COOH нинг диссоциланиш константаси $K_d = 1,54 \cdot 10^{-5}$. Кислота 208 л/г-экв суюлтирилганда водород ионининг концентрациясини, эквивалент электр ўтказувчанликни аниқланг.

26. Ячейка ҳажми, солиштирма электр ўтказувчанлиги $5,8 \cdot 10^{-3}$ бўлган KCl эритмаси билан тўлдирилганда электр қаршилиқ 103,0 Ом бўлган. Шу ячейкани 0,01 н сирка кислота билан тўлдирилганда қаршилиги 5770 Ом бўлган. 0,01 н сирка кислотанинг эквивалент электр ўтказувчанлигини аниқланг.

27. Суюлтирилган SrCl₂ эритмасида Sr²⁺ ва Cl⁻ ионларнинг абсолют тезликлари $5,2 \cdot 10^{-3}$ ва $6,8 \cdot 10^{-3}$ м/с бўлган. Эритманинг эквивалент электр ўтказувчанлиги ва ионларнинг ҳаракатчанлигини ҳамда ионларнинг ташиш сонларини аниқланг.

28. KClO₄ нинг чексиз суюлтирилган эритмасида $\lambda_{\infty} = 122,8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$ ClO₄ нинг ташиш сони 0,481. K⁺ ва ClO₄ ионларнинг ҳаракатчанлигини аниқланг.

29. Cu ва Pt электродли идишда, 41,59 г эритмада 1 г CuSO₄ бўлган эритма электролиз қилинган. Электролиздан сўнг катод участкада 54,706 г эритмада 0,5118 г CuO бўлган. Ташиш сонлари n^+ , n^- ни аниқланг.

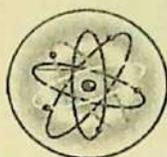
30. Cd ва Pt электродли идишда 0,201% CdCl₂ эритмаси электролиз қилинган. Электролиздан сўнг анод участкада 53,59 г эритмада 0,0802 г Cl₂, катод участкада 54,12 г эритмада 0,0966 г Cl₂ бўлган. Ионларнинг ташиш сонини аниқланг.

31. Монохлор сирка кислотанинг CH_3COOH диссоциланиш константаси 298 К да $1,55 \cdot 10^{-3}$ моль/л. $V = 32$ л/моль суюлтиришда эквивалент электр ўтказувчанлиги $77,2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$ га тенг. Монохлорсирка кислотанинг чексиз суюлтирилгандаги электр ўтказувчанлиги λ_∞ ни аниқланг.

32. 298 К да $1,59 \cdot 10^{-4}$ м сирка кислотанинг $\lambda_\infty = 109,78 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$ га тенг. Ионларнинг ҳаракатчанлиги $\lambda_{\text{H}^+} = 349,8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$ ва $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 40,9 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$ га тенг. Эритманинг pH ни ва диссоциланиш константасини аниқланг.

Масалаларнинг жавоблари

1. 0,7436. 2. 2,70. 3. 0,140 моль/л. 4. 3,14. 5. 3. 6. 21,4 г. 7. $5,15 \cdot 10^{-3}$.
 8. 1,067. 9. 2,77%. 10. $C_{\text{H}^+} = C_{\text{OH}^-} = 0,76 \cdot 10^{-11}$ моль/л. 11. $2 \cdot 10^{-5}$.
 12. $1,75 \cdot 10^{-5}$. 13. 2,46; 2,70. 14. 10,62. 15. $[\text{H}^+] = 0,76 \cdot 10^{-11}$. 16. 0,0049 моль/л.
 17. $5,65 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $1,88 \cdot 10^{-4}$ моль/л. 18. $5 \cdot 10^{-13}$. 19. 1,374 $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.
 20. $\lambda_\infty = 7,61 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; $\lambda_\infty = 38 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$. 21. $3,727 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.
 22. 392,2 $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$. 23. 30,39 $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{г-экв}^{-1}$; $n_\pm = 0,292$.
 24. 65,57; 64,53. 25. $\lambda_\infty = 0,55 \cdot 10^{-4}$; $[\text{H}^+] = 6,5 \cdot 10^{-9}$. 26. 10,4 $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$.
 27. $\lambda_\infty = 5,018$; $\lambda = 6,562 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$; $\lambda_\infty = 11,58$; $n_{\text{Sr}^{2+}} = 0,428$; $n_{\text{Cl}^-} = 0,572$.
 28. $\lambda_{\text{K}^+} = 6,06 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$; $\lambda_{\text{ClO}_4^-} = 5,907 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$. 29. $n_\pm = 0,4854$; $n_\pm = 0,5146$.
 30. $n_{\text{Cd}^{2+}} = 0,430$; $n_{\text{Cl}^-} = 0,570$. 31. 38,8 $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$. 32. $K_a = 175 \cdot 10^{-5}$; $pH = 4,312$.



VII B O B

ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧ (ЭЮК) ВА ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЛАРИ

Электр юритувчи куч (ЭЮК) — электр оқимини юзага келтирувчи ва электр оқимининг узлуксизлигини таъминловчи қудратли омил — куч (энергия)дир. Кўпинча у кимёвий реакция энергияси ҳисобига юз беради. Кимёвий реакция энергиясини электр энергиясига айлантириб берувчи қурилма *гальваник элемент* деб аталади. Одатда, бу қурилма электролит эритмаларига туширилган икки электроддан иборат бўлади. «*Электрод-эритма*» чегарасида потенциал (электр потенциал) вужудга келади.

Электролит эритмага туширилган металл (ёки металлмас) системасига *электрод* дейилади. Электродлар биринчи ва иккинчи тур хил бўлади ва электрод билан умуман олганда эритма ўртасида борадиган ионлар алмашинуви натижасида электрод ва эритма чегарасида электр потенциаллари (Π) вужудга келади. Биринчи хил электродда электрод билан эритма ўртасида катион алмашилиши, иккинчи хил электродларда эса анион алмашилиши содир бўлади. Вужудга келган потенциал электрод табиатидан ташқари эритма (ион) концентрацияга (C) боғлиқ бўлиб, бу боғланишни Нернст тенгламаси ифода қилади:

$$\Pi = \Pi_0 \pm \frac{RT}{zF} \ln C_{M^{\pm}}. \quad (7.1.)$$

298 К да $2,3 \lg \frac{nT}{F} = 0,059$ га тенг. Шу сабабли

$$\Pi = \Pi_0 \pm \frac{0,059}{z} \ln C_{M^{\pm}}.$$

Бунда «+» (плюс) аломати биринчи хил ва «-» (минус) аломати иккинчи хил электродга мансуб, F — Фарадей сони, Z — реакцияда иштирок қилган электронлар сони — валентликнинг ўзгариши, M^+ — металл ва Me^- — нометалл ион.

Агар $C = 1$ тенг бўлса, $\lg C = 0$ ва (7.1.) тенглама қуйидагига тенг бўлади:

$$\Pi = \Pi_0, \quad (7.2.)$$

бунда, Π_0 — эритмада ион концентрацияси бирга тенг бўлганда вужудга келган потенциал бўлиб, *нормал* (ёки *стандарт*) потенциал деб аталади. Турли электродларнинг стандарт потенциаллари маълумотномаларда берилган.

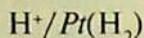
Биринчи хил электродга қуйидаги электродлар киради:

а) ўз ионини тутган эритмага туширилган металл электрод қуйидаги схема кўринишда ифодаланadi:

таркибида Cu^{2+}/Cu , Zn^{2+}/Zn , Cu^{2+} , Zn^{2+} иони бўлган эритма CuSO_4 , ZnSO_4 эритмасидан ташкил топган бўлиши мумкин.

«/» – чизиги эритмасига туширилган маънони билдиради:

б) газ электрод, масалан, водород электрод. Бунда газ платина (Pt) га адсорбланган водород H^+ иони бўлган эритмага туширилган, яъни



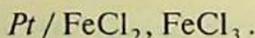
ва қуйидаги реакция боради: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\bar{e}$.

Демак, потенциал:

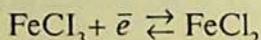
$$P = P_0 + \frac{0,059}{1} \ln C_{\text{H}^+}; \quad P = P_0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{C_2}{P_{\text{H}_2}}. \quad (7.3.)$$

P_0 – потенциал C_{H^+} эритмада водород ионининг концентрацияси бирга тенг бўлиб, эритмага бир атмосфера билан водород юборилганда ҳосил бўладиган потенциал. Бу *нормал водород* потенциал эталон сифатида қабул қилиниб ва қиймати шартли равишда нолга тенг ($P_0 = 0$) деб қабул қилинган. Бошқа ҳамма электрод потенциаллари қиймати шу нормал водород потенциалига нисбатан ўлчанилади;

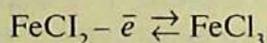
в) *оксидланишни қайтариш потенциали (электрод)*. Бир вақтда оксидловчи ва қайтарувчи бўлган бирикмага (FeCl_2 , FeCl_3) бетакрор металл (Pt) туширилган бўлади:



Бу электродда қуйидаги реакция боради:



ёки



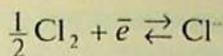
ва

$$P_0 = P_{0,\text{ок}} + \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{\text{ок}}}{C_{\text{қай}}}, \quad (7.4.)$$

$C_{\text{ок}}$, $C_{\text{қай}}$ – оксидловчи ва қайтарувчи эритма концентрациялари.

Иккинчи хил электродга қуйидаги электродлар киради:

а) электрод нометалл бўлади, газ электрод: Cl^-/Cl_2 , қуйидаги реакция боради:



ва

$$P = P_0 - \frac{0,059}{2} \ln C_{\text{Cl}^-} / P_{\text{Cl}_2}^{0,5}. \quad (7.5.)$$

б) Каломель электрод: $\text{Cl}^-/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$, Hg ёки KCl Hg₂Cl₂, Hg(Pt)/Hg₂Cl₂, KCl

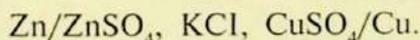
$$P = P_0 - \frac{0,059}{1} \lg C_{\text{Cl}^-}. \quad (7.6.)$$

Турли электрод потенциалларни ўлчашда ишлатиладиган водород электрод қўлланишга ноқулай бўлганлигидан, унинг ўрнига эталон электрод сифатида каломель электроди қўлланади. Каломель электродининг водород электродга нисбатан потенциали аниқ ўрғанилган ва бу KCl эритмасининг концентрациясига боғлиқ бўлиб, 298 К да 0,1 н KCl да +0,3365 В, 1,0 н тўйинган эритмада +0,2432 В га тенг.

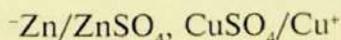
Диффузион потенциал. Катион ва анионларнинг ҳаракатчанлиги (электр ташиши) турлича бўлиши сабабли икки хил эритма ёки турли концентрацияли бир хил эритмалар чегарасида диффузион потенциал ҳосил бўлади. Масалан, (ZnSO₄, CuSO₄), (AgNO₃, AgNO₃). Одатда, бу потенциал йўқотилади. Бунинг учун икки эритма бири-бири билан *туз кўприги* деб аталган туз тўлдирилган найча орқали бирлаштирилади. Туз кўприги сифатида катион ва анион ионлари ҳаракатчанлиги бир хил (яқин) бўлган тузлар олинади (KCl, NH₄NO₃ ва ҳоказо). Туз кўприги ёрдамида диффузион потенциални амалий йўқотиш мумкин.

7.1. Гальваник элементлар

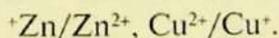
Икки электрод бирлаштирилганда гальваник элементи олинади ва электр юритувчи куч (ЭЮК) вужудга келади. Масалан, мис-рух электроддан иборат гальваник элементи қуйидагича тузилган бўлсин:



KCl – туз кўприги. Баъзан туз кўприк ёзилмайди, лекин у бор деб фараз қилинади, яъни



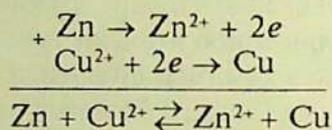
ёки



Эритма олдиға ёки тағига ёки кетига унинг концентрацияси кўрса-тилади. P – шу электрод ва эритма чегарасида ҳосил бўлган потенциал.

Рух электроднинг нормал потенциал $P_{0,Zn} = -0,763$ В ва мис электроднинг потенциал $P_{0,Cu} = +0,337$ В га тенг. Элемент схематик ёзилганда, чап томонда электроманфий ва ўнг томонда электромусбат электрод ёзилади.

Агар бу электродлар электр ўтказувчи сим (масалан, мис сим) бирлаштирилса, потенциаллар бараварлашишга интилади ва электронлар манфий электроддан мусбат электродга томон ўта бошлайди (юқоридаги мисолда $Zn \rightarrow Cu$). Натижада электродда қўшқаватли мувозанат бузилади, натижада электроманфий электрод мусбатлашади, электромусбат электрод манфийлашади. Мувозанат тикланиши учун манфий электродда кетаётган электронлар ўрнини босадиган янги электрод қуйидаги реакция бўйича $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ ҳосил бўлади. Электромусбат электродда қуйидаги реакция $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$ боради. Гальваник элемент ишлаганда бир томонда оксидланиш ва иккинчи томонда қайтарилиш реакцияси боради. Шартли равишда оксидланиш реакцияси бораётган электрод манфий қутб «-» ва қайтарилиш реакцияси бораётган электрод мусбат қутб «+» дейилади. Яъни, манфий қутбда оксидланиш, мусбат қутбда қайтарилиш реакцияси боради. Гальваник элементда бораётган умумий реакция:



оксидланиш-қайтарилиш реакциясидир. Шу реакция натижасида ажралган кимёвий энергия хисобига электр энергия – электр юритувчи куч (E) пайдо бўлади. Электр юритувчи куч (E) электр оқими-ни вужудга келтирувчи куч ва бу оқимнинг давом этишини таъминловчи куч (энергия)га айтилади. Агар диффузион потенциал йўқотилган бўлса,

$$E = P_2 - P_1 \quad (7.7)$$

P_2 – электромусбат электродга, P_1 – электроманфий электродга мансуб.

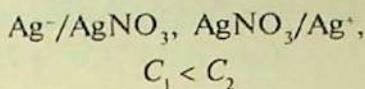
Электр юритувчи куч қийматини электролитлар (ионлар) концентрациясига боғланиши (ўзгариши)ни Нернст қонуни ифода қилади, яъни

$$E = E_0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_2}{C_1} \quad (7.8)$$

Бу ерда, $E_0 = P_{0,2} - P_{0,1}$.

$P_{0,2}$, $P_{0,1}$ – нормал потенциаллар.

Концентрацион гальваник элементлар. Бу хил гальваник элементлар бир хил модданинг турли концентрациядаги эритмасига туширилган бир хил металл (молда) электролитлардан иборат бўлади. Масалан,



C_1, C_2 — концентрациялар.

ЭЮК диффузияланиш ҳисобига ҳосил бўлади. Унда

$$E = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_2}{C_1}. \quad (7.9)$$

$C_1 = C_2 = 1$ бўлганда $E_0 = 0$ бўлади.

Гальваник элементни ЭЮК ини ўлчаш орқали водород ион концентрацияси (pH), эрувчанлик кўпайтмаси, эритма концентрацияси каби катталикларни аниқлаш мумкин. Бу усулга потенциометрик усул дейилади.

7.2. Масалалар ечиш намунаси

1. 298 К температурада Cu^{2+} ($C = 0,005$)/Cu электроднинг потенциали 0,2712 В га тенг. Мис электроднинг стандарт потенциали Π_0 ни аниқланг.

Ечиш. (7.1.) тенгламага мувофиқ:

$$\Pi = \Pi_0 + \frac{2,3RT}{zF} \ln C,$$

$$\Pi_0 = \Pi - \frac{2,3RT}{zF} \ln C = 0,2712 - \frac{8,314 \cdot 298}{2 \cdot 96500} \lg 0,005 = 0,30958 \text{ В.}$$

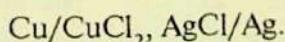
2. 298 К температурада хлор электроднинг $\text{HCl}/\text{Pt}(\text{Cl}_2)$ $C = 0,796$, $p = 2$ атм. Π_{Cl} потенциални аниқланг.

$\Pi_{0,\text{Cl}} = 1,3586$ В га тенг.

Ечиш. (7.5.) тенгламага мувофиқ газ электроднинг потенциали:

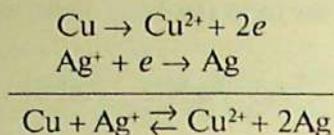
$$\Pi = \Pi_0 - \frac{0,059}{z} \lg [C_{\text{Cl}_2} / p^{0,5}] = 1,358 - \frac{0,059}{1} \lg [0,079 - \frac{1}{2} \lg 2] = 1,44 \text{ В.}$$

3. Куйидаги гальваник элементнинг электродларида борадиган реакция тенгламаларини ёзинг.

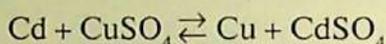


Ечиш. Мис электрод манфий кутб бўлганидан уни оксидланиш реакцияси $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e$, кумуш электрод мусбат кутб бўлганлигидан,

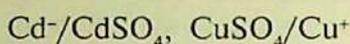
унда қайтарилиш реакцияси $\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$ боради. Гальваник элементда қуйидаги оксидланиш-қайтарилиш реакцияси боради:



4. Қуйидаги реакция борадиган гальваник элемент схемасини тузинг.



Ечиш. Бу реакцияда Cd оксидланаяпти: $\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e$. Мис эса қайтариляпти $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$. Демак, кадмий электр манфий ва мис электромусбат бўлади. Унда гальваник элемент схемаси



бўлади.

5. $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCl}$ реакция бораётган гальваник элемент схемасини тузинг.

Ечиш. Реакцияда водород оксидляяпти $\frac{1}{2} \text{H}_2 \rightarrow \text{H}^+$ ва хлор қайтариляпти $\frac{1}{2} \text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Cl}^-$. Демак, H_2/HCl , HCl/Cl_2 .

6. 298 К да қуйидаги гальваник элементнинг ЭЮКни аниқланг.
Cd/(Cd(NO₃)₂), AgNO₃/Ag

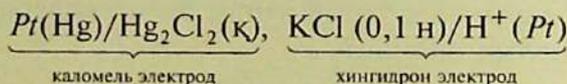
$$c = 0,00053, 0,078 \text{ мол/л.}$$

Кумуш ва кадмийларнинг стандарт электрод потенциали мос равишда $\Pi_{0,\text{Ag}} = 0,797 \text{ В}$, $\Pi_{0,\text{Cd}} = -0,402 \text{ В}$ га тенг.

Ечиш.

$$\begin{aligned} E &= \Pi_{\text{Ag}} - \Pi_{\text{Cd}} = \left(\Pi_{0,\text{Ag}} + \frac{2,3RT}{zF} \lg C_{\text{Ag}^+} \right) - \left(\Pi_{0,\text{Cd}} + \frac{2,3RT}{zF} \lg C_{\text{Cd}^{2+}} \right) = \\ &= (0,799 + 0,0592 \lg 0,078) - (-0,409 + \frac{0,059}{2} \lg 0,00053) = 1,192 \text{ В.} \end{aligned}$$

7. Эритманинг pH ни аниқланг.

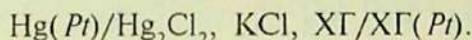


Бу элементнинг 298 К да ЭЮК $E = 0,15 \text{ В}$ га тенг. Каломель электроднинг потенциали $\Pi_{\text{к}} = -0,3369 \text{ В}$, хингидрон электроднинг стандарт потенциали $\Pi_{\text{хг}} = 0,6994 \text{ В}$ га тенг.

Ечиш. Хинон ($C_6H_4O_2$) ва гидрохинон $C_6H_4(OH)_2$ ларнинг эквимолекуляр бирикмаси $[C_6H_4O_2 \cdot C_6H_4(OH)_2]$ хингидрон (ХГ) дейилади. ХГ нинг тўйинган эритмасига (сувда жуда кам миқдорда эрийди) бетараф металл (*Pt*) туширилган *ХГ-электрод* дейилади. ХГ-электроднинг потенциали фақат биргина водород ион концентрациясига боғлиқ, яъни

$$P = P_{0,ХГ} + 0,059 \cdot \lg C_{H^+}. \quad (7.10.)$$

Бундай боғланиш эритмаларни водород ион концентрациясини ХГ-электрод потенциали орқали аниқлашга имкон беради. Бунинг учун каломель электрод ва ХГ-электрод (эритма ХГ-эритмасида) лардан иборат гальваник элементи тузилган:



Бундай гальваник элементи ЭЮК қуйидагига тенг:

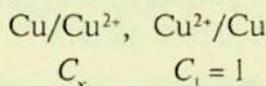
$$P = P_{ХГ} - P_K = P_{0,ХГ} + 0,059 \cdot \lg C_{H^+} - P_K,$$

$P_{ХГ}$, P_K — хингидрон ва каломель электродлар потенциали.

Бундан

$$pH = -\lg C_{H^+} = \frac{P_{ХГ} - P_K - E}{0,059} = \frac{0,699 - 0,3369 - 0,15}{0,059} = 3,602.$$

8. Эритмада мис ионининг концентрацияси (Cu^{2+}) ни аниқланг. Бунинг учун тузилган гальваник элементни



298 К да ЭЮК си $E = 0,8885$ В га тенг.

Ечиш. Қандай бўлсин бир эритмада ионнинг концентрациясини аниқлаш учун шу эритма потенциали маълум бўлган бошқа бир электроддан иборат гальваник элемент тузилади ва элементни ЭЮК сини ўлчаш орқали концентрация аниқланади. Бунда,

$$E = P_2 - P_1 = E_0 + \frac{0,059}{z} \lg \frac{C_2}{C_1} = E_0 + \frac{0,059}{Z} \lg \frac{1}{C_x} = -0,0591 \cdot \lg C_x.$$

$E_0 = 0$ га тенг.

Шунга кўра,

$$\lg C_x = -\frac{E}{2 \cdot 0,0591} = -\frac{0,8885}{2 \cdot 0,0591} = -0,03885$$

ёки $C_x = 0,0013$.

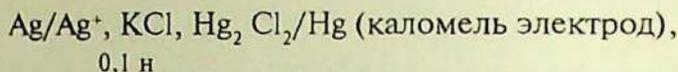
9. Кумуш хлорид AgCl нинг эрувчанлик кўпайтмасини (L) аниқланг. Cl^- ионининг $0,1$ н KCl эритмасидаги концентрациясида:

$$P_{0,\text{Ag}} = 0,7990 \text{ В га тенг.}$$

Ечиш. AgCl нинг эрувчанлик кўпайтмаси

$$L = C_{\text{Ag}^+} \cdot C_{\text{Cl}^-}.$$

C_{Cl^-} маълум бўлганлигидан, фақат C_{Ag^+} ни аниқлаш керак. Бунинг учун кумуш электродни потенциали маълум бўлган электрод (одатда бу хил электрод сифатида каломель электрод олинади) билан бирлаштириб, гальваник элемент тузиб, бу элементни E билан ўлчаш керак.



KCl – туз кўприги.

Бу элементнинг $E = -0,052$ в га, $P_k = 0,3369$ В га тенг.

$E = P_k - P_{\text{Ag}}$ ва Ag электроднинг потенциали

$$P_{\text{Ag}} = P_k - E = 0,3369 - 0,0525 = 0,2844.$$

(7.1.) тенгламага мувофиқ ($z = 1$ тенг):

$$P_{\text{Ag}} = P_{0,\text{Ag}} + \frac{0,059}{z} \lg C_{\text{Ag}^+} = 0,799 + 0,0591 \cdot \lg C_{\text{Ag}^+},$$

бундан

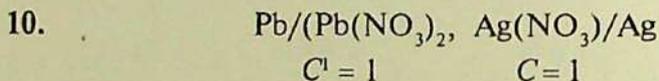
$$\lg C_{\text{Ag}^+} = \frac{0,2844 - 0,7990}{0,0591} = -8,708,$$

унда

$$C_{\text{Ag}^+} = 1,96 \cdot 10^{-9}$$

ва

$$L_{\text{AgCl}} = 1,96 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1 = 1,96 \cdot 10^{-10}.$$



гальваник элементининг ЭЮК ни аниқланг. Керакли ўзгармас катталикларни маълумотномадан олинг.

Ечиш. (7.7.) тенглама билан E_0 ни ва E ни аниқлаш қуйидагича: $E_0 = P_{0,\text{Ag}} - P_{0,\text{Pb}}$.

Электродларнинг стандарт потенциали маълумотномалардан олинади: $P_{0,\text{Ag}} = 0,799$ В; $P_{0,\text{Pb}} = -0,126$ В.

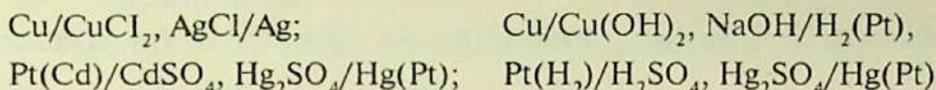
$$\text{Демак, } E_0 = 0,799 + 0,126 = 0,925 \text{ В.}$$

Шунга мувофиқ,

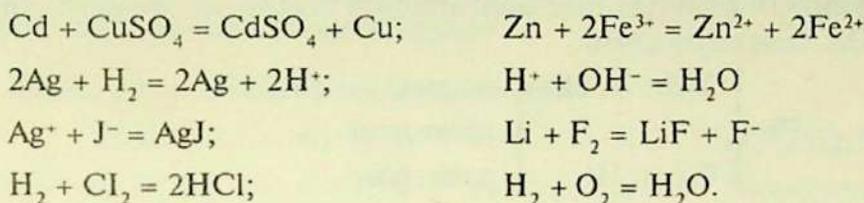
$$E = E_0 + \frac{0,0591}{z} \lg \frac{C_{\text{Ag}^{2+}}}{C_{\text{Pb}^{2+}}} = 0,925 + \frac{0,0591}{2} \lg \frac{1}{1} = 0,925 \text{ В.}$$

Масалалар

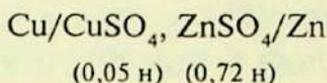
1. Масалаларни ечиш учун керакли бўлган маълумотларни илова (маълумотнома) дан олинг. Қуйидаги манфий ва мусбат қутбда ва гальваник элементда борадиган реакция тенгламасини ёзинг:



2. Қуйидаги реакция борадиган электрод ва гальваник элемент схемаларини ёзинг.



3. Қуйидаги гальваник элементнинг электр юритувчи кучи (ЭЮК) ни аниқланг:



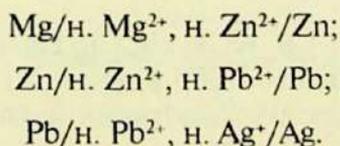
Эритмаларнинг диссоциланиш даражаси $\alpha = 0,23$ га тенг.

4. Қуйидаги гальваник элементнинг ЭЮК 18°C да $E = 1,098 \text{ В}$ га тенг: Zn/н. Zn^{2+} , $\text{н. Cu}^{2+}/\text{Cu}$.

Zn^{2+} ионининг концентрацияси $0,4$ ва Cu^{2+} ионининг концентрацияси $0,0001 \text{ г/л}$ бўлганда, гальваник элементнинг электр юритувчи кучи қанчага тенг?

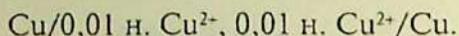
5. 25°C да Cu/н. Cu^{2+} потенциал $\Pi_{\text{Cu}} = 0,344 \text{ В}$ га тенг. Бу потенциал нолга тенг бўлиши учун эритмани қанчага суюлтириш керак?

6. Қуйидаги гальваник элементларнинг ЭЮК қанчага тенг ва оқим йўналиши қандай бўлади.



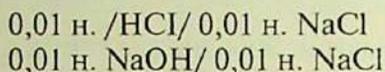
7. Куйидаги гальваник элементнинг ЭЮК = 1,099 В га тенг.
 $Zn/0,01 \text{ н. } Zn^{2+}, HCl/$ каломель электрод элементидаги Zn/Zn^{2+} электроднинг нормал потенциалини аниқланг.

8. Куйидаги элементнинг ЭЮКни аниқланг:

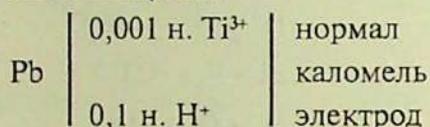


9. Иккита водород электрод бир-бирлари билан электролит эритма орқали бирлаштирилган. Биринчи электролитнинг босими $p_1 = 760$ мм га, иккинчи электролитнинг босими эса $p_2 = 400$ мм га тенг. Бу гальваник элементнинг ЭЮК сени аниқланг.

10. 18 °С да куйидаги электродларнинг потенциали қанча вольтга тенг?

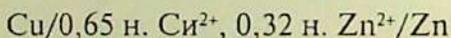


11. Куйидаги оксидланиш-қайтарилиш гальваник элементларининг ЭЮК сени аниқланг.



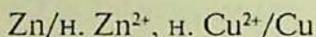
$Ti + 0,1 \text{ н. } H_2SO_4$ электроднинг нормал потенциали $E = 1,211$ В га тенг.

12. Куйидаги элементнинг



ЭЮК сени аниқланг. Тузларнинг нормал эритмаларини диссоциланиш даражаси $\alpha = 0,23$ га тенг.

13. Куйидаги элементнинг

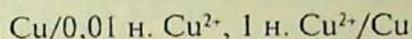


18 °С да ЭЮК $E = 1,098$ В. Агар рух ионининг концентрацияси 0,4 га, мисники эса 0,0001 бўлса, 1 литрда $n = 2$ моль га тенг бўлганда, ЭЮК қанчага тенг бўлади?

14. Cu^{2+}/Cu чегарасида потенциали $E = +0,344$ В га тенг. Бу чегарада потенциал нолга тенг бўлиши учун мис ионининг концентрация-сени қанчага камайтириш керак?

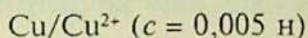
15. $Zn / 0,01 \text{ н. } Zn^{2+}, 1 \text{ н. } KCl, Hg, Cl_2/Hg/(Pt)$ гальваник элементнинг 25 °С да ЭЮК си $E = 1,099$ в. Рухнинг нормал потенциалини аниқланг. Каломель электроднинг потенциалини нолга тенг деб қабул қилинг.

16. Қуйидаги концентрацияли гальваник элементнинг



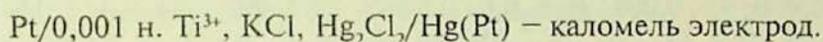
ЭЮК сени аниқланг.

17. 25 °С да қуйидаги электроднинг



потенциали $E = -0,2712 \text{ В}$. Бу электроднинг стандарт потенциали E_0 ни аниқланг.

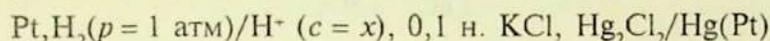
18. Қуйидаги элементнинг



ЭЮК ни аниқланг. $E_{0,\text{ок}} = 0,056$; $\text{H}^+ \rightarrow \text{H} = 0$

19. 25 °С да AgCl эрувчанлиги $C_1 = 1,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л; шу температурада AgBr нинг эрувчанлиги $C_2 = 7 \cdot 10^{-7}$ моль/л; $[\text{Ag}^+]$, $[\text{Cl}^-]$, $[\text{Br}^-]$ лар концентрацияларини аниқланг.

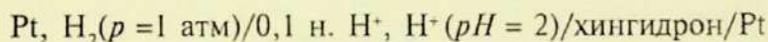
20. Қуйидаги гальваник элементнинг



ЭЮК си 25 °С да $E = 0,50 \text{ В}$ га тенг. pH ни аниқланг. Унда $E_{\text{к}} = 0,3369 \text{ В}$.

21. Қуйидаги гальваник элементнинг $\text{Pt}/\text{H}^+ (\text{pH} = 6)$, хингидрон, 0,1 н. KCl , $\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg}$ 25°С да ЭЮК сени аниқланг. Хингидрон электроднинг стандарт потенциали $E_{\text{ХГ}} = 0,694 \text{ В}$.

22. Қуйидаги гальваник элементнинг

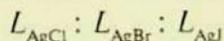


хингидрон стандарт электрод потенциали $E_{0,\text{ХГ}} = 0,6994 \text{ в}$.

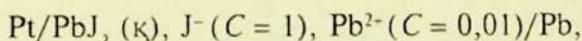
Хингидрон электроднинг потенциалини аниқланг.

23. Кумуш электроднинг $[\text{Ag}^+/\text{Ag}]$ ва хлор кумуш электрод $[\text{Cl}^-/\text{AgCl}]$, Ag ларнинг стандарт электрод потенциалидан фойдаланиб, 25 °С да AgCl нинг эрувчанлик кўпайтмасини аниқланг.

24. Электродларнинг нормал потенциалидан фойдаланиб, 298 К да кумуш галоидларнинг эрувчанликлари нисбатини аниқланг:



25. 25 °С да қуйидаги гальваник элементнинг



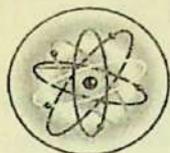
ЭЮК си $E = 0,1728 \text{ В}$ га тенг. PbJ нинг эрувчанлигини аниқланг.

26. Cd/CdJ_2 , $\text{AgJ}(\kappa)/\text{Ag}$ элементнинг ЭЮК си 25°C да $E = 0,2860$ В га тенг. Эритмадаги CdJ_2 нинг концентрациясини аниқланг.

27. $\text{Pb}/\text{PbSO}_4(\kappa)$, $\text{CuSO}_4(c = 0,02)/\text{Cu}$ элементнинг 25°C да ЭЮК си $E = 0,5594$ В. CuSO_4 нинг концентрациясини аниқланг.

Масалаларнинг жавоблари

3. 1,111 В. 4. 0,932 В. 5. $1,38 \cdot 10^{-12}$ Н, 6. 0,442; 0,285; 0,918. 7. 0,258.
8. 0,036 В, $9^{-\alpha}$, 0,0081 В. 9. 0,032; 0,017. 10. 0,902 г. 11. 1,114. 12. 0,982.
13. $1,38 \cdot 10^{-12}$. 14. 1,04. 15. 0,056. 16. -0,339. 17. 0,902. 18. $\text{Ag}^+ = 1,52 \cdot 10^{-5}$;
 $\text{Cl}^- = 1,43 \cdot 10^{-5}$; $\text{Br}^- = 1,26 \cdot 10^{-5}$; $Z_{\text{AgCl}} \lambda_{\text{AgCl}} = 2,25 \cdot 10^{-10}$; $\lambda_{\text{AgBr}} = 4,9 \cdot 10^{-3}$.
19. 2,78. 20. 0,0091. 21. 0,6404. 22. $1,8 \cdot 10^{-10}$. 23. $1 \cdot 10^{-7}$; $7 \cdot 10^{-7}$.
24. $1,514 \cdot 10^{-3}$. 25. 0,0842. 26. 0,6404.



VIII Б О Б

ЭЛЕКТРОЛИЗ

Электролизда эритмадан бир Фарадей электр миқдори 96500 ампер·секунд ёки $96500/60 \cdot 60 = 26,8$ ампер·соат (А.С.) ўтганда электродларда 1 г-экв (10^{-3} кг) модда ажраллади. Бир ампер·соат электр миқдори ўтганда электролитларда ажралиб чиққан модда миқдорига *электркимёвий эквивалент* дейилади.

Демак, кимёвий эквивалент

$$\mathcal{E}_k = \frac{M \text{ (молекула оғирлиги еки атом массаси)}}{z \text{ (валентлик)}}$$

ва электркимёвий эквивалентга тенг:

$$\mathcal{E} = \frac{M}{z \cdot 26,8} = \frac{\mathcal{E}_k}{26,8}, \quad (8.1.)$$

бунда: $\mathcal{E}_k, \mathcal{E}$ — кимёвий ва электркимёвий эквивалент.

Электродда ажралиб чиққан модда массаси (m) маълум миқдорда электр $Q = It$ оқимини ўтказди:

$$\left. \begin{array}{l} 26,8 \text{ — } 1 \mathcal{E}_k \\ It \text{ — } x \mathcal{E}_k \end{array} \right\} x = \frac{It \cdot \mathcal{E}_k}{26,8}$$

ва

$$m = z \cdot x \mathcal{E}, \quad (8.2.)$$

бу ерда, M — модданинг молекуляр массаси, z — модда валентлиги (ёки реакцияда заряднинг ўзгарган сони). Электролиз ваннадан ўтган электр миқдорини ($Q = It$) *кулонометр* деб аталган асбоб кўрсатади. Демак, ваннадан ўтган электр миқдори (А.С.) электродда ажралиб чиққан модданинг электркимёвий эквивалент сонига ($m_{\text{н}}$) тенг:

$$N_{\text{А.С.}} = N_{\mathcal{E}}. \quad (8.3.)$$

Электр оқими бўйича жараён унуми амалда ажралиб чиққан модда миқдорининг ($m_{\text{а}}$) назарий ажралиб чиқиши керак бўлган модда миқдори ($m_{\text{н}}$) нисбатига тенг:

$$y = \frac{m_{\text{а}}}{m_{\text{н}}} \cdot 100. \quad (8.4.)$$

8.1. Масалалар ечиш намунаси

1. Юзаси (сатҳи) $S = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ (140 см^2) таёқча (пластинка)ни рух билан қоплаш учун туз эритмасига туширилган. Эритмадан 20 минут давомида электр оқими юборилганда рух таёқчанинг массаси $1,82 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ($1,82 \text{ г}$) га ошган. Шу вақтда катодда $2,10 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ($2,10 \text{ г}$) мис ажралган. Рух учун оқим бўйича унумли рух қопламанинг ўртача қалинлигини аниқланг. Рухни солиштирма массаси $7,14 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ($7,14 \text{ г/см}^3$) га тенг.

Ечиш. Эритмадан ўтган электр миқдорини кулонометр кўрсаткичидан фойдаланиб топамиз. Электр миқдори, ажралган миснинг электркимёвий эквивалент сонига баравар:

$$Q = \frac{m_{\text{Cu}}}{\mathcal{E}_{\text{Cu}}} = \text{А.С.}$$

Миснинг электркимёвий эквиваленти (\mathcal{E}_{Cu}) ни аниқлаймиз. Миснинг молекуляр массаси 63,54, валентлиги $z = 2$ га тенг. Демак, кимёвий эквиваленти: $\mathcal{E}_{\text{Cu}} = M/z = 63,54/2 = 31,27$ га тенг. Шунга кўра

$$26,8 \text{ А.С.} \text{ — } 31,27$$

$$1 \text{ А.С.} \text{ — } \mathcal{E}_{\text{Cu}}$$

$$\mathcal{E}_{\text{Cu}} = \frac{31,27}{26,8} = 1,885 \text{ г.}$$

Демак,

$$Q = \frac{m}{\mathcal{E}_{\text{Cu}}} = \frac{2,7}{1,885} = 1,77 \text{ А.С.}$$

Рух бўйича оқим унумини, яъни m_{H} ни аниқлаймиз.

$$Q = \frac{m_{\text{H}}}{\mathcal{E}_{\text{Zn}}} \text{ ва } m_{\text{Zn}} = Q \cdot \mathcal{E}_{\text{Zn}},$$

демак, аввало \mathcal{E}_{Zn} ни аниқлаш керак.

Рухнинг электркимёвий эквивалентини (\mathcal{E}_{Zn}) аниқлаймиз. $M_{\text{Zn}} = 63,38$ валентлиги, $z = 2$ га тенг. Кимёвий эквиваленти (\mathcal{E}): $\mathcal{E} = M/Z = 63,38/2 = 32,69$ га тенг.

Демак, электркимёвий эквивалент (\mathcal{E}_{Zn})

$$\left. \begin{array}{l} 26,28 \text{ А.С.} \text{ — } 32,69 \\ 1 \text{ А.С.} \text{ — } \mathcal{E}_{\text{Zn}} \end{array} \right\} \mathcal{E}_{\text{Zn}} = \frac{32,68}{26,28} = 1,22.$$

Бу қийматни юқоридаги тенгламага ($m_{\text{H}} = Q \cdot \mathcal{E}_{\text{Zn}}$, $y = \frac{m_{\text{H}}}{m_{\text{H}}} \cdot 100$) қўйилса, оқим бўйича унум тенг бўлади:

$$y = \frac{m_a}{\mathcal{E}_{zn} \cdot Q} \cdot 100 = \frac{1,82}{1,77 \cdot 1,22} \cdot 100 = 84,2\%.$$

Рух қопламанинг қалинлигини топамиз. Аввало ажралган рух мас-
сасининг ҳажми топилади: $d = m/V$ ва $V = m/d = 0,25 \text{ см}^3$;
қоплама қалинлиги (l):

$$l = \frac{V}{S} = \frac{m}{S \cdot d} = \frac{1,82}{140 \cdot 7,14} = 0,00182 \text{ см} = 0,182 \text{ мм}.$$

$$I = i \cdot t$$

бунда, i — оқим зичлиги (кўндаланг кесими 1 см^2 дан ўтган электр
миқдори) ва $i = I/tS$. Масала шарти бўйича $t = 20 \text{ мин.} = 20/60 \text{ соат}$.
Демак,

$$i = \frac{I}{tS} = \frac{1,77 \cdot 60}{20 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}} = 3,37 \text{ А/см}^2.$$

2. Юзаси $S = 80 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ (80 см^2) бўлган дастгоҳ бўлагини рух
билан қоплаш жараёнида электр оқими зичлиги $i = 3,2 \text{ А} \cdot 10^{-2} \text{ мА/м}^2$
($3,2 \text{ А/см}^2$) да 20 минут давомида катодда $23 \text{ }^\circ\text{C}$ да 752 мм симоб
устуни босимидаги $V = 6662,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ($62,7 \text{ см}^3$) водород ажралган
(сув буғи билан тўйинган).

Рух бўйича оқимнинг унумини ва рух қопламанинг қалинлигини
аниқланг. $23 \text{ }^\circ\text{C}$ да сув буғининг босими $p_{\text{H}_2\text{O}} = 21,0 \text{ мм.симоб}$ усту-
нига тенг.

Ечиш. Қанча рух ажралиб чиққанини билиш учун эритмадан қанча
миқдорда электр оқими ўтганини билиш керак. Буни эса ажралган
водород миқдоридан фойдаланиб топиш мумкин. Демак, аввало
г-экв. (қанча электрокимёвий эквивалент) водород ажралиб чиққа-
нини билиш керак. Бунинг учун водороднинг нормал шароитдаги
($T = 273 \text{ К}$ ва 1 атм) ҳажмини (V) билиш керак бўлади. Рухнинг
солиштирма сифими $7,14 \text{ кг/м}^3$ ($7,14 \text{ г/см}^3$).

I ҳолат

$$T_1 = 237 + 23$$

$$p_1 = 752 - 21$$

II ҳолат

$$T_2 = 273$$

$$p_2 = 760 \text{ мм. Нг устуни.}$$

I ҳолатдан II ҳолатга ўтказиш керак. Бунинг учун олдин Гей-
Люссак қонунидан фойдаланиб, ҳажмни $T_1 = (273 \text{ К} + 23)$ дан
 $T_2 = 273$ га келтирамиз:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}; V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{62,7 \cdot 273}{273 + 23}.$$

Энди 273 да ва 1 атм даги ҳажмини топамиз $p_1 = (752 - 23)$ дан $p_2 = 760$ босимга Бойль-Мариотт қонунидан фойдаланамиз:

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{p_2}{p_1} \text{ ва}$$

$$V_0 = \frac{V_1 p_2}{p_1} = (62,7 + 273 \cdot (752 - 21)) / (273 + 23) \cdot 760 = 55,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 55,6 \text{ см}^3.$$

Нормал шароитда 1 моль водород ҳажми — 22,4 л = 22400 см³ ва электркимёвий эквиваленти:

$$\mathcal{E} = \frac{V_0}{z \cdot 26,8} = \frac{22400}{2 \cdot 26,8} = 418 \text{ см}^3/\text{А.С.}$$

Ажралиб чиққан водородни электркимёвий эквиваленти сони ва демак ўтган электр миқдори Q :

$$Q = \frac{55,6}{418} = 0,133 \text{ А.С.}$$

Эритмадан ўтган электр миқдори:

$$Q = iSt = 3,2 \cdot 0,8 \cdot \frac{20}{60} = 0,853 \text{ А.С.}$$

Рух бўйича оқим унуми:

$$y = \frac{Q_{Zn}}{Q} = \frac{Q - Q_{H_2}}{Q} \cdot 100 = 84,4\%.$$

Чўккан рух миқдори (m_{Zn}):

$$m_{Zn} = \mathcal{E}_{Zn} \cdot Q_{Zn} = 1,22 \cdot (0,853 - 0,133) = 0,878 \cdot 10^3 \text{ кг (0,878 кг)},$$

(бунда, 1,22 — рухнинг электркимёвий эквиваленти).

Рух қопламнинг қалинлиги (l):

$$V = \frac{m_{Zn}}{d_{Zn}}, \quad l = \frac{V}{S} = \frac{m_{Zn}}{S \cdot d_{Zn}},$$

$$l = \frac{0,878}{80 \cdot 7,14} = 0,10154 \text{ см} = 0,0154 \text{ мм.}$$

3. Рух тузи эритмаси тўлдирилган рухлаш ваннасига массаси $m = 15,0$ кг ва солиштирма юзаси $S = 1920 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{кг}$ (1920 см²/кг) бўлган дастгоҳ бўлаги туширилган ва $I = 80$ А электр оқими юбориб турилган. Қалинлиги $l = 15 \cdot 10^{-2}$ см бўлган қоплама олиш учун қанча вақт керак бўлади? Оқим бўйича унум — 90%.

Рухнинг солиштирма зичлиги $d = 7,14 \text{ г/см}^3$.

Ечиш. Демак, маълумки $Q = It$ — ўтган электр миқдори, I — ампер, t — вақт; бунда, I — маълум, Q ни аниқлаш керак. Q эса катодда ажралиб чиққан рухнинг электркимёвий эквивалент сонига N_z баробардир. Аввало, бўлакнинг ҳамма юзасини кўрсатилган қалинликда қоплаш учун қанча рух кераклигини топиш керак.

Бўлакнинг юзаси: $S = S_m = 1920 \cdot 15 \cdot 10^2 = 28800 \text{ см}^2$.

Бўлакнинг ҳамма юзасини кўрсатилган қалинликда қоплаш учун катодда ажралиб чиқиши керак бўлган рух массаси (m):

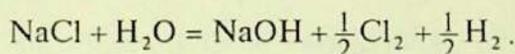
$$m = Sld = 28800 \cdot 0,015 \cdot 7,14 = 0,08 \text{ г.}$$

Рухнинг электркимёвий эквиваленти сони m/\mathcal{E} га тенг ва

$$Q = It = \frac{m}{\mathcal{E}} \text{ ва } t = \frac{m}{I \cdot \mathcal{E}} = \frac{308}{80 \cdot 1,22} = 3,16 \text{ соат}$$

ва унумни ҳисобга олганда: $y = \frac{3,16}{90} = 3,51 \text{ соат.}$

4. NaCl эритмасидан 22 кА электр оқими 24 соат давомида юборилганда таркибида 138 г/л натрий ишқори бор бўлган 5450 л эритма олинган. NaOH учун оқим бўйича унумини аниқланг. Электролиз натижасида қуйидагича реакция боради:



Ечиш. Оқим бўйича унум (y): $y = \frac{m_a}{m_{\text{II}}}$.

24 соатда NaOH (m_{II}) олиш учун керак бўлган электр миқдори: $Q = It = 22 \cdot 24 = 528 \text{ А.С.}$

1 А.С. электр ўтганда 1 электркимёвий NaOH ажралади, 528 А.С. ўтганда қанча электрокимёвий NaOH ажралади?

m_a ни қиймати масалада берилган. Демак, m_{II} ни аниқлаш керак. Бунинг учун эритмадан қанча электр миқдори (Q) ни ва бунда қанча миқдорда электркимёвий NaOH ажралиши аниқланади. Шунга кўра NaOH нинг электркимёвий эквивалентини аниқлаш керак:

$$\mathcal{E} = \frac{M}{z} = \frac{23+16+1}{1} = 40.$$

Демак, NaOH нинг электркимёвий эквиваленти $\mathcal{E}_{\text{NaOH}}$:

26,8 А.С. ўтганда 40 г NaOH ажралади,

1 А.С. ўтганда $40/26,8 = 1,492$ г NaOH ажралади,

528 А.С. ўтганда эса:

$$m_{\text{II}} = 528 \cdot 1,492 = 787 \text{ кг}$$

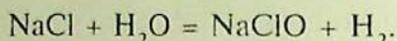
га тенг.

Амалда олинган NaOH нинг миқдори — m_a ни аниқлаймиз:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ л да} \text{ — } 138 \text{ кг} \\ 5450 m_{\text{II}} \text{ — } m_a \end{array} \right\} m_a = \frac{5450 \cdot 138}{1000} = 752.$$

Демак, $y = \frac{m_a}{m_{\text{II}}} = \frac{752}{787} = 92,5\%$.

5. Натрий гипохлорит NaClO электркимёвий усул билан NaCl дан олинади, бунда қуйидаги реакция боради:



Электролизер 22 та ячейкадан иборат бўлиб, ҳар қайси ячейкага $I = 50$ электр оқими 10 соат давомида юборилган. Натижада ҳар литрда 10,2 г NaCl бўлган $V = 900$ л эритма олинган. Дастлабки эритма ҳар литр эритмада 180 г NaCl тутган. Юборилган электр оқимининг кучланиши $E = 108$ В бўлган.

Аниқланг: а) NaClO бўйича оқим унуми; б) 1 кг NaClO учун қанча электр энергия сарф бўлган; д) қанча NaCl сарф қилинган; в) электролизда NaCl нинг фойдаланиш коэффициентини нимага тенг?

Ечиш. 1) NaClO учун оқим унуми (y):

$$y = \frac{m_a}{m_n} \cdot 100, \%$$

бунда, m_a амалда ҳосил бўлган NaClO . Масалада берилган миқдордан фойдаланиб уни аниқлаш мумкин:

$$m_a = [\text{NaClO}] \cdot V = 10,2 \cdot 900 = 9790 \text{ г.}$$

m_n ни аниқлаймиз: 10 соат ичида $n = 22$ ячейкада ҳосил бўлиши керак бўлган m_n ни (8.2.) тенгламага мувофиқ:

$$m_n = I \cdot t \cdot \mathcal{E}_n ;$$

демак, аввало NaClO нинг электркимёвий эквивалентини аниқлаш керак. (8.1.) тенгламага мувофиқ:

$$\mathcal{E} = \frac{M}{z \cdot F} = \frac{74,45}{2 \cdot 26,8} = 1,39 \text{ г/А.С. ,}$$

бунда: $M_{\text{NaClO}} = 23 + 35,45 + 16 = 74,45$ ва бу қиймат юқоридаги тенгламага қўйилса: $m_n = 50,10 \cdot 1,39 \cdot 22 = 15300$ г.

Бундан,

$$y_{\text{NaClO}} = \frac{m_a}{m_n} \cdot 100 = \frac{9790}{15300} \cdot 100 = 64,0\% ,$$

2) 1 кг NaClO олиш учун сарф қилинган электр энергия (W)

$$W = \frac{I \cdot E \cdot t}{m_a} = \frac{50 \cdot 108 \cdot 10}{9790} = 5,52 \text{ кВ} \cdot \text{соат/кг} .$$

1 кг NaClO ҳосил бўлиши учун сарфланган NaCl миқдори:

$$m_{\text{NaCl}} = \frac{[\text{NaCl}] \cdot V}{m_a} = \frac{180 \cdot 960}{9790} = 17,7 \text{ кг} .$$

Сарфланган NaCl миқдори:

$$m_{\text{NaCl}} = I \cdot t \cdot \mathcal{E}_{\text{NaCl}} \cdot n \cdot y.$$

Демак, бу тенгламани ечиш учун NaCl нинг электркимёвий эквиваленти ($\mathcal{E}_{\text{NaCl}}$) ни ва NaCl учун оқим бўйича унумлигини (y) билиш керак.

$$\mathcal{E}_{\text{NaCl}} = \frac{M}{z \cdot F} = \frac{58,45}{2 \cdot 26,8} = 1,09 \text{ г/А.С.}$$

$M_{\text{NaCl}} = 23 + 35,45 = 58,45$. Реакцияга мувофиқ: $y_{\text{NaCl}} = y_{\text{NaClO}}$. Бу қийматларни юқоридаги тенгламага қўйилса:

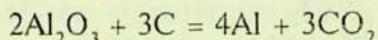
$$m_{\text{NaCl}} = I \cdot t \cdot \mathcal{E}_{\text{NaCl}} \cdot n \cdot y = 50 \cdot 10 \cdot 1,09 \cdot 0,64 = 7676 \text{ г.}$$

NaCl нинг фойдаланиш коэффициенти:

$$y_{\text{NaCl}} = \frac{m_a}{[\text{NaCl}] \cdot V} \cdot 100 = \frac{7670}{960 \cdot 108} \cdot 100 = 4,44\%.$$

6. Узлуксиз ишловчи $n = 150$ ваннага Al бирикмасининг суюлтмасидан иборат электролизерга $I = 145$ кА электр оқими бир ой (30 сутка) ўтказилганда $p = 99,5\%$ тозаликдаги $m_a = 4700$ кг алюминий олинган. Ўртача кучланиш бир электролизерда $E = 695$ В бўлган оқим бўйича унумни ва 1 кг 100% ли тоза алюминий олиш учун қанча электр энергия керак бўлганлигини аниқланг.

Ваннада қуйидагича электркимёвий реакция боради:



Ечиш. 1) электр оқим бўйича унум (y): $y = (m_a p / m_{\text{II}}) \cdot 100$.

Назарий олинishi мумкин бўлган алюминий миқдори (m_{II}) қуйидагича топилади: $m_{\text{II}} = I \cdot t \cdot \mathcal{E}$.

Демак, алюминийнинг электркимёвий эквиваленти (\mathcal{E}) ни билиш керак:

$$\mathcal{E} = \frac{M}{z \cdot F} = \frac{26,97}{3 \cdot 26,8} = 0,3355 \text{ А.С.}$$

$$m_{\text{II}} = 145 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 0,03355 \cdot 150 = 5250000 \text{ г} = 5250 \text{ кг,}$$

бу қийматлар юқоридаги тенгламага қўйилса:

$$y = \frac{m_a \cdot p}{m_{\text{II}}} = \frac{4700 \cdot 0,995}{5250} \cdot 100 = 89,0\%;$$

сарф қилинган солиштирма электр энергия (N):

$$N = \frac{I \cdot V \cdot t}{m_{\text{II}}} = \frac{145 \cdot 695 \cdot 24,3}{4700 \cdot 0,995} = 15500 \text{ кг} \cdot \text{соат};$$

Масалалар

1. Рух бромид $ZnBr_2$ нинг сувли эритмасидаги 20 граммни тўла электролиз қилиш учун 45 минут давомида электр ўтказилган бўлиши керак? Эритмадан ўтган электр кучи (I) қанча ампер бўлган?

2. Никель сульфат $NiSO_4$ эритмасидан 1 А.С. электр ўтганда 0,0343 электркимёвий никель ажралиб чиққан. Никель билан бирга водород ҳам ажралиб чиққан. Қанча водород ажралиб чиққан?

3. Суюлтирилган сульфат кислотага H_2SO_4 эритмасидан 10 минут давомида электр оқими юборилганда 290 К ($17\text{ }^\circ\text{C}$) ва 0,987 атм. (750 мм Hg) босимдаги $V = 4 \cdot 10^{-1}\text{ м}^3$ (100 см^3) водород ажралган. Ўтказилган электр оқими кучи қанча ампер бўлган?

4. Мис хлорид $CuCl_2$ эритмасидан 2,3 А электр оқими 30 минут давомида ўтказилган. Бунда электродда қанча мис ажралган?

5. Мис сульфат $CuSO_4$ қўрғошин нитрат $Pb(NO_3)_2$, қумуш нитрат $AgNO_3$ ва висмут хлорид $BiCl_3$ эритмалари орқали 1 А.С. ўтганда ҳар қайси металлдан қанча металл ажралади?

6. Мис сульфат $CuSO_4$ эритмасидан 5 А.С. электр оқими ўтказилган ва катод электродда 5,5 г мис ажралиб чиққан. Оқим бўйича унумни (ν) аниқланг.

7. Сульфат кислотага H_2SO_4 эритмасидан 5 минут давомида электр ўтказилган. Катодда 298 К температура ва 748 мм симоб устунисидаги босимда ҳажми $V = 400\text{ м}^3$ бўлган водород ажралиб чиққан. Ўтказилган электрнинг кучини (I) аниқланг.

8. Юзаси $S = 10 \cdot 10\text{ см}^2$ бўлган пластинканинг икки томонини 0,05 мм қалинликдаги қатлам билан қоплаш керак. Бунинг учун никель сульфат $NiSO_4$ эритмасидан 2 ампер кучли электр оқими ўтказилган. Қоплаш учун керак бўлган никелни олиш учун қанча вақт давомида электр юбориш керак бўлади? Никелнинг солиштирма зичлиги $d = 8,9\text{ г/см}^3$.

9. Сульфат кислотанинг суюлтирилган эритмасидан электр оқими 10 минут давомида юборилганда ажралган водороднинг $17\text{ }^\circ\text{C}$ ва 760 мм Hg босимда ҳажми 100 см^3 га тенг бўлган. Ўртача оқим кучини аниқланг.

10. Мис хлорид эритмасидан 30 минут давомида 2,3 А электр оқими юборилган. $CuCl_2$ нинг қанча массаси ажралган?

11. Мис бромиднинг сувдаги эритмасида 45 минут давомида 20 г мис бромид ажралиши учун электр оқимининг кучи қанча бўлиши керак?

12. Мис сульфат, қўргошин нитрат, кумуш нитрат ва висмут нитрат эритмаларидан бир ампер соат электр оқим юборилган. Ҳар қайси металлнинг қанча г-эквиваленти ажралиб чиқади?

13. Никель сульфат эритмасидан 1 ампер соат электр оқими юборилганда катодда никель ва водород биргаликда ажралиб чиққан. Ажралиб чиққан никель қиймати 0,342 г -эқв га тенг. Эркин ҳолда неча г-эқв водород ажралиб чиққан?

14. CuCl_2 нинг эритмасидан 2 ампер электр оқими 2 соат давомида ўтказилганда катодда неча грамм мис ажралиб чиқади? Агар шу шароитда CuCl_2 ни Cu_2Cl_2 билан алмаштирилса, катодда қанча мис ажралиб чиқади?

15. 80 см^3 0,2 моляр эритмадаги (Fe^{3+}) темирни (Fe^{2+}) темирғача қайтариш учун 1 ампер электр оқимини қанча вақт давомида юбориш керак бўлади?

16. Ток бўйича унум 90% бўлганда 1 т мис олиш учун қанча электр энергия (жоуль) керак бўлади?

17. AgNO_3 , CuSO_4 , KJ , HClO_4 қайтар эритмалардан электр оқими юборилганда платина электродда AgNO_3 эритмасида 0,1079 г кумуш ажралиб чиққан. CuSO_4 , KJ , HClO_4 эритмаларида қандай модда ва қанчадан ажралади?

18. KJ эритмасидан бир соат давомида турғун электр оқими юборилган. Ажралган йодни титрлаш учун 200 см^3 , 9,05 моляр $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ эритмаси сарф бўлган. Электр оқим кучини аниқланг.

19. Никель сульфат NiSO_4 эритмасидан электр оқими юборилганда катодда никель ва водород биргаликда ажралган. Эритмадан 0,5 ампер соат электр ўтказилганда нормал шароитда ҳисоблаганда $7,4 \text{ см}^3$ водород ажралиб чиққан. Никелда ажралиб чиқиш оқими бўйича оқим унумини аниқланг.

20. Рух сульфат ZnSO_4 эритмасидан электр оқими ўтказилганда катодда рух билан биргаликда водород ҳам ажралиб чиққан. Эритмадан 20 ампер соат оқим юборилганда ва рухнинг оқим бўйича унуми 90% бўлса, катодда неча грамм рух ва қанча ҳажм водород (нормал шароит ҳисобида) ажралиб чиқади?

21. Натрий сульфат Na_2SO_4 эритмасидан 4 А электр оқимини 10 соат давомида ўтказилган. Катод ва анод участкалар бир-биридан ажратилган. Катодда NaOH ва анодда H_2SO_4 ҳосил бўлади. Ишқор ва кислотанинг концентрациясини аниқланг. Катод участканинг ҳажми 5 л, анод участканинг ҳажми 8 л га тенг.

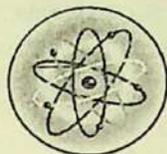
22. Юзаси 100 см^2 бўлган металл қурилма $0,3 \text{ мм}$ қалинликда электр воситасида никель қатлами билан қопланиши керак. 3 А кучи билан эритмадан электр оқими ўтказилганда чўктириш қанча вақт давом этиши керак? Агар никелнинг оқим бўйича унуми 90% бўлганда қоплашга қанча вақт керак бўлади? Никелнинг зичлиги 92 г/см^3 .

23. Рух тузини электролиз қилинганда умумий юзаси 100 см^2 бўлган тунука катод сифатида қўлланган. Эритмадан 25 минут давомида $2,5 \text{ А}$ электр оқими ўтказилган. Рухнинг зичлиги $d = 7,15 \text{ г/см}^3$ га тенг. Тунукани қоплаган рух қатламининг қалинлиги қанчага тенг?

24. 15% ли 2 л NaOH эритмасидан 5 А электр оқими 3 сутка давомида юборилган. Электролиздан сўнг NaOH нинг концентрациясини аниқланг. 15% ли NaOH эритмасининг зичлиги 11665 г/см^3 га тенг.

Масалаларнинг жавоблари

1. $6,2 \text{ А}$. 2. $0,10317$. 3. $1,33$. 4. $0,7832$. 5. $0,373$ экв. 6. $94,4\%$. 7. $1,08$. 8. $4,13$ (4 соат 13 минут). 9. $1,33$. 10. $0,2885 \text{ г}$. 11. $6,35$. 12. $0,373$ экв. 13. $0,0031$ экв. 14. $4,7437, 9,486$. 15. 12 минут. 57 с . 16. $0,34 \cdot 10^1 \text{ Ж}$. 17. $11,2 \text{ см}^3 \text{ H}_2$. 18. $0,0268$. 19. $92,7\%$. 20. $0,9286 \text{ л}$. 21. $0,2985; 0,1866 \text{ г-экв}$. 22. 8 соат 13 минут, 9 соат 8 минут. 23. $1,776 \cdot 10^{-3} \text{ см}$. 24. $16,32 \text{ г/см}^3$.



IX Б О Б

КИМЁВИЙ РЕАКЦИЯЛАР КИНЕТИКАСИ. РАСМИЙ КИНЕТИКА

Кимёвий кинетика реакцияларнинг тезлиги, бу тезликка турли омилларнинг (концентрация, температура, катализатор ва ҳоказолар) таъсири ва реакциянинг механизми (бориш ҳоллари)ни ўрганади. *Реакциянинг тезлиги* моддалар концентрациясининг вақт бирлигида ўзгаришига тенгдир. Системадаги реакцияга киришаётган ва ҳосил бўлган маҳсулотлар (моддалар) реакция давомида эквивалент миқдорда ўзгаради. Шунга кўра реакцияларнинг тезлигини вақт ўтиши билан дастлабки моддаларнинг бирортасини камайиши ёки маҳсулотлардан бирортасини кўпайишини кузатиш (ўлчаш) билан аниқлаш, демак, ҳисоблаш мумкин. Биз фақат, гомоген система реакцияларининг, яъни реакцияда иштирок қилувчи ҳамма моддалар бир фазада (фақат суюқлик ёки газлар) бўладиган реакция системаси тўғрисида баҳс этамиз.

Реакция тезлигига ўзгармас температурада ($T = \text{const}$) концентрациянинг таъсирини массалар қонуни ифода этади:

$$v = k \cdot C^n \cdot C^m, \quad (9.1.)$$

бунда: v — кузатилган тезлик, яъни маълум концентрациядаги дастлабки моддаларнинг борадиган реакция тезлиги;
 C_1, C_2 — битта, иккита ва ҳоказо моддаларнинг концентрацияси;
 n, m — биринчи, иккинчи модданинг кузатилган тезликка қандай даражада таъсир қилишини кўрсатади;
 k — *тезлик константаси* (солиштира тезлик), яъни реакцияга киришувчи моддаларнинг концентрацияси бирга тенг бўлгандаги тезлик (9.1.) тенгламага мувофиқ $v = k$.

(9.1.) тенглама ёрдамида k маълум бўлса, кузатилган тезликни аниқлаш мумкин. Шунга кўра, кимёвий реакциялар кинетикаси қонун ва кинетик тенгламалардаги k ни ҳисоблашга қаратилган.

Реакция давомида реакцияга киришувчи моддаларнинг миқдори (концентрацияси) узлуксиз ўзгариши сабабли реакция тезлиги ҳам узлуксиз ўзгарганлигидан, кузатилган тезлик (v) ифодаси дифференциал кўринишда берилади:

$$v = \pm \frac{dC}{dt} = k \cdot C_1^n \cdot C_2^m, \quad (9.2.)$$

бу ерда: C — концентрация, t — вақт.

Минус (-) аломати реакцияга киришувчи моддаларнинг вақт бўйича концентрациясини камайиши ўлчаш (кузатиш) орқали бажарилса, плюс (+) аломати аксинча, маҳсулотларнинг концентрациясини кузатиш орқали аниқлаганда қўйилади.

9.1. Реакцияларнинг синфланиши

Агар бир вақтда фақат битта реакция борса — бу хил реакцияга *оддий реакция*, агар бир вақтда бир қанча оддий реакция борса — *мураккаб реакция* дейилади. Фақат оддий реакциялар тўғрисида баҳс этамиз.

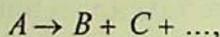
Реакция содир бўлиши учун аввало реакцияга киришувчи моддалар бир-бири билан тўқнашиши керак. Қанча модда тўқнашишига қараб реакция *молярлик* синфларига бўлинади, яъни мономолекуляр (биринчи), бимолекуляр (иккинчи), учмолекуляр реакцияларга бўлинади.

Реакция тезлиги реакцияга киришувчи моддаларнинг концентрациясига қандай даражада боғланганлигига қараб биринчи тартибли, иккинчи тартибли, учинчи тартибли реакцияларга синфланади.

Бир хил (баравар) молекулалар ва тартибли реакцияларнинг кинетик тенгламаси бир хил бўлади.

9.2. Реакция тезлигига моддалар концентрациясининг таъсири

Мономолекуляр реакциялар. Мономолекуляр реакцияни қуйидагича схематик ифода қилиш мумкин:



бунда, A — дастлабки модда, B , C — маҳсулот.

Биринчи тартибли (ва мономолекуляр) реакциялар учун:

$$v = \frac{dC}{dt} = x \cdot C, \quad (9.3)$$

бу тенглама интегралланса:

$$k = \frac{2,3}{t} \lg \frac{C_0}{C}, \quad (9.4)$$

бу ерда: C_0 — дастлабки модданинг дастлабки концентрацияси;
 C — дастлабки модданинг t вақтдаги концентрацияси.

Унда:

$$C = C_0 e^{-kt}. \quad (9.5)$$

Агар, a — дастлабки модданинг бошланғич моль сони (концентрация); x — дастлабки моддаларнинг t вақтда реакцияга киришган миқдори бўлса, маълум вақтда (t) дастлабки модданинг миқдори ($a - x$) бўлади ва

$$\frac{dC}{dt} = k(a - x), \quad (9.6.)$$

бу тенглама интегралланса:

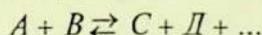
$$k = \frac{2,3}{t} \lg \frac{a}{(a-x)}. \quad (9.7.)$$

Реакцияга киришган модда миқдори (x) бўлса,

$$x = a(1 - e^{-kt}). \quad (9.8.)$$

Демак, k нинг ўлчами t^{-1} бўлади.

Бимолекуляр (иккинчи тартибли) реакциялар. Бимолекуляр реакциялар схематик кўринишда



бўлиб, улар учун

$$-\frac{dx}{dt} = k_1 \cdot C_A \cdot C_B = k(a-x)(b-x), \quad (9.9.)$$

бунда: C_A, C_B — дастлабки A ва B моддаларнинг маълум (t) вақтдаги концентрацияси;

a, b — A ва B моддаларнинг дастлабки вақтдаги миқдори;

x — дастлабки моддаларнинг t вақтда реакцияга киришган миқдори;

$(a-x), (b-x)$ — A ва B моддаларнинг t вақтдаги миқдори.

Бу тенглама интегралланса:

$$k = \frac{1}{t(a-b)} \ln \frac{b(a-x)}{a(b-x)} = \frac{2,3}{t(a-b)} \lg \frac{b(a-x)}{a(b-x)}. \quad (9.10.)$$

Агар дастлабки моддалар тенг концентрацияда, яъни $a = b$ да олинган бўлса

$$-\frac{dx}{dt} = k(a-x)^2 \quad (9.11.)$$

ва

$$k = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{a-x} - \frac{1}{a} \right) \text{ ёки } k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)}. \quad (9.12.)$$

k нинг ўлчами: $(t^{-1} \cdot c^{-1})$ ёки $(t^{-1} \cdot \text{моль}^{-1})$ бўлади.

Учинчи тартибли реакциялар учун дастлабки моддалар баравар концентрацияда олинганда ($C_A = C_B = C_C$):

$$\frac{dC}{dt} = k_1(C_A - x)^3 \quad (9.13.)$$

ва

$$k = \frac{1}{t} \left[\frac{1}{C_A - x} - \frac{1}{C_A} \right] \quad \text{ёки} \quad k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)} \quad (9.14.)$$

Баъзан реакция тезлиги дастлабки олинган моддаларнинг концентрациясига боғлиқ бўлмайди, ноль тартибли бўлади. Бу хил реакциялар учун:

$$k = \frac{C_A - x}{t} \quad (9.15.)$$

Бу хил реакциялар радиактив моддаларнинг парчаланиши ва реакциянинг тезлиги бошқа омиллар билан чегараланганда (диффузия, абсорбция ва ҳоказо) содир бўлади.

9.3. Реакция тартибини аниқлаш

Реакция тартибини аниқлаш реакциянинг механизмини аниқлашга ёрдам беради. Реакция тартиби бир неча усуллар билан аниқланади:

1. *Реакциянинг кинетик тенгламасига (9.4; 9.7; 9.10; 9.12) мос келиши.* Вақт ўтиши билан дастлабки модданинг қанчаси (x) реакцияга киришган ёки концентрацияси киришгани, ёки маҳсулотларнинг бирортасини ҳосил бўлган миқдори ўлчанади.

Тажрибада олинган натижалар бирин-кетин шу тенгламаларга қўйиб, тезлик константаси (k) нинг қиймати ҳисоблаб топилади.

Қайси тенгламада ҳамма тажрибаларда k ўзгармаса, яъни бир хил қийматга эга бўлса, шу тенглама муносиб тартибга эга бўлади.

2. *Ярим ажралиш вақти.* Бу усулда дастлабки моддалардан ҳар хил миқдорда (концентрацияда) олиб, тажриба ўтказилади. Дастлабки моддаларнинг концентрацияси (миқдори) тажриба давомида ярмиси реакцияга киришувчи, яъни ярмига камайишига кетган вақт *ярим ажралиш вақти* дейилади. Бу вақтда кинетик тенгламаларда $x = \frac{a}{2}$ бўлади. Агар x нинг бу қийматини кинетик тенгламаларга қўйиб ярим ажралиш вақти (t) топилса, қуйидаги натижалар олинади:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{k} \ln 2 \quad - \quad \text{мономолекуляр реакцияда} \quad (9.16)$$

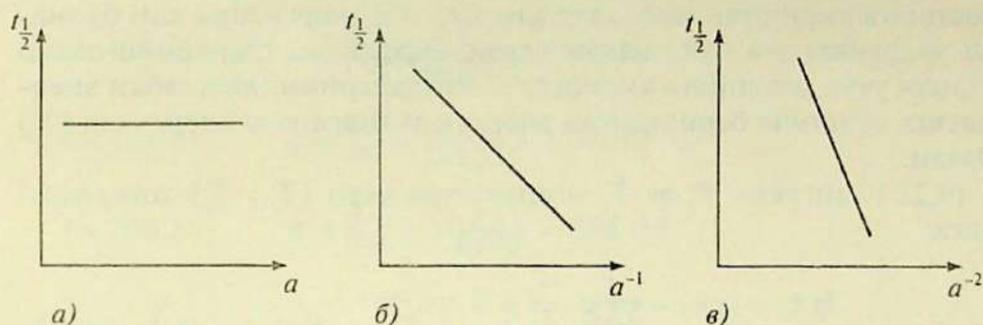
$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1}{k} \cdot a^{-1} \quad - \quad \text{бимолекуляр реакцияда} \quad (9.17.)$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{3}{2} \cdot a^{-2} \quad - \quad \text{учмолекуляр реакцияда} \quad (9.18.)$$

Умуман:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{2^{n-1} - 1}{(n-1) \cdot k \cdot a^{(n-1)}} \quad (9.19.)$$

Агар ордината ўқига $t_{\frac{1}{2}}$ ни, абсцисса ўқига a нинг тегишли даражадаги қиймати қўйилса, тўғри чизиқ олиниши керак:



9.1-расм.

$a, б, с$ — моно-, би-, уч тартибли реакциялар.

9.4. Реакция тезлигига температуранинг таъсири

Вант-Гоффнинг тахминий қондасига мувофиқ гомоген реакцияларда температура 10^0 га ошганда реакция тезлиги 2–4 мартаба (γ) ошади, яъни

$$\gamma = \frac{k_{t+10}}{k_t} = 2 - 4 \quad \text{ва} \quad \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \gamma \frac{T_2 - T_1}{10}, \quad (9.20.)$$

яъни, температура n марта (10) ошганда:

$$\frac{k_{t+n \cdot 10}}{k_t} = \gamma^n. \quad (9.21.)$$

Температуранинг реакция тезлигига аниқ таъсири Аррениуснинг актив тўқнашишлар назариясида берилган. Бу назарияга мувофиқ ҳамма тўқнашишлар ҳам реакция содир бўлишига олиб келавермайди. Фақат *эффектив тўқнашувларгина* реакция содир бўлишига олиб келади.

Аррениус назариясининг математик ифодаси қуйидагича:

$$k = k_0 \cdot e^{-E/RT}. \quad (9.22.)$$

Концентрация температура ўзгариши билан деярли ўзгармаганлигидан кузатилган тезлик учун ҳам шундай тенглама олинади:

$$v = v_0 \cdot e^{-E/RT}. \quad (9.23.)$$

Бунда

$$v_0 = k_0 \cdot [A]^n \cdot [B]^m,$$

k_0 — экспоненциал (олдиндаги) катталиқ дейилади,

E — активланиш энергияси дейилади. Эффе́ктив тўқнашувда, яъни кимёвий реакция содир бўладиган тўқнашишда маълум минимум энергия ажралади. Бу энергия ажралиб чиқиши учун ўз навбатида реакцияга киришган моддалар ҳам маълум энергиядан кам бўлмаган энергияга эга бўлишлари керак. Эффе́ктив тўқнашиш содир бўлиши учун реакцияга киришувчи моддаларнинг дастлабки энергиясига қўшимча бериладиган энергия активланиш энергияси (E) бўлади.

(9.22.) тенглама T_1 ва T_2 температура учун ($T_2 > T_1$) логарифмланса:

$$\left. \begin{aligned} \lg k_1 &= \lg k_0 - \frac{E}{2,3R} \cdot \frac{1}{T_1}, \\ \lg k_2 &= \lg k_0 - \frac{E}{2,3R} \cdot \frac{1}{T_2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \lg \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{2,3R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (9.24.)$$

ёки

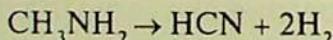
$$\lg \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \frac{E}{2,3R} \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{T_2 \cdot T_1} \quad (9.25.)$$

ва

$$E = \frac{2,3 \cdot R \cdot \lg \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}. \quad (9.26.)$$

9.5. Масалалар ечиш намунаси

1. 1 моль метиламиннинг водородсизланиш (дегидролаш) реакцияси:



913 К температурада олиб борилганда, қуйидагича натижа олинган:

t , с	50	100	138	150	200
x моль	0,224	0,395	0,420	0,53	0,032

Тезлик константаси қийматини (k), 250 секунддан сўнг метиламиннинг неча моли реакцияга киришганини, ярим ажралиш вақти (t) ва реакциянинг тартибини ҳисоблаб топинг.

Ечиш. Олинган натижаларни мономолекуляр реакциянинг тенгламаси (9.17.) га қўйиб чиқамиз:

$$t = 50 \text{ с} \quad k = \frac{2,3}{50} \lg \frac{1}{1-0,224} = 5,01 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 100 \text{ с} \quad k = \frac{2,3}{100} \lg \frac{1}{1-0,395} = 5,01 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 138 \text{ с} \quad k = \frac{2,3}{138} \lg \frac{1}{1-0,42} = 5,01 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 150 \text{ с} \quad k = \frac{2,3}{150} \lg \frac{1}{1-0,53} = 5,02 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 200 \text{ с} \quad k = \frac{2,3}{200} \lg \frac{1}{1-0,032} = 4,98 \cdot 10^{-3},$$

$$\text{ўртача } k = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}.$$

k нинг қийматини ҳар қайси вақт учун ҳисоблашдан кўра унинг қийматини график усул билан топса ҳам бўлади. Мономолекуляр реакция учун координатанинг абсцисса ўқиға вақтни (t), ордината ўқиға $\lg \frac{a}{a-x}$ қийматини қўйилса, тўғри чизик олинади. Бу чизикнинг абсцисса ўқиға букилган $2,3 \cdot \text{tg} \alpha$ [$\text{tg} \alpha = \frac{a}{b}$] бурчак k га тенг бўлади: $k = 2,3 \cdot \text{tg} \alpha$ (9.2-расм).

Бимолекуляр реакцияларда ҳам абсцисса ўқиға вақт (t^{-1}), ордината ўқиға $x/[a(a-x)]$ қийматларини қўйиб чиқилса, тўғри чизик олинади ва $k = 2,3 \cdot \text{tg} \alpha$ га тенг бўлади.

250 секунддан сўнг олинган модданинг қанчаси реакцияга киришганлигини аниқлаш учун (9.8.) тенгламадан фойдаланамиз:

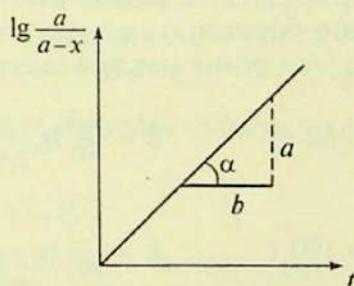
$$x = a(a - e^{-kt}) = 1(1 - e^{-5 \cdot 10^{-3} \cdot 250})$$

$$y = e^{-kt}; \lg y = -\frac{kt}{2,3} = -\frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 250}{2,3} = -0,544 = 1,456; y = 0,285$$

$$x = 1 \cdot (1 - 0,285) = 0,715 \text{ моль.}$$

Ярим ажралиш вақтини топиш учун (9.16.) тенгламадан фойдаланамиз:

$$\begin{aligned} t_{\frac{1}{2}} &= \frac{2,3 \cdot \lg 2}{k} = \frac{2,3 \cdot 0,3}{5 \cdot 10^{-3}} = \\ &= \frac{0,69}{5 \cdot 10^{-3}} = 138 \text{ с.} \end{aligned}$$



9.2-расм. Тезлик констатасининг вақт бўйича ўзгариши.

Реакция тартибини аниқлаш: тажрибада олинган натижаларни мономолекуляр (биринчи тартибли) реакциянинг кинетик тенгламаси (9.17.) га қўйиб чиққанда, тезлик константа (k) нинг ҳамма вақт бир хил қийматга эга бўлиши, яъни доимо тургун қолиши реакциянинг биринчи тартибли реакция эканлигини кўрсатади. Агар олинган натижаларни биомолекуляр реакциянинг (9.14.) кинетик тенгламасига қўйилса:

$$t = 50 \text{ с учун: } k = \frac{1}{50} \cdot \frac{0,224}{1 \cdot (1-0,224)} = 5,7 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 100 \text{ с учун: } k = \frac{1}{100} \cdot \frac{0,395}{1 \cdot (1-0,395)} = 6,5 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 200 \text{ с учун: } k = \frac{1}{200} \cdot \frac{0,632}{1 \cdot (1-0,632)} = 8,5 \cdot 10^{-3},$$

k – турлича қийматга эга, демак, реакция иккинчи тартибли эмас.

2. 1- мисолдаги реакциянинг тезлиги маҳсулотлардан бири бўлган водород босимининг ўзгаришини ўлчаш орқали кузатилган ва қуйидаги натижалар олинган:

$t, \text{ с}$	50	100	150	200
$p = 10^6 \text{ Н/м}^2$	0,665	1,16	1,56	1,86

298 К да тезлик константа қийматини ҳисобланг. Водород идеал газлар қонунига бўйсунди деб фараз қилинг.

Ечиш. Газ босими концентрацияга тўғри мутаносиб бўлганлигидан ($p = CRT$):

$$k = \frac{2,3}{t} \lg \frac{C_0}{C} = \frac{2,3}{t} \lg \frac{a}{a-x} = \frac{2,3}{t} \lg \frac{p_0}{p_0-p},$$

$p_0 = 2,94 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ реакцияга тўлиқ киришганда ҳосил бўлган водороднинг босими.

Водороднинг маълум вақтдаги босими учун k қуйидагига тенг:

$$t = 50 \text{ с } k = \frac{2,3}{50} \lg \frac{2,94 \cdot 10^6}{2,94 \cdot 10^6 - 0,665 \cdot 10^6} = 5,07 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 100 \text{ с } k = \frac{2,3}{100} \lg \frac{2,94 \cdot 10^6}{2,94 \cdot 10^6 - 1,16 \cdot 10^6} = 5,08 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 150 \text{ с } k = \frac{2,3}{150} \lg \frac{2,94 \cdot 10^6}{2,94 \cdot 10^6 - 1,56 \cdot 10^6} = 5,1 \cdot 10^{-3},$$

$$t = 200 \text{ с} \quad k = \frac{2,3}{200} \lg \frac{2,94 \cdot 10^6}{2,94 \cdot 10^6 - 1,86 \cdot 10^6} = 4,95 \cdot 10^{-3},$$

$$\text{ўртача } k = 5,1 \cdot 10^{-3},$$

демак, унинг қиймати турли вақтларда бир хил қийматга тенг бўлиши реакциянинг биринчи тартибли эканлигини билдиради.

3. 10 мл шавел кислотанинг ($C_2H_2O_4$) кислотали муҳитда ажралиш реакция кинетикаси ўрганилиб, $C_2H_2O_4$ нинг миқдори калий перманганат билан титрлаш бўйича $C_2H_2O_4$ нинг маълум вақт бирлигида қанча миқдори реакцияга киришганлиги аниқланган ва қуйидаги натижа олинган:

t , мин	0	120	240	420	60	900	1440
$V = 10^{-6} \text{ м}^3$ (10 см ³)	11,45	9,63	8,11	6,22	6,29	2,07	1,44

V — титрлаш учун кетган калий перманганат (мл/см³).

Реакциянинг ўртача тезлик константасини ва реакция тартибини топинг.

Ечиш. Агар реакция биринчи тартибли деб фараз қилинса, k қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланади:

$$k = \frac{2,3}{t} \lg \frac{C_0}{C} = \frac{2,3}{t} \lg \frac{a}{a-x}.$$

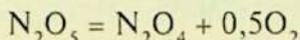
$t = 120$ минут учун:

$$k = \frac{2,3}{120} \lg \frac{11,45}{9,63} = 1,44 \cdot 10^{-3}.$$

Худди шундай бошқа вақтларда ҳам k учун қуйидаги қийматлар олинган: $0,44 \cdot 10^{-3}$; $1,44 \cdot 10^{-3}$; $1,45 \cdot 10^{-3}$; $1,45 \cdot 10^{-3}$; $1,45 \cdot 10^{-3}$; $1,40 \cdot 10^{-3}$.

Ўртача тезлик константа $k = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$. Ҳамма ҳолларда k нинг бир қийматга эга бўлиши, ҳақиқатан ҳам реакция биринчи тартибли эканлигини кўрсатади.

4. Газ фазада азот (N) оксид қуйидаги реакция бўйича парчаланди:



Бу биринчи тартибли реакция бўлиб, 273 К да тезлик константаси $7,9 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ га тенг. N_2O_5 нинг бошланғич босими $3,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ га тенг. Қанча вақтдан сўнг аралашма босими $3,405 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (3,36 атм) га етади?

Ечиш. Бунинг учун, аввало, қанча N_2O_5 ажралиши кераклигини билиш керак. Сўнг (9.5.) тенгламадан фойдаланиб керакли вақтни ҳисоблаш мумкин бўлади.

N_2O_5 тўла ажралганда аралашма босими 1,5 мартаба ошади (1 моль моддадан 1,5 моль модда ҳосил бўляпти). x моль N_2O_5 ажралганда босим $\frac{3,405 \cdot 10^5}{3,101 \cdot 10^5} = 1,12$ марта ошади.

Олинган N_2O_5 нинг x нисбати парчаланган босим $(1 + \frac{x}{2})$ қуйидагига тенг:

$$1 + \frac{x}{2} = 1,12 \text{ Н/м}^2, \text{ бундан } x = 0,24 \text{ Н/м}^2.$$

Демак, босим 1,12 мартаба ошиши учун, олинган N_2O_5 нинг 0,24 қисми реакцияга киришиши керак, дастлабки миқдорнинг 0,76 қисми реакцияга кирмайди. Бунга қанча вақт талаб қилиниши учун (9.5.) тенгламадан фойдаланамиз:

$$C = C_0 \cdot e^{-kt}.$$

Бизнинг мисолимизда $0,76 \cdot C_0 = C_0 \cdot e^{-kt}$ ва $e^{-kt} = 0,76$; $-kt = 2,3 \cdot \lg 0,76$ ва

$$t = \frac{2,3 \cdot \lg 0,76}{k} = \frac{2,3 \cdot 0,119}{7,9 \cdot 10^{-7}} = 3,46 \cdot 10^5 \text{ с (} \lg 0,76 = 1,881 = 0,119 \text{ с)}.$$

5. 289 К да сирка кислотанинг этил эфири (этилацетат) NaOH билан совунланган. Биринчи тажрибада 1 н этил-ацетатдан 1 м³ олиб, NaOH нинг 1 н эритмасидан 1 м³ олиб аралаштирилган, иккинчи тажрибада NaOH нинг 2 н эритмасидан 1 м³ олинган (ҳажм 2 мартаба катталашгани сабабли концентрация 2 марта камаяди). Қуйидаги натижага эришилган:

t , мин	2	5	7	10
a , кмоль	0,352	0,428	0,448	0,461

Тезлик константаси ва ярим ажралиш вақтини топинг.

Ечиш. а) Биринчи тажриба бўйича: иккала эритмадан 1 м³ олиб аралаштирилганда эритма ҳажми икки мартага кўпайиб 2 м³ бўлди, демак, иккала модданинг концентрацияси 0,5 н га тенг бўлди. Демак, (9.14.) тенгламага мувофиқ:

$$k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)}$$

$$t = 2 \text{ мин: } k = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,352}{0,5 \cdot (0,5 - 0,352)} = 2,38,$$

$$t = 5 \text{ мин: } k = \frac{1}{5} \cdot \frac{0,428}{0,5 \cdot (0,5 - 0,428)} = 2,38,$$

$$t = 7 \text{ мин: } k = \frac{1}{7} \cdot \frac{0,440}{0,5 \cdot (0,5 - 0,440)} = 2,42,$$

$$t = 10 \text{ мин: } k = \frac{1}{10} \cdot \frac{0,461}{0,5 \cdot (0,5 - 0,461)} = 2,37,$$

ўртача $k = 0,38 \text{ кмоль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$.

Ярим ажралиш вақти (9.17.) тенгламага мувофиқ:

$$k = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1}{2,38} \cdot \frac{1}{0,5} = 0,935 \text{ мин.}$$

Иккинчи тажрибада, ярим ажралиш вақтини (9.10.) тенгламадан фойдаланиб топамиз:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{2,3}{k} \cdot \frac{1}{a-b} \lg \frac{a(b-x)}{b(a-x)}.$$

Бу тажрибада эритма $C_{\text{хп}} = 0,5$, $C_{\text{NaOH}} = 1,0$ га тенг. Бу тажрибада моддаларнинг концентрацияси ҳар хил бўлган миқдор ярим вақтини (9.10.) тенгламадан фойдаланиб топилади. Бунда $C_x = 0,25$ га тенг. Бу қийматларни юқоридаги тенгламага қўйилса:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{2,3}{2,38} \cdot \frac{1}{1-0,5} \lg \frac{0,5(1-0,25)}{0,5(0,5-0,25)} = 3,5 \text{ мин.}$$

6. 298 К да $\text{КСЮ} + \text{КВг} \rightarrow \text{КВгО} + \text{КСІ}$ реакцияси NaOH иштирокида реакцияга киришган. Реакция бошида КСЮ нинг концентрацияси $C_1 = 0,003230$ н ва КВг нинг концентрацияси $C_2 = 0,002508$ н бўлган куйидаги натижа олинган:

t , мин	0	3,56	7,56	15,05	25,60	47,60	90,60
ВгО^- ион концентрация, 10^{-2} моль/л	0	0,560	0,0953	0,1420	0,18	0,2117	0,2360

Тезлик константаси ва реакция тартибини аниқланг.

Ечиш. $a = 0,003230$; $b = 0,002508$; $a - b = 0,00722$,

$$k = \frac{2,3}{t(a-b)} \lg \frac{b(a-x)}{a(b-x)} = 2,3 \cdot \frac{1}{0,00722} \lg \frac{0,002508(0,00323-0,0056)}{0,00323(0,002508-0,0056)} = 23,4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

Худди шундай бошқа вақтлар учун: $k = 23,42; 23,30; 23,52; 23,90; 23,80; 23,80 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$.

Демак, реакция иккинчи тартибли.

7. $C_1 = 0,01$ н этилацетат эритмасини, $C_2 = 0,002$ н NaOH нинг эритмаси билан 293 К да совунланганда 23 минутда этилацетатнинг 10% реакцияга киришган. Этилацетатнинг шу эритмаси 0,004 н NaOH билан совунланганда қанча вақтда этилацетатнинг 10%и реакцияга киришган?

Ечиш. Олинган моддаларнинг концентрацияси турлича бўлганлигидан (9.10.) тенгламадан фойдаланиб биринчи тажриба маълумотларидан фойдаланиб, k қийматини ҳисоблаб, сўнг ана шу тенгламадан фойдаланиб иккинчи тажриба учун вақтни топамиз: $C_1 = a$, $C_2 = b$ белгиласак:

$$k = \frac{2,3}{t} \cdot \frac{1}{a-b} \lg \frac{b(a-x)}{a(b-x)}$$

x қийматини мутаносиблик усули билан топамиз:

$$\left. \begin{array}{l} 0,01 \text{ — } 100\% \\ x \text{ — } 100\% \end{array} \right\} x = \frac{0,01 \cdot 10}{10} = 0,001.$$

Демак,

$$k = \frac{2,3}{23} \cdot \frac{1}{0,001-0,002} \cdot \lg \frac{0,002(0,01-0,001)}{0,01(0,002-0,001)} = 3,19$$

ва

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{2,3}{3,19} \cdot \frac{1}{0,01-0,004} \cdot \lg \frac{0,004(0,01-0,001)}{0,01(0,004-0,001)} = 95.$$

8. Реакциянинг температура коэффициенти $\gamma = 3,5$. 15 °С да тезлик константа 0,2 с га тенг. 40 °С да тезлик константа қанчага тенг?

Ечиш. Вант-Гофф қондасига мувофиқ (9.20.), (9.21.) тенглама:

$$\frac{k_{15+25}}{k_{15}} = \gamma^{\frac{25}{10}} = 3,5 \cdot \gamma^{2,5}; k_{40} = 3,5^{2,5}; k_{15} = 3,5 \cdot \gamma^{2,5} \cdot 0,2 = 4,6 \text{ с}^{-1}.$$

$$(y = 3,5^{2,5}, \lg y = 2,5 \cdot \lg 3,5 = 2,5 \cdot 0,544 = 1,36 \text{ ва } y = 23).$$

9. Реакциянинг тезлик константаси $T_1 = 300 \text{ К}$ да $0,02 \text{ с}^{-1}$ га, $T_2 = 350 \text{ К}$ да эса $0,6 \text{ с}^{-1}$ га тенг. Активланиш энергияси ва Аррениус тенгламасидаги экспоненциал (олдидаги) катталиқ нимага тенг?

Ечиш. а) Аррениус тенгламасига мувофиқ k_0 қийматини аниқлаш учун аввало E ни қийматини билиш керак бўлади. Шунга кўра олдин E ни, сўнг k_0 аниқланади.

б) Аррениус тенгламасидан (9.26.):

$$E = \frac{2,3 R \cdot \lg \frac{k_2}{k_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{2,3 \cdot 8,314 \cdot \lg \frac{0,6}{0,02}}{\frac{1}{300} - \frac{1}{350}} = 59400 \text{ Ж/кмоль} = 5,94 \text{ кЖ/кмоль}$$

ва $k_1 = k_0 \cdot e^{-E/RT}$ тенгламадан

$$\lg k_0 = \lg k_1 + \frac{E}{2,3RT} = \lg 0,02 + \frac{59400}{2,3 \cdot 8,314 \cdot 300} = 4,4 \cdot 10^3.$$

Масалалар

1. 30 °C да диэтил эфирнинг изобутил литий билан парчаланиш реакцияси ўрганилган, диэтил эфирнинг бошланғич концентрацияси 4,5 моль/л, изобутиллитийнинг 0,15 моль/л бўлган қуйидаги натижалар олинган:

t , соат	0	1	2	3	4	5	6
Изобутил-литий, моль/л.	0,15	0,132	0,120	0,108	0,097	0,090	0,075

Маълумотларни $\lg C_0/C^{-t}$ координатига қўйиб, графикдан реакциянинг тезлик константасини ва реакция тартибини топинг.

2. 37% ли формальдегиднинг сувли эритмасида ва 34,2 °C да ДНКнинг денатурация константаси ўрганилган. ДНКнинг бошланғич концентрацияси $2 \cdot 10^{-2}$ мг/см³ (молекула массаси $2,8 \cdot 10^6$ га тенг) бўлган қуйидаги натижалар олинади:

t — вақт, минут	0	1	3	5	7	10	12	14	17	20
Реакцияга киришмаган ДНКни нисбати, %.	100	94,4	74,4	61,0	48,1	37,5	23,4	22,5	17,5	12,5

Реакциянинг тезлик константаси ва реакция тартибини топинг.

3. Азот (IV) оксиднинг юқори температурада ажралиши текширилиб, қуйидаги натижа олинган:

Вақт, минут	0	20	40	60	80	100
$[\text{NO}_2] \cdot 10^4$ моль/л	17,8	10,6	7,1	5,4	4,6	4,0

Реакциянинг тезлик константасини ва реакция тартибини топинг. Жавобга асосланиб реакция тенгламасини ёзинг.

4. 0,01 н сирка кислотанинг этил эфири 0,002 н NaOH билан 23 секундда 10% совунланган. Шу концентрациядаги эфир 0,005 н NaOH билан қанча вақтдан сўнг 10% совунланади? Совунлаш реакцияси иккинчи тартибли реакция.

5. FeCl_2 ни KClO_3 билан оксидланиш реакцияси учинчи тартибли реакция. Реакцияга олинган моддаларнинг дастлабки концентрацияси $C_A = C_B = 0,2$ моль/л га тенг. Агар вақт минут ва концентрация моль/л билан ифода қилинса, тезлик константа тахминан 1 га тенг. Реакция бошлангандан қанча соат ўтгач, FeCl_2 концентрацияси икки баробар камаяди?

6. 583,2 К да $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$ реакциясида 30 минутдан сўнг босим $1,049 \cdot 10^5$ Па дан $0,924 \cdot 10^6$ Па ($10 \text{ Па} = 1,133 \cdot 10^2 \text{ атм}$) гача пасайган. Худди шу вақтда $0,714 \cdot 10^5$ Па дан $0,624 \cdot 10^5$ Па гача камайган ($V = \text{const}$). Реакциянинг тартибини топинг.

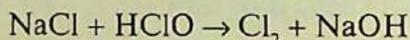
7. Азот (I) – оксидининг ажралиш реакцияси биринчи тартибли бўлиб, у қуйидагича: $\text{N}_2\text{O} = \text{N}_2 + \text{O}$.

Бу реакция 900 °С га борганда, қуйидаги натижалар олинган:

$t, \text{ с}$	900	1800	3900	4800	7200
Реакцияга киришган қисми, %	16,5	32	57	65	76

Ўргача тезлик константаси ва ярим ажралиш вақтини топинг.

8. NaCl билан гипохлорид (HClO) қуйидагича реакцияга киришган:

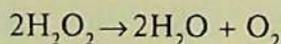


Бу реакция учун моддалар бир хил миқдорда (моль) ва лекин ҳар хил концентрацияда олиниб борилган. Тажрибада ярим ажралиш вақти ўлчанган ва қуйидаги натижалар олинган:

Моддаларнинг дастлабки концентрацияси, кмоль/м ³	0,1	0,05	0,03	0,02
Ярим ажралиш вақти, с	1,50	2,96	5,0	7,4

Реакциянинг тезлик константасини ва реакция тартибини топинг.

9. Водород пероксид сувда ажралади:

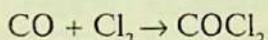


Реакциянинг кинетикаси бир миқдорда эритма олиб калий перманганат билан титрлаш бўйича кузатилган ва қуйидаги натижалар олинган:

Вақт, минут	0	5	10	15	20	30	40
2 см ³ намунани титр- лаш учун кетган 0,0015 КМnO ₄ миқдори, см ³	23,6	18,1	14,8	12,1	9,4	5,8	3,7

Реакциянинг ўртача тезлик константасини топинг.

10. CO ва Cl₂ баравар концентрацияда олиб 300 К да ($V = \text{const}$) реакцияга киришган:

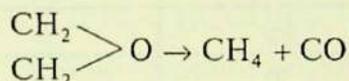


Вақт ўтиши билан системанинг босими қуйидагича камайган:

t , минут	0	5	10	15	21
$p \cdot 10^{-5}$ Па	0,963	0,900	0,829	0,779	0,735

Реакциянинг тартиби нечага тенг бўлади?

11. Этилен оксиднинг ажралиш реакцияси қуйидагича борган:

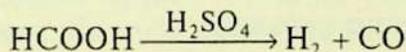


Реакция 687,7 К да ва тургун ҳажм ($V = \text{const}$) да олиб борилган-да системанинг босими вақт билан қуйидагича ўзгарган:

t , минут	0	4	7	9	12	18
$p \cdot 10^{-5}$ Па	0,153	0,163	0,168	0,172	0,178	0,188

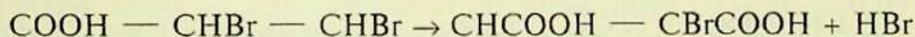
Тезлик константаси ва реакция тартибини топинг.

12. Чумоли кислота сульфат кислота мавжудлигида биринчи тартибли бўлиб, қуйидаги реакция бўйича ажралади:



Реакциянинг кинетикасини ажралаётган CO миқдорини (босими) ўлчаш орқали кузатишган. Чумоли кислотанинг бошланғич концентрацияси 0,02 кмоль/м³ бўлган. Ярим соатдан сўнг 5 м³ эритмадан 1,7 м³ газ ажралиб чиққан (нормал шароитга келтирилганда). Реакциянинг тезлик константасини топинг.

13. Дибромкаҳрабо кислота иситилганда қуйидаги реакция бўйича парчаланadi:

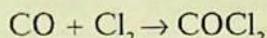


Эритма 1 н ишқор билан титрланганда, унинг титри вақт ўтиши билан қуйидагича ўзгарган:

Вақт, минут	0	5	10	15	20	30	40
2 см ³ намунани титр- лаш учун кетган 0,0015 КМnO ₄ миқдори, см ³	23,6	18,1	14,8	12,1	9,4	5,8	3,7

Реакциянинг ўртача тезлик константасини топинг.

10. CO ва Cl₂ барабар концентрацияда олиб 300 К да ($V = \text{const}$) реакцияга киришган:

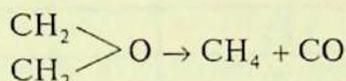


Вақт ўтиши билан системанинг босими қуйидагича камайган:

t , минут	0	5	10	15	21
$p \cdot 10^{-5}$ Па	0,963	0,900	0,829	0,779	0,735

Реакциянинг тартиби нечага тенг бўлади?

11. Этилен оксиднинг ажралиш реакцияси қуйидагича борган:

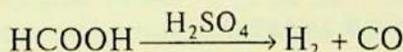


Реакция 687,7 К да ва турғун ҳажм ($V = \text{const}$) да олиб борилган-да системанинг босими вақт билан қуйидагича ўзгарган:

t , минут	0	4	7	9	12	18
$p \cdot 10^{-5}$ Па	0,153	0,163	0,168	0,172	0,178	0,188

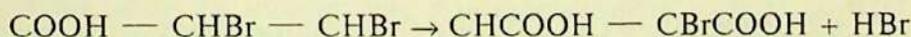
Тезлик константаси ва реакция тартибини топинг.

12. Чумоли кислота сульфат кислота мавжудлигида биринчи тартибли бўлиб, қуйидаги реакция бўйича ажралади:



Реакциянинг кинетикасини ажралаётган CO миқдорини (босими) ўлчаш орқали кузатилган. Чумоли кислотанинг бошланғич концентрацияси 0,02 кмоль/м³ бўлган. Ярим соатдан сўнг 5 м³ эритмадан 1,7 м³ газ ажралиб чиққан (нормал шароитга келтирилганда). Реакциянинг тезлик константасини топинг.

13. Дибромкаҳрабо кислота иситилганда қуйидаги реакция бўйича парчаланadi:



Эритма 1 н ишқор билан титрланганда, унинг титри вақт ўтиши билан қуйидагича ўзгарган:

Вақт, мин.	0	214	380
Ишқор, см ³	12,11	12,44	12,68

Реакциянинг тезлик константасини ва қанча вақтдан сўнг дибром-қахрабо кислотанинг 1/3 қисми ажралишини ҳисоблаб топинг.

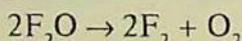
14. N ацетилглицерин метил эфирининг гидролизи 25 °С ва ишқор мавжудлигида ўрганилган. Тажрибада қуйидаги натижалар кузатилган:

Вақт, мин.	C · 10 ² , моль/л	Вақт, мин.	C · 10 ² , моль/л
0	8,80	0,9	3,55
0,1	7,96	0,0	3,20
0,2	7,23	1,1	2,85
0,3	6,52	1,2	2,60
0,4	5,87	1,3	2,40
0,5	5,75	1,4	2,20
0,6	1,85	1,5	1,95
0,7	4,30	1,6	1,7
0,8	4,00		

Реакциянинг тезлик константасини ва тартибини топинг.

15. Реакцияга киришадиган модданинг концентрацияси реакция бошлангандан 10 минут ўтганда концентрацияси икки баравар камайган. Концентрацияси олдингига қараганда 5 марта кўп бўлганда 24 секунддан сўнг икки мартаба камайган. Реакция тартибини топинг.

16. Фтор оксидининг ажралиши



Кинетик тенгламасини қуйидагича ифода қилиш мумкин:

$$V = k \cdot C_{F_2O}$$

Бу реакциянинг тезлик константаси $1,04 \cdot 10^{-4} \text{ Па}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ га тенг. Дастлабки система фақат F_2O дан иборат. Реакция бошида система (F_2O) нинг босими $0,667 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га тенг бўлган. Қанча вақтдан сўнг $0,933 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га етади?

17. $CH_2(COOH)_2 \rightarrow CH_3COOH + CO_2$ реакциясида босим ўзгаришидан фойдаланиб, тезлик константанинг ўртача қийматини ва реакция тартибини топинг.

Вақт, мин.	0	6,5	12,0	19,9
$p \cdot 10^{-3}$ Па	41,6	54,5	63,7	74,2

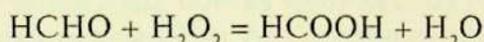
18. Реакция учун биомолекуляр реакцияда бошланғич моддаларнинг концентрацияси баравар $C_A = C_B$ олинган. 10 минут давомида бошланғич моддаларнинг 25%и реакцияга киришган. Моддаларнинг 50%и реакцияга киришуви учун қанча вақт керак бўлади?

19. Катализатор мавжудлигида 1373 К да аммонийни азот ва водородга ажралиш кинетикаси текширилган. Реакция бошида фақат аммиак бўлиб водород ва азот бўлмаган. Аммиакнинг ярим ажралиш вақти аммиакни бошланғич босимида қуйидагича боғлиқ бўлган:

p , мм Нг устуни	265	130	58
$t_{1/2}$, мин.	7,6	3,7	1,7

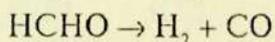
Тезлик константани ва реакция тартибини топинг.

20. Чумоли кислотанинг водород пероксид ва формальдегиддан ҳосил бўлиш реакцияси:



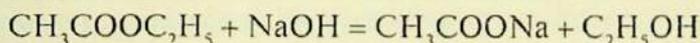
иккинчи тартибли реакция. Агар уларнинг моляр эритмасидан баравар ҳажмда олиб аралаштирилса, 332,2 К да 2 соатдан сўнг чумоли кислотанинг концентрацияси 0,215 моль/л га тенг бўлади. Тезлик константаси қанчага тенг ва дастлабки моддаларнинг 90%и реакцияга киришуви учун қанча вақт керак бўлади? Агар олдинги аралашмани 10 маротаба суюлтирилганда дастлабки моддаларнинг 90%и реакцияга киришуви учун қанча вақт керак бўлади?

21. Формальдегиднинг газ фазада ажралиш реакцияси



иккинчи тартибли реакция бўлиб, 783 К да тезлик константаси $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ Па}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$ га тенг. Реакция давомида босим $0,5 \cdot 10^5$ Па дан (соф формальдегиднинг босими) $0,75 \cdot 10^5$ Па гача ўзгарган. Агар босим $1,0 \cdot 10^5$ Па гача ўзгарса, биринчи тажрибадагидек миқдорда НСООН ажралиши учун қанча вақт керак бўлади?

22. Сирка кислота этил эфирининг совунлаш реакцияси



тезлик константаси $5,4 \text{ мин}^{-1} \cdot \text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$ га тенг. 10 минутда эфирнинг неча фоизи (%) реакцияга киришади?

1) Агар эфир ва ишқорнинг концентрацияси $C_A = C_B = 0,02$ моль/л; 2) ишқорнинг концентрацияси 0,02 моль/л, эфирнинг концентрацияси 0,01 моль/л бўлганда 10 минутда эфирнинг неча фоизи (%) реакцияга киришади?

23. Қуйидаги $\text{НСООН} + \text{СН}_3\text{ОН} = \text{НСООСН}_3 + \text{Н}_2\text{О}$ реакция буйича 23°С да мураккаб эфир олиш реакциясида тезлик константа $2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{кмоль} \cdot \text{с}$ га тенг. Реакция учун олинган моддаларнинг концентрацияси барабар бўлган, ярим ажралиш вақти — 400 с. Дастлабки моддаларнинг концентрацияси қанчага тенг?

24. $20,5^\circ\text{С}$ да $0,02 \text{ моль/л}$ этилацетат $0,02 \text{ моль/л}$ натрий ишқор билан совунланган. Реакцияга киришмаган ишқор миқдори титрлаб аниқланган.

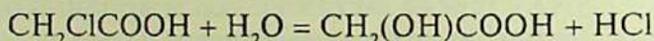
Олинган натижа қуйида келтирилган:

t , минут	0	5	15	23	35	55	120
ишқор кон- центрацияси, кмоль/м^3	0,02	0,0128	0,00766	0,0054	0,00426	0,00289	0,00158

Реакциянинг ўртача тезлик константаси қанча бўлади?

25. Диоксан ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) қиздирилганда ажралиш реакциясини кинетикаси текширилган. Икки хил бошланғич концентрациясида $1,075 \cdot 10^6$ ва $5,45 \cdot 10^5$ Па (800 ва 400 мм/симвоб устунлиги). Ярим ажралиш вақти мос равишда 13,9 ва 19 минут бўлган. Реакциянинг тартибини топинг.

26. 298 К да монохлорсирка кислота сув (жуда кўп миқдорда олинган) билан реакцияга киришган:

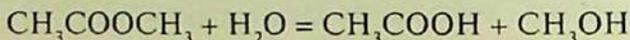


Реакция боришини эритмадан намуна олиб, ишқор билан титрлаш буйича кузатилган ва қуйидаги натижа олинган:

t , минут	0	600	780	2070
ишқор миқдори, см^3	12,9	15,8	16,4	20,5

Тезлик константаси ва реакциянинг тартибини топинг. Қанча вақтдан сўнг учала кислотанинг миқдори тенглашади?

27. Метилсирка эфири сувда қуйидаги реакция буйича гидролизланади:

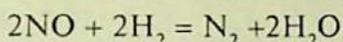


Реакциянинг боришини бир миқдорда намуна олиб, ишқор билан титрлаш орқали кузатилган ва қуйидаги натижа олинган:

t , минут	0	30	60	90	120	150
2 см^3 намунага кетган $0,05 \text{ н}$ ишқорнинг миқдори, см^3	12,70	13,81	16,73	15,52	18,80	20,22

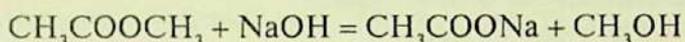
Ҳамма усуллар билан реакциянинг ўртача тезлик константасини топинг.

28. 298,2 °C да азот (II) оксиднинг водород билан қайтарилиши қуйидагича стехиометрик реакция бўйича боради:



Агар моддалар дастлаб эквивалент (баравар) $0,454 \cdot 10^5$ Па олинганда босим икки мартаба 102 секундда камайган. Агар $0,384 \cdot 10^5$ Па олинганда 140 секунддан сўнг босим икки мартаба камайган. Реакция тартибини ($V = \text{const}$) аниқланг.

29. 298,2 К да метилсирка эфири ишқор билан қуйидаги реакция бўйича совунланади:



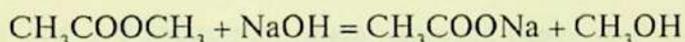
Реакция учун олинган модданинг концентрацияси бир хил бўлиб $C = 0,01$ г-эquiv/л га тенг.

Реакция боришини маълум миқдордаги аралашма (намуна)ни HCl билан титрлаш кузатилган.

t , минут	0	4,0	10,4	28,2
0,1 см ³ аралашмани титрлаш учун кетган 0,01М HCl нинг миқдори	61,95	50,59	42,40	29,31

Ўртача тезлик константасини ва реакция тартибини топинг.

30. 298,2 К да метилсирка эфири ишқор билан баравар миқдорда ($C = 0,01$ г/эquiv) совунланган:



Қуйидаги натижа олинган:

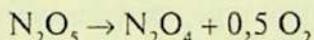
t , минут	3	5	7	10	15	25
$10^3 C_{\text{NaOH}}$ г-эquiv/л	7,40	6,34	5,5	4,64	3,63	2,54

Дастлаб моддалар баравар миқдорда олинган:

$$C_A = C_B = 0,01 \text{ г-эquiv/л.}$$

Ўртача тезлик константасининг қийматини ва реакция тартибини топинг.

31. Азот (V) оксид қуйидаги реакция бўйича ажралади:

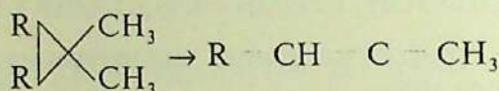


Реакциянинг бориши турфун ҳажмда ($V = \text{const}$) аралашманинг босимини ўлчаш орқали кузатилган ва 328,2 К да қуйидаги натижа олинган:

t , мин.	3	4	5	6	7	8	9	10
Босимнинг ошиши, 10^{-3} Па	8,7	12,7	15,3	18,1	20,1	22,4	24,4	26,3
t , мин.	12	14	16	18	22	26	30	38
Босимнинг ошиши, 10^{-3} Па	29,1	31,4	33,6	35,3	38,3	39,9	41,2	42,6

Тезлик константасининг қийматини, реакция тартибини ва ярим ажралиш вақтини топинг.

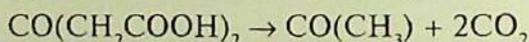
32. Циклопропани децикланиш



реакция температурасини 750 дан 800 К гача оширганда реакция тезлиги 14,5 марта ошди. Температура коэффициентини топинг.

33. α - глюкозани β - глюкозага ўтиш реакциясининг температура коэффициенти 273–328 К чегарасида 3,6 га тенг. Реакция тезлиги 25 марта ошиши учун температурани қанчага ошириш керак?

34. Ацетондикарбон кислотанинг ажралиш реакцияси:



биринчи тартибли реакция бўлиб, $T_1 = 273,2$ К да $k_1 = 2,46 \cdot 10^{-5}$ мин $^{-1}$, $T_2 = 313,2$ К да $k_2 = 5,76 \cdot 10^{-3}$ мин $^{-1}$ га тенг, $T_3 = 323,3$ К да кислотанинг 70% қанча вақтда реакцияга киришади?

35. $A \rightarrow B$ биринчи тартибли реакция бўлиб, $T_1 = 323,3$ К да ярим ажралиш вақти 100 минутга, $T_2 = 353,2$ К да эса 15 минутга тенг. Реакциянинг температура коэффициенти ва тезлик константасини ҳисоблаб топинг.

36. Сирка кислотанинг этил эфирини NaOH билан совунлаш реакциясининг тезлик константаси $T_1 = 282,2$ К да $k_1 = 2,37$ га, 287,3 К да $k_2 = 3,204$ га тенг. Қайси температурада $k_3 = 4$ га тенг бўлади?

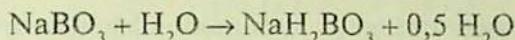
37. Эритмада 0,1 моль этилацетат ва 0,1 моль NaOH бор. 283,2 К да 15 минутда 10% эфир совунланган, 298,2 К да эса шу вақтда 20% эфир совунланган, 313,2 К да 5 минут давомидан неча фоиз эфир совунланади? Шу температураларда тезлик константаси қанчага тенг?

38. $T = 300$ К да температура коэффициенти 3,5 га тенг. Активланиш энергияси қанчага тенг?

Учхлорсирка кислотанинг карбонлаш реакциясининг активланиш энергияси 180 кЖ/молга тенг, 300 К да температура коэффициенти қанчага тенг бўлади?

39. Реакцияни 25 °С–75 °С да олиб борилганда тезлик константаси: а) 2 маротаба; б) уч маротаба; в) 5 маротаба; г) 10 маротаба ошган. Реакциянинг активланиш энергиясини топинг.

40. Натрий перборатнинг ажралиш реакцияси:



биринчи тартибли реакция. Реакциянинг тезлик константаси $T_1 = 303,2 \text{ К}$ да $k_1 = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ га}$, $T_2 = 308,2 \text{ К}$ да $k_2 = 4,1 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$ га тенг. Реакциянинг активланиш энергиясини топинг. $T_3 = 313,2 \text{ К}$ да перборатни 99,99%и қанча вақтдан ажралади?

41. Изопропил эфирнинг газ ҳолатда аллилацетонга ўтиш изомерланиш реакцияси биринчи тартибли реакция. Тезлик константаси (сек^{-1}) температура билан ўзгариш $k = 5,4 \cdot 10^{11} \cdot e^{-293/RT}$ тенгламаси билан ифодаланadi. Реакция бошида изопропил эфирнинг босими $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (760 мм.симв устуни) га тенг бўлган. $T = 423,2 \text{ К}$ да изопропил эфирнинг парциал босими қанча вақтдан сўнг $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$ (300 мм символ устуни)га тенг бўлади?

42. Реакция иккинчи тартибли бўлиб, $T_1 = 328,2 \text{ К}$ ва $T_2 = 298,2 \text{ К}$ да тезлик константа мос равишда $k_1 = 10^{-2}$ ва $10^{-3} \text{ мин}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{л}$ га тенг. Реакция учун иккала модда ҳам баравар концентрацияда $C_A = C_B = 0,01 \text{ моль/л}$ миқдорда олинган. 343,2 К да тезлик қанчага тенг бўлади?

43. Катализатор реакциянинг активланиш энергиясини 40 кЖ/молга камайтирган, реакция 300 К да олиб борилган, катализатор реакция тезлигини неча маротаба тезлатади?

Масалаларнинг жавоблари

1. $3,06 \cdot 10^{-5}$ соат; биринчи. 2. 0,103 мин⁻¹; биринчи. 3. $4,84 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1} \cdot \text{л}^{-1}$; иккинчи. 4. 7,36 мин. 5. 0,75 соат. 6. Биринчи. 7. $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$; $1,38 \cdot 10^{-3}$ мин. 8. 6,7 м³/моль·с; иккинчи, 9. 0,515 мин⁻¹. 10. Биринчи. 11. 0,0123 мин⁻¹; биринчи. 12. 1,24 соат⁻¹. 13. $2,65 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$; 1530 мин. 14. 0,017 см⁻¹; биринчи. 15. 2. 16. 0,0304 с. 17. $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1}$. 18. 30 мин. 19. $2,19 \cdot 10^{-6}$; иккинчи. 20. 7,54; 23,8 ва 231,5 соат. 21. 740; 370 с. 22. 51,5%, 23. 0,095 кмоль/м³. 24. 5,2 м³/кмоль·мин. 25. $n = 1,40$. 26. $4,19 \cdot 10^{-4} \text{ мин}^{-1}$, биринчи. 27. $5,31 \cdot 10^{-3} \text{ мин}^{-1} \cdot \text{гр-экв}^{-1} \cdot \text{л}$. 28. Учинчи, 29. Иккинчи; 2,35 мин⁻¹. 30. 11,6 мин⁻¹, иккинчи. 31. $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, биринчи, 460 с. 32. 1,7. 33. 25 К. 34. 65 минут. 35. 188; 4,68 мин⁻¹; 0,457 мин⁻¹. 36. 303 К. 37. 11,3%; $K_{283} = 7,05 \cdot 10^{-3}$; $K_{283,2} = 14,9 \cdot 10^{-3}$; $K_{313,8} = 29 \cdot 10^{-3}$. 38. 93,5 кЖ/моль; 96,5 кЖ/моль. 39. а) 51,4 кЖ/моль (12,5 ккал/моль); б) 83,3 кЖ/моль (19,9 ккал/моль); в) 124 кЖ/моль (1,6 ккал/моль). 40. $86 \cdot 10^3 \text{ Ж/моль}$, 1330 минут. 41. 1210 с. 42. $2,71 \cdot 10^{-6}$. 43. 10⁷ маротаба.

**Масалалар ечиш учун физик-кимёвий катталиклар
маълумотномаси**

1-жадвал

**Молекуланинг стандарт иссиқлик эффеќтини (ΔH_{298}^0) оддий
моддалардан ҳосил бўлиши**

S_{298}^0 – энтропиянинг стандарт қиймати;

C_p – моляр иссиқлик сифими:

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad \text{ва} \quad C_p = a + bT + cT^2 + d \cdot T^3$$

№	Модда номи	ΔH_{298}^0 $\frac{\text{кЖ}}{\text{моль}}$	S_{298}^0 $\frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$	Иссиқлик сифими			C_{p298}^0 $\frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$
				$\frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$			
				$C_p = \varphi(t)$ тенглама коэффициентлари			
a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-3}$					
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Оддий моддалар							
1.	Ag	0	42,69	23,97	5,28	-0,25	25,48
2.	Al	0	28,31	20,67	12,39	—	24,34
3.	Br ₂ (с)	0	152,3	—	—	—	75,71
4.	Br ₂ (г)	30,97	245,35	37,20	0,71	-1,19	36,0
5.	C (олмос)	4,897	2,38	9,12	13,22	-6,19	6,07
6.	C (гарфит)	0	5,74	17,15	4,27	-8,79	8,53
7.	Cd	0	51,76	22,22	12,30	—	25,90
8.	Cl (г)	121,3	165,09	23,14	-0,67	-0,96	21,84
9.	Cl ₂ (г)	0	223,0	36,96	1,65	-2,52	33,84
10.	Cu (к)	0	33,30	22,64	6,28	—	24,51
11.	H (г)	217,9	114,6	—	—	—	20,79
12.	H ₂ (г)	0	130,6	27,28	3,26	0,502	28,83
13.	Fe	0	27,15	19,25	21,0	—	25,23
14.	Hg (с)	0	76,1	—	—	—	27,82

1	2	3	4	5	6	7	8
15.	Hg (r)	60,83	174,9	—	—	—	20,79
16.	J ₂ (r) (κ)	0	116,73	40,12	49,70	—	36,9
17.	J ₂ (r)	62,24	260,58	37,40	0,59	-0,71	26,7
18.	N ₂ (r)	0	191,5	27,87	4,27	—	29,10
19.	O ₂ (r)	0	205,03	31,46	3,30	-0,377	21,90
20.	S (моноклиник)	0,30	32,55	14,00	29,08	—	23,61
21.	S (ромбик)	0	31,28	14,09	26,11	—	23,10
22.	Sn	0	51,4	18,43	26,36	—	20,36
23.	Zn	0	41,59	22,38	16,04	—	25,48
2. Анорганик моддалар							
24.	AgBr	-99,16	107,1	33,18	64,43	—	52,38
25.	AgCl	-126,8	96,67	62,26	4,18	-11,30	50,38
26.	AgI	-120,1	114,2	24,35	110,8	—	54,43
27.	Al ₂ O ₃	-167,5	50,94	114,56	12,19	-34,31	79,0
28.	Al ₂ (SO ₄) ₃	-343,4	239,2	366,3	62,6	-111,5	259,3
29.	CO (r)	-110,5	197,4	28,41	4,10	-0,46	29,15
30.	CO ₂ (r)	393,51	213,6	44,14	9,04	-8,53	37,13
31.	CaCO ₃	-120,5	92,9	104,5	21,02	-25,94	81,88
32.	CaO	-635,1	39,7	19,63	4,52	-6,95	42,80
33.	CdCl ₂	-389,0	115,3	61,25	40,17	—	71,32
34.	CdS	-144,3	71,0	54,0	3,8	—	55,2
35.	CuCl	-134,7	91,0	43,9	40,6	—	56,1
36.	CuCl ₂	-205,9	113	64,52	50,21	—	70,5
37.	CuO	-105,3	42,64	38,79	20,08	—	44,78
38.	FeO	-263,68	58,79	52,80	6,24	-3,19	48,12
39.	Fe ₂ O ₃	-821,32	86,96	97,74	72,13	-12,89	103,70
40.	HCl (r)	-92,30	186,70	28,53	4,60	1,09	29,19
41.	HJ	25,94	206,30	26,32	5,94	0,92	29,16

1	2	3	4	5	6	7	8
42.	H ₂ O (r)	-241,84	188,74	30,00	10,71	0,33	23,56
43.	H ₂ O (c)	-285,84	69,96	—	—	—	75,31
44.	H ₂ S	-20,15	205,64	29,37	15,40	—	33,93
45.	NH ₃ (r)	-46,19	192,50	29,80	25,48	-1,07	35,65
46.	NO	90,37	210,62	29,58	3,85	-0,59	29,83
47.	NO ₂	33,89	240,45	42,93	8,54	-0,74	37,11
48.	NiO	-92,88	67,36	38,30	53,56	—	54,68
49.	NiS	-689,1	97,1	125,9	41,38	—	136,2
50.	PbO	-217,86	67,4	37,87	20,78	—	45,86
51.	PbSO ₄	-918,1	147,8	45,56	129,70	17,57	104,3
52.	SO ₂	-296,9	248,1	42,55	12,55	-5,65	39,87
53.	SO ₂ Cl ₂ (c)	-389,1	217,2	—	—	—	131,8
54.	SO ₂ Cl ₂ (r)	-358,7	311,3	53,72	79,50	—	77,4
55.	SO ₃	-392,8	256,23	57,32	26,86	-13,66	50,63
56.	SnCl ₂ (κ)	-349,6	136,0	67,78	38,74	—	165,2
57.	PCl ₃ (r)	-277,0	311,7	80,12	3,1	-7,99	72,05
58.	PCl ₅ (r)	-369,45	362,9	129,5	2,92	-16,4	119,9
59.	ZnO	-349,0	43,5	48,99	5,10	-9,12	40,25

3. Органик моддалар

№	Модда номи	ΔH_{298}^0	S_{298}^0	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^6$	$d \cdot 10^9$	$C_{p,298}^0$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
60.	CH ₄ метан	-74,85	186,19	17,45	60,46	1,117	-7,20	35,79
61.	C ₂ H ₂ ацетилин	-226,85	210,8	23,48	85,77	-58,34	15,87	43,03
62.	C ₂ H ₄ этилен	52,28	219,4	4,196	154,59	-81,0	16,82	43,63
63.	C ₄ H ₁₀ бутан	-124,7	310	0,469	385,38	198,88	30,97	97,78
64.	C ₆ H ₆ бензол	82,93	369,2	33,90	471,87	-298,34	70,84	81,67
65.	C ₆ H ₅ CH ₃ (c) толуол	50,66	319	-33,88	55,70	-312,4	79,87	103,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
66.	$C_6H_5CH_3$ (г) толуол	8,08	219	—	—	—	—	160,0
67.	C_6H_{12} циклогексан	-123,8	298,2	-51,72	598,8	-230,0	—	106,3
68.	$C_6H_{13}CH_3$ (г) гептан	-187,82	428,3	5,02	633,70	-318,7	71,32	170,8
69.	$COOH_2$ шавел кислота	-820,8	120,1	—	—	—	—	103,0
70.	CH_3OH метил спирти	-277,6	160,7	—	—	—	—	111,4
71.	C_2H_5OH этил спирти	-235,5	282,4	12,07	212,7	-106,8	-21,9	73,6
72.	CH_3COOCH_3 диметил кетон	-409,5	269	—	—	—	—	170
73.	C_2H_5Br (г) этил бромид	-297	364,5	8,39	190,2	-67,33	—	58,5
74.	C_6H_5Cl (с) хлорид бензол	10,65	134	—	—	—	—	150,1
75.	C_6H_5Cl (г) хлорид бензол	52,13	313,2	-33,9	558,0	-445,9	139,0	97,1

Тёмкин–Шварцман усули билан термодинамик функцияларни
ҳисоблашдаги M_n қийматлари

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T(\Delta aM_0 + \Delta bM_1 + \Delta cM_2 + \Delta dM_3 + \Delta c^1M_{-2});$$

$$\Delta a \text{ (худди шундай } \Delta b, \Delta c, \Delta d, \Delta c^1) = \sum (n_i a)_{\text{макс}} - \sum (n_i a)_{\text{ласт}}$$

T	M_0	$M_1 \cdot 10^{-3}$	$M_2 \cdot 10^{-6}$	$M_{-2} \cdot 10^5$	$M_3 \cdot 10^{-9}$
300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000
400	0,0392	0,0130	0,0043	0,0364	0,00144
500	0,1133	0,0407	0,1490	0,0916	0,00553
600	0,1962	0,0759	0,0303	0,1423	0,01246
700	0,2794	0,1153	0,0498	0,1853	0,02257
800	0,3597	0,1574	0,0733	0,2213	0,03630
900	0,4361	0,2012	0,1004	0,2521	0,01411
1000	0,5088	0,2463	0,1134	0,2783	0,07647
1100	0,5765	0,2922	0,1652	0,2988	0,10388
1200	0,6410	0,3389	0,2029	0,3176	0,13681
1300	0,7019	0,3860	0,2440	0,3340	0,17577
1400	0,7595	0,4336	0,2886	0,3484	0,22124
1500	0,8141	0,4814	0,3362	0,3610	0,27373
1600	0,8665	0,5296	0,3877	0,3723	0,33373
1700	0,9162	0,5780	0,4424	0,3824	0,40174
1800	0,9635	0,6265	0,5005	0,3915	0,47830
1900	1,009	0,6752	0,5619	0,3998	0,56379
2000	1,053	0,7240	0,6265	0,4072	0,65882
2100	1,094	0,7730	0,6948	0,4140	0,76386
2200	1,134	0,8220	0,7662	0,4203	0,87940
2300	1,173	0,8711	0,8411	0,4260	1,00594
2400	1,210	0,9203	0,9192	0,4314	1,14399
2500	1,246	0,9696	1,0008	0,4363	1,29404
2600	1,280	1,0189	1,0856	0,4408	1,45660
2700	1,314	1,0683	1,1738	0,4451	1,63440
2800	1,346	1,1177	1,2654	0,4490	1,82120
2900	1,3775	1,1672	1,3603	0,4527	2,02343
3000	1,408	1,2166	1,4585	0,4562	2,24482

Стандарт (нормал) электрод потенциалларини 25 °С даги қийматлари

Электрод	Содир бўладиган реакциялар	Π_0 , вольт
Биринчи хил электродлар		
$\text{Li}^+ + e \rightarrow \text{Li}$		-3,045
Na^+, Na	$\text{Na}^+ + e \rightarrow \text{Na}$	-2,714
$\text{Mg}^{2+}, \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	-2,37
$\text{Al}^{3+}, \text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	-1,60
$\text{Zn}^{2+}, \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	-0,763
$\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	-0,140
$\text{Cd}^{2+}, \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	-0,403
Ti^+, Ti	$\text{Ti} + e \rightarrow \text{Ti}$	-0,336
$\text{Pb}^{2+}, \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$	-0,126
H^+, H	$\text{H}^+ + e \rightarrow 1/2 \cdot \text{H}_2$	0,000
$\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	+0,337
Cu^+, Cu	$\text{Cu}^+ + e \rightarrow \text{Cu}$	+0,521
$\text{Hg}^{2+}, \text{Hg}$	$1/2 \text{Hg}^{2+} + e \rightarrow \text{Hg}$	+0,708
Ag^+, Ag	$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	+0,799
$\text{Hg}_2^{2+}, \text{Hg}$	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e \rightarrow \text{Hg}$	+0,854
Анионни ҳисобидан ҳосил бўлувчи электродлар		
O_2, OH^-	$1/2 \cdot \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow 2\text{OH}^-$	+0,401
$\text{J}_2 (\text{к}), \text{J}^-$	$1/2 \cdot \text{J}_2 + e \rightarrow \text{J}^-$	+0,536
$\text{Br}_2 (\text{с}), \text{Br}^-$	$1/2 \cdot \text{Br}_2 + e \rightarrow \text{Br}^-$	+1,065
$\text{Cl}_2 (\text{г}), \text{Cl}^-$	$1/2 \cdot \text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Cl}^-$	+1,360
$\text{F}_2 (\text{г}), \text{F}^-$	$1/2 \cdot \text{F}_2 + e \rightarrow \text{F}^-$	2,87
Иккинчи тур электродлар		
$\text{Ti}, \text{TiJ}, \text{J}^-$	$\text{TiJ} + e \rightarrow \text{Ti} + \text{J}^-$	-0,753
$\text{Pb}, \text{PbO}, \text{OH}^-$	$\text{PbO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{Pb} + 2\text{OH}^-$	-0,578
$\text{Pb}, \text{PbSO}_4, \text{SO}_4^{2-}$	$\text{PbSO}_4 + 2e \rightarrow \text{PbSO}_4^{2-}$	-0,256
$\text{Ag}, \text{AgJ}, \text{J}^-$	$\text{AgJ} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{J}^-$	-0,152
$\text{Hg}, \text{HgBr}, \text{Br}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Br}_2 + e \rightarrow \text{Hg} + \text{Br}_2$	+0,140
$\text{Ag}, \text{AgCl}, \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+0,222
$\text{Hg}, \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Hg} + \text{Cl}^-$	+0,268
$\text{Hg}, \text{Hg}_2\text{SO}_4, \text{SO}_4^{2-}$	$\text{HgSO}_4 + 2e \rightarrow 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	+0,615

Оксидланиш-қайтарилиш реакциялари ҳисобидан ҳосил бўлувчи электродлар		
$\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}^+, (\text{Pt})$	$\text{Cu}^{2+} + e \rightarrow \text{Cu}^+$	+0,153
$\text{J}_2, \text{J}^-, (\text{Pt})$	$\text{J}_2 + 2e \rightarrow 2\text{J}^-$	+0,536
$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, (\text{Pt})$	$\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0,771
$\text{Ti}^{3+}, \text{Ti}^+, (\text{Pt})$	$\text{Ti}^{3+} + 2e \rightarrow \text{Ti}^+$	+1,25
$\text{H}^+, \text{PbO}_2, \text{Pb}^{2+} (\text{Pt})$	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,455

Фойдаланилган адабиётлар

1. Рустамов Х.Р. Физик кимё. Т., «Ўқитувчи», 2000 й.
2. Нуруллаев Ш., Икромов А., Рустамов Ҳ. Технологик жараёнларнинг физик-кимёвий асослари. Т., «Меҳнат», 2002 й.
3. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. М., «Высшая школа», 1973 г.
4. Захарченко В.Н. Сборник задач и упражнений по физической и коллоидной химии, 1978 г.
5. Флёров В.Н. Сборник задач по прикладной электрохимии. М., 1975 г.
6. Сборник задач по технической термодинамики и теплопередачи (под редакцией Юдаева Б.Н.), М., 1971 г.
7. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. М., Химия, 1975 г.
8. Киселёва Е.В., Каретников Г.С., Кудряшов И.В. «Сборник примеров и задач по физической химии». М., «Высшая школа», 1983 г.
9. Краткий справочник физико-химических величин (под редакцией Мищенко К.П.), Л., «Химия», 1967 г.

МУНДАРИЖА

КИРИШ	3
1963 йилгача амалда қўлланилган ўлчов системасини ҳозирги СИ системасига ўтказиш коэффицентлари	4
I Б О Б. ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ	6
1.1. Иссиқлик сифими	7
1.2. Термодинамик жараёнлар	8
1.3. Масалалар ечиш намунаси	14
Масалалар	22
Масалаларнинг жавоблари	25
1.4. Газ аралашмалари	25
1.5. Масалалар ечиш намунаси	27
1.6. Газлар аралашмасининг иссиқлик сифими	31
1.7. Масалалар ечиш намунаси	33
II Б О Б. ТЕРМОКИМЁ	42
2.1. Масалалар ечиш намунаси	44
Масалалар	47
Масалаларнинг жавоблари	52
III Б О Б. ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ	53
3.1. Жараёнларнинг синфланиши	53
3.2. Энтропия	54
3.3. Изотермик потенциаллар (F , G)	56
3.4. Масалалар ечиш намунаси	58
Масалалар	66
Масалаларнинг жавоблари	69
IV Б О Б. КИМЁВИЙ РЕАКЦИЯЛАР МУВОЗАНАТИ	70
4.1. Мувозанат константасини аниқлаш	71
4.2. Масалалар ечиш намунаси	73
Масалалар	80
Масалаларнинг жавоблари	87
V Б О Б. ЭРИТМАЛАР	88
5.1. Эритмалар турлари ва концентрация	88
5.2. Суюлтирилган эритмалар хоссаси. Сув буғи. Буғланиш жараёни ва буг турлари	89

5.3. Раул қонуни	90
5.4. Эритмаларнинг музлаш температураси	91
5.5. Эритмаларнинг қайнаш температураси	92
5.6. Эрувчанлик	92
5.7. Масалалар ечиш намунаси	94
Масалалар	103
Масалаларнинг жавоблари	107
VI Б О Б. ЭЛЕКТРОЛИТ ЭРИТМАЛАР	108
6.1. Электролит эритмаларнинг электр ўтказувчанлиги	110
6.2. Масалалар ечиш-намунаси	112
Масалалар	119
Масалаларнинг жавоблари	122
VII Б О Б. ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧ (ЭЮК) ВА ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЛАРИ	123
7.1. Гальваник элементлар	125
7.2. Масалалар ечиш намунаси	127
Масалалар	131
Масалаларнинг жавоблари	134
VIII Б О Б. ЭЛЕКТРОЛИЗ	135
8.1. Масалалар ечиш намунаси	136
Масалалар	142
Масалаларнинг жавоблари	144
IX Б О Б. КИМӨВИЙ РЕАКЦИЯЛАР КИНЕТИКАСИ. РАСМИЙ КИНЕТИКА	145
9.1. Реакцияларнинг синфланиши	146
9.2. Реакция тезлигига моддалар концентрациясининг таъсири	146
9.3. Реакциянинг тартибини аниқлаш	148
9.4. Реакция тезлигига температуранинг таъсири	149
9.5. Масалалар ечиш намунаси	150
Масалалар	157
Масалаларнинг жавоблари	165
Масалалар ечиш учун зарур бўлган физик-кимёвий катталар маълумотномаси	166
Фойдаланилган адабиётлар	172

Хусниддин Рустамович Рустамов
Шавкат Пайзиевич Нуруллаев

ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИНГ
ФИЗИК-КИМЁВИЙ АСОСЛАРИДАН
МАСАЛАЛАР ТЎПЛАМИ

*Касб-хунар коллежлари учун
ўқув қўлланма*

Тошкент «Ўқитувчи» 2002

Таҳририят мудири *М.Пўлатов*
Махсус муҳаррир *Ж.Одилов*
Муҳаррир *М.Одилова*
Муқова рассоми *М.Калинин*
Бадий муҳаррир *Ф.Некқадамбаев*
Кичик муҳаррир *Ҳ.Мусахўжаева*
Техник муҳаррирлар: *С.Турсунова, Т.Грешникова*
Мусахҳиҳ А.Иброҳимов
Компьютерда саҳифаловчи *Ш.Раҳимқориев*

ИБ №8120

Оригинал-макетдан босишга рухсат этилди 2.10.2002. Бичими 60×90¹/₁₆. Кегли 10 шпонли. Таймс гарн. Офсет босма усулида босилди. Босма т. 11.0. Шартли кр-отт. 11,25. Нашр. т. 9,8. 5000 нусхада босилди. Буюртма № 2041.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, 129. Навоий кўчаси, 30. Шарғнома № 09-97-02. Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлигининг 1-босмаҳонасида босилди. Тошкент, Сағбон кўчаси, 1-берк кўча, 2-уй, 2002.

