

669
115

QIZILQO'NG'IR RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

M. KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI
OLMALIQ FILIALI

S.A. ABDURAXMONOV, J.B. SUNNATOV,
SH.B. KARSHIBOYEV, N.E. AXMEDOVA



GIDROMETALLURGIYA JARAYONLARI NAZARIYASI

fanidan amaliy mashg'ulotlar uchun uslubiy ko'rsatma

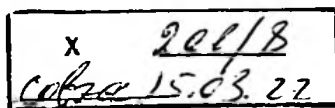
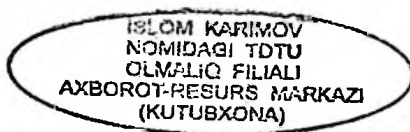
663
11
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI
OLMALIQ FILIALI

S.A. ABDURAXMONOV, J.B. SUNNATOV,
SH.B. KARSHIBOYEV, N.E. AXMEDOVA

GIDROMETALLURGIYA JARAYONLARI NAZARIYASI

fanidan amaliy mashg'ulotlar uchun uslubiy ko'rsatma



"Lesson Press"
Toshkent-2021

UO‘K: 669.053.4

KBK: 34.315

S.A. Abduraxmonov, J.B. Sunnatov, SH.B. Karshiboyev, N.E. Ahmedova

**Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg‘ulotlar uchun
uslubiy qo‘llanma. – T.: “Lesson Press” nashriyoti, 2021., 166 b.**

Uslubiy qo‘llanmada gidrometallurgiya jarayonlarining nazariy asoslariga tayangan holda bu jarayonlarda uchraydigan kimyoviy hamda termokimyoviy qonuniyatlar asosida amaliy mashg‘ulotlar ko‘rsatib o‘tilgan. Muhim gidrometallurgik jarayonlar: eritmalarda uchraydigan qonuniyatlar, moddalarning ionlarga parchalanishi, tanlab eritish jarayonlarining asosiy termodinamik ko‘rsatkichlari, Purbe diagrammalari tahlili va shu kabi boshqa jarayonlarning termodinamik tahlili keltirilgan. Asosiy va keng tarqalgan gidrometallurgik jarayonlarning mexanizmi va kinetikasining ajralib turadigan xossalari keltirilgan bo‘lib, jarayonlarni intensivlashtirishning asosiy yo‘llari bayon etilgan.

Qo‘llanma metallurgiya ta‘lim yo‘nalishi talabalariga uslubiy qo‘llanma sifatida tavsiya etilgan. Shu soha magistrarlari, kasb-hunar kollejlari talabalari va ilmiy-tekshirish hamda sanoat korxonalarida faoliyat yuritayotgan muhandis – texnik xodimlarga foydali bo‘lishi mumkin.

Taqrizchilar:

**A.S.Hasanov – “OKMK” AJ, Ilm-fan bo‘yicha
bosh muhandis o‘rinbosari, t.f.d., professor.**

A.U.Samadov – TDTU, Olmaliq filiali direktori, t.f.d., professor.

ISBN: 978-9943-7708-0-5 ©“Lesson Press” MCHJ nashriyoti, 2021 y.

1-amaliy mashg'ulot

Eritmalar haqida tushuncha va geterogen eritmalarda kechadigan qonuniyatlarni o'rganish

(2 soat)

Eritmalarning umumiy tavsifi va ularning ahamiyati. Ko'pchilik kimyoviy o'zgarishlar, shu jumladan, texnologik jarayonlar eritmalarda kechadi. Metallurgiyada rudalar tarkibini aniqlashda va ulardan metallarni ajratib olishda jarayonlar eritmalarda boradi. Shuningdek, o'simliklar o'g'itlarni eritma holida ildizi orqali o'zlashtiradi. Eritmalar – ikki yoki undan ortiq komponentdan iborat bo'lgan gomogen sistemalar. Eritmalar agregat holatiga qarab qattiq, suyuq, gazsimon holatlarda bo'ladi. Eritmalardan suyuq eritmalar katta ahamiyatga egadir. Suyuq eritmalardan, ayniqsa, suvli eritmalar ko'plab sohalarda qo'llaniladi. Eritmalarning hosil bo'lishi fizikaviy va kimyoviy nazariyalar orqali tushuntiriladi.

D.I.Mendeleyev moddalarning eritmalardagi holatni tekshirib, erish jarayonining kimyoviy xususiyati to'g'risidagi tushunchani rivojlantirdi. U eritmada erigan modda va erituvchidan iborat birikmalar hosil bo'ladi, degan xulosaga keldi. Bunday birikmalar *solvatlar* deb ataldi. Agar erituvchi sifatida suv bo'lsa, eritmada hosil bo'lgan birikmalar *gidratlar* deyiladi. D.I.Mendeleyevning gidratlar nazariyasi eritmalar haqidagi hozirgi zamon ta'limotining asosidir. Eritma bug'latilganda, ko'pincha suv bilan gidrat tarkibiga kirgan suv ham bug'lanib ketadi, ya'ni gidrat yemiriladi va erigan moddaning o'zi qoladi. Ba'zan esa gidrat shu qadar barqaror bo'ladiki, eritma bug'latilganda yoki konsentrlangan eritma sovitilganda faqat gidrat tarkibiga kirmagan suv bug'lanib, gidrat esa yemirilmaydi, u muayyan miqdor suv bilan bog'langan holda kristallanadi. Bunday kristallar *kristallgidratlar*, ularning tarkibidagi suv esa kristalli suv deb ataladi. Qattiq moddalar eriganda kristallar sirtqi qavatlaridan boshlab, asta-sekin yemiriladi.

Dispers sistemalar: emulsiya va suspenziyalar. Biri ikkinchisida juda mayda zarrachalar holida tarqalgan ikkita (va undan ortiq) moddadan iborat sistema *dispers sistema* deyiladi. Tarqalgan modda dispers faza, dispers faza tarqalgan modda esa dispersion muhit deyiladi.

Eritmalarda dispers faza (eritma tarqalgan modda) zarrachalarini ko'z yoki ultramikroskop yordamida ko'rish mumkin. Chm eritmalarni hosil qilgan zarrachalar diametri 1 nm ($1 \cdot 10^{-9}$ metr) dan ham kichikroq bo'ladi. Kolloid eritmalarda loyqa (suspenziya)lar zarrachalari diametri 100 nm kattaroq bo'lib, bu zarrachalar qisqa vaqt davomida eritma tag'iga cho'kishi mumkin (*dag'al dispers sistemalar*).

Ikkita bir-birida erimaydigan suyuq moddalar o'zaro maydalangan dispers holatdagi aralashma - *emulsiya* hosil qilishi mumkin (bunday sistemaga mayda yog' tomchilarining suvda tekis tarqalgan holati – sutni misol keltirish mumkin). Bunday dispers sistemalaridagi zarrachalarning diametri 100 nm katta bo'lishi mumkin.

Maydalangan qattiq modda suyuqlikda tarqalgan sistemalar *suspenziyalar* deyiladi. Masalan: bo'ning qattiq kukuni suvda chayqatilsa suspenziya bo'ladi.

Agar dispers sistemadagi zarrachalar 100 nm dan kamroq bo'lsa, ular *mayin dispers sistemalar* deb ataladi. Umuman olganda, diametri 1-100 nm oralig'idagi mayin dispers sistemalar turg'un bo'lib, o'lchami 100 nm dan kattaroq bo'lgan dag'al dispers sistemalar qisqa vaqtda o'z gomogenligini yo'qotishi mumkin.

Dispers sistemalarda agregat holatlari uch xil (gaz, suyuq yoki qattiq) bo'lib, ular o'zaro aralashganda to'qqiz xil sistemalar tashkil qiladi.

Dispers muhit va dispers fazaning qaysi agregat holatidan qat'i nazar dispers sistemalar uchta guruhga: *chin eritmalar*, *kolloid* va *dag'al dispers sistemalar*ga bo'linadi.

- *chin eritmalar*da dispers faza molekulyar yoki ion holdagi zarrachalardan iborat; o'lchamlari (kattaliklari) bir-biriga yaqin; ular uzoq vaqt davomida turg'un, dispers muhit va dispers faza bir-biridan ajralishi (tashqi muhit ta'siri bo'lmagan holatda) kuzatilmaydi; dispers faza zarrachalarining diametri 1 nm dan katta bo'lmaydi; zarrachalarni hatto ultramikroskop yordami bilan ham ko'rib bo'lmaydi; zarrachalar cho'kmaydi va barcha filtrlardan o'tib ketaveradi;

- *kolloid sistemalar*da dispers faza zarrachalari yuzlab, ba'zan molekula yoki ionlardan tashkil topgan bo'lishi mumkin; sistema bir jinsli bo'lsa ham dispers faza zarrachalari bilan dispers muhit orasida chegara mavjud; erigan moddalar zarrachalari 1-100 nm oralig'ida bo'lishi mumkin (polidisers xususiyat); uzoq vaqt davomida qiyinchilik bilan cho'kadi; zarrachalarni faqat ultramikroskop yordamida ko'rish mumkin; kichik teshikli ultrafiltrdan o'tmaydi; oddiy filtrdan o'tib ketadi;

- *dag'al dispers sistemalar*da dispers faza zarrachalari qisqa vaqt davomidagina turg'un, ular tezgina ikki fazali chegara hosil qiladi (loyqa cho'kishi, sutning qaymog'i, qatiqning ayroni ajralishi va shunga o'xshashlar); loyqa zarrachalarini oddiy ko'z bilan ham ko'rish mumkin; osogina cho'kadi, ba'zilari bir necha minutda cho'kadi; kolloid va dag'al dispers sistemalarida zarrachalar kattaligi har xil bo'lgan polidisers sistemalaridir. Kolloid zarracha musbat zaryadga ega bo'lishi ham mumkin.

Kolloid zarrachalar zaryadga ega bo'lishi tufayli ular bir-biridan itarishadi, bu esa ularning turg'un bo'lishiga sababdir. Kolloid kimyoning nazariy asoslari ko'pgina geologik jarayonlarni, tog' jinslarining hosil bo'lishi (genzisi), shamol

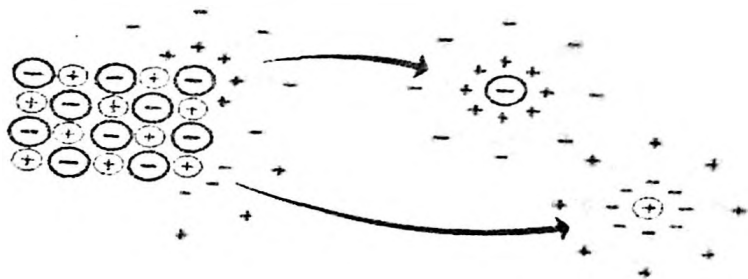
ta'sirida yemirilishi, loysimon jinslarning, balchiqlarning sedimentasion jarayonlarning kelib chiqishini tushuntiradi. Kolloid sistemalar haqidagi ilmiy tushunchalardan tuproq strukturalari va ulardan qishloq xo'jaligida unumdorlikni oshirishda (tuproqni eroziyadan saqlash), arozoallar haqidagi nazariy holatlar, hozirgi zamon atmosfera fizikasi, yog'inlar hosil bo'lish jarayonlarini boshqarish, tumanlarni tarqatish va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi.

Moddalarning erish issiqligi. Moddalar eriganda issiqlik yutiladi yoki ajralib chiqadi. *Bir mol modda eriganda yutiladigan yoki ajralib chiqadigan issiqlik miqdori shu moddaning erish issiqligi deb ataladi*

Qattiq moddalarning erish jarayoni ketma-ket ikki bosqichdan iborat bo'lib, bularning har birida issiqlik effekti sodir bo'ladi:

1. Erish jarayonida qattiq moddalarning kristall panjarasi parchalanadi. Buning uchun ma'lum energiya sarf qilish kerak, demak, bu jarayonda issiqlik yutiladi ($-Q_1$).

2. Ergan modda zarrachalarining erituvchi molekullari bilan o'zaro ta'siri (solvatlanish) natijasida issiqlik ajralib chiqadi ($+Q_2$).



1.1-rasm. Kristallarning suvda erish jarayoni.

Demak, erish issiqligi Q yuqorida aytib o'tilgan issiqlik effektlarining yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$Q = -Q_1 + Q_2$$

Erituvchi sifatida suv ishlatilsa, gidratlanish deyiladi. Gidratlanish paytida issiqlik chiqsa, qattiq moddaning erishi ekzotermik jarayon bo'ladi. Aksincha, agar gidratlanish natijasida chiqqan issiqlik kristall panjarani buzishga sarflangan issiqlikdan kam bo'lsa, bunday jarayon endotermik jarayon deyiladi. Termodinamika nuqtayi nazaridan biror modda boshqa ikkinchi moddada eriganda, shu jarayon ro'y berayotgan sistema uchun $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$ shart bajarilishi kerak. Suyuqlik yoki qattiq modda eriganda ularning zarrachalari "tartibli" holatdan, "tartibsiz" holatga o'tadi. Buning natijasida sistemaning

ma'lum bir tartibda joylanishi bilan xarakterlanadi. Zarrachalar o'z-o'zidan shu tariqa to'planguncha ancha vaqt o'tadi.

Qattiq, suyuq va gazsimon moddalarning suyuqliklarda eruvchanligi. Genri qonuni. Turli moddalarning bir erituvchida o'zida eruvchanligi turlicha bo'ladi. Qattiq jismning suyuqlikda eruvchanligi o'zgarmas bosimda harorat ortishi bilan ortadi. Masalan, suvda harorat ortishi bilan kaliyli selitra KNO_3 , qo'rg'oshin nitrat $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ va kumush nitrat AgNO_3 larning eruvchanligi ortadi. Harorat ortishi bilan osh tuzi NaCl ning eruvchanligi esa deyarli o'zgarmaydi.

Lekin qattiq modda eriganda issiqlik ajralsa, bu moddaning eruvchanligi harorat ortishi bilan kamayadi. Masalan, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ning eruvchanligi harorat ko'tarilishi bilan kamayadi.

Natriy sulfat $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ning eruvchanligi 32°C gacha ortib, keyin esa kamaya boshlaydi. Bunga sabab shuki, ayni haroratda (32°C da) tuzning tarkibi o'zgaradi. Bu haroratda natriy sulfat kristallizatsiya suvini yo'qotadi va Na_2SO_4 ga aylanadi.

Qattiq jismlarning suyuqlikda eruvchanligiga bosim nihoyatda kam ta'sir ko'rsatadi. Lekin nihoyatda katta bosim eruvchanlikni o'zgartirib yuboradi.

Suvda faqat qattiq moddalar va gazlarga emas, balki ko'pgina suyuqliklar ham eriydi. Moddalarning suyuqliklarda erishi uch xil bo'lishi mumkin:

1. Suyuqliklar o'zaro istalgan nisbatda aralashadi (masalan, suv bilan spirt, suv bilan glitserin, suv bilan vodorod peroksid, toluol va benzol);

2. Suyuqliklar o'zaro ma'lum chegaradagina aralashadi (masalan, suv bilan anilin, suv bilan efir, suv bilan fenol); harorat ko'tarilishi bilan suyuqliklarning bir-birida eruvchanligi ortadi.

3. Suyuqliklar o'zaro aralashmaydi (masalan, suv bilan yog', suv bilan simob, suv bilan benzol, suv bilan uglerod sulfid).

Suyuqlikning suyuqlikda erishi harorat ortishi bilan ortadi, lekin bosim o'zgarganda kam o'zgaradi.

Gazlarning suvda eruvchanligi har xildir. Ba'zi gazlar, masalan, vodorod va azot juda oz eriydi; vodorod xlorid va ammiak ancha yaxshi eriydi. Gazlarning suyuqliklarda erishi ekzotermik jarayon bo'lib, gazlarning eruvchanligi haroratning ko'tarilishi bilan, Le-Shatele prinsipiga muvofiq, muvozanat chap tomonga siljiydi va eruvchanlik kamayadi. Agar suv isitilsa, eruvchanlikning kamayishi sababli, gaz pufakchalari ajralib chiqib boshlaydi. Suvni qaynatib, undagi gazni butunlay chiqarib yuborish mumkin.

Quyidagi jadvalda ba'zi eruvchanligi (0°C haroratda va 760 mm simob ustuni bosimida 100 ml suvda erigan gazning hajmi, ml hisobida) keltirilgan:

Gazlarning suvda eruvchanligi

Gaz	Eruvchanlik, ml
H ₂	2,15
O ₂	4,89
N ₂	2,35
CO ₂	17,13
NH ₃	117600
HCl	52520
Havo	2,9

Harorat pasayganda esa, eruvchanlik ortadi. Gazning suyuqlikda eruvchanligi suyuqlik ustidagi gazning bosimiga bog'liq. Gazlarning eruvchanligi bosim o'zgarishi bilan keskin ravishda o'zgaradi. Bosimning ta'sir etish qonunini Genri (1803-yilda) kashf etdi.

Genri qonuniga muvofiq, *o'zgarmas haroratda ma'lum hajm suyuqlikda erigan gazning massasi shu gazning bosimiga to'g'ri proporsional bo'ladi.*

$$m=k \cdot P$$

Bu yerda: m - ma'lum hajm suyuqlikda erigan gazning massasi, R - gaz bosimi, k - proporsionallik koeffitsienti yoki Genri doimiysi.

Gazlar aralashmasi eritilganda har qaysi gaz mustaqil ravishda eriydi, ya'ni *bir gazning erishiga aralashmadagi boshqa gazlar hech qanday halal bermaydi, erigan gazning miqdori uning parsial bosimigagina proporsional bo'ladi (Genri-Dalton qonuni).* Genri va Dalton qonunlariga suyuqlik bilan kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan gazlarga (past bosimda) bo'ysunadi. 1 litr erituvchida 1^o haroratda va R bosimda eriydigan gaz hajmi *gazning eruvchanlik koeffitsienti* deyiladi. 0°C da 1 l suvda 0,048 l kislorod eriydi. Bosim 4 marta ko'tarilganda ham 1 l suvda shuncha kislorod eriyveradi, lekin bu hajmdagi gazning massasi boshlang'ich bosimdagiga qaraganda 4 marta ortiq bo'ladi. Harorat ko'tarilishi bilan gazning suyuqlikdagi eruvchanligi kamaya boradi, chunki gazning suyuqlikda erishi ko'pincha issiqlik chiqishi bilan sodir bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Eritma deganda nimani tushunasiz?
2. Kolloid eritmalarini chin eritmalaridan qanday farqi bor?
3. Gazsimon moddalarning suvda eruvchanligini oshirish maqsadida qanday chora tadbirlar ko'rilishi kerak?

2-amaliy mashg'ulot
Eritmalar konsentratsiyasini ifodalash usullari
(2 soat)

Eritmaning yoki erituvchining hajm yoki massa birligida erigan modda miqdoriga **konsentratsiya** deyiladi.

Eritmada erigan modda miqdori ko'p bo'lsa, bunday eritma konsentrlangan, oz bo'lsa, suyultirilgan eritma hisoblanadi. Konsentratsiyani ifodalashning bir necha usullari mavjud.

1. Eritgan modda massasining eritmaning umumiy massasiga nisbati erigan **moddaning massa ulushini** ko'rsatadi:

$$\omega = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\omega \% = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100$$

Bunda, ω — erigan moddaning massa ulushi; ω % — erigan moddaning % lardagi massa ulushi; m_1 — erigan modda massasi, g; m_2 — eritmaning massasi, g.

2. Bir litr eritmada erigan modda miqdoriga **molyar konsentratsiya** deyiladi:

$$C_m = \frac{n}{V} \qquad C_m = \frac{m}{M \cdot V}$$

Bunda, C_m — molyar konsentratsiya mol/l; m - erigan modda massasi, g; M - erigan modda molyar massasi, g/mol; n - erigan modda miqdori, mol.

0,5 M NaOH - bu ifoda molyar konsentratsiyasi 0,5 mol/l bo'lgan natriy gidroksid eritmasi ekanligini bildiradi.

3. Bir kilogramm erituvchida erigan modda miqdoriga **molyal konsentratsiyani** ifodalaydi:

$$C_m = \frac{m \cdot 1000}{M \cdot g}$$

Bunda, C - molyar konsentratsiya, mol/kg; m - erigan modda massasi, g; M - erigan modda molyar massasi, g/mol; g - erituvchi massasi, g.

4. Bir litr eritmada erigan modda ekvivalent miqdoriga **normal (ekvivalentning molyar) konsentratsiya** deyiladi:

$$C_n = \frac{m}{E \cdot V}$$

Bunda, S_n - erigan moddaning normal konsentrasiyasi yoki ekvivalentning molyar konsentrasiyasi;

E - erigan moddaning ekvivalent massasi, g/mol.

0,5 n H_2SO_4 - bu ibora bir litrda 0,5 ekvivalent miqdor (24,5g) H_2SO_4 bo'lgan eritmani ifodalaydi.

5. Ergan moddaning molyar ulushi deb, erigan modda miqdorining eritmadagi barcha moddalar miqdorlari yig'indisiga nisbatiga aytiladi. Molyar ulush quyidagicha aniqlanadi:

$$N = \frac{n}{n + n_0} \quad N_0 = \frac{n_0}{n + n_0}$$

Bunda, N - erigan modda molyar ulushi; N_0 - erituvchining molyar ulushi, n - erigan modda miqdori, mol; n_0 - erituvchi miqdori, mol.

6. Bir millilitr eritmada erigan modda milligrammlar soniga **titr** deyiladi:

$$T = \frac{C_m \cdot M}{1000} \quad T = \frac{C_n \cdot M}{1000}$$

Eritmaning hajmi, zichligi va massasi quyidagicha o'zaro bog'liq:

$$m = \rho \cdot V$$

Bunda, m — eritma massasi, g; V — eritma hajmi, ml; ρ — eritma zichligi, g/ml.

Agar eritmaning zichligi, massa ulushi ma'lum bo'lsa, uning konsentrasiyalarini quyidagi formulalar yordamida aniqlash mumkin.

$$C_m = \frac{w\% \cdot \rho \cdot 10}{M} ; \quad C_n = \frac{w\% \cdot \rho \cdot 10}{E} ; \quad C_m = \frac{w\% \cdot \rho \cdot 1000}{M(100 - w\%)}$$

Mavzu bo'yicha namunaviy masalalar yechish

Quyida test shaklida berilgan masalalarni yechish usullari, to'g'ri javoblarni topishda e'tibor berish kerak bo'lgan holatlar tushuntirilib, shularga o'xshash masalalardan namunalar keltirilgan.

1-misol. 9,3 g ishqoriy metall oksidi 200 g suvda eritilganda hosil bo'lgan birikmaning massa ulushi 5,73% ni tashkil qilsa, oksid tarkibidagi metallni toping.

- A) Kaliy B) Litliy C) Seziy D) Natriy

Yechish: Bizga ma'lumki, ishqoriy metall oksidi suvda eritilganda, tegishli asoslar hosil bo'ladi. Bundan tashqari, ishqoriy metallar I-gruppaning asosiy gruppacha elementlari bo'lib, ular I valentli aktiv metallardir. SHu ma'lumotlar asosida masalani quyidagicha ishlash mumkin bo'ladi:

1. Hosil bo'lgan eritmaning massasini topaniz;

$$m(\text{eritma}) = m(\text{ishqoriy metall oksidi}) + m(\text{suv}) = 9,3 \text{ g} + 200 \text{ g} = 209,3 \text{ g}$$

2. Umumiy reaksiya tenglamasini tuzamiz (bunda ishqoriy metall umumiy formulasidan foydalaniladi):



3. Reaksiya tenglamasiga muvofiq jarayonda asos hosil bo'lib, masala shartida berilgan 5,73 % shu moddaning ulushidir. Bundan foydalanib, uning massasini quyidagicha topish mumkin bo'ladi:

$$m(\text{MeOH}) = m(\text{eritma}) \cdot 0,0573 = 209,3 \cdot 0,0573 = 11,99289 \text{ g}$$

4. Reaksiyaning umumiy tenglamasidan foydalanib, jarayonda gaz modda yoki cho'kma moddalarning (eritma massasini kamaytirmaydigan holatlar) hosil bo'lganligi hamda reaksiyada bizga ma'lum suvdan foydalanib, masalani quyidagicha ishlaymiz:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{MeOH}) - m(\text{Me}_2\text{O}) = 11,99289 - 9,3 = 2,69289 \text{ g}$$



$$9,3 \text{ g} \text{ ----- } 2,69289 \text{ g}$$

$$x \text{ g} \text{ ----- } 18 \text{ g} \quad x = 62,163697 \text{ g}$$

5. Demak, Me_2O ning molyar massasi 62,163697 g bo'lsa, undan noma'lum elementni quyidagicha topish mumkin:

$$m(\text{Me}_2) = m(\text{Me}_2\text{O}) - m(\text{O}) = 62,163697 - 16 = 46,163697$$

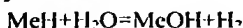
$$\text{Me} = 46,163697 : 2 = 23,08 \text{ g, } \text{Ar}(\text{Na}) = 23 \quad \textbf{Javob: D.}$$

2-misol. Ishqoriy metall gidridi 66,2 g suvda eritilganda 0,2 g gaz modda ajralib, 8% li eritma hosil bo'ldi. Metallni toping.

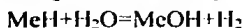
- A) Natriy B) Kaliy C) Litliy D) Seziy

Yechish: Ishqoriy metall gidridi suvda eritilganda tegishli asos hamda vodorod gazini hosil qilishini bilamiz. Ammo bu masalada metall gidridining miqdori (g) berilmagan. Bunday masalalarni quyidagicha yechamiz:

1. Reaksiya tenglamasining umumiy tenglamasini (ishqoriy metallning bir valentli ekanligiga asoslanib) yozamiz:



2. Masalani quyidagicha tenglama tuzish orqali ishlaymiz:



$$x+1 \text{ ----- } x+17 \text{ ----- } 1 \text{ mol}$$

$$(x+1) \cdot 0,1 \text{ ----- } (x+17) \cdot 0,1 \text{ ----- } 0,1 \text{ mol (0.2 g vodorod miqdori)}$$

$$\text{ya'ni } \frac{(x+17)0,1}{66,2 + (x+1)0,1} \times 100\% = 8$$

$x=39$, demak, bu metall – kaliy.

Javob: B

3-misol. 24,3% li 70 g kumush nitrat eritmasiga tarkibida ekvivalent miqdorda natriy galogenid bo'lgan 80 g eritma qo'shildi. Cho'kma ajratilgandan so'ng 6,48% li eritma hosil bo'ldi. Reaksiyada qaysi tuzning eritmasi ishlatilgan?

A) NaBr B) NaCl C) NaF D) NaI

Yechish: Bu masalani ham yuqoridagi singari tenglama tuzish orqali ishlaymiz.

1. Reaksiya tenglamasini tuzamiz:



2. $m(\text{AgNO}_3) = 70 \cdot 0,243 = 17,01 \text{ g (0.1 mol)}$ reaksiya tenglamasiga muvofiq, 0,1 moldan AgG hamda NaNO_3 hosil bo'lgan. Shu ma'lumotlar asosida tenglama tuzish orqali masalani ishlaymiz:

$$170 \text{ (1 mol)} \text{ ---- } 108+x \text{ ---- } 85 \quad (x\text{-galogen massasi})$$

$$17 \text{ (0,1 mol)} \text{ ---- } (108+x)0,1 \text{ ---- } 8,5$$

$$\text{Bundan } \frac{8,5}{70 + 80 - (108+x)0,1} \times 100\% = 6,48 \quad x=80, \text{ demak bu galogen}$$

brom. **Javob:** A

4-misol. 30 g texnik rux namunasi bromid kislota eritmasining mol miqdori bilan ishlanganda 8,96 l (n.sh.) gaz ajralib chiqdi. Namunadagi ruxning massa ulushini toping.

Berilgan:

3. Zichligi $1,35 \text{ g/sm}^3$ bo'lgan sulfat kislota eritmasini tayyorlash. Hisobotni kross usulida olib borish.

4. 25 % li eritmada 200 g tayyorlash uchun 10 % li va 50 % li eritmalaridan qanchadan miqdonda aralashtirish kerak?

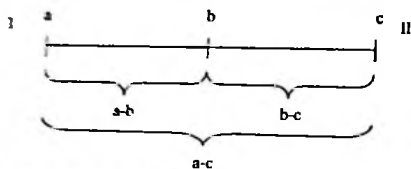
4-amaliy mashg'ulot

Eritma konsentratsiyasini "To'g'ri chiziq" qoidasi yordamida hisoblash (2 soat)

To'g'ri chiziq qoidasini quyidagi misolda ko'rib chiqamiz:

1-masala. 95% li sulfat kislota 5 qismi (I) 62% li sulfat kislota 6 qismi (II) bilan aralashtirilgan. Hosil bo'lgan aralashmada sulfat kislota konsentratsiyasini aniqlash kerak.

Yechish: To'g'ri chiziq qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:



To'g'ri chiziq qoidasining quyidagi sharti mavjud:

$$(a - b) + (b - c) = a - c \quad (1)$$

Berilgan ko'rsatkichlarni to'g'ri chiziq sxemasiga qo'yamiz:



Quyidagi tenglama tuzamiz:

1-shartga asoslangan holda

$$6n + 5n = 95 - 62$$

$$11n = 33$$

$$n = 3$$

Demak: $x = 62 + 5 \cdot n = 77$ yoki $x = 95 - 6 \cdot 3 = 77$.

Javob: Shunday qilib 77 % kislota eritmasi hosil bo'ladi.

Olingan natijaning to'g'riligini tekshirish uchun berilgan vazifa bo'yicha hosil bo'lgan sulfat kislota eritmasining konsentratsiyasini boshqa usulda hisoblaymiz:

5 qism 95 % li sulfat kislota eritmasida sulfat toza sulfat kislolaning qismi

$$5 \cdot 95 : 100 = 4,75 \text{ qism}$$

6 qism 62 % li sulfat kislota eritmasida toza sulfat kislolaning qismi

$$6 \cdot 62 : 100 = 3,72 \text{ qism}$$

Aralashtirish natijasida hosil bo'lgan aralashmaning umumiy qismi $5 + 6 = 11$ ga teng.

Hosil bo'lgan 11 qism sulfat kislota eritmasida toza sulfat kislota qismining miqdori

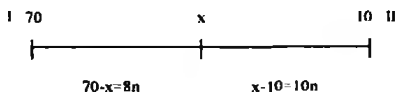
$$4,75 + 3,72 = 8,47$$

Shunday qilib, hosil bo'lgan eritmada sulfat kislolaning konsentratsiyasi

$$8,47 : 11 \cdot 100\% = 77\%$$

2-masala. 10 qism 70 % li NaCl eritmasiga 8 qism 10 % li NaCl eritmasi aralashtirildi. Hosil bo'lgan eritmaning foiz konsentratsiyasini toping.

Yechish: To'g'ri chiziq qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:
Berilgan ko'rsatkichlarni to'g'ri chiziq sxemasiga qo'yamiz:



(I) shartga asoslangan holda quyidagi tenglama tuzamiz:

$$8n + 10n = 70 - 10$$

$$18n = 60$$

$$n = 3,33$$

Demak, $x = 70 - 8 \cdot n = 70 - 8 \cdot 3,33 = 43,37$

Javob: 43,37 %

3-masala. 6 qism 15 % li KCl eritmasiga 75 % li eritmada necha qism qo'shilsa, 55 % li eritma hosil bo'ladi? Masalani to'g'ri chiziq usuli bilan yeching.

Yechish: To'g'ri chiziq qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:
Berilgan ko'rsatkichlarni to'g'ri chiziq sxemasiga qo'yamiz:

3. Zichligi $1,35 \text{ g/sm}^3$ bo'lgan sulfat kislota eritmasini tayyorlash. Hisobotni krest usulida olib borish.

4. 25 % li eritmadan 200 g tayyorlash uchun 10 % li va 50 % li eritmalaridan qanchadan miqdorda aralashtirish kerak?

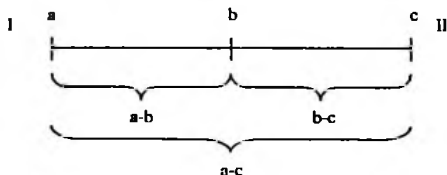
4-amaliy mashg'ulot

Eritma konsentratsiyasini "To'g'ri chiziqli" qoidasi yordamida hisoblash
(2 soat)

To'g'ri chiziqli qoidasini quyidagi misolda ko'rib chiqamiz:

1-masala. 95% li sulfat kislota 5 qismi (I) 62% li sulfat kislota 6 qismi (II) bilan aralashtirilgan. Hosil bo'lgan aralashmada sulfat kislota konsentratsiyasini aniqlash kerak.

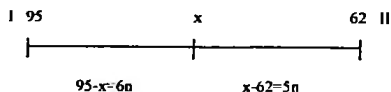
Yechish: To'g'ri chiziqli qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:



To'g'ri chiziqli qoidasining quyidagi sharti mavjud:

$$(a - b) + (b - c) = a - c \quad (1)$$

Berilgan ko'rsatkichlarni to'g'ri chiziqli sxemasiga qo'yamiz:



1-shartga asoslangan holda quyidagi tenglama tuzamiz:

$$6n + 5n = 95 - 62$$

$$11n = 33$$

$$n = 3$$

Demak: $x = 62 + 5 \cdot n = 77$ yoki $x = 95 - 6 \cdot 3 = 77$.

Javob: Shunday qilib 77 % kislota eritmasi hosil bo'ladi.

Olingan natijaning to'g'riligini tekshirish uchun berilgan vazifa bo'yicha hosil bo'lgan sulfat kislota eritmasining konsentratsiyasini boshqa usulda hisoblaymiz:

5 qism 95 % li sulfat kislota eritmasida sulfat toza sulfat kislota qismi
 $5 \cdot 95 : 100 = 4,75$ qism

6 qism 62 % li sulfat kislota eritmasida toza sulfat kislota qismi
 $6 \cdot 62 : 100 = 3,72$ qism

Aralashtirish natijasida hosil bo'lgan aralashmaning umumiy qismi $5 + 6 = 11$ ga teng.

Hosil bo'lgan 11 qism sulfat kislota eritmasida toza sulfat kislota qismining miqdori

$$4,75 + 3,72 = 8,47$$

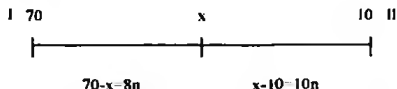
Shunday qilib, hosil bo'lgan eritmada sulfat kislota konsentratsiyasi

$$8,47 : 11 \cdot 100\% = 77\%$$

2-masala. 10 qism 70 % li NaCl eritmasiga 8 qism 10 % li NaCl eritmasi aralashtirildi. Hosil bo'lgan eritmaning foiz konsentratsiyasini toping.

Yechish: To'g'ri chiziq qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:

Berilgan ko'rsatkichlarni to'g'ri chiziq sxemasiga qo'yamiz:



(1) shartga asoslangan holda quyidagi tenglama tuzamiz:

$$8n + 10n = 70 - 10$$

$$18n = 60$$

$$n = 3,33$$

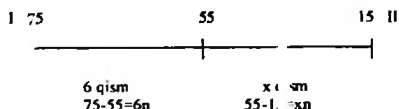
Demak, $x = 70 - 8 \cdot n = 70 - 8 \cdot 3,33 = 43,37$

Javob: 43,37 %

3-masala. 6 qism 15 % li KCl eritmasiga 75 % li eritmada necha qism qo'shilsa, 55 % li eritma hosil bo'ladi? Masalani to'g'ri chiziq usuli bilan yeching.

Yechish: To'g'ri chiziq qoidasini quyidagi sxema orqali ifodalash mumkin:

Berilgan ko'rsatkichlarni to'g'ri chiziq sxemasiga qo'yamiz:



Bu da dastlab 1-tenglamadagi n topiladi, so'ng n ning qiymati 2-tenglamaga qo'yilib x ning qiymati topiladi:

1-tenglama:

$$75 - 55 = 6n$$

$$20 = 6n$$

$$n = 20 : 6$$

$$n = 3,33$$

2-tenglama:

$$55 - 15 = xn$$

$$40 = xn \quad (n = 3,33 \text{ bo'lsa})$$

$$40 = x \cdot 3,33$$

$$x = 40 : 3,33$$

$$x = 12$$

Javob: 12 qism.

Nazorat savollari:

1. 10% li nitrat kislotaning 6 qismi (I) 50 % li nitrat kislotaning 8 qismi (II) bilan aralashtirilgan. Hosil bo'lgan aralashmada nitrat kislotaning konsentratsiyasini aniqlang.

2. 1 qism 60 % li osh tuzi eritmasiga 3 qism 40 % li osh tuzi eritmasi aralashtirildi. Hosil bo'lgan eritma ning foiz konsentratsiyasini toping.

3. 1 qism 80 % li KCl eritmasiga 20 % li KCl eritmasidan necha qism qo'shilsa, 40 % li eritma hosil bo'ladi? Masalani to'g'ri chiziqli usuli bilan yeching.

5-amaliy mashg'ulot
Eritma konsentratsiyasini "Matematik model" usuli yordamida
hisoblash
(2 soat)

Mashhur fransuz matematigi aytganidek, "Matematika – barcha fanlar qirolichasi". U hayotimizning barcha jabhalarida namoyon bo'lmoqda, jumladan, metallurgik jarayonlarda ham. Xohlagan tabiiy fanlarning asosida matematik qonunlar va hisoblar yotadi. Oddiy matematik hisoblarni bilmasdan turib, hech qachon jarayonga to'g'ri yondashib bo'lmaydi. Matematik bilimlar kimyoning, fizikaning va shu jumladan, gidrometallurgik jarayonlarning muammo va masalalarini yechishda asosiy poydevor bo'lib xizmat qiladi. Mazkur amaliy mashg'ulotda taqdim etilayotgan usul eritmalar tayyorlashda va metall qotishmalarini tayyorlashda juda ham tez va oson topish imkoniyatini beradi.

Mavzuning dolzarbligi: Hozirgi kunda metallurgik jarayonlarda oqib o'tadigan kimyoviy reaksiyalarni umumlashtirishda va shu jarayonlar uchun sarflanadigan reagentlarning sarfini topishda bir necha xil tenglamalardan foydalaniladi. Bu esa mutaxasssni mazkur tenglamalarni yechish uchun sarflanadigan vaqtini orttiradi. Bundan kelib chiqadiki, masala va muammolarning yechimini topishda jarayon uchun yagona matematik tenglama talab etiladi. O'ylab topilgan tenglamada noma'lumlarning kam bo'lishi tenglamaning yechilishini osonlashtiradi. Aynan bir turdagi masalalarni yechish uchun bitta matematik ifoda tuzilsa, uni hatto kompyuterda dasturlab noma'lumga kerakli qiymatlarni berish orqali juda tez natijani bilish ham mumkin.

Modellashtirish. Ishlab chiqarishga tatbiq qilinadigan masalalar bilan ish ko'rish boshqacha bo'ladi. Ularda bevosita real "nomatematik" obyekt beriladi: tabiat hodisalari, ishlab chiqarish jarayonlari, konstruksiyalar, boshqarish sistemalari, iqtisodiy rejalar va hokazo. Tekshirish (tadqiqot) obyektni formallashtirishdan, mos matematik obyektni qurishdan boshlanadi: uning eng muhim alomat va xossalari ajratiladi hamda matematik tenglamalar yordamida tavsiflanadi. Faqat matematik model qurilgandan, ya'ni topshiriqqa matematik ko'rinish berilgandan keyingina biz uni o'rganish uchun matematik usullardan foydalanishimiz mumkin.

Biz matematik modellar bilan (ehtimol ilgari bu atamani uchratmagan bo'lsak ham) tanishmiz. Biz xonaning yuzini yoki yanada aniqroq aytadigan bo'lsak, xona polining yuzini aniqlashimiz kerak, deb tasavvur qilaylik. Bunday topshiriqni bajarish uchun xonaning bo'yini va enini o'lchaydilar, so'ngra esa hosil qilingan sonlarni o'zaro ko'paytiradilar. Bu oddiy ish tartibi aslida quyidagilarni bildiradi. Real obyekt – xona poli, abstrakt matematik model – to'g'ri to'rtburchak bilan

almashtiriladi. O'lchash natijasida hosil qilingan o'lchamlar to'g'ri to'rtburchakka mansub deyiladi va bunday to'g'ri to'rtburchakning yuzi polning izlanayotgan yuzi uchun taqriban qabul qilinadi.

Kimyo yoki fizikadan masalalarni eslang. Ularda odatda biror kimyoviy jarayon yoki fizikaviy sistema va uning kechish shartlari beriladi.

Biz o'zimiz bu sistemani mumkin qadar ideallashtirish haqida faraz qilishimiz, jarayon yoki sistemani o'rganishda e'tiborga olish kerak bo'lgan fizik-kimyoviy qonunlarni aniqlash va ularni matematik tenglamalar shaklida yozishimiz mumkin. Bu bosqichning qiyinligi shundan iboratki, u matematik bilimlarni va sohaga tegishli maxsus bilimlarni qo'shib olib borishni talab qiladi. Har qanday metallurg shu sohaga biror-bir jarayonni modellashtirganda bir vaqtning o'zida ham kimyogar, ham fizik va ham matematik sifatida o'zini namoyon qiladi. Ammo ishlab chiqarish amaliyotiqa tatbiq qilinadigan matematikada qaraladigan katta muammolar uchun kasblarni bunday birligini odatiy hol emas. Ko'pincha matematik model ustida o'rganilayotgan obyekt bo'yicha nutaxassis bilan matematik birgalikda ishlashali. Ularning faoliyatida yutuqqa erishish uchun o'zaro bir-birlarini tushunish juda muhim, matematiklar o'rganilayotgan obyekt haqida maxsus bilimlarga ega bo'lishi, ular bilan ishlovchilar esa ma'lum matematik madaniyatga, matematik uslubni o'z sohasida qo'llash tajribasiga ega bo'lishlari ozim.

Matematik model hech vaqt qaralayotgan obyekt bilan aynan bir xil bo'lmaydi, uning barcha xossa va xususiyatlarini o'zida qavdalantira olmaydi. U soddalashtirish, ideallashtirishga asoslangan bo'lib, obyektning taqribiy akslanishi bo'ladi. Shuning uchun modelni tahlil qilishda olingan natijalar obyekt uchun har doim taqribiy xarakterga ega bo'ladi.

Ularining aniqligi model bilan obyektning muvofiqligi, bir-biriga mosligi darajasi bilan o'lchanadi. Natijalarning aniqligi, ishonchliliigi haqidagi masala – bu taqribiy matematikaning eng nozik masalalaridan biridir.

Obyektning holat va xossalari aniqlovchi qonunlar atroflicha ma'lum va ularni qo'llashda katta amaliy taraflar mavjud bo'lgan holda u ancha oson hal qilinadi. Bu holda qaralayotgan model beruvchi natijalar aniqligini apriorik (tajribaga ega yoki ilmiy muammoni yechishgacha) baholash mumkin. Masalan, metallurgiya tarixidagi eng mashhur olimlardan biri Stoks zarrachalarning suyuqliklarda cho'kish tezligini hisoblashda unga ta'sir qiladigan barcha omillarni hisobga olgan holda uning matematik ifodasini (modelini) tuzdi. Bunda u zarrachaning cho'kish tezligiga muhitning qarshiligi, zarracha va suyuqliklarning qovushqoqligi, o'zaro zichliklarining farqi, zarrachaning radiusi va hattoki butun olam torishish qonuni ta'sir qilishini aniqlab, cho'kish tezligiga salbiy ta'sir etadigan omillarni kasrning maxrajiga, ijobiy ta'sir etadigan omillarni esa kasrning

suratiga joylashtirib, jarayonning matematik modelini oddiy matematik kasrda ifodaladi:

$$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2)r^2g}{\eta_2} \cdot \frac{3 \cdot (\eta_1 + \eta_2)}{3\eta_1 + 2\eta_2}$$

Bu yerda, V – tomchining choʻkish tezligi;

sm/s ; g – ogʻirlikning tezlanish kuchi (9.8);

$g \cdot sm/s^2$; ρ_1 va ρ_2 – koʻproq va kamroq zichlikka ega boʻlgan suyuqliklarning zichliklari, g/sm^3 ;

η_1 va η_2 – koʻproq va kamroq zichlikka ega boʻlgan suyuqliklarning yopishqoqligi, Pz .

Oʻrganilayotgan obyekt haqida bilimlarimiz yetarli boʻlmagan holda ancha murakkab vaziyat sodir boʻladi. Bu holda matematik modelni qurishda gipoteza yoʻsinida qoʻshimcha faraz qilishga toʻgʻri keladi. Bunday gipotetik modelni tadqiq qilish natijasida hosil qilingan xulosalar oʻrganilayotgan obyekt uchun shartli xarakterga ega boʻladi. Ularning bu obyekt uchun toʻgʻriligi dastlabki farazlarning qanchalik toʻgʻriligiga bogʻliq. Ularni tekshirish uchun tadqiqot natijalarini oʻrganilayotgan obyekt haqidagi barcha mavjud maʼlumotlar bilan taqqoslash zarur. Hisob-kitob va tajriba maʼlumotlarining bir-biriga moslik darajasi gipotetik modelning sifati dastlabki qilingan farazlarning toʻgʻri yoki notoʻgʻriligi haqida xulosa chiqarishga imkon beradi. Shunday qilib, biror matematik modelni qarayotgan obyektning oʻrganishga qoʻllash masalasi sof matematik masala boʻlmaydi va matematik usullar yordamida yechilishi mumkin emas.

Amaliyot mezonini turli gipotetik modellarni taqqoslash va ulardan eng sodda va shu vaqtning oʻzida oʻrganilayotgan obyekt xossalari talab qilingan aniqlik darajasida berishga imkon yaratiladi.

1-masala. 10 % li 150 g va 5 % li 250 g shakar eritmalari aralashtirildi. Hosil boʻlgan eritmaning massa ulushini toping.

Matematik usul (proporsiya):

1. Birinchi eritmadagi shakarning massasini topamiz:

150 g eritma ----- 100 %

x_1 g. shakar ----- 10 % $x_1 = 150 \cdot 10 : 100 = 15$ g

2. Ikkinchi eritmadagi shakarning massasini aniqlaymiz:

250 g eritma ----- 100 %

x_2 g. shakar ----- 5 % $x_2 = 250 \cdot 5 : 100 = 12,5$ g

3. Aralashtirilgandan soʻng eritmaning umumiy massasini topamiz:

$$150 + 250 = 400 \text{ g}$$

4. Shakarning umumiy massasini topamiz: $15 + 12,5 = 27,5$ g

5. Hosil boʻlgan eritmadagi erigan moddaning massa ulushini topamiz:

400-----100 %

27,5-----x% $x=27,5 \cdot 100:400=6,875\%$ Javob: 6,875 %

Kimyoviy usul (formula yordamida):

1. Birinchi eritmadagi shakarning massasini topamiz:

$$m_1 = w_1 \cdot m_{\text{eritma1}} = 150 \cdot 0,1 = 15 \text{ g}$$

2. Ikkinchi eritmadagi shakarning massasini topamiz:

$$m_2 = w_2 \cdot m_{\text{eritma2}} = 250 \cdot 0,05 = 12,5 \text{ g}$$

3. Aralashtirishdan so'ng eritmaning massasini topamiz:

$$m_{\text{eritma3}} = m_{\text{eritma1}} + m_{\text{eritma2}} = 150 + 250 = 400 \text{ g}$$

4. Eritmadagi shakarning umumiy massasini aniqlaymiz:

$$m_{\text{shakar (umumiy)}} = m_1 + m_2 = 15 + 12,5 = 27,5 \text{ g}$$

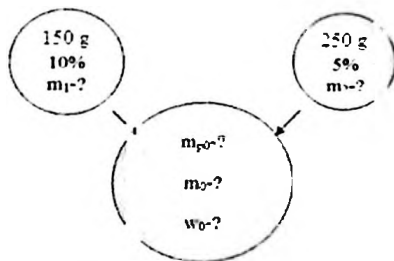
5. Eritgan moddaning massa ulushi hisoblaymiz:

$$w_{\text{shakar}} = m_{\text{shakar (umumiy)}} / m_{\text{eritma3}} = 27,5 : 400 = 0,06875 \text{ yoki } 6,875\%$$

Javob: 0,06875 massa ulushi yoki 6,875 %.

Mazkur masalani "Matematik model" usulidan foydalanib ham yechish mumkin:

1. Birinchi navbatda masalani sxema ko'rinishiga keltirib olamiz:



2. Masalani yechishni osonlashtirish uchun jadvaldan foydalanamiz:

5.1-jadval

Eritmalarni aralashtirishdagi berilgan sonlar

Eritma massasi, g	Eritgan modda massasi, g	Eritma konsentratsiyasi
$m_{\text{eritma1}} = 150$	$m_1 = 15$	$w_1 = 0,10$
$m_{\text{eritma2}} = 250$	$m_2 = 12,5$	$w_2 = 0,05$
$m_{\text{eritma3}} = ?$	$m_3 = ?$	$w_3 = ?$

3. Aralashtirish jarayonining tasvirini chizamiz (maket):



5.1-rasm. Maket ko'rinishidagi model

4. Bu rasmni Microsoft Office Power Point dasturi orqali chizish mumkin.

5. Bu masala bir noma'lumli tenglama yordamida yechiladi:

$$w_3 = \frac{(m_1 + m_2) \cdot 100}{m_{eritma1} + m_{eritma2}} = \frac{(15 + 12,5) \cdot 100}{150 + 250} = 6,875 \%$$

Javob: 6,875 %.

“Matematik model” usulining afzal tomoni shundaki, xuddi shu turdagi misollarni bir xil ifodaga qo'yib yechish mumkin.

Nazorat savollari:

- 40 g 4 % li eritma hosil qilish uchun necha gramm modda va suv olish kerak?
A) 2,5 va 37,5 B) 0,4 va 39,6 C) 5 va 35 D) 1,6 va 38,4
- 80 g 15 % li eritmaga 20 g suv qo'shildi. Hosil bo'lgan eritmadagi erigan moddaning massa ulushi (%) qanday bo'ladi?
A) 13,0 B) 10,9 C) 12,0 D) 12,6
- 15 g moddani 135 g suvda eritib olingan eritmaning konsentratsiyasi (%) qanday bo'ladi?
A) 13 B) 24 C) 10 D) 19
- 25 % li 80 gramm eritmadagi moddaning massasini (g) toping.
A) 25 B) 20 C) 23 D) 19
- 300 g 20 % li shakar eritmasini tayyorlash uchun qancha (g) shakar va suv kerak?
A) 60; 240 B) 50; 250 C) 30; 270 D) 240; 60
- 250 g 20 % li shakar eritmasiga 50 g shakar qo'shildi. Hosil bo'lgan eritmadagi shakarning massa ulushini hisoblang.
A) 0,25 B) 0,33 C) 0,5 D) 0,18

7. 1,2 litr suvda necha litr (n. n.) ammiak NH_3 eritilsa, uning konsentratsiyasi 10% ga teng bo'ladi?
 A) 155,6 B) 175,6 C) 44,8 D) 100
8. Osh tuzining 20% li eritmasidan 600 g tayyorlash uchun uning 10% li va 40% li eritmalaridan qanchadan (g) olish kerak?
 A) 100; 200 B) 300; 300 C) 200; 400 D) 150; 450

6-sonaliy mashg'ulot

Termodinamik qonunlar bo'yicha hisoblar. Entalpiya, entropiya va Gibbs energiyasi tushunchalari (2 soat)

Termokimyoviy jarayonlarni puxta o'rganishda shu jarayonlarda kechadigan fizikaviy va kimyoviy o'zgarishlarni hamda ular orasidagi bog'liqlikni bilish muhim ahamiyatga ega. Chunki bu hodisa va jarayonlarning tub mohiyatini anglab yetish natijasida zamonaviy sanoat ishlab chiqarishda turli xil samarali texnologiyalarni ishlab chiqarishga joriy etishning oqilona yo'llarini topish mumkin. Mana shunday nazariy bilimlardan biri bu kimyoviy jarayonlarning termodinamikasidir. Bu bo'lim fizikaviy kimyoda juda muhim va sanoat ahamiyatiga ega bo'lgan bo'lim bo'lib, uni o'rganish bo'limdagi dastlabki va elementar tushunchalarni tushunish bilan amalga oshiriladi. Termodinamikaning boshlang'ich tushunchalaridan biri bu - sistemadir.

Sistema tashqi muhitdan chegaralar bilan ajratib olingan fazoning bir qismi bo'lib, uning tarkibiy qismi konsentratsiyasi - C , energiyasi - E , harorati - T , bosimi - P , hajmi - V (parametrlari) bilan tavsiflanadi.

Sistema bir yoki bir necha tarkibiy qism (komponent)dan iborat bo'ladi. Sistemalar tarkibiy qismlarining agregat holatiga ko'ra *gomogen* va *geterogen* sistemalar bo'linadi. Agar sistema bir xil agregat holatdagi moddalar (faqat gazsimor moddalar, faqat qattiq yoki faqat suyuq)dan iborat bo'lsa, *gomogen (bir jinsli) sistema* deyiladi. Masalan, havo, turli gazlarning aralashmalari, eritmalar, neft. Bu tuzning barchasi gomogen sistemalaridir. Ularni tashkil qilib turgan har bir modda esa komponentlardir. Misol uchun, havo - gomogen sistema, uni tashkil qilib turgan kislorod, azot va boshqa gazlar - komponentlariga kiradi.

Agar turli agregat holatdagi moddalar (gaz-suyuq, qattiq-suyuq, qattiq-gaz) dan iborat bo'lsa, *geterogen (ko'p jinsli) sistema* deyiladi. Masalan, loyqa suv (tuproq zarrachalari - qattiq, suv - suyuq komponent), oltinugurt bilan temir kukuni aralashmasi, havodagi chang zarrachalari, kolbada i eritma bilan cho'kma va hokazo'lar.

Sistema energiyasining bir turdan boshqa turga aylanishi sababi va qonuniyatlarini o'rganuvchi fan bo'limiga *termodinamika* deyiladi. Termodinamik tushunchalardan kattaliklar va uning qonunlaridan ishlab chiqarish jarayonlarining energetik balanslarini hisoblashda, ularni boshqarishda va modellashirishda foydalaniladi.

Malumki, barcha jarayonlar sistema energiyasining o'zgarishi bilan amalga oshadi. Umuman, har qanday jarayonning borishi energiyaning saqlanish qonuniga bo'ysunadi. Masalan, bir jismga ortiqcha issiqlik berilsa (qizdirilsa), avval jism qiziy boshlaydi, ya'ni uning ichki energiyasi (atom, molekula va boshqa zarrachalar energiyalari yig'indisi) o'zgaradi. keyinchalik bu jism o'zidan atrof muhitga issiqlik chiqara boshlaydi, ya'ni tashqi muhitga nisbatan ish bajaradi. Bu holatni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$Q = \Delta U + A$$

Bu yerda, Q – berilgan issiqlik miqdori;

ΔU – ichki energiya o'zgarishi;

A – bajarilgan ish.

Jarayonlar (reaksiyalar) o'zgarmas hajmda borishi mumkin. Bunday jarayon *izoxorik jarayon* deyiladi ($V = \text{const}, \Delta V = 0$).

Ba'zi jarayonlar o'zgarmas bosimda borishi mumkin. Bunday jarayonlar *izobarik jarayonlar* deyiladi ($P = \text{const}, \Delta P = 0$).

Izoxorik jarayonda bajarilgan ish $A = P \cdot \Delta V$ ekanligini e'tiborga olsak, u holda izoxorik jarayonlarning issiqlik effekti: $Q_v = \Delta U + P \Delta V$ bo'lib, $A = P \cdot \Delta V = 0$ bo'lgani uchun $Q_v = \Delta U$ bo'ladi. Demak, hajm o'zgarmasdan boradigan jarayonlarning issiqlik effekti shu sistema ichki energiyasining o'zgarishiga teng. Ichki energiya boshqa turdagi energiyalar singari sistema holatining funksiyasi hisoblanib, sistemaning dastlabki holati bilan oxirgi holatiga bog'liq:

$$\Delta U = U_{\text{ox}} - U_{\text{bosh}};$$

Bu yerda, U_{ox} va U_{bosh} – sistemaning oxirgi va dastlabki holatdagi ichki energiyalari, kJ/mol.

Izobarik jarayonlar uchun $Q_p = \Delta U + P \Delta V$ bo'ladi. Ularning qiymatlari o'miga qo'yilsa, $\Delta U = U_2 - U_1$ va $\Delta V = V_2 - V_1$ ekanligini e'tiborga olsak, $Q_p = (U_2 - U_1) + P(V_2 - V_1) = (U_2 + P V_2) - (U_1 + P V_1)$ bo'ladi. Bu ifodadagi $(U + P V)$ yig'indi sistemaning biror holatini belgilab: $(U + P V) = H$ ga tengdir. Bu yerda, H – entalpiya sistemaning issiqlik tutumi deyiladi.

Demak, izobar jarayonlarning issiqlik effekti $Q_p = \Delta H$ bo'lib, u sistema entalpiyasining o'zgarishiga teng:

$$Q_p = H_{\text{ox}} - H_{\text{bosh}} = \Delta H$$

Har qanday reaksiyaning issiqlik effekti uning qanday va necha bosqichda borganligiga emas, balki moddalarning boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liqdir. Bu *Gess qonuni* deyiladi va uning matematik ko'rinishi quyidagicha:

$$\Delta H_{\text{reaksiya}} = \sum H^{h.b.}_{\text{mahsulot}} - \sum H^{h.b.}_{\text{dast. modda}}$$

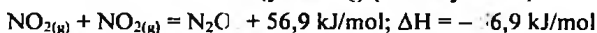
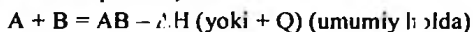
Bu yerda, $\sum H^{h.b.}_{\text{mahsulot}}$ – reaksiya natijasida hosil bo'lgan moddalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi;

$\sum H^{h.b.}_{\text{dast. modda}}$ – reaksiyaga kirishayotgan moddalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi.

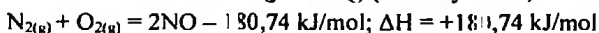
Bu hodada $\Delta H^{h.b.}$ – moddalarning “hosil bo'lish issiqligi” bo'lib, uning ma'nosi oddiy moddalardan “1 mol” murakkab modda hosil bo'lishida ajralib chiqadigan (yoki yutiladigan) issiqlik miqdoridir. Kimyoviy reaksiyalarning issiqlik effektlarini hisoblashda standart hosil bo'lish issiqligi qiymatidan foydalaniladi.

Moddalarning standart sharoit (25 °C yoki 298 K va 101,325 kPa)da o'lchangan hosil bo'lish issiqligi shu moddaning *standart hosil bo'lish issiqligi deyiladi* va ΔH°_{298} yoki ΔH_{f298} ko'lda belgilanadi. Shuni unutmaslik kerakki, oddiy moddalar (Fe, C, S, Cr, Al, Si, H₂, O₂, Cl₂, Br₂, I₂, F₂ va hokazo)ning standart hosil bo'lish issiqliklari qiymati nolga teng, ya'ni – $\Delta H^{h.b.}_{298} = 0$ kJ/mol. Boshqa ba'zi moddalar uchun $\Delta H^{h.b.}_{298}$ ning qiymatlari ilovadagi jadvallarda yoki fizik-kimyoviy so'rovnomalarda keltirilgan bo'ladi. Shu jadvallardagi qiymatlardan va Gess qonunining matematik ifodasidan foydalanib, har qanday kimyoviy jarayonning issiqlik effekti va biror reaksiyaga ishtirok etayotgan moddaning hosil bo'lish issiqligi qiymatlarini hisoblash mumkin.

Agar kimyoviy reaksiya natijasida issiqlik chiqsa ($\Delta H < 0$), sistema entalpiyasi kamayadi, bunday jarayonlar *ekzotermik jarayonlar* deyiladi. Reaksiya tenglamasida – ΔH ifodasi qo'shib yoziladi:



Agar kimyoviy reaksiya natijasida issiqlik yutilsa, ($\Delta H > 0$) sistema entalpiyasi (issiqlik saqlami) ortadi. Bunday jarayonlar *endotermik jarayonlar* deyiladi. Reaksiya tenglamasida + ΔH ifoda qo'shib yoziladi:



Agar kimyoviy reaksiya tenglamasida ajralib chiqqan yoki yutiladigan issiqlik miqdori ko'rsatilsa, bunday tenglama termokimyoviy tenglama deyiladi. Yuqoridagi tenglamalar termokimyoviy tenglamalardir.

Termodinamikaning qonunlari va kimyoviy jarayonlarning yo'nalishi.

Hozirgi kunda metallurgik amaliyotning asosiy masalalaridan biri bu kimyoviy reaksiyalarning oqib o'tish imkoniyatidir. Ularning sodir bo'lish imkoniyatlarini o'rganish muhim ahamiyatga ega. Chunki reaksiyalarning sodir bo'lish sharoitlarini o'rganish mobaynida shu reaksiyalar uchun qancha energiya sarf bo'lishini hisoblab topish mumkin yoki reaksiya oddiy sharoitlarda oqib o'tmasa, bu reaksiyalarning oqib o'tish imkoniyatlarini beradigan haroratlarni nazariy jihatdan hisoblab topib, reaksiya uchun ketadigan ortiqcha energiya va sarf-xarajatni tejab iqtisod qilishimiz mumkin. Bu esa olinadigan mahsulotning tan-narxini kamaytirib, ishlab chiqarish unumdorligini oshiradi. Bunday imkoniyatlarga ega bo'lish va bu jarayonlarni amaliyotda qo'llash uchun mutaxassis termokimyoviy qonuniyatlardan va metallurgik jarayonlarning yo'nalishidan boxabar bo'lishi kerak.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq ikki jismga yoki sistemalarga hech qanday o'zgarishlar ta'sir etmagan holda sovuq jismdan issiq jismga issiqlik o'tishi mumkin emas, ya'ni o'z-o'zidan sovuq muhitdan issiq muhitga issiqlik o'tmaydi. Bunday jarayon sodir bo'lishi uchun qandaydir ish sarf bo'lishi kerak.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni va qaytmas tabiiy jarayonlar moddalarning atom-molekular tabiati va tavsifini, zarrachalarning issiqlikda tartibsiz harakatlanishini tavsiflovchi jarayonlardir.

Sistemada zarrachalarning "tartibsizlik" holatini miqdoriy tavsifnomasi sifatiga *entropiya* funksiyasi kiritilgan bo'lib, u S harfi bilan belgilanadi va $\text{kJ/mol} \cdot \text{K}$ birliklarida o'lchanadi. Jarayonlar o'z-o'zidan borishi uchun sistemaning entropiyasi reaksiyadan oldingi holatdagiga nisbatan reaksiyadan keyin oshishi kerak, ya'ni $\Delta S_{kr} > 0$ bo'lishi kerak. Kimyoviy reaksiyalarda entropiya o'zgarishi quyidagi asosiy formula bilan hisoblanadi:

$$\Delta S_{298 \text{ K}, r} = \sum S_{298}(\text{mahsulot}) - \sum S_{298}(\text{dast.modda})$$

Bu yerda: $\sum S_{298}(\text{mahsulot})$ – reaksiya natijasida hosil bo'lgan modalar standart entropiyalarining yig'indisi; $\sum S_{298}(\text{dast.modda})$ – reaksiyaga kirishayotgan moddalar standart entropiyalari yig'indisi.

Kimyoviy reaksiyalar sodir bo'layotgan paytda bir vaqtning o'zida sistemaning ham entalpiyasi, ham entropiyasi o'zgaradi. Ana shu ikki effektning yig'indisi sistema (reaksiya)ning "*Gibbs energiyasi*" (erkin energiyasi) deyiladi. Bu paytda sistemaning harorati va bosimi o'zgarmas holda saqlanganligi uchun Gibbs energiyasini boshqacha qilib – *sistema izobar-izotermik potentsialining o'zgarishi* ham deyiladi va u ΔG holiday belgilanadi, uning o'lchov birligi – kJ/mol , kkal/mol . "1 mol" moddaning standart sharoitda hosil bo'lishida reaksiya izobar-izotermik potentsialining o'zgarishi shu moddaning standart hosil bo'lish

Har qanday reaksiyaning issiqlik effekti uning qanday va necha bosqichda borganligiga emas, balki moddalarning boshlang'ich va oxirgi holatlariga bog'liqdir. Bu *Gess qonuni* deyiladi va uning matematik ko'rinishi quyidagicha:

$$\Delta H_{\text{reaksiya}} = \sum H^{h.b.}_{\text{mahsulot}} - \sum H^{h.b.}_{\text{dast. modda}}$$

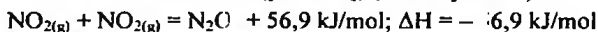
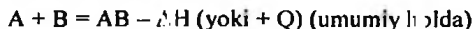
Bu yerda, $\sum H^{h.b.}_{\text{mahsulot}}$ – reaksiya natijasida hosil bo'lgan moddalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi;

$\sum H^{h.b.}_{\text{dast. modda}}$ – reaksiyaga kirishayotgan moddalar hosil bo'lish issiqliklarining yig'indisi.

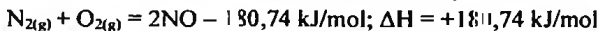
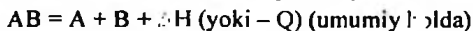
Bu odatda $\Delta H^{h.b.}$ – moddalarning “hosil bo'lish issiqligi” bo'lib, uning ma'nosi oddiy moddalardan “tashkil” murakkab modda hosil bo'lishida ajralib chiqadigan (yoki yutiladigan) issiqlik miqdoridir. Kimyoviy reaksiyalarning issiqlik effektlarini hisoblashda standart hosil bo'lish issiqligi qiymatidan foydalaniladi.

Moddalarning standart sharoit (25°C yoki 298°K va $101,325\text{ kPa}$)da o'lchangan hosil bo'lish issiqligi shu moddaning *standart hosil bo'lish issiqligi deyiladi* va ΔH°_{298} yoki $\Delta H^{\circ}_{f,298}$ holda belgilanadi. Shuni unutmaslik kerakki, oddiy moddalar (Fe , C , S , Cr , Al , Si , H_2 , O_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 , F_2 va hokazo)ning standart hosil bo'lish issiqliklari qiymati nolga teng, ya'ni $-\Delta H^{h.b.}_{298} = 0\text{ kJ/mol}$. Boshqa ba'zi moddalar uchun $\Delta H^{h.b.}_{298}$ ning qiymatlari ilovadagi jadvalda yoki fizik-kimyoviy so'rovnomalarda keltirilgan bo'ladi. Shu jadvallardagi qiymatlardan va Gess qonunining matematik ifodasidan foydalanib, har qanday kimyoviy jarayonning issiqlik effekti va biror reaksiya ishtirok etayotgan moddaning hosil bo'lish issiqligi qiymatlarini hisoblash mumkin.

Agar kimyoviy reaksiya natijasida issiqlik chiqsa ($\Delta H < 0$), sistema entalpiyasi kamayadi. Bunday jarayonlar *ekzotermik jarayonlar* deyiladi. Reaksiya tenglamasida $-\Delta H$ ifodasi qo'shib yoziladi:



Agar kimyoviy reaksiya natijasida issiqlik yutilsa, ($\Delta H > 0$) sistema entalpiyasi (issiqlik saqlami) ortadi. Bunday jarayonlar *endotermik jarayonlar* deyiladi. Reaksiya tenglamasida $+\Delta H$ ifoda qo'shib yoziladi:



Agar kimyoviy reaksiya tenglamasida ajralib chiqadigan yoki yutiladigan issiqlik miqdori ko'rsatilsa, bunday tenglama termokimyoviy tenglama deyiladi. Yuqoridagi tenglamalar termokimyoviy tenglamalardir.

Termodinamikaning qonunlari va kimyoviy jarayonlarning yo'nalishi.

Hozirgi kunda metallurgik amaliyotning asosiy masalalaridan biri bu kimyoviy reaksiyalarning oqib o'tish imkoniyatidir. Ularning sodir bo'lish imkoniyatlarini o'rganish muhim ahamiyatga ega. Chunki reaksiyalarning sodir bo'lish sharoitlarini o'rganish mobaynida shu reaksiyalar uchun qancha energiya sarf bo'lishini hisoblab topish mumkin yoki reaksiya oddiy sharoitlarda oqib o'tmasa, bu reaksiyalarning oqib o'tish imkoniyatlarini beradigan haroratlarni nazariy jihatdan hisoblab topib, reaksiya uchun ketadigan ortiqcha energiya va sarf-xarajatni tejab iqtisod qilishimiz mumkin. Bu esa olinadigan mahsulotning tan-narxini kamaytirib, ishlab chiqarish unumdorligini oshiradi. Bunday imkoniyatlarga ega bo'lish va bu jarayonlarni amaliyotda qo'llash uchun mutaxassis termokimyoviy qonuniyatlardan va metallurgik jarayonlarning yo'nalishidan boxabar bo'lishi kerak.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq ikki jisimga yoki sistemalarga hech qanday o'zgarishlar ta'sir etmagan holda sovuq jismdan issiq jisimga issiqlik o'tishi mumkin emas, ya'ni o'z-o'zidan sovuq muhitdan issiq muhitga issiqlik o'tmaydi. Bunday jarayon sodir bo'lishi uchun qandaydir ish sarf bo'lishi kerak.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni va qaytmas tabiiy jarayonlar moddalarning atom-molekular tabiati va tavsifini, zarrachalarning issiqlikda tartibsiz harakatlanishini tavsiflovchi jarayonlardir.

Sistemada zarrachalarning "tartibsizlik" holatini miqdoriy tavsifnomasi sifatiga **entropiya** funksiyasi kiritilgan bo'lib, u S harfi bilan belgilanadi va kJ/mol · K birliklarida o'lchanadi. Jarayonlar o'z-o'zidan borishi uchun sistemaning entropiyasi reaksiyadan oldingi holatdagiga nisbatan reaksiyadan keyin oshishi kerak, ya'ni $\Delta S_{kr} > 0$ bo'lishi kerak. Kimyoviy reaksiyalarda entropiya o'zgarishi quyidagi asosiy formula bilan hisoblanadi:

$$\Delta S_{298\text{ k.r}} = \sum S_{298}(\text{mahsulot}) - \sum S_{298}(\text{dast.modda})$$

Bu yerda: $\sum S_{298}(\text{mahsulot})$ – reaksiya natijasida hosil bo'lgan modalar standart entropiyalarining yig'indisi; $\sum S_{298}(\text{dast.modda})$ – reaksiyaga kirishayotgan moddalar standart entropiyalari yig'indisi.

Kimyoviy reaksiyalar sodir bo'layotgan paytda bir vaqtning o'zida sistemaning ham entalpiyasi, ham entropiyasi o'zgaradi. Ana shu ikki effektning yig'indisi sistema (reaksiya)ning "**Gibbs energiyasi**" (erkin energiyasi) deyiladi. Bu paytda sistemaning harorati va bosimi o'zgarmas holda saqlanganligi uchun Gibbs energiyasini boshqacha qilib – **sistema izobar-izotermik potentsialining o'zgarishi** ham deyiladi va u ΔG holiday belgilanadi, uning o'lchov birligi – kJ/mol, kkal/mol. "1 mol" moddaning standart sharoitda hosil bo'lishida reaksiya izobar-izotermik potentsialining o'zgarishi shu moddaning standart hosil bo'lish

izobar-izotermik potentsiali o'zgarishi deyiladi va ΔG^{hb}_{298} yoki $\Delta G'_{298}$ ko'rinishda yoziladi.

Har qanday kimyoviy reaksiya izobar-izotermik potentsialining o'zgarishi – $\Delta G_{298 (kr)}$ quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\Delta G^{(re)}_{298} = \sum \Delta G^{hb}_{298(mahsulot)} - \sum \Delta G^{hb}_{298(reakt.modda)}$$

Bu yerda: $\sum \Delta G^{hb}_{298(mahsulot)}$ – reaksiya natijasida hosil bo'lgan moddalar standart Gibbs energiyalari o'zgarishining stexiometrik koeffitsiyentlarni hisobga olib topilgan yig'indisi, kJ/mol;

$\sum \Delta G^{hb}_{298(dast.modda)}$ – reaksiyaga kirishayotgan dastlabki moddalar standart Gibbs energiyalari o'zgarishining yuqoridagidek yig'indisi, kJ/mol.

Umuman sistemaning harorati (T), entalpiya o'zgarishi (ΔH), entropiya o'zgarishi (ΔS) hamda Gibbs energiyasi (ΔG) o'rtasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Sistemaning Gibbs energiyasi qiymatiga qarab, standart sharoitda reaksiyaning o'z-o'zicha borish-bormasligi va reaksiyaning yo'nalishi to'g'risida xulosa qilinadi:

a) agar kimyoviy reaksiya Gibbs energiyasi o'zgarishining qiymati $\Delta G_{298 (kr)} > 0$, ya'ni musbat bo'lsa, bu reaksiyalar standart sharoitda o'z-o'zidan bora olmaydi;

b) agar $\Delta G_{298 (kr)} < 0$, ya'ni manfiy bo'lsa, bu reaksiyalar standart sharoitda o'z-o'zidan boradi. Bu reaksiyalar iqtisodiy va texnologik jihatdan qulay hisoblanadi;

d) agar $\Delta G_{298 (kr)} = 0$ bo'lsa, bunda sistema kimyoviy muvozanat holatida bo'ladi. Muvozanatni zarur reaksiya boradigan tomonga yo'naltirish uchun sistema parametrlari (P, T, C, V h.t.)ni o'zgartirish kerak bo'ladi.

Umuman, termodinamik kataliklarning o'zgarishini bilish jarayonlarni boshqarishni o'rgatib, u yoki bu reaksiyalar amalda borish-bormasligini asoslab beruvchi fundamental usuldir.

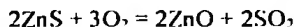
Nazorat savollari:

1. Sistema deganda nimanı tushunasiz?
2. Sistemaning entropiyasi harorat oshganda qayday o'zgaradi?
3. Har qanday moddaning hosil bo'lish issiqligini ta'riflovchi termodinamik kattalik qanday nomlanadi?
4. Sistemani erkin energiyasini bilishning nima ahamiyati bor?

7-amaliy mashg'ulot

Rux oksidini sulfat kislota bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini hisoblash (2 soat)

Rux metali dunyo miqyosida kombinatsiyalashgan usulda ishlab chiqariladi, ya'ni sulfidli rux boyitmasi dastlab pirometallurgik usulda "Qaynar qatlam" pechida 900 – 1000°C haroratlar oralig'ida kuydiriladi. Bunda rux sulfidi oksid ko'rinishiga o'tadi:

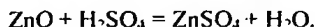


Olingan yarim mahsulot rux kuyindisi deb ataladi va u gidrometallurgik qayta ishlashga beriladi. Bunda rux oksidi sulfat kislota bilan tanlab eritiladi. kuyindini tanlab eritishning asosiy maqsadi kuyindi tarkibidagi rux birikmalarini iloji boricha eritmaga o'tkazish va elektrolizga berish uchun toza eritma olishdir.

Eritishda sulfat kislotasini tanlashda quyidagilar hisobga olinadi:

- rux oksidi - ZnO ning yaxshi erishi;
- bo'lajak elektrolitik tiklanishda qulaylik;
- rux zavodlarda sulfat kislotasining mavjudligi.

Rux oksidi sulfat kislotasining kuchsiz eritmasida yaxshi eriydi, rux sulfati esa suvda:



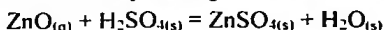
Bunda zaharli vodorod sulfid gazi ajralib chiqmaydi. Kuydirish davomida bir qancha rux silikati, ferrit va aluminatlar paydo bo'ladi. Bu birikmalar sulfat kislota eritmasida qiyin eriydi. Ularning erish qobiliyati harorat va sulfat kislotasining konsentratsiyasiga bog'liq.

Masalan, ferritdan ruxni eritmaga o'tkazish uchun sulfat kislotasining konsentratsiyasi 200-300 g/l va 80-90°C harorat talab qiladi.

Bu jarayonning termodinamik ko'rsatkichlarini hisoblash juda muhim bo'lib, jarayonga ilmiy yondashishga yordam beradi.

Endi esa rux kuyindilarini tanlab eritish jarayonini termodinamik tahlil qilamiz. Bunda rux oksidining sulfat kislota bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini aniqlaymiz.

ZnO ning H_2SO_4 bilan reaksiyasi tenglamasini tuzamiz:



Dastlab reaksiyaning entalpiyasini aniqlaymiz. Ma'lumotnomadan moddalarning standart entalpiyasi berilgan jadvaldan foydalanib, ZnO, H_2SO_4 , ZnSO_4 va H_2O uchun ΔH_{298}^0 qiymatini topamiz:

$$\text{ZnO}_{(q)} \Delta H_{298}^0 = - 350,6 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{SO}_{4(s)} \Delta H_{298}^0 = - 814,2 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{ZnSO}_{4(s)} \Delta H_{298}^0 = -981,4 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(s)} \Delta H_{298}^0 = -285,83 \text{ kJ/mol}.$$

Bulardan foydalanib, formula orqali reaksiyaning entalpiyasini topamiz.

$$\Delta H_{298}^0(\text{reaksiya}) = \Sigma \Delta H_{\text{reakt.mah.}} - \Sigma \Delta H_{\text{dast.modda.}} = (-981,4 + (-285,83)) - (-350,6 + (-814,2)) = -1267,23 \text{ kJ} + 1164,8 \text{ kJ} = -102,43 \text{ kJ}$$

1-natija: Reaksiyaning standart entalpiyasi $\Delta H_{298}^0 = -102,43 \text{ kJ}$ ga teng. Entalpiyaning (-) ishorasi reaksiyaning ekzotermik ekanligini bildiradi.

Endi reaksiyaning Gibbs energiyasini topamiz. Buning uchun ham ma'lumotnomalardan tegishli moddalarning standart sharoit uchun erkin energiyalarini qidirib topib, ularda reaksiyaning erkin energiyasini hisoblaymiz:

$$\text{ZnO}_{(q)} \Delta G_{298} = -320,7 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{SO}_{4(s)} \Delta G_{298} = -690,3 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{ZnSO}_{4(s)} \Delta G_{298} = -870,12 \text{ kJ/mol};$$

$$\text{H}_2\text{O}_{(s)} \Delta G_{298} = -237,25 \text{ kJ/mol}.$$

Bulardan foydalanib, formula orqali reaksiyaning Gibbs energiyasini topamiz.

$$\Delta G_{298}^0(\text{reaksiya}) = \Sigma \Delta G_{\text{reakt.mah.}} - \Sigma \Delta G_{\text{dast.modda.}} = (-870,12 + (-237,25)) - (-320,7 + (-690,3)) = -1107,37 \text{ kJ} + 1011 \text{ kJ} = -96,37 \text{ kJ}$$

2-natija: Reaksiyaning standart Gibbs energiyasi $\Delta G_{298}^0(\text{reaksiya}) = -96,37 \text{ kJ}$ ga teng. Gibbs energiyasining (-) ishorasi reaksiyaning standart sharoitda mustaqil ravishda borish ehtimolligi yuqoriligini ko'rsatadi.

$\text{Zn}_{(q)} + \text{H}_2\text{SO}_{4(s)} = \text{ZnSO}_{4(s)} + \text{H}_2\text{S}_{(g)}$ reaksiyasining ΔG_{298} qiymatini aniqlang.

Modda	ΔH_{298} kJ/mol	ΔG_{298} kJ/mol
ZnS	-205,4	-200,7
H ₂ SO ₄	-814,2	-690,3
ZnSO ₄	-981,4	-870,12
H ₂ S	-20,9	-33,8

Nazorat savollari:

1. Rux metali dunyo miqyosida qanday usullar bilan ishlab chiqariladi?
2. Rux kuyindisini tanlab eritishda yana qanday kislotalar qo'llash mumkin?
3. Rux oksidini nitrat kislotada tanlab eritish reaksiyasining entalpiyasi va Gibbs energiyasi qiymati qanday qiymatga ega bo'ladi?
4. Rux oksidini xlorid kislotada tanlab eritish reaksiyasining entalpiyasi va Gibbs energiyasi nechaga teng?
5. Rux kuyindisini tanlab eritishda nega aynan sulfat kislotasi qo'llaniladi deb o'ylaysiz?

8-amaliy mashg'ulot
Oltinning "zar suvi" bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs
energiyasini hisoblash
(2 soat)

Oltin mamlakatimizda gidrometallurgik usullar bilan ishlab chiqariladi. Ishlab chiqariladigan jami oltinning ko'p qismi Navoiy kon-metallurgiya kombinati hissasiga to'g'ri keladi. U yerdagi barcha gidrometallurgiya zavodlari oltin saqlagan rudalarni dastlab sianidli tanlab eritish yo'li bilan qayta ishlab, so'ng bu eritmalaridan oltin sorbsiya, desorbsiya va elektroliz jarayonlari ketma-ketligida ajratib olinadi. Bu oltinni birlamchi xomashyolardan ajratib olishga kiradi. Oltinning ikkilamchi metallurgiyasida esa oltin saqlagan ikkilamchi xomashyolardan oltinni "shoh arog'i" yoki "zar suvi" deb ataladigan erituvchi kislotalar aralashmasi yordamida eritmaga o'tkazib, so'ng bu eritmalaridan oltin turli xil tiklovchi moddalar bilan yoki elektroliz yordamida ajratib olinadi. Oltin ishlab chiqarishda bunday texnologiyalarni tanlash albatta uning fizika-kimyoviy xususiyatlaridan kelib chiqqan.

Oltinning fizikaviy xususiyatlari. Oltin – sariq rangli, yumshoq metall, tomonlari markazlashgan kub shaklli kristallik panjaraga ega, boshqa metallardan yengil, bolg'alanuvchanligi va cho'ziluvchanligi bilan ajralib turadi. Bunga ko'ra oltindan 1/1000 mm yoki 0,0001 mm li zar qog'oz (folga) yasash mumkin. 1 g oltinni salkam 3 km uzunlikka cho'zish mumkin yoki oltindan diametri 0,001 mm bo'lgan sim tortish mumkin bo'ladi. Oltinning issiqlik va elektr o'tkazuvchanligi juda yuqori, bunda u faqat kumush va misdan keyingi 3-o'ringda turadi.

8.1-jadval

Oltinning muhim fizik xossalari

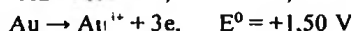
№	XOSSALARI	OLTIN
1	Atom massasi	196,967
2	Zichligi, g/sm	19,3
3	Atom radiusi, A	1,44
4	Ionli radiusi, A	1,37
5	Erish temperaturasi, °C	1063
6	Qaynash temperaturasi, °C	2880
7	Erish issiqlik sig'imi, kal/g	15,5
8	Bug'lanish issiqlik sig'imi, kal/g	415
9	Solishtirma issiqlik sig'imi kal/g·grad	0.0306
10	Issiqlik o'tkazish sig'imi 0° dan 100°C gacha kal/ sm' grad ' sek	0,744

1	Solishtirma elektr o'tkazishi 200 da om/sek	2,25·10
2	Mustahkamlik, qarshilik moduli kg/mm ²	7900
3	Mustahkamlik chegarasi kg/mm ²	14
4	Qattiqligi (Bryunel) kg/mm ²	18
5	Qattiqligi (Moosch) kg/mm ²	2,5

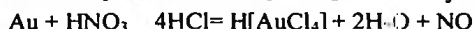
Oltinning ajralib turadigan xususiyatlaridan yana biri kompleks birikma hosil qilishga moyilligi va uning o'z birikmalaridan metall holigacha oson qaytarilishidir.

Oltinning kimyoviy xossalari: Kimyoviy faol bo'lmagan element elektronga nisbatan oldanda eng nodir metallir. Hatto yuqori temperaturalarda ham kislorod, azot, vodorod va uglerod bilar kimyoviy reaksiyaga kirishmaydi. Kimyoviy birikmalarda u bir va uch valentlidir. Ammo uning birikmalari uncha kuchli bo'lmay, tezda metall holiga qaytarila oladi.

Suvli suyuq eritmalarda oltinning elektrod potentsiali:



Shuning uchun oltin ishqorlarda, kislotalarda (nitrat, sulfat, xlorid kislotalarida) erimaydi. Biroq oltin kislotalar aralashmasi: xlorid bilan nitrat kislotalar, sulfat bilan manganat kislotalar, sulfat bilan nitrat kislotalarda eriydi. "shoh aroq'i" deb ataluvchi bir hajm nitrat va uch hajm xlorid kislotalari aralashmasi, sulfat va manganat kislotalari, sulfat va nitrat kislotalari aralashmalarida eriy olishi mumkin. "Shoh aroq'i" eritmasida oltin quyidagi reaksiyalar bo'yicha eriydi:



Shuningdek, oltin Na va K kabi metallarning sianid kislota bilan hosil qilgan tuzlarida havo kislorodi yordamida eriydi:



Oltin oksidlari Au_2O_3 va Au_2O_3 quyidagi gidroksidlarni qizdirish yo'li bilan olinadi: AuOH va $\text{Au}(\text{OH})_2$

AuCl ya'ni oltin ikki oksidi bulrang binafsha tusli kulun 200°C da elementar moddalarga qadar parchalanib ketadi. Oltinning kislorodli birikmalari beqarordir. Ular tez parchalanib ketadilar. Oltinning bir valentli tuzlari ham beqaror, ular ham tez parchalanadi.



Oltinning sianid kompleksli tuzlari beqaror va ular suvda yaxshi eriydilar. 140-150°C da xlorli havoda qizdirilgan oltin, oltin xlorid hosil qiladi. AuCl_3 va 180-190°C da AuCl hosil qiladi.

Oltinning sianidli kompleks tuzlari $K[Au(CN)_2]$; $Na[Au(CN)_2]$; $Ca[Au(CN)_3]$ suvda yaxshi eriydilar. Ular katta amaliy ahamiyatga egadirlar.

Tiomochevina eritmasida oltin erib tiokarbamid oltin tuzi hosil qiladi. Ammo bu reaksiyaning borishi uchun oksidlovchi bo'lishi shart. Shunda u $AuCl \cdot 2CS(NH_2)_2$ - hosil qiladi.

I-masala. Quyida berilgan ma'lumotlardan foydalanib, oltinni "zar suvi" bilan reaksiyasining entalpiyasini va Gibbs energiyasini aniqlang.

Modda	ΔH_{298} , kJ/mol	ΔG_{298} , kJ/mol
Au	0	0
HCl	- 167,1	- 131,26
HNO ₃	- 173	- 79,9
H[AuCl ₄]	- 322	- 235,6
NO	90,2	86,6
H ₂ O	- 285,83	- 237,25

Yechish. Dastlab oltinning "zar suvi" bilan kimyoviy reaksiyasi tenglamasini tuzamiz:



Reaksiyaning entalpiyasi quyidagiga teng:

$$\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = \Sigma \Delta H_{\text{reak mah}} - \Sigma \Delta H_{\text{dast modda}} = (- 322 + 90,2 + 2 \cdot (- 285,83)) - (0 + 4 \cdot (- 167,1) + (- 173)) = - 803,46 \text{ kJ} + 841,4 \text{ kJ} = 37,94 \text{ kJ. Demak, reaksiya endotermik.}$$

Endi reaksiyaning Gibbs energiyasini aniqlaymiz:

$$\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = \Sigma \Delta G_{\text{reak mah}} - \Sigma \Delta G_{\text{dast modda}} = (- 235,6 + 86,6 + 2 \cdot (- 237,25)) - (0 + 4 \cdot (- 131,26) + (- 79,9)) = - 623,5 \text{ kJ} + 604,94 \text{ kJ} = - 18,56 \text{ kJ. Bu ko'rsatkich kimyoviy reaksiya 25 °C da mustaqil oqib o'tish ehtimolligi borligini bildiradi.}$$

Javob: Reaksiyaning standart entalpiyasi $\Delta H_{298(\text{reaksiya})} = 37,94 \text{ kJ}$ va Gibbs energiyasi $\Delta G_{298(\text{reaksiya})} = - 18,56 \text{ kJ}$ ga teng.

Nazorat savollari:

1. Oltin mamlakatimizning asosan qaysi mintaqasida ishlab chiqariladi?
2. Oltinni ishlab chiqarish texnologiyasi nimaga asoslangan bo'ladi?
3. Oltinni sianid kislota tuzlarida kislorod ishtirokida tanlab eritish reaksiyasining entalpiya va Gibbs energiyalari qanday qiymatga bo'ladi?

4. Oltinni selenat kislotada eritish reaksiyasining erkin energiyasi qiymati nechaga teng?

9-a maliy mashg'ulot

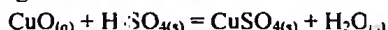
Mis oksidini sulfat kislota bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini hisoblash (2 soat)

Mis metali dunyo miqyosida asosan pirometallurgik usulda ishlab chiqariladi. Chunki u rudasida sulfidli birikmalar ko'rinishida uchraydi. Sulfidli birikmalar esa anorganik kislotalarda erimaydi. Lekin mis konining yuqori qismida misning oksidlangan birikmalari tenorit - CuO , kuprit - Cu_2O va malaxit - $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ uchraydi. Ular gidrometallurgik qayta ishlash uchun yaroqli birikmalardir. Hozirgi kunda endi ochilayotgan yangi konlar ustki qatlamida misning oksidlangan birikmalari mavjudligi ularni turli kislotalar yordamida ajratib olishning yangi ilmiy usullarini ishlab chiqishni talab qiladi. Buning uchun mazkur birikmalarning turli kislotalarda eritish jarayonining termodinamikasini o'rganish zarur.

1-masala. Quyida berilgan ma'lumotlardan foydalanib, mis (II)-oksidi (tenorit)ning sulfat kislotada ta'lab eritilish reaksiyasining entalpiyasini va Gibbs energiyasini aniqlang.

Modda	ΔH_{298} , kJ/mol	ΔG_{298} , kJ/mol
CuO	- 162	- 134,3
H_2SO_4	- 814,2	- 690,3
CuSO_4	- 844,1	- 680,1
H_2O	- 285,83	- 237,25

Yechish. Birinchi navbatda mis (II)-oksidi (tenorit)ning sulfat kislota bilan kimyoviy reaksiyasi tenglamasini yozamiz:



Daslab reaksiyaning entalpiyasini aniqlaymiz:

$$\Delta H_{98(\text{reaksiya})} = \sum \Delta H_{\text{reakt.mah.}} - \sum \Delta H_{\text{dast.modda}} = (- 844,3 + (- 285,83)) - (- 162 + (- 814,2)) = - 1130,13 \text{ kJ} + 976,2 \text{ kJ} = - 153,93 \text{ kJ.}$$

Damak, mazkur reaksiya endotermik, ya'ni issiqlik ajralib chiqishi bilan boradi.

Reaksiyaning Gibbs energiyasi esa quyidagiga teng:

$$\Delta G_{98(\text{reaksiya})} = \sum \Delta G_{\text{reakt.mah.}} - \sum \Delta G_{\text{dast.modda}} = (- 680,1 + (- 237,25)) - (- 134,3 + (- 690,3)) = - 917,35 \text{ kJ} + 824,6 \text{ kJ} = - 92,75 \text{ kJ.}$$

Gibbs energiyasining qiymati reaksiya standart sharoitda sodir bo'lishi mumkinligini bildiradi.

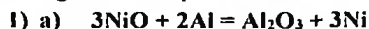
Javob: Reaksiyaning standart entalpiyasi $\Delta H_{298}(\text{reaksiya}) = -153,93 \text{ kJ}$ va Gibbs energiyasi $\Delta G_{298}(\text{reaksiya}) = -92,75 \text{ kJ}$ ga teng.

2-masala. Quyidagi oksidlar NiO , CuO , CaO , SnO_2 ning qaysi biri

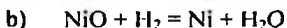
a) Al bilan b) H_2 bilan tiklanishi mumkin?

Modda	ΔG_{298} , kJ/mol
$\text{NiO}_{(q)}$	-211,6
$\text{CuO}_{(q)}$	-129,6
$\text{CaO}_{(q)}$	-604,2
$\text{SnO}_{2(q)}$	-519,3
$\text{Al}_2\text{O}_{3(q)}$	-1582,0
$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$	-228,6

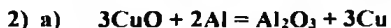
Yechish. Har bir oksidning tiklanish reaksiyasi yoziladi va ΔG qiymati formulaga binoan topiladi.



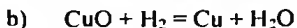
$$\Delta G_{298} = \Sigma G_{298}(\text{mahsulot}) - \Sigma G_{298}(\text{dast modda}) = -1582 - 3 \cdot (-211,6) = -1582 + 634,8 = -947,2 \text{ kJ}$$



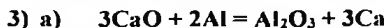
$$\Delta G_{298} = -228,6 - (-211,6) = -228,6 + 211,6 = -17 \text{ kJ}$$



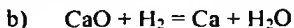
$$\Delta G_{298} = -1582 - 3 \cdot (-129,9) = -1582 + 389,7 = -1192,3 \text{ kJ}$$



$$\Delta G_{298} = -228,6 - (-129,9) = -228,6 + 129,9 = -98,7 \text{ kJ}$$



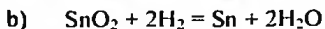
$$\Delta G_{298} = -1582 - 3 \cdot (-604,2) = -1582 + 1812,6 = 230,6 \text{ kJ}$$



$$\Delta G_{298} = -228,6 - (-604,2) = -228,6 + 604,2 = 375,6 \text{ kJ}$$



$$\Delta G_{298} = 2 \cdot (-1582) - 3 \cdot (-519,3) = -3164 + 1557,9 = -1606,1 \text{ kJ}$$



$$\Delta G_{298} = 2 \cdot (-228,6) - (-519,3) = -457,2 + 519,3 = 62,1 \text{ kJ}$$

Javob: 298 K da, ya'ni 25 °C da NiO , CuO , SnO_2 lar Al bilan tiklanadi; H_2 bilan esa NiO va CuO lar tiklanadi. CaO esa, Al bilan ham, H_2 bilan ham tiklanmaydi.

$\text{Cu}^{2+}_{(q)} + \text{H}_2\text{SO}_{4(s)} = \text{CuSO}_{4(s)} + \text{H}_2\text{S}_{(g)}$ reaksiyasining ΔG_{298} qiymatini aniqlang.

Modda	$\Delta H_{298},$ kJ/mol	$\Delta G_{298},$ kJ/mol
CuS	-53,14	-53,58
H ₂ SO ₄	-814,2	-690,1
CuSO ₄	-844,1	-680,1
H ₂ S	-20,9	-33,8

Nazorat savollari:

1. Mis mamlakatimizning asosan qaysi mintaqasida ishlab chiqariladi?
2. Mis ishlab chiqarish texnologiyasi nimaga asoslangan bo'ladi?
3. Kuprit va xalkozin mineralarining nitrat kislotalar eritilish jarayonining entalpiya va Gibbs energiyalari qanday qiymatlarga bo'ladi?

10-amaliy mashg'ulot

Eritmaning ion kuchi tushunchasi va uni aniqlash

(2 soat)

Eritmaning ion kuchi tushunchasi Lyuis tomonidan kiritilgan. Bu ko'rsatkich eritmada ionlarga ta'sir etuvchi elektr maydonning intensivligini tavsiflovchi ko'rsatkichdir.

K va A ionlarini saqlovchi eritmaning ion kuchi " μ " quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\mu = \frac{1}{2} ([K]Z_K^2 + [A]Z_A^2 + \dots)$$

Bu yerda, [K], [A] – K va A ionlarining konsentratsiyasi, g-ion/l; Z_K , Z_A – ionlarning zaryadi.

$$\mu = \frac{1}{2} \sum c_i Z_i^2$$

Misol tariqasida 1 litrda 0,01 mol $BaCl_2$ va 0,1 mol $NaNO_3$ larni saqlovchi eritmaning ion kuchini hisoblashni ko'rib chiqamiz:

$$\mu = \frac{1}{2} ([Ba^{2+}] \cdot 2^2 + [Cl^-] \cdot 1^2 + [Na^+] \cdot 1^2 + [NO_3^-] \cdot 1^2)$$

$$[Cl^-] = 2[Ba^{2+}] = 2 \cdot 0,01 \text{ g-ion/l}$$

$$\mu = \frac{1}{2} (0,01 \cdot 2^2 + 2 \cdot 0,01 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2) = 0,13$$

Ion kuchi turli elektrolitlarning faollik koeffitsiyentlarini aniqlashda qo'llaniladi. Shu sababdan ion kuchining faollik koeffitsiyenti va konsentratsiya bilan bog'liqligini ko'rib chiqamiz.

Ion kuchi ko'rsatkichining oshishi bilan eritmaning faollik koeffitsiyenti kamayadi

Elektrolitning o'ta suyultirilgan suvli eritmasining faollik koeffitsiyentini f ion kuchi bilan bog'liqligi Debay va Hyukkel formulasi bilan ifodalanadi:

$$\lg f = -0,5 Z^2 \sqrt{\mu}$$

Eritmaning ion kuchini ionning konsentratsiyasi bilan bog'liqligini quyidagi tenglamalar bilan ifodalash mumkin:

1) K^+A^- ($NaCl$, KCl , $NaNO_3$, KNO_3 , va h.k.) tipidagi elektrolitning o'ta suyultirilgan eritmaları uchun ion kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu = \frac{1}{2} ([K^+] \cdot 1^2 + [A^-] \cdot 1^2) = \frac{1}{2} ([K^+] + [A^-])$$

$$[K^+] = [A^-] = C_{mol} - \text{molyar konsentratsiya}$$

$$C_{mol} = C$$

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot 2C_{mol} = C = \lg f = -0,5\sqrt{C_{mol}} \approx -0,5\sqrt{C}$$

2) $K_2A_2(BaCl_2)$ va $K_2A(Na_2CO_3)$ tipidagi elektrolitlar uchun

$$\mu = \frac{1}{2}([K^+] \cdot 2^2 + [A^{2-}] \cdot 4^2)$$

$$2[K^+] = [A^{2-}]$$

$$\mu = 3C$$

$$\lg f = -0,5Z^2\sqrt{3C}$$

3) $K_2^+A^{2-}(ZnSO_4)$ tipidagi elektrolitlar uchun

$$\mu = 4C \quad \lg f = -0,5Z^2\sqrt{4C}$$

4) $K_3^+A_3^{3-}(AlCl_3)$ va $K_3^+A_3^{3-}(Na_3PO_4)$ tipidagi elektrolitlar uchun

$$\mu = 6C \quad \lg f = -0,5Z^2\sqrt{6C}$$

Umumiy ko'rinishda $K_a^+A_b^{b-}$ elektrolit uchun eritmaning ion kuchini quyidagi tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$\mu = \frac{aCl^2 + bCm^2}{2}$$

Tenglamada C – molyar konsentratsiya.

Maalan, konsentratsiyasi 0,01 M $Al_2(SO_4)_3$ eritmasi uchun

$$\mu = \frac{2C3^2 + 3C2^2}{2} = 15C$$

$$\mu = 15 \cdot 0,01 = 0,15$$

Vazifa:

1) 1000 g suvda 0,01 mol $CaCl_2$ va 0,1 mol Na_2SO_4 saqlovchi eritmaning ion kuchini hisoblash (molyar konsentratsiya molyal konsentratsiyaga teng deb qabul qilinadi).

2) litrda 0,001 mol $(NH_4)_2SO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3$ saqlovchi eritmaning ion kuchini hisoblash.

3) litrda 0,8 mol $CuSO_4$ saqlovchi eritmaning ion kuchini hisoblash.

Nazorat savollari:

- 1) Eritmaning ion kuchi deganda nimalarni tushunasiz?
- 2) Eritmaning ion kuchi qanday formula orqali aniqlanadi?
- 3) Eritmaning ion kuchini bilishning nima ahamiyati bor?

11-amaliy mashg'ulot
Turli eritmalarining ion kuchini hisoblash misollari
(2 soat)

1-misol. 2 litr suvda 1 mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ va 2 mol FeCl_3 eritildi. Hosil bo'lgan eritmaning ion kuchini va faollik koeffitsiyentini aniqlang.

Yechish: Dastlab eritmadagi har bir erigan moddaning molyar konsentratsiyasini aniqlaymiz. Buning uchun proporsiya tuzamiz:

1. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ uchun:

2 litr suvda ----- 1 mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$,

1 litr suvda ----- C_M

$$C_M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1 \cdot 1 : 2 = 0,5 \text{ mol/l}$$

2. FeCl_3 uchun:

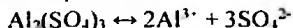
2 litr suvda ----- 2 mol FeCl_3 ,

1 litr suvda ----- C_M

$$C_M(\text{FeCl}_3) = 2 \cdot 1 : 2 = 1 \text{ mol/l}$$

Endi har bir moddaning molyar konsentratsiyasidan foydalanib, eritmaning umumiy ion kuchi aniqlanadi. Buning uchun erigan moddalardan hosil bo'lgan ionlarning konsentratsiyasini bilish zarur.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ning dissotsilanishi natijasida hosil bo'lgan ionlarning konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi:

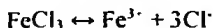


1 mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan ----- 2 mol Al^{3+} kationi ----- 3 mol SO_4^{2-} anioni

0,5 mol $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan ----- x_1 mol Al^{3+} kationi ----- x_2 mol SO_4^{2-} anioni

$$x_1 = 0,5 \cdot 2 : 1 = 1 \text{ mol } \text{Al}^{3+} \text{ kationi va } x_2 = 0,5 \cdot 3 : 1 = 1,5 \text{ mol } \text{SO}_4^{2-} \text{ anioni}$$

FeCl_3 ning dissotsilanishi natijasida hosil bo'lgan ionlarning konsentratsiyasi quyidagicha aniqlanadi:



1 mol FeCl_3 dan ----- 1 mol Fe^{3+} kationi ----- 3 mol Cl^- anioni

1 mol FeCl_3 dan ----- x_1 mol Fe^{3+} kationi ----- x_2 mol Cl^- anioni

$$x_1 = 1 \cdot 1 : 1 = 1 \text{ mol } \text{Fe}^{3+} \text{ kationi va } x_2 = 1 \cdot 3 : 1 = 3 \text{ mol } \text{Cl}^- \text{ anioni}$$

Olingan natijalarni eritmaning ion kuchini topish formulasiga qo'yamiz:

$$\mu = \frac{1}{2} ([\text{Al}^{3+}] \cdot 3^2 + [\text{SO}_4^{2-}] \cdot 2^2 + [\text{Fe}^{3+}] \cdot 3^2 + [\text{Cl}^-] \cdot 1^2)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1 \cdot 3^2 + 1,5 \cdot 2^2 + 1 \cdot 3^2 + 3 \cdot 1^2) = 0,5 \cdot (9 + 6 + 9 + 3) = 0,5 \cdot 27 = 13,5$$

Endi Debay va Xyukkel formulasidan foydalanib, eritmaning faollik koeffitsiyentini aniqlaymiz:

$$\lg f = -0,5 Z^2 \sqrt{\mu}$$

Eritmadagi aluminiiy sulfat tuzining faollik koeffitsiyentini topamiz:

Vazifa:

1) 1000 g suvda 0,01 mol CaCl_2 va 0,1 mol Na_2SO_4 saqllovchi eritmaning ion kuchini hisoblash (molyar konsentratsiya molyal konsentratsiyaga teng deb qabul qilinadi).

2) 1 litrda 0,001 mol $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ saqllovchi eritmanig ion kuchini hisoblash.

3) 1 litrda 0,8 mol CuSO_4 saqllovchi eritmaning ion kuchini hisoblash.

Nazorat savollari:

1. 1 litrda suvda 0,6 mol ZnSO_4 eritilganda eritmaning ion kuchi qanday qiymatga ega bo'ladi? Bunda hajm o'zgarishi hisobga olinmasin.

2. 2000 g suvda 0,02 mol BaCl_2 va 0,3 mol NaNO_3 eritilishidan hosil bo'lgan eritmaning ion kuchi qanday qiymatga ega bo'ladi?

3. 2 litrda suvda 1 mol AgNO_3 eritilganda ($\rho = 1,2 \text{ g/sm}^3$) eritmaning ion kuchi qanday qiymatga ega bo'ladi?

12-amaliy mashg'ulot

Gidrometallurgik jarayonlar kinetikasi bo'yicha hisoblar

(2 soat)

Kimyoviy reaksiyalarning mohiyati boshlang'ich moddalardagi bog'lanishlarning uzilishi va reaksiya mahsulotlarida yangi bog'lanishlarning paydo bo'lishidan iborat. Bunda har qaysi element atomlarining reaksiyadan oldingi va reaksiyadan keyingi umumiy soni o'zgarmasdan qoladi. Bog'lanishlar hosil bo'lishida energiya chiqishi, bog'lanishlar uzilganda esa yutilishi sababli kimyoviy reaksiyalarda energetik effekt sodir bo'ladi. Ma'lumki, agar boshlang'ich moddalardagi uziladigan bog'lanishlar puxtaligi reaksiya mahsulotlaridagi bog'lanishlar puxtaligidan kam bo'lsa, energiya chiqadi, aks holda yutiladi. Odatda, energiya issiqlik shaklida chiqadi yoki yutiladi. Moddalarning o'zgarishi haqidagi tasavvurlar, shuningdek, ularni sanoatda olishning iqtisodiy samaradorligi kimyoviy reaksiyalarning tezligi bilan bog'liq. Kimyoviy reaksiyalarning tezliklari va mexanizmlari haqidagi ma'lumot *kimyoviy kinetika* deyiladi.

Kimyoviy reaksiyaning tezligi deganda sistemaning hajmi o'zgarmaganda reaksiyaga kirishayotgan moddalardan birining konsentratsiyasining vaqt birligi ichida o'zgarishi tushuniladi.

$$A + B = C + D$$

A yoki B modda sarflangan sari reaksiyaning **tezligi** muayyan vaqt oralig'i uchun aniqlanishi mumkin, degan xulosa kelib chiqadi. A moddaning (B moddaning) konsentratsiyasi t_1 vaqtda C_1 kattalik, t_2 vaqtda C_2 kattalik bilan o'lganligi sababli $\Delta t = t_2 - t_1$ vaqt ichida modda konsentratsiyasining o'zgarishi $\Delta C = C_2 - C_1$ bo'ladi, bunda reaksiyaning o'rtacha **tezligi** (V) aniqlanadi:

$$V = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1) = \Delta C / \Delta t$$

Bu yerda A modda konsentratsiyasining va $C_2 - C_1$ ayirmaning qiymati manfiy bo'lishiga qaramay, reaksiyaning **tezligi** faqat musbat kattalik bo'lishi mumkin.

Reaksiya tezligiga ta'sir etuvchi omillar

Kimyoviy reaksiyaning **tezligi** reaksiyaga kirishayotgan moddalarning tabiatiga, reaksiyaning borish shart-sharoitlariga, konsentratsiya C ga, temperatura t ga, katalizatorlarning ishtirok etish-etmasligiga hamda ba'zi omillarga (masalan, gazlarda bo'ladigan reaksiyalarda - bosimga, qattiq moddalarning reaksiyalarida - moddalarning maydalanganligiga, radioaktiv nurlantirishga) bog'liq bo'ladi.

Kimyoviy reaksiya tezligiga reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyalarining ta'siri

Kimyoviy reaksiyalarning **tezligi** reaksiyaga kirishayotgan moddalar konsentratsiyalari ko'paytmasiga proporsionaldir.

$$V = k C_A C_B$$

Bunda C_A va C_B —A va B moddalarning konsentratsiyalari, mol/l; k—proporsionallik koefitsienti, u reaksiyaning tezlik konstantasi deyiladi. Kimyoviy kinetikaning asosiy qonuni ko'pincha ta'sir etuvchi massalar qonuni yoki reaksiyaning kinetik tenglamasi deyiladi.

Kimyoviy reaksiya tezligiga temperaturaning ta'siri

Reaksiya tezligining temperaturaga bog'liqligi Vant-Goff qoidasi bilan aniqlanadi: harorat har 10°C ga ko'tarilganda ko'pchilik kimyoviy reaksiyalarning **tezligi** 2-4 marta ortadi.

$$V_{t_2} = V_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Bunda, V_{t_1} , V_{t_2} —tegishli boshlang'ich (t_1) va oxirgi (t_2) haroratlardagi reaksiya tezligi;

γ -reaksiya tezligining harorat koeffitsienti, u reaksiyaga kirishuvchi moddalarning harorati 10°C ko'tarilganda reaksiyaning tezligi nechta marta oshishini ko'rsatadi.

Harorat o'zgarganda reaksiya tezligining tez o'zgarishini aktivlanish nazariyasi tushuntirib beradi. Bu nazariyaga ko'ra ushbu reaksiyani amalga oshirishga yetarli energiya bor aktiv molekulalar (zarrachalar)gina kimyoviy reaksiyaga kirishadi. Noaktiv zarrachalarga zaruriy qo'shimcha energiya berish yo'li bilan ularni aktiv zarrachalarga aylantirish mumkin. Bu jarayon *aktivlanish* deyiladi. Aktivlanish usullaridan biri haroratni oshirish. Harorat ko'tarilganda aktiv zarrachalar soni ko'payadi, shuning uchun reaksiya tezligi ham keskin ortadi.

Reaksiyaga kirishayotgan moddalar molekularini (zarrachalarini) aktiv zarrachalarga aylantirish ushuni ularga berilishi lozim bo'lgan energiya *aktivlanish energiyasi* deyiladi. U E_a bilan belgilanadi va tajriba yo'li bilan aniqlanadi hamda kJ/mol da ifodalanadi.

Reaksiyaning tezligi aktivlanish energiyasining qiymatiga bevosita bog'liq: agar u kichik bo'lsa, u holda ma'lum vaqt ichidagi reaksiyada ko'p sondagi zarrachalar energetik to'siqni yengib o'tadi va reaksiyaning tezligi yuqori bo'ladi, lekin agar aktivlanish energiyasi katta bo'lsa, u holda reaksiya sekin boradi.

Ionlar o'zaro ta'sirlashganda aktivlanish energiyasi juda kichik bo'ladi va ionli reaksiyalar juda katta tezlik bilan (amalda bir onda) boradi.

Kataliz va katalizatorlar haqida tushuncha

Kimyoviy reaksiyaning tezligini katalizatorlar yordamida oshirish mumkin, chunki haroratni oshirgandan ko'ra katalizator ishlatgan afzalroq. Bundan tashqari haroratni hamma vaqt ham oshirish mumkin emas.

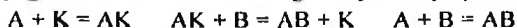
Kimyoviy reaksiyalarning tezligini o'zgartiradigan moddalar *katalizatorlar* deyiladi. Ba'zi katalizatorlar reaksiyani tezlashtiradi—*musbat kataliz* yoki *kataliz*, boshqalari sekinlashtiradi—*manfiy kataliz* deyiladi.

Manfiy kataliz ko'pincha ingibitorlash, reaksiya tezligini kamaytiruvchi manfiy katalizatorlar esa *ingibitorlar* deyiladi.

Katalizatorlar ishtirokidagi kimyoviy reaksiyalar *katalitik reaksiyalar* deyiladi. Katalizatorning o'zi reaksiyalarda sarflanmaydi va oxirgi mahsulotlar tarkibiga kirmaydi. Katalizning ikki turi - gomogen (bir jinsli) va geterogen (bir jinsli emas) katalizlar mavjud.

Gomogen katalizda reaksiyaga kirishuvchi moddalar va katalizator bir fazali sistema - gaz yoki suyuqlik sistemani hosil qiladi, katalizator bilan reaksiyaga kirishuvchi moddalar orasida chegara sirti bo'lmaydi. Masalan, H_2O_2 ning tuzlar eritmasi ishtirokida parchalanishi.

Geterogen katalizda reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan katalizator turli fazalardan iborat sistemani hosil qiladi. Bunda reaksiyaga kirishuvchi moddalar bilan katalizator orasida chegara sirti bo'ladi. Odatda katalizator - qattiq modda, reaksiyaga kirishuvchi moddalar - gazlar yoki suyuqliklar bo'ladi.



Ba'zi moddalar qattiq katalizatorlarning aktivligini kamaytiradi yoki butunlay yo'qotadi. Bunday moddalar katalitik zaharlar deyiladi. Masalan, As, Hg, Pb birikmalari, ionli birikmalar. Lekin o'zi katalizator bo'lmay turib, shu reaksiya katalizatorlarning ta'sirini ko'paytiradigan moddalar ham bor. Bu moddalar *promotorlar* deyiladi.

Mavzuga doir masala va mashqlar yechish

1-masala. Kimyoviy reaksiya eritmada $A+B \rightarrow C$ tenglamaga muvofiq boradi. Agar A moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi 1,2 mol/l bo'lib, reaksiya boshlanganidan 40 soniya o'tgandan so'ng uning konsentratsiyasi 0,65 mol/l bo'lgan bo'lsa, shu reaksiyaning o'rtacha tezligini toping.

Yechish: O'rtacha tezlikni topish formulasiga qo'yib yechiladi.

$$\bar{v} = \frac{c_1 - c_2}{\Delta \tau} = \frac{1,2 - 0,65}{40} = 0,01375 \text{ mol/l}\cdot\text{s}.$$

Javob: reaksiyaning o'rtacha tezligi 0,01375 mol/l·s ga teng.

2-masala. Kimyoviy reaksiya eritmada $A+B \rightarrow C$ tenglama bo'yicha sodir bo'ladi. Agar A moddaning boshlang'ich konsentratsiyasi 1,0 mol/l bo'lib, reaksiya boshlanganidan 15 min o'tgandan so'ng A moddaning konsentratsiyasi 0,85 mol/l ga kamaygan bo'lsa, shu vaqtda B moddaning konsentratsiyasi va ushbu reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

Yechish: Reaksiya $A+B \rightarrow C$ tenglamaga muvofiq bo'lganligi uchun A modda konsentratsiyasi qancha kamaysa, B modda konsentratsiyasi ham shunchaga, ya'ni 0,85 mol/l ga kamayadi va eritmada B modda qolmaydi.

$$\bar{v} = \frac{c_1 - c_2}{\Delta \tau} = \frac{0,85}{15} = 0,0567 \text{ mol/l}\cdot\text{min}.$$

Javob: reaksiyaning o'rtacha tezligi 0,0567 mol/l·s ga teng.

3-masala. Hajmi 8 l bo'lgan yopiq idishda 1 mol SO_2 va yetarlicha kislorod bo'lgan. Reaksiya boshlanganidan 6 soniya vaqt o'tgandan keyin SO_2 0,5 mol miqdorga kamaygan. Reaksiyaning o'rtacha tezligi topilsin.

Yechish: 6 sek da modda 0,5 mol miqdorga kamaygan bo'lsa: $[SO_2] = 0,5/8 = 0,0625$ bo'ladi va $0,0625/6 = 0,0104$ mol/l·s.

Javob: reaksiyaning o'rtacha tezligi 0,0104 mol/l·s ga teng.

4-masala. A va B moddalar ta'sirlashganda AB_2 tarkibli modda hosil bo'ladi. Agar moddalar konsentratsiyalari ikki marta oshirilsa, reaksiya tezligi necha marta ortadi?

Yechish: Jarayonning kimyoviy reaksiyasi quyidagicha:



Reaksiyaning dastlabki tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$v_1 = k_1[A][B]^2$$

Konsentratsiya 2 marta oshirilganda esa:

$$v_2 = k_1[2A][2B]^2$$

Shular asosida reaksiya tezligi:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k_1[2A][2B]^2}{k_1[A][B]^2} = 8$$

Javob: reaksiyaning tezligi 8 marta ortadi.

5-masala. Moddaning 10°C dagi parchalanish reaksiyasining tezlik konstantasi $k_{10}=1,08 \cdot 10^{-4}$, 60°C dagi parchalanish reaksiyasining tezlik konstantasi $5,484 \cdot 10^{-2}$ bo'lsa, shu reaksiyaning 30°C da parchalanish tezlik konstantasi va aktivlanish energiyasini toping?

Yechish: Arrenius tenglamasi asosida quyidagi tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\begin{cases} 2,303 \lg k_{T_1} = \frac{A}{T_1} + B \\ 2,303 \lg k_{T_2} = \frac{A}{T_2} + B. \end{cases}$$

Birinchi tenglamani ikkinchisidan ayirsak:

$$2,303 \lg \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = A \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

tenglama paydo bo'ladi. Berilgan qiymatlar asosida ushbu tenglamadan A ni topish mumkin ($T=T_0+t$):

$$\lg \frac{5,484 \cdot 10^{-2}}{1,08 \cdot 10^{-4}} = \left(\frac{A}{2,303} \right) \left(\frac{1}{333} - \frac{1}{283} \right),$$

bundan $A=11744$. Olingan A qiymatni sistemadagi tenglamalardan biriga qo'yib, B ni topamiz:

$$2,303 \lg(1,08 \cdot 10^{-4}) = -\frac{11744}{283} + B; \quad B=32,349.$$

Reaksiya tezligining 30°C dagi konstantasini topish uchun tenglamalardan biriga $T=273+30=303$ ni qo'yamiz:

$$2,303 \lg k_{30} = -\frac{11744}{303} + 32,349 = -38,759 + 32,349 = -6,41$$

$$\text{yoki } k_{30} = 1,647 \cdot 10^{-3}$$

Aktivlanish energiyasini formula yordamida topiladi:

$$\lg \frac{5,484 \cdot 10^{-2}}{1,08 \cdot 10^{-1}} = \frac{E_a}{8,314 \cdot 2,303} \left(\frac{1}{283} - \frac{1}{333} \right); E_a = 97,6 \text{ kJ/mol.}$$

Javob: aktivlanish energiyasi 97,6 kJ/mol ga teng.

Nazorat savollari:

1. Kimyoviy reaksiya critmada $A+B \rightarrow C$ tenglamaga muvofiq borsa va A moddaning dastlabki konsentratsiyasi 0,98 mol/l, B moddaniki 0,82 mol/l, 20 min dan so'ng B moddaning konsentratsiyasi 0,12 mol/l bo'lsa, A moddaning konsentratsiyasi qanchaga kamayadi va ushbu reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

2. Reaksiyaga kirishayotgan moddalardan birining boshlang'ich konsentratsiyasi 1,6 mol/l bo'lib, 5 soniya o'tgandan so'ng uning konsentratsiyasi 0,6 mol/l bo'lsa, reaksiyaning o'rtacha tezligi qanday bo'ladi?

3. Reaksiyaning temperatura koeffitsiyenti 2 bo'lsa, harorat 50°C ga ortganda reaksiya tezligi necha marta ortadi?

13-amaliy mashg'ulot

Gidrometallurgik jarayonlarning mexanizmi bo'yicha misollar

(2 soat)

Kimyoviy reaksiyalar kinetikasi fizik kimyo fanining kimyoviy reaksiyalarni vaqt mobaynida kechadigan jarayon sifatida o'rganadigan bo'limi. Kimyoviy reaksiyalarning mexanizmi esa shu jarayonlarning boshlanish nuqtasidan to mahsulot hosil bo'lgunga qadar kechadigan oraliq jarayonlarning bir-biriga mantiqiy bog'liq bo'lgan ma'lum tartibdagi ketma-ketligidir. Kimyoviy reaksiyalarning tezligi aynan shu jarayonning sodir bo'lish mexanizmiga bog'liq. Kimyoviy reaksiyalarning mexanizmini bilmay turib hech qachon jarayonning tezligiga bevosita ta'sir etib bo'lmaydi. Kimyoviy jarayonlarning mexanizmi uni amalga oshiradigan sharoitlarga bog'liq. Murakkab kimyoviy reaksiyalar mexanizmini o'rganish kechayotgan jarayon qanday elementar bosqichlardan iboratligini va bu bosqichlar o'zaro bir-biriga qay tarzda bog'liqligini, qanday oraliq mahsulotlar hosil bo'lishini va kimyoviy reaksiyaning tezligi qanday

tartibdagi reaksiya qonuniyatga bog'liqligini aniqlashga imkon beradi. Kimyoviy reaksiyalarning kinetikasi va mexanizmini o'rganishda shu jarayonda mavjud bo'la oladigan mayda zarrachalar (masalan, erkin atom va radikallar, ionlar va faollashtirilgan molekullar) uning o'rganish obyekti bo'lsa, mazkur zarrachalarning to'qnashish ehtimolliklari va sharoitlari bu bo'limning tadqiqot usuli hisoblanadi. Shu tushunchalarga asoslangan holda sodir bo'lishi mumkin bo'lgan reaksiyaning tartibini topiladi va uning matematik ifodasi (formulasi) keltirib chiqariladi. Shundan so'ng matematik ifodani dasturlashtirilib ishlab chiqarish jarayoniga tatbiq etiladi.

Umuman olganda, metallurgik jarayonlarda sodir bo'ladigan kimyoviy reaksiyalarning mexanizmini umumiy ko'rinishda 3 bosqichga bo'lish mumkin. Bular:

1. Reaksiyaga kirishuvchi ikki modda atom yoki molekullarining bir-biri bilan to'qnashishi.

2. Kimyoviy reaksiyaning borishi.

3. Hosil bo'lgan mahsulotlarning reaksiya sirtidan ajralishi.

Shu bosqichlarga asoslanib, kimyoviy reaksiyalarning borish tartibi yoki maromi ham uchga bo'lib o'rganilgan. Ular:

- diffuzion tartib, ya'ni ikki modda reaksiyaga kirishishi uchun ular birinchi navbatda bir-biri bilan to'qnashishi zarur va bu holat kimyoviy reaksiyani sodir bo'lishining eng asosiy shartidir. Diffuzion tarqalishni amalga oshirish maqsadida metallurgik jarayonlarda gazsimon moddalar uchun bosim oshiriladi; suyuq moddalar uchun intensiv ravishda pnevmatik, mexanik yoki pnevmomexanik usulda aralashtiriladi; qattiq moddalarda esa ularni maxsus maydalagich va tegirmonlarda maydalanib yanchiladi hamda birikmalarni bir-biriga aralashishini ta'minlash uchun shixtalar tayyorlanadi;

- kinetik tartib, ya'ni jarayonning sodir bo'lishi bir-biriga tegib turgan molekula va atomlarning kimyoviy ta'sirlashishiga bog'liq, chunki molekullar diffuziyasi to'liq ta'minlangan sharoitda ikki modda bir-biri bilan ta'sirlashmasa kimyoviy mahsulotlarning unumi nolga teng bo'ladi. Kinetik tartibga bog'liq bo'lgan jarayonlarning kimyoviy ta'sirlashish qobiliyatini oshirish maqsadida ularning faollanish energiyalari oshiriladi. Buning uchun reaksiya muhitining harorati oshiriladi yoki faollanish energiyasini kamaytirish maqsadida har xil katalizatorlar qo'shiladi;

- aralash tartib, ya'ni metallurgik jarayonning sodir bo'lishi ham diffuzion tartibga va ham kinetik tartibga bog'liq bo'lishi mumkin. Metallurgiyada uchraydigan ko'pchilik jarayonlar aynan aralash tartibda oqib o'tishi tajriba yo'llari bilan aniqlangan. Bunday jarayonlarga to'g'ri yondashuv maqsadida har

ikki tartibga bog'liq bo'lgan jarayonlarning tezligini ta'minlash usullaridan to'liq foydalaniladi.

Barcha kimyoviy reaksiyalarning aynan qaysi tartibda oqib o'tayotganligini bilish uchun dastlab ularning mexanizmi ko'rib chiqiladi. Masalan, $aA + bB = cC + dD$ reaksiya uchun to'g'ri reaksiyaning tezligi $v = k[A]^m[B]^n$ formula orqali aniqlanadi. Bu yerda k – tezlik konstantasi; m va n lar reaksiyaning tartiblari hisoblanadi. Tezlik konstantasi va reaksiyaning tartiblari tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Reaksiyaning tartibi reaksiyani tenglashtirgandagi koeffitsientlar bilan har doim ham bir xil bo'lavermaydi.

Mavzuga doir masala va mashqlar yechish

1-masala. $aA + bB = cC + dD$ reaksiya uchun umumiy ravishda har bir reagentning miqdoriga bog'liq bo'lgan tezlik tenglamalarini tuzing.

Yechish: Bunda har bir dastlabki reagentlarning vaqt birligi ichidagi sarfi manfiy ishora bilan, hosil bo'lgan moddalarning tezligi esa musbat ishora bilan beriladi.



$$\text{Tezlik} = - \frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = - \frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = + \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t} = + \frac{1}{d} \frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

2-masala. $aA + bB = cC + dD$ reaksiya uchun nolinch, birinchi va ikkinchi tartibda oqib o'tish qonuniyatlarining tenglamalarini tuzing.

Yechish: Nolinch tartibli tezlik tenglamasi quyidagicha topiladi:

$$\text{rate} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k[A]^0$$

$$[A]_t - [A]_0 = -kt$$

Birinchi tartibli tezlik tenglamasi quyidagicha topiladi:

$$\text{rate} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k[A]$$

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]_t} = kt \qquad \ln [A]_0 - \ln [A]_t = kt$$

Ikkinchi tartibli tezlik tenglamasi quyidagicha topiladi:

$$\text{rate} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = k [A]^2$$

$$\frac{1}{[A]_t} - \frac{1}{[A]_0} = kt \qquad \frac{1}{[A]_t} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$

Nazorat savollari:

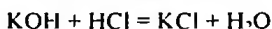
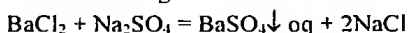
1. Kimyoviy reaksiyaning mexanizmi deganda nimani tushunasiz?
2. Metallurgik jarayonlari qanday tartiblarga bog'liq?
3. Diffuzion va kinetik tartibda oqib o'tadigan jarayonlar bir-birdan nimasi bilan farq qiladi?
4. Aralash tartibda oqib o'tadigan reaksiyalarning tezligini oshirish maqsadida qanday chora-tadbirlarni amalga oshiriladi?

14-amaliy mashg'ulot

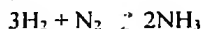
Muvozanat doimiyliklarini hisoblash misollari

(2 soat)

Kimyoviy reaksiyalar qaytmaslik va qaytarlik xususiyatlariga qarab ikki turga bo'linadi. Faqat bir yo'nalishda boradigan va reaksiyaga kirishayotgan boshlang'ich moddalar oxirgi mahsulotlarga to'liq aylanadigan reaksiyalar qaytmas reaksiyalar deyiladi. Qaytmas reaksiyalarda cho'kma tushishi, gaz modda ajralib chiqishi va kam dissotsilanadigan modda hosil bo'lishi mumkin:



Bir vaqtning o'zida bir-biriga teskari ikki yo'nalishda boradigan reaksiyalar qaytar reaksiyalar deyiladi. Qaytar reaksiyalarda tenglik ishorasi o'rniga qarama-qarshi strelka qo'yiladi, masalan,



Texnikada qaytar reaksiyalar afzal bo'lmaydi. Shu sababli ular turli usullar-harorat, bosim va boshqalarni o'zgartirish bilan amalda qaytmaz qilinadi.

Qaytar reaksiyalar oxirigacha bormaydi va kimyoviy muvozanat qaror topishi bilan tugallanadi. Masalan, NH_3 sintezi reaksiyasida vaqt birligi ichida qancha molekula NH_3 hosil bo'lsa, shuncha NH_3 azot bilan vodorodga ajraladigan holatda muvozanat qaror topadi. Demak, kimyoviy muvozanatga reaksiyaga kirishayotgan moddalar sistemasining to'g'ri va teskari reaksiyalarning tezligi o'zaro teng bo'lgan holati, deb ta'rif berish mumkin.

Muvozanat holatida to'g'ri reaksiya ham, teskari reaksiya ham to'xtamaydi, shuning ushuni bunday muvozanat *dinamik muvozanat* deyiladi. Ikkala reaksiyaning ta'siri bir-birini yo'qotgani sababli reaksiya aralashmada sezilarli o'zgarishlar sodir bo'lmaydi. Reaksiyaga kirishayotgan barcha moddalarning, boshlang'ich moddalarning ham, hosil bo'ladigan moddalarning ham konsentratsiyalari o'zgarmasligicha qoladi. Reaksiyaga kirishayotgan moddalarning kimyoviy muvozanat topgandagi konsentratsiyasi *muvozanat konsentratsiyasi* deyiladi. Ular odatda reaksiyaga kirishayotgan moddalarning o'rtacha qavsga olingan formulalari bilan belgilanadi. masalan, $[\text{H}_2]$, $[\text{N}_2]$, $[\text{NH}_3]$, muvozanatmas konsentratsiyalar esa C H_2 , C N_2 , C NH_3 kabi belgilanadi.

Kimyoviy muvozanat holatiga reaksiyaga kirishayotgan moddalarning konsentratsiyasi, harorat gazsimon moddalar uchun esa bosim ham ta'sir etadi. Bu parametrlardan bittasi o'zgarganida muvozanat buziladi va reaksiyaga kirishayotgan barcha moddalarning konsentratsiyalari yangi muvozanat qaror topgunga qadar o'zgaraveradi. Bu muvozanat konsentratsiyalarning boshqa qiymatlarida qaror topadi. Reaksiya sistemasining bir muvozanat holatidan boshqasiga bunday o'tishi *kimyoviy muvozanatning siljishi* yoki *surlishi* deyiladi. Agar sharoit o'zgarganida oxirgi moddalarning konsentratsiyalari ko'paysa, muvozanat reaksiya mahsulotlari tomoniga siljigan bo'ladi. Agar boshlang'ich moddalarning konsentratsiyasi ko'paysa, u holda muvozanat boshlang'ich moddalar hosil bo'lishi tomoniga siljigan bo'ladi.

Reaksiyaga kirishayotgan moddalarning konsentratsiyasi, harorat va bosim (gazlardagi reaksiyalarda) o'zgarganda kimyoviy muvozanatning siljish yo'nalishi umumiy qoida bilan aniqlanadi, bu qoida *siljuvchan muvozanat tamoyili* yoki *Le-Shatlye tamoyili* deb ataladi.

1-nisol. $2\text{A} + \text{B} = \text{C}$ reaksiyada muvozanat qaror topgandan so'ng A, B, C moddalarning muvozanat konsentratsiyalari mos ravishda 2, 3, 2 mol/l ga teng bo'lsa, reaksiyaning muvozanat doimiyligini toping.

Yechish: Reaksiyaning muvozanat doimiyligi quyidagi formula orqali topiladi:

$$K_M = \frac{[C]}{[A]^2 \cdot [B]} = \frac{2}{2^2 \cdot 3} = \frac{1}{6} = 0,167$$

Reaksiyaning muvozanat doimiyligi qiymati shu reaksiya qaysi tomonga siljiyotganligini bildiradi. Masalan:

- $K_M < 1$ bo'lsa, reaksiyada hosil bo'layotgan mahsulotlar kam. dastlabki moddalar miqdori ko'pligini bildiradi, ya'ni kimyoviy reaksiyada muvozanat chapga siljigan;

- $K_M > 1$ bo'lsa, reaksiyada hosil bo'layotgan mahsulotlar ko'p, dastlabki moddalar miqdori kamligini bildiradi, ya'ni kimyoviy reaksiyada muvozanat o'ng tomonga siljigan;

- $K_M = 1$ bo'lsa, reaksiyada hosil bo'lgan mahsulotlar bilan dastlabki moddalar miqdori tengligini bildiradi, ya'ni kimyoviy reaksiyada muvozanat qaror topgan yoki sistema muvozanat holatida.

2-misol. $H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O$ reaksiyada, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning dastlabki konsentratsiyalari mos ravishda 3; 4 mol/l ga teng. Agar reaksiya natijasida NaOH ning 75 % qismi sarflangan bo'lsa, sistemada muvozanat qaror topgandan so'ng muvozanat doimiysi qanchaga teng bo'ladi?

Yechish. Dastlab reaksiyaga kirishgan NaOH ning miqdorini topamiz:

$$4 \cdot 0,75 = 3 \text{ mol/l NaOH}$$

Endi bu qiymatdan foydalanib, har bir moddaning muvozanat holatdagi konsentratsiyasini topamiz. Shuni esda saqlash kerakki, muvozanat holatdagi konsentratsiyaning qiymati dastlabki konsentratsiyaning qiymatidan reaksiyaga kirishgan qiymat ayrilib topiladi. Bunday masalalarning yechilishini osonlashtirish maqsadida ularni jadval ko'rinishida yozilishi ayni nuddao bo'ladi:

H_2SO_4	$2NaOH$	Na_2SO_4	$2H_2O$	Tegishli moddalar
3	4	-	-	Dastlabki miqdori
x	3	x	2x	Reaksiyaga kirishgan miqdori
3-x	4-3=1	x	2x	Muvozanat holatdagi miqdori

Reaksiyaga muvofiq jadvaldagi noma'lum son (x)ni aniqlaymiz:

2 mol NaOH uchun ----- 1 mol H_2SO_4 kerak

3 mol NaOH uchun ----- x mol H_2SO_4 kerak

$$x = (3 \cdot 1) / 2 = 1,5 \text{ mol/l}$$

H_2SO_4	2NaOH	Na_2SO_4	$2\text{H}_2\text{O}$	Tegishli moddalar
3	4	-	-	Dastlabki miqdori
1,5	3	1,5	$2 \cdot 1,5 = 3$	Reaksiyaga kirishgan miqdori
$3 - 1,5 = 1,5$	$4 - 3 = 1$	1,5	$2 \cdot 1,5 = 3$	Muvozanat holatdagi miqdori

Endi har bir muvozanat holatdagi konsentratsiyalardan foydalanib, reaksiyaning muvozanat konstantasini topamiz:

$$K_{\text{muv}} = \frac{[\text{Na}_2\text{SO}_4] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{H}_2\text{SO}_4] \cdot [\text{NaOH}]^2} = \frac{1,5 \cdot 3^2}{1,5 \cdot 1^2} = \frac{13,5}{1,5} = 9$$

Javob: Sistemaning muvozanat doimiysi $K_{\text{muv}} = 9$ ga teng.

Vazifa:

1. Muvozanat holatda turgan $\text{A} + \text{B} = \text{C} + \text{D}$ sistemadagi moddalarning muvozanat holatdagi konsentratsiyalari mos ravishda 4; 5; 4; 2 mol/l ni tashkil etadi. Shu sistemaning muvozanat doimiysini toping.

2. $\text{Na}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl} = \text{H}_2\text{WO}_4 + 2\text{HCl}$ sistemada moddalarning muvozanat konsentratsiyalari mos ravishda 2:2:3:4 mol/l kabi nisbatda bo'lsa, reaksiyaning muvozanat konstantasini toping.

3. $\text{HNO}_3 + \text{KOH} = \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ reaksiyada, reaksiyaga kirishuvchi moddalarning dastlabki konsentratsiyalari mos ravishda 5; 6 mol/l ga teng. Agar reaksiya natijasida KOH ning 80 % qismi sarflangan bo'lsa, sistemada muvozanat qaror topgandan so'ng muvozanat doimiysi qanchaga teng bo'ladi?

Nazorat savollari:

1. Qaytmas reaksiya deganda nimani tushunasiz?
2. Reaksiyaning muvozanat doimiyligi qanday formula orqali aniqlanadi?
3. Qaytar reaksiyalarning qonuniyatlarini bilishning sanoat sohasidagi ahamiyati qanday?

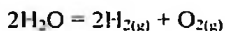
15-amaliy mashg'ulot

Potensial – pH (Purbe) diagrammasini tuzish qoidalari. Suv uchun Purbe diagrammasi (2 soat)

Eh-pH (Purbe) diagrammalari qattiq faza va suvli critmalarni saqllovchi sistemalarda muvozanat holatlarni grafik tarzda ifodalash uchun ishlatiladi (qulaydir). Diagrammalar yordanida potensial (Eh) va pH ko'rsatkichlariga bog'langan holda sistemalarda termodinamik jihatdan turg'un holatlarni ko'rsatish imkoniyatlari bor.

Suv uchun Eh-pH diagrammasi

Suv faqat erituvchi emas, balki barcha gidrometallurgik jarayonlar boradigan muhitdir. Suv kuchli tiklovchi moddalar bilan vodorod ajratib, kuchli oksidlovchilar bilan kislorod ajratib parchalanishi mumkin.



Suvning tiklanish muvozanatini quyidagi yarim reaksiya orqali ifodalash mumkin:



Normal sharoitlarda (298 °C) reaksiyaning potentsiali quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$Eh = E^0_{\text{H}^+/\text{H}_2} + \frac{0,059}{2} \lg \left(\frac{a_{\text{H}^+}^2}{P_{\text{H}_2}} \right)$$

Bu yerda, E^0 – vodorodning standart potentsiali,

a – vodorod ionlarining faolligi,

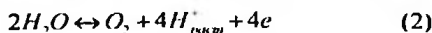
P_{H_2} – vodorodning parsial bosimi

$$Eh = E^0_{\text{H}^+/\text{H}_2} + 0,059 \lg a_{\text{H}^+} - 0,0295 \lg P_{\text{H}_2}$$

Normal sharoitlarda $E^0_{\text{H}^+/\text{H}_2} = 0$ va $P_{\text{H}_2} = 1 \text{ atm}$, va $\lg a_{\text{H}^+} = \text{pH}$, quyidagi tenglikni hosil qilamiz $Eh = -0,059 \text{ pH}$.

Shunday qilib, (1) reaksiya uchun Eh-pH bog'liqligini grafik tarzda diagrammada ab to'g'ri chizig'i bilan ifodalash mumkin va bu to'g'ri chiziqlarning og'ish burchagining tangensi $-0,059$ ga teng (7.1 - rasm). pH ko'rsatkich 0 dan 14 gacha o'zgarganda potensial ko'rsatkichi 0 dan $-0,826$ gacha o'zgaradi.

Suv ham barcha kimyoviy birikmalar kabi oksidlanadi:



Reaksiyaning potentsiali quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$Eh = E^0_{H^+/H_2} + \left(\frac{0,059}{4} \right) \lg a_{H^+} \quad (\text{npH } P_{O_2} = 1 \text{ atm})$$

Tiklanish reaksiyasi (1) boradigan vodorod standart elektrodidan va oksidlanish reaksiyasi (2) boradigan elektroddan tashkil topgan elementning E.Yu.K. ning standart ko'rsatkichi quyidagiga teng bo'lganda

$$E^0 = E^0_{H^+/H_2} - E^0_{O_2/H_2O}, \quad E^0_{H^+/H_2} = 0, \text{ bu holda } E^0 = -E^0_{O_2/H_2O} \text{ va quyidagi tenglamaga}$$

$$\text{binoan } \Delta G = -nFE^0 \Rightarrow E^0 = \frac{\Delta G}{(nF)}$$

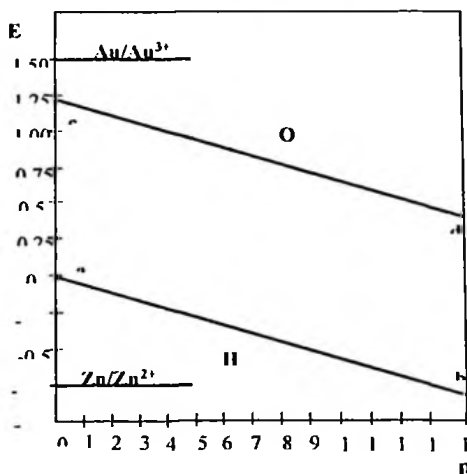
$$\Delta G^0_{\text{reak}} = \Delta G^0_{O_2} + 4\Delta G^0_{H^+} - 2\Delta G^0_{H_2O} = 0 + 4 \cdot 0 - 2(-237.2)$$

$$\Delta G^0_{\text{reak}} = 474,4 \text{ kJ/mol} \quad \text{va} \quad E^0 = \frac{474,4}{(4 \cdot 96,49)} = 1,23 \text{ B,}$$

bu holda (2) reaksiyaning potentsiali quyidagicha ifodalanadi:

$$Eh = 1,23 + \left(\frac{0,059}{4} \right) \lg a_{H^+} \quad \text{yoki}$$

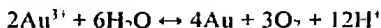
$$Eh = 1,23 - 0,059 \text{ pH.}$$



15.1-rasm. Suv uchun Pourbe diagrammasi

Bu bog'liqlik diagrammada cd to'g'ri chiziq bilan ko'rsatilgan. pH ko'rsatkichisi 0 dan 14 gacha o'zgarganda potensial ko'rsatkichi 1.23 dan 0.404 gacha o'zgaradi.

Potensial H_2/H^+ (ab) chizig'idan past bo'lgan barcha tiklovchilar va potensial H_2O/O_2 (cd) chizig'ida yuqori bo'lgan oksidlovchilar suvni parchalaydi. Masalan, rux pH ko'rsatkichining keng chegarasida suvni parchalaydi. Oltin ionlari esa suvdan kislorodni siqib chiqaradi, chunki quyidagi reaksiya uchun standart potensial +1,5 V teng:



Nazorat savollari:

1. Gidrometallurgiyada Purbe diagrammasi nima maqsadda qo'llaniladi?
2. Vodorodning oksidlanish potentsiali nechaga teng?
3. Kislorodning oksidlanish potentsiali nechaga teng?

16-amaliy mashg'ulot
Aluminiy – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi
(2 soat)

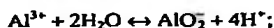
Aluminiy suv sistemasining qattiq fazasida elementar aluminiy va aluminiy gidroksid (oksid), suyuq fazasida Al^{3+} va AlO_2^- (aniqrog'i $Al(OH)_4^-$) komponentlari mavjud bo'ladi. Shuning uchun eritmadagi ionlar orasidagi muvozanat shartlarini ko'rib chiqish zarur.

Hisoblashlar mobaynida birikma va ionlar Gibbs energiyalarining standart qiymatlari qabul qilingan:

Birikma yoki ion	$Al(OH)_3$ gidrargillit	Al^{3+} (suvda)	AlO_2^- (suvda)	H_2O
ΔG° , kJ/mol	- 1160,2	- 481,4	- 839,7	- 237,2

Eritmada Al^{3+} va AlO_2^- ionlari orasidagi muvozanat.

Al^{3+} va AlO_2^- ionlarining faolliklari orasidagi bog'liqligi quyidagi reaksiyaning muvozanati bilan aniqlanadi:



$$\Delta G^\circ = -839,7 - (-481,4) - 2(-237,2) = 116,1 \text{ kJ/mol}$$

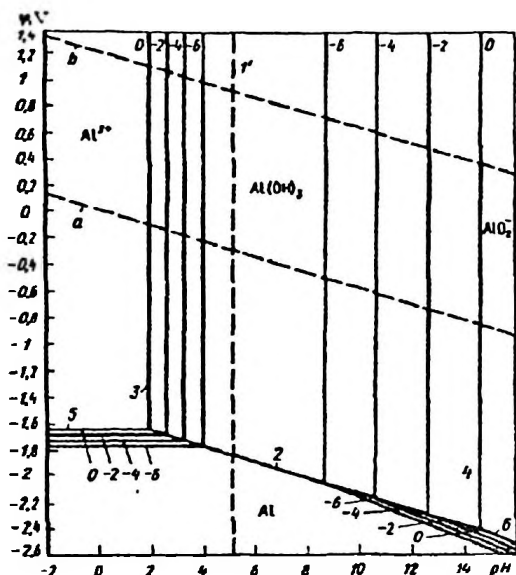
$$\lg K_a = \lg \frac{a_{AlO_2^-} a_{H^+}^4}{a_{Al^{3+}}} = - \frac{116100}{2,303 \cdot 8,314 \cdot 298} = -20,3$$

$$\lg(a_{AlO_2^-} / a_{Al^{3+}}) = -20,3 + 4pH.$$

Ko'rib chiqilayotgan reaksiyada oksidlanish-qaytarilish jarayonlari yo'q, ionlar orasidagi muvozanatga doir munosabat potensialga bog'liq bo'lmay, faqatgina pH funksiyasi bilan ifodalanadi. Suvli fazalarda turli xil ionlar saqlagan sistemalar uchun diagrammalar tuzish natijasida muvozanat vaqtidagi ionlarning faolliklari bir-biriga teng bo'lgan tenglamalar asosida yechiladi:

Agar $a(Al^{3+}) = a(AlO_2^-)$ bo'lsa, u holda $\lg(a(AlO_2^-)/a(Al^{3+})) = 0$ va $pH = 20,4 / 4 = 5,07$ ga teng bo'ladi.

Diagrammada bu munosabat ordinata o'qiga parallel chiziqlar bilan tasvirlangan. Bunda $pH = 5,07$. Diagrammada 1^l chizig'idan chap tomonda ($pH < 5,07$) eritmada asosan Al^{3+} ionlari ishtirok etadi, o'ng tomonda esa ($pH > 5,07$ bo'lganda) AlO_2^- anionlari qatnashadi.



16.1-rasm. Aluminiy – suv uchun φ – pH diagrammasi.

Al – Al(OH)₃ muvozanati. Al va H₂O orasidagi o'zaro ta'sirlashuv reaksiyasi gidrargillit hosil bo'lishi bilan boradi:

$$\begin{aligned}
 \text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} &\leftrightarrow \text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+ + 3e^-; \\
 \Delta G^\circ &= -1160,2 + 3 \cdot 237,2 = -448,6 \text{ kJ/mol}; \\
 \varphi^\circ &= \Delta G^\circ / (nF) = -448600 / (3 \cdot 96493) = -1,55 \text{ V}; \\
 \varphi &= -1,55 + (0,059/3) \lg a_{\text{H}^+}^\circ \text{ yoki} \\
 \varphi &= -1,55 - 0,059 \text{ pH}.
 \end{aligned}$$

Yuqorida kelib chiqqan tenglamaga mos ravishda φ – pH diagrammada Al va Al(OH)₃ orasidagi muvozanat suvning barqaror mintaqasida chegaralangan egri chiziqlarga mos ravishdagi chiziqlar bilan tasvirlangan.

Al – Al(OH)₃ muvozanat chiziqlari suvning barqarorlik hududlari ostida joylashganligiga qaramay, aluminiy pH ning suv mavjud bo'lgan barcha intervallarida termodinamik nuqtayi nazardan beqaror moddadir. Lekin kimyoviy korroziya odatdagi baroratda asta-sekinlik bilan aluminiyli oksid parda hosil bo'lishi bilan oqib o'tadi.

Al³⁺ va Al(OH)₃ orasidagi muvozanat. Jarayonning kimyoviy reaksiyasi va ushbu reaksiyaning muvozanat holati tenglamalari quyidagicha yoziladi:



$$\Delta G^\circ = -1160,2 - 3(-237,2) - (-481,4) = 32,8 \text{ kJ/mol};$$

$$\lg K_a = \lg(a_{\text{H}^+}^3 / a_{\text{Al}^{3+}}) = -32800 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -5,75;$$

$$\lg a_{\text{Al}^{3+}} = 5,75 - 3\text{pH}$$

Hosil bo'lgan tenglamadan shuni kuzatish mumkinki, gidrargillit bilan muvozanatda turgan Al^{3+} ionlarining faollik logarifmi pH ning chiziqli funksiyasi hisoblanadi. Har bir $\lg a(\text{Al}^{3+})$ qiymati potensialning barcha qiymatlarida gidroksid hosil bo'lishining aniqlangan pH qiymatiga mos keladi. Masalan, $\lg a(\text{Al}^{3+}) = 0$ bo'lsa, u holda $\text{pH} = 1,92$; yoki $\lg a(\text{Al}^{3+}) = -4$ bo'lsa, u holda $\text{pH} = 3,25$ va hokazo. Shunday qilib, bu diagrammadan shuni ko'rish mumkinki, Al^{3+} ionining faolligi ortgani sari gidroksidning hosil bo'lish pH ko'rsatkichi kamayib boradi.

$\text{Al}(\text{OH})_3$ va AlO_2^- anioni orasidagi muvozanat. Jarayonning kimyoviy reaksiyasi va muvozanat holatining tenglamalari quyidagicha:



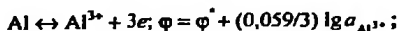
$$\Delta G^\circ = -237,2 - 839,7 - (-1160,2) = 83,3 \text{ kJ/mol};$$

$$\lg K_a = \lg(a_{\text{AlO}_2^-} a_{\text{H}^+}) = -83300 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -14,6;$$

$$\lg a_{\text{AlO}_2^-} = -14,6 + \text{pH}.$$

$\text{Al} - \text{Al}(\text{OH})_3$ muvozanati kabi bu muvozanat sistemasida ham har bir $\lg a(\text{AlO}_2^-)$ faollikning qiymati gidroksid hosil bo'lishining pH kattaligiga mos keladi. Shunga binoan, diagrammada ordinata o'qiga parallel chiziqlar keltirilgan bo'lib, ular uchun $\lg a(\text{AlO}_2^-)$ ning qiymatlari mos ravishda 0; - 2; - 4; - 6 ga teng bo'ladi (4-chiziq).

$\text{Al} - \text{Al}^{3+}$ muvozanati. Al^{3+} ionlari alumiiniyning oksidlanish mahsulotlari hisoblanadi:



$$\varphi^\circ = -1,663 \text{ V} \quad \varphi = -1,663 + 0,0197 \lg a_{\text{Al}^{3+}}.$$

Ko'rilayotgan reaksiya uchun potensial - Al^{3+} ionlarining faollik logarifmining chiziqli funksiyasi eritmaning pH qiymatiga bog'liq emas. Shuning uchun har bir $\lg a(\text{Al}^{3+})$ qiymatiga potensialning aniqlangan qiymati mos keladi. Alumiiniy va Al^{3+} ionlari orasidagi muvozanat diagrammada absissa o'qiga parallel chiziqlarda ifodalangan (16.1-rasm, 5-chiziq).

Al va AlO_2^- ionlari orasidagi muvozanat. AlO_2^- ionlarining hosil bo'lishini quyidagi reaksiyaning oqib o'tishi bilan tushuntiriladi:

$$\begin{aligned} \text{Al} + 2\text{H}_2\text{O} &\leftrightarrow \text{AlO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \\ \Delta G^\circ &= -839,7 - 2(-237,2) = -365,3 \text{ kJ/mol} \\ \varphi^\circ &= -1,262 \text{ V}; \varphi = -1,262 + (0,059/3) \lg(a_{\text{AlO}_2^-} a_{\text{H}^+}^4); \\ \varphi &= -1,262 + 0,0197 \lg a_{\text{AlO}_2^-} - 0,0788 \text{ pH}. \end{aligned}$$

Ko'rilayotgan reaksiyaning muvozanat potentsiali AlO_2^- ionlari va pH ning faollik funksiyasi hisoblanadi. Har bir muvozanatda turgan ionlar uchun faollik qiymati 0.0788 burchak ko'effitsiyenti bilan ifodalangan to'g'ri chiziqlar orqali tasvirlanadi (6-chiziq).

Nazorat savollari:

1. Aluminiy kislotali muhitda qanday birikmalarni hosil qiladi?
2. Ishqoriy muhitda aluminiy qanday birikmalarni hosil qiladi?
3. Aluminiyning sirtida oksid parda hosil qilib korroziyalanmasligini qanday qilib tushuntirasiz?

17-amaliy mashg'ulot

Rux-suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi (2 soat)

Ko'pchilik elektrokimyoviy jarayonlar suv va havo ishtirokida boradi. Elektrodda muvozanat potentsialini hosil qilish uchun barcha qo'shimcha reaksiyalarning sodir bo'lishini oldini olish kerak.

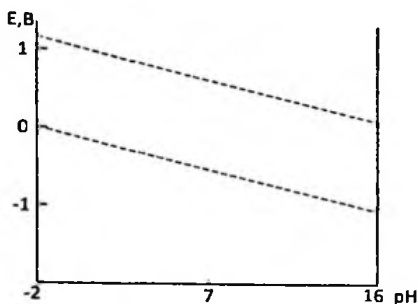
Har qanday elektrodning muvozanat potentsialini aniqlash uchun shu elektrodning standart potentsiali va erituvchi ishtirokida boradigan elektrokimyoviy reaksiyalar potentsiallari nisbati olinadi.

Metall holidagi rux, uning ionlari va suvning pH ning har xil qiymatidagi o'zaro ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Diagrammani tuzish uchun quyidagilarni bilish zarur:

- oksidlanish, qaytarilish, kompleks hosil bo'lishi va cho'kish kabi reaksiyalarni bilish kerak;
- ularning miqdoriy tavsifini bilish kerak;
- E - pH koordinatalarida grafik tasvirlashni bilish kerak.

Purbe diagrammasi konsentratsiyaning ikki tartibga farqlanadigan to'rtta qiymati uchun tuziladi: 10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} , 10^0 .



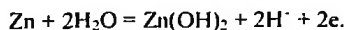
17.1-rasm. Oddiy rux metallining anodli qutblanish diagrammasi.

1. Nordon eritmalarda rux elektrodining sirtida anodli qutblanish (polyarizatsiya) jarayoni oddiy gidratlangan rux ionlari hosil bo'lishi bilan boradi: $Zn = Zn^{2+} + 2e$.

Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali pH ga bog'liq emas va Purbe diagrammasida pH o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziq ko'rinishida tasvirlanadi:

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{Zn^{2+}}$$

2. pH qiymati oshishi bilan anod reaksiyasining tabiati o'zgaradi:



Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali rux ionlarining konsentratsiyasiga bog'liq bo'lmasdan, balki eritmaning pH qiymatiga bog'liq.

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{H^+}^2 = E^0 - 0.059 pH$$

Bu reaksiyaning muvozanat potentsialining chizig'i diagrammada 59 mV/1 pH mintaqada qiyalik burchagi hosil qiladi.

3. pH qiymatining oshishi bilan rux ionlaridan rux gidroksidi olinishi mumkin: $Zn^{2+} + 2H_2O = Zn(OH)_2 + 2H^+$. Bu reaksiyaning muvozanat doimiyligi:

$$K = \frac{a_{Zn(OH)_2} \cdot a_{H^+}^2}{a_{Zn^{2+}} \cdot a_{H_2O}^2} \quad K = \frac{a_{H^+}^2}{a_{Zn^{2+}}} \quad \lg K = \frac{2 \lg a_{H^+}}{\lg a_{Zn^{2+}}} \quad \lg K = -11,26$$

$$pH = \frac{11,26 - \lg a_{Zn^{2+}}}{2} \quad a_{Zn^{2+}} = 1 \quad pH = 5,63.$$

Purbe diagrammasida rux ionlari va rux gidroksidi orasidagi muvozanatni belgilovchi chiziq rux ionlarining faolligi 1 ga teng bo'lganda pH ning qiymati 5,63 ga teng bo'lganini ko'rish mumkin. Rux ionlarining faolligi kamayganda bu chiziq pH ning yuqori qiymatlaridagi mintaqalar bilan kesishadi.

4. Kuchli ishqoriy eritmalarda rux gidroksidi $Zn(OH)_2$ sinkatlar hosil qilib eriydi: $Zn(OH)_2 = ZnO_2^{2-} + 2H^+$. Bu reaksiyaning muvozanat doimiyligi quyidagicha aniqlanadi:

$$K = \frac{a_{ZnO_2^{2-}} \cdot a_{H^+}^2}{a_{Zn(OH)_2}} \quad \lg K = -29,48 \quad pH = \frac{29,48 + \lg a_{ZnO_2^{2-}}}{2}$$

При $a_{ZnO_2^{2-}} = 1$, $pH = 14,74$.

Bu chiziq Purbe diagrammasida rux gidroksidi va sinkat ionlari orasida muvozanat vujudga kelganda tasvirlangan. Bunda $pH=14,74$ bo'lganda vertikal chiziq ko'rinishiga ega. Sinkat ionlarining faolligi kamayishi bilan bu chiziq pH ning kichik qiymatli sohalari bilan kesishadi.

5. Sinkat ionlari kuchli ishqoriy eritmalarda ruxning anodli qutblanishi (polyarizatsiyasi) natijasida hosil bo'ladi. Jarayonning kimyoviy reaksiyasi quyidagicha:

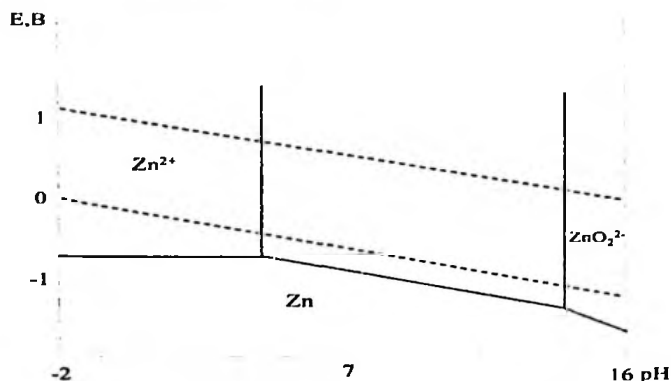


Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali quyidagi formulalar orqali aniqlanadi:

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{ZnO_2^{2-}} \cdot a_{H^+}^4}{a_{Zn} \cdot a_{H_2O}^2}$$

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{ZnO_2^{2-}} - 0,118 pH$$

Bu reaksiyaning muvozanat potentsiali rux ionlarining konsentratsiyasiga va pH ning qiymatiga bog'liq. Uning chizig'i Purbe diagrammasida 118 mV/pH burchak koeffitsiyenti qiyaligida joylashgan.



17.2-rasm. Zn – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi.

Nazorat savollari:

1. Rux metali kislotali muhitda qanday birikmalarni hosil qiladi?
2. Ishqoriy muhitda rux metali qanday birikmalarni hosil qiladi?
3. Rux metalining amfoterlik xususiyatini qanday qilib izohlaysiz?

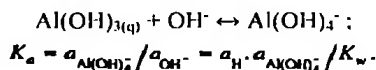
18-amaliy mashg'ulot

Ayrim sanoat tanlab eritish jarayonlarining termodinamikasi (2 soat)

Ma'lumki, aluminiiy metali barcha metallar ichida litosferada tarqalishi jihatidan asosiy o'rinni egallaydi. Klark ko'rsatkichi bo'yicha aluminiiyning yerning tosh qobig'idagi o'rtacha miqdori 8.8 % ni tashkil etadi. Ehtiyoji bo'yicha ham aluminiiy metali oldingi o'rinlarni egallaydi. Aluminiiy metali ko'p tarqalgan metal bo'lishiga qaramay, uni tayyor metall holigacha ajratib olish uchun juda ko'p elektr energiyasi talab etadi. Hozirgi vaqtda elektr energiyasining narxi dunyo bozorida ortib borayotganligi sababli unga bog'liq bo'lgan barcha mahsulotlarning ham tan-narxiga sezilarli darajada ta'sir etyapti. Aluminiiy ham bundan mustasno emas. Bundan kelib chiqadiki, aluminiiyning ishlab chiqarilishida elektr

energiyasini ko'p talab etmaydigan boshqa bir gidrometallurgik usulni tadqiq qilish hozirgi zamon aluminiy metallurgiyasining dolzarb muammosiga aylandi.

Aluminiy tabiatda oksidli minerallar ko'rinishida uchraydi. Ular: korund, glinozem va boksitli rudalardir. Mazkur minerallardan dastlab sof aluminiy oksidini ajratib olish maqsadida gidrometallurgik ishlov beriladi. Masalan, boksitli rudalarning asosiy minerali bo'lmish Gibbsit minerali $(Al(OH)_3 - \text{gidrargillit})$ natriy gidroksid eritmasi bilan qayta ishlanganda uni qattiq fazadan eritma fazasiga o'tkazish imkoniyati vujudga keladi. Gibbsit mineralining erish reaksiyasi quyidagicha:



Muvozanatda turgan eritmada tajriba yo'li bilan NaOH, $Al(OH)_4^-$, shuningdek, Na_2CO_3 larning miqdorlari aniqlandi (bu yerda Na_2CO_3 havo tarkibidagi CO_2 ning yutilishidan oz miqdorda hosil bo'lgan). Tajribalardan olingan ma'lumotlardan faollikni emas, balki konsentratsiyalar nisbatini hisoblashda foydalanildi:

$$K^- = m(Al(OH)_4^-) / m(OH^-)$$

Bu yerda, $m(Al(OH)_4^-)$ va $m(OH^-)$ – molyal konsentratsiyalar, mol/1000 g H_2O .

K^- kattaligi NaOH va $Al(OH)_4^-$ konsentratsiyalari ortishi bilan oshib boradi. K_a ning haqiqiy doimiyligiga o'tish uchun faollik koeffitsiyentini topish kerak:

$$K_a = K^- (\gamma(Al(OH)_4^-) / \gamma(OH^-))$$

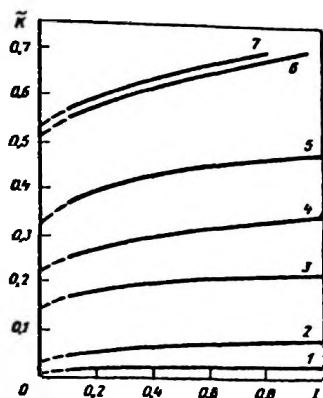
Biroq $\gamma(Al(OH)_4^-)$ ning qiymatlari haqida ma'lumotlar yo'q, shuning uchun hisoblash ishlarida K^- ni eritmaning ion kuchiga bog'liqlik qiymatlaridan foydalanildi. Ion kuchi kattaligi eritma konsentratsiyasiga proporsional ravishda o'zgaradi:

$$I = 1/2 \sum m_i z_i^2$$

Shuning uchun $m_1 = m_2 = \dots m_n = 0$ bo'lganda $I = 0$ bo'ladi.

Eritmadagi turli xil ionlar konsentratsiyalari orasidagi munosabat va ularning ion kuchi bilan bog'liqligi quyidagi reaksiya stexiometriyasi orqali aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \text{NaAl(OH)}_4 &= \text{Al(OH)}_4^- + \text{Na}^+ \text{ (I)}, \\ I_1 &= 1/2 m_{\text{Al(OH)}_4^-} + 1/2 m_{\text{Na}^+} = m_{\text{Al(OH)}_4^-}; \\ \text{NaOH} &= \text{OH}^- + \text{Na}^+ \text{ (II)}, \\ I_{II} &= 1/2 m_{\text{OH}^-} + 1/2 m_{\text{Na}^+} = m_{\text{OH}^-}; \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 &= \text{CO}_3^{2-} + 2\text{Na}^+ \text{ (III)}, \\ I_{III} &= 1/2 m_{\text{CO}_3^{2-}} \cdot 2^2 + 1/2 m_{\text{Na}^+} = \\ &= 2m_{\text{CO}_3^{2-}} + 1/2 \cdot 2m_{\text{CO}_3^{2-}} = 3m_{\text{CO}_3^{2-}}. \end{aligned}$$



18.1-rasm. Gibbsit mineralining natriy gidroksid eritmasi bilan tanlab eritishning konsentratsion muvozanat doimiysi - K ni eritmaning ion kuchi - I ga bog'liqligi (turli haroratlarda, °C: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 45; 4 – 60; 5 – 80; 6 – 100; 7 – 120).

Eritmaning ion kuchi $I = I_1 + I_{II} + I_{III}$ ga teng bo'ladi, shuning uchun bu tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$I = m_{\text{Al(OH)}_4^-} + m_{\text{OH}^-} + 3m_{\text{CO}_3^{2-}}.$$

$K_a = f(1/T)$ ning haroratga bog'liqligini reaksiyaning ΔG° , ΔH° va ΔS° qiymatlari hamda ularning bir nechta bog'liqlik formulalari bilan aniqlanadi:

$$\lg K_a = -\Delta G^\circ / (2,303RT);$$

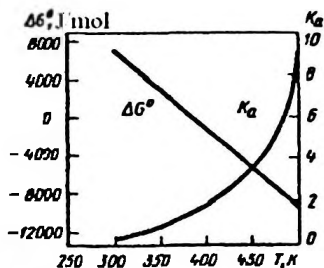
$$\lg K_a = -\Delta H^\circ / (2,303RT) + \Delta S^\circ / (2,303R)$$

Tajriba natijalariga ishlov berilgandan so'ng:

$$\lg K_a = -30700 / (2,303 \cdot 8,314T) + 4,11;$$

Shunday qilib, gibbsitning erish reaksiyasi endotermik, $\Delta H^\circ = 30700$ J/mol. $\Delta S^\circ = 78,7$ J/(mol · K) va $\Delta G^\circ = 30700 - 78,7T$ J/mol.

9.2-rasmdan shuni ko'rish mumkinki, gibbsitning erish sharoiti ($\Delta G^\circ < 0$, $K_a > 1$) 380 – 500 K da amalga oshadi. Eritish uchun ishqorning minimal miqdorini K ning qiymati orqali hisoblab topish mumkin. Bu amallarning amaliy ahamiyati doim yuqori. Shuning uchun reaksiya tezligini oshirish maqsadida ishqorning ortiqcha miqdori bilan ta'minlash zarur.



18.2-rasın. Gibbsitni natriy gidroksid eritmasi bilan tanlab eritishdagi haroratning ΔG° va K_a ga bog'liqligi.

120°C haroratda va eritmada $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ ning konsentratsiyasi 2 mol/l bo'lganda muvozanat doimiysi taxminan quyidagiga teng bo'ladi:

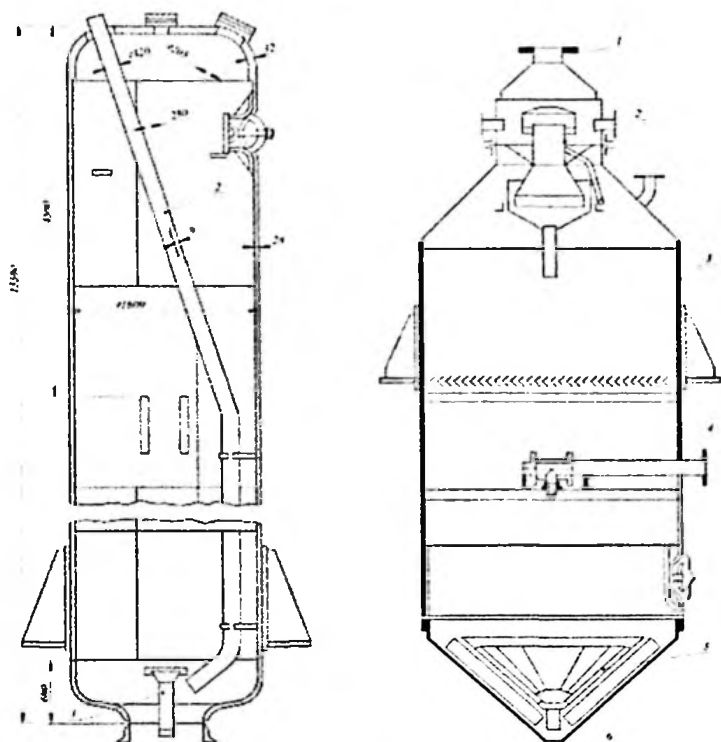
$$K^- = 1.2 \text{ (tajribaviy ma'lumot);}$$

NaOH ning zarur bo'lgan ortiqcha miqdori $1/K^-$ ga teng, ya'ni 1 mol gibbsit uchun 0.83 mol, yoki miqdoriy jihatdan 83 % ni tashkil etadi.

19-amaliy mashg'ulot

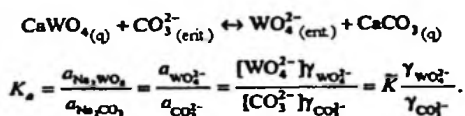
Avtoklavda sheyelit mineralining soda eritmasi bilan parchalanish jarayonining termodinamikasi (2 soat)

Volfram metalini birinchi bo'lib shved kimyogari Karl Sheyele kalsiy volframat birikmasida mavjudligini bilib, uni ajratib olishga muvaffaq bo'ldi va bu mineralga olimning nomi bilan "Sheyelit" nomi berildi. Hozirgi kunda sheyelit minerali volframning asosiy minerali bo'lganligi sababli u bir necha xil usullar bilan ajratib olinadi. Shulardan eng iqtisodiy samaraliroq usuli – avtoklavlarda tanlab eritish usulidir. Avtoklav shunday gidrometallurgik dastgohki, uning yordamida yuqori bosimda va yuqori haroratlarda ham tanlab eritish jarayonini amalga oshirish mumkin. Masalan, sheyelit mineralini soda eritmasi bilan tanlab eritish jarayonida 2,5 MPa (megapaskal) bosim hosil qilinadi va harorat 200-225°C gacha oshiriladi. Oddiy sharoitda bu haroratda suv bug'ga aylanib uchib ketishini inobatga olib avtoklav dastgohini germetik zich qilib va yuqori bosimga hamda kislota, ishqorlarning ta'siriga chidamli bo'lgan maxsus legirlangan po'latlardan tayyorlanadi.



19.1-rasm. Avtoklav dastgohining sxematik ko'rinishi

Avtoklavda sheyeliining soda eritmasi bilan parchalanish jarayoni tanlab eritish mobaynida almashinish reaksiyasi natijasida qattiq faza hosil bo'lishi bilan boradi. Reaksiya tenglamasi va muvozanat doimiyligi quyidagicha:



Reaksiyaga kirishuvchi va hosil bo'luvchi moddalarning entalpiya va entropiya ma'lumotlaridan foydalanib reaksiyaning muvozanat doimiysini aniqlaymiz:

Moddalar	CaWO ₄	CO ₃ ²⁻ (eritma)	WO ₄ ²⁻ (eritma)	CaCO ₃
- ΔH° ₂₉₈ , kJ/mol	1683,6	677,1	1115,4	1206,9
ΔS° ₂₉₈ , kJ/(mol · K)	151,04	- 56,9	62,76	92,46

Buning uchun reaksiyaning barcha termodinamik ko'rsatkichlarini aniqlaymiz:

$$\Delta H^{\circ}_{298} = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1683,6 = +38,4 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta S^{\circ}_{298} = 92,46 + 62,76 + 56,9 - 151,04 = 61,08 \text{ kJ/(mol} \cdot \text{K)};$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = 38400 - 61,08T \text{ J/mol}; \Delta G^{\circ}_{298} = 20198 \text{ J/mol};$$

$$\lg K_{a298} = 20198 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -3,54; K_{a298} = 2,9 \cdot 10^{-4}.$$

Mazkur K_a kattalik tajriba orqali aniqlangan qiymat bilan solishtirilganda juda ham kichikligini ko'rish mumkin. Agar hisoblashda CaWO₄ ning entalpiya kattaligini - 1641,4 kJ/mol deb ishlatilsa, u holda quyidagi qiymatga ega bo'lamiz:

$$\Delta H^{\circ}_{298} = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1641,4 = -3,8 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = -3800 - 61,08T \text{ J/mol};$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = -22002 \text{ J/mol};$$

$$K_{a298} = 7,4 \cdot 10^3.$$

Shunday qilib, sheyelit bilan soda eritmasining o'zaro ta'sirlashuv reaksiyasining muvozanat doimiyligini baholashda ΔH°₂₉₈ va ΔG°₂₉₈ ko'rsatkichlarining qiymatlarini bilish yetarli darajada qoniqarli natija olishga unchalik yordam bermaydi. Bunday holatda nisbatan yaxshiroq natija olish uchun K_a qiymatini CaWO₄ va CaCO₃ ning eruvchanlik ko'paytmalaridan foydalanish mumkin:

$$K_a = a_{\text{WO}_4^{2-}} / a_{\text{CO}_3^{2-}} = I_{\text{CaWO}_4} / I_{\text{CaCO}_3}$$

Hisoblashdan olingan ma'lumotlar tajribaviy ma'lumotlarga to'g'ri keladi va shu sababli suyultirilgan eritmalar uchun K⁻ ≈ K_a. Buning natijasida yetarli darajada yaqin natijalar olindi:

Harorat, t, °C	K _a ning qiymatlari:	
	Hisoblangani	Tajribaviy
175	1,75	1,6
200	6,0	3,5
218	7,1	-
225	-	7,5

Sodaning suyultirilgan eritmalarida quyidagicha gidroliz jarayoni boradi: CO₃²⁻ + H₂O ↔ HCO₃⁻ + OH⁻, shuning uchun eritmada HCO₃⁻ ionining borligini ham nazardan chetda qoldirmaslik kerak.

Konsentrlangan eritmalar uchun K^- ning tajribaviy natijalari K_2 ga qaraganda kichikroq, sababi sodaning konsentratsiyasi oshgani sari K^- ning qiymati keskin kamayib ketadi. Misol uchun, 200°C da K^- ning quyidagi qiymatlarini olamiz:

Soda ekvivalenti (mol Na_2CO_3 /mol CaWO_4)	1,0	1,5	2,0	2,5
$K^- = [\text{WO}_4^{2-}]/[\text{CO}_3^{2-}]$	1,45	1,12	0,96	0,67

K^- ning soda konsentratsiyasiga bog'liqligi $\gamma(\text{CO}_3^{2-})$ va $\gamma(\text{WO}_4^{2-})$ larning qiymatlariga asoslangan.

Ko'rib chiqilayotgan geterogen reaksiyalarni o'rganish mobaynida shuni kuzatish mumkinki, qattiq fazadan iborat qobiq hosil qiluvchi reaksiyalarning to'xtab qolishi tufayli haqiqiy muvozanatga erishilmaydi (bu qobiqning tuzilishiga bog'liq).

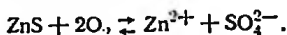
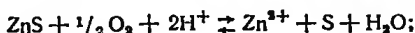
20-amaliy mashg'ulot

Oksidlovchi sifatida kislorodni, uch valentli temir sulfatini qo'llab og'ir metallar sulfidlarini va quyi oksidlarini tanlab eritish jarayonining termodinamikasi
(2 soat)

1-misol. Oksidlovchi sifatida kislorodni qo'llab og'ir rangli metallarning sulfidlarini avtoklavlarda tanlab eritish.

Cu , Zn , Ni , Mo sulfidlari nordon va ishqoriy muhitda kislorod bilan yuqori harorat va bosimda oksidalanadilar.

Misol tariqasida ZnS oksidlanish reaksiyasini ko'rib chiqamiz. Oksidlanish ikkita reaksiya bo'yicha borishi mumkinligini qabul qilamiz:



Hisobot uchun quyidagi termodinamik ko'rsatkichlar qo'llanilgan:

Birikma yoki ionlar		ZnS	H^+	O_2	Zn^{2+}	S_{romb}	H_2O	SO_4^{2-}
$-\Delta H_{298}^\circ$ kJ/mol		192	0	0	152,4	0,29	285,76	907,5
S_{298}° kJ/(mol·K)		57,7	0	205	-106,5	31,8	69,9	17,15

Bu ma'lumotlardan foydalanib quyidagi nimani olamiz:

$$\Delta G_1^\circ = -246450 + 165T; \quad \Delta G_{11}^\circ = -867900 + 557,1T;$$

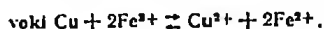
$$\Delta G_{208}^\circ(1) = -197,28 \text{ kJ}; \quad \Delta G_{208}^\circ(11) = -701,88 \text{ kJ};$$

$$\lg K_{p(I)} = 34.58; \lg K_{p(II)} = 123;$$

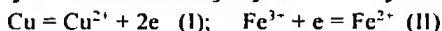
Termodinamik hisobotlar natijasi bo'yicha (II)-reaksiyaning borish imkoniyati yuqori deb taxmin qilinishi mumkin. Ammo nordon muhitda (I)-reaksiyaning tezligi (II) – reaksiyaning tezligidan ancha yuqori, shu sababdan rux sulfidining oksidlanishi sulfat ioni emas, elementar oltingugurt hosil bo'lishi bilan boradi.

Ko'rib chiqilgan misoldan ko'rinib turidiki, $\Delta G^0 < 0$ sharti reaksiyaning borishi uchun yetarli shart emas. Agar reaksiyaning hisoblangan ΔG^0 ko'rsatkichi katta musbat ko'rsatkich bo'lsa, muvozanat konstantasi nolga yaqin va termodinamik hisobot reaksiya kerakli yo'nalishda bormasligini ko'rsatadi.

2-misol. Oksidlovchi sifatida uch valentli temir sulfatini qo'llab misni eritish.



Quyidagi reaksiyani ikkita elektrod jarayoni sifatida yozish mumkin:



Elektrodlarning standart potentsiallari, V: $\varphi_I^0 = +0.345$; $\varphi_{II}^0 = +0.771$.

Reaksiyaning yig'indi tenglamasiga ko'ra (II)-elektrodda tiklanishi, (I) – elektrodda esa oksidlanish reaksiyasi boradi, shuning uchun shu elektrodlardan tashkil topgan galvanik elementning standart elektr yurituvchi kuchi

$$E^0 = \varphi_{II}^0 - \varphi_I^0 = 0.771 - 0.345 = 0.426 \text{ V ga teng.}$$

Muvozanat konstantasini hisoblash uchun quyidagi tenglamadan foydalanamiz: $\lg K_p = nFE^0 / (2.303RT)$.

Tenglamaga quyidagi ko'rsatkichlarni qo'ysak $n = 2$; $F = 96493 \text{ J/(V} \cdot \text{g} \cdot \text{ekv)}$; $R = 8.314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$; $T = 298 \text{ K}$, muvozanat konstantasining ko'rsatkichi quyidagiga teng bo'ladi: $\lg K_p = 14.43$;

$$K_{p,298} = 2.7 \cdot 10^{11}$$

Nazorat savollari:

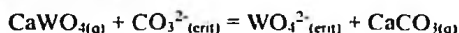
1. Sheyelit tarkibida qancha miqdor atrofida volfram mavjud bo'ladi?
2. Volframitlar tarkibidagi volfram qanday birikmalar ko'rinishida bo'ladi?
3. Natriy volframatni tanlab eritishda nech foiz ammiakli suv talab etiladi?

21-amaliy mashg'ulot

Sheyelitni avtoklavlarda parchalashda natriy floridining termodinamik zarur bo'lgan ortiqcha miqdorini aniqlash
(2 soat)

1-misol. Avtoklavlarda soda eritmalari yordamida sheyelitning parchalanishi. Jarayon yangi qattiq faza hosil bo'lishi bilan boradigan almashuvchi reaksiyali tanlab eritish jarayonidir.

Reaksiyaning tenglamasini va muvozanat konstantasini aniqlash tenglamasini quyidagicha ifodalash mumkin:



$$K_p = \frac{a_{\text{Na}_2\text{WO}_4}}{a_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{a_{\text{WO}_4^{2-}}}{a_{\text{CO}_3^{2-}}} = \frac{C_{\text{WO}_4^{2-}} \cdot \gamma_{\text{WO}_4^{2-}}}{C_{\text{CO}_3^{2-}} \cdot \gamma_{\text{CO}_3^{2-}}} = K_c \frac{\gamma_{\text{WO}_4^{2-}}}{\gamma_{\text{CO}_3^{2-}}}$$

Reaksiyaga kirishuvchi moddalarning va reaksiya mahsulotlarining entalpiya va entropiya ko'rsatkichlaridan foydalanib, reaksiyaning muvozanat konstantasini aniqlaymiz:

Birikma yoki ionlar	CaWO_4	CO_3^{2-}	WO_4^{2-}	CaCO_3
$-\Delta H_{298}^\circ$ kJ/mol	1683,6	677,1	1115,4	1206,9
S_{298}° kJ/(mol·K)	151,04	-56,9	62,76	92,46

Ushbu ma'lumotlardan foydalanib, quyidagi nimani olamiz:

$$\Delta H_{298}^\circ(\text{I}) = -1206,9 - 1115,4 + 677,1 + 1683,6 = 38,4 \text{ kJ/mol};$$

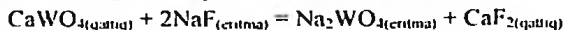
$$\Delta S_{298}^\circ(\text{II}) = 92,46 + 62,76 + 56,9 - 151,04 = 61,08 \text{ kJ/(mol·K)};$$

$$\Delta G^\circ = 38400 - 61,08T \text{ J/mol}; \Delta G_{298}^\circ = 20198 \text{ J/mol};$$

$$\lg K_{p298} = -20198 / (2,303 \cdot 8,314 \cdot 298) = -3,54;$$

$$K_{p298} = 2,9 \cdot 10^{-4}.$$

2-misol. Sheyelit mineralini natriy fluorid eritmasi bilan tanlab eritishda termodinamik zarur bo'lgan ortiqcha miqdorini hisoblang.



$$\tilde{K} = [\text{Na}_2\text{WO}_4] / [\text{NaF}]^2.$$

1 mol CaWO_4 to'liq parchalashni hisoblash uchun quyidagicha tenglama tuzamiz:

$$\tilde{K} = \frac{1/V}{[(r_{\text{qattiq}} - 2)/V]^2} = \frac{V}{(r_{\text{eritma}} - 2)^2}; K_{\Sigma} = \tilde{K} / V$$

Natriy fluoridining 1 mol sheyelit uchun sarflanadigan termodinamik zaruriy miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$r_{\text{qattiq}}^* = 2 + (1/K_{\Sigma})^{1/2} = 2 + (V/\tilde{K})^{1/2}$$

Bu yerda, $(V/\tilde{K})^{1/2}$ mol miqdor bo'yicha natriy fluoridining minimal darajada ortiqcha sarfi hisoblanadi.

Nazorat savollari:

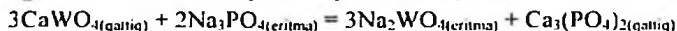
1. Sheyelitni avtoklavlarda parchalash jarayoni qanday afzalliklarga ega?
2. Sheyelitli minerallarni tanlab eritishda sarflanadigan reagentlarning ortiqcha miqdori qanday sabablarga ko'ra ko'payib ketishi mumkin?
3. Reagentning minimal darajada ortiqcha sarfi deganda nimani tushunasiz?

22-amaliy mashg'ulot

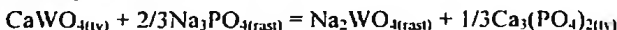
Sheyelitni parchalashda natriy fosfatining termodinamik zarur bo'lgan ortiqcha miqdorini aniqlash

(2 soat)

1-misol. Sheyelit mineralini parchalash uchun kerak bo'ladigan natriy fosfatining termodinamik ortiqcha miqdorini aniqlash.



1 mol sheyelit uchun reaksiyaning koeffitsiyentlari qisqartirilsa quyidagi reaksiya kelib chiqadi:



$$K^{\sim} = \frac{[\text{Na}_2\text{WO}_4]}{[\text{Na}_3\text{PO}_4]^3}$$

1 mol sheyelit parchalangan bo'lsa va uning hajmi V litrga teng bo'lsa, u holda muvozanat doimiyligi quyidagiga teng bo'ladi:

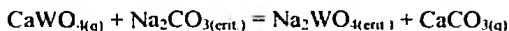
$$K^- = \frac{1/V}{[(r_{Na_3PO_4} - \frac{2}{3})/V]^{\frac{2}{3}}} = \frac{V^{-\frac{1}{3}}}{(r_{Na_3PO_4} - \frac{2}{3})^{\frac{2}{3}}}; \quad \text{va} \quad K_{\Sigma} = K^- / V^{-1/3}; \quad K_{\Sigma} = K^- \cdot V^{1/3};$$

Bundan kelib chiqadiki, 1 mol sheyelitni parchalash uchun natriy fosfatning termodinamik zaruriy miqdorini quyidagi tenglik orqali ifodalaymiz:

$$r_{Na_3PO_4}^0 = \frac{2}{3} + \left(\frac{1}{K_{\Sigma}}\right)^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} + \left[\frac{1}{K^- \cdot V^{\frac{1}{3}}}\right]^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} + \frac{1}{K^{-\frac{3}{2}} \cdot V^{\frac{1}{2}}} = \frac{2}{3} + \frac{1}{\sqrt{K^{-3} \cdot V}}$$

Bu yerda $\frac{1}{\sqrt{K^{-3} \cdot V}}$ ifodasi 1 mol sheyelitni parchalash uchun sarflanadigan natriy floridining termodinamik ortiqcha miqdoridir.

2-misol. Volframni sheyelit mineralidan soda eritmasi ishtirokida tanlab eritish:



$$K^- = [Na_2WO_4]/[Na_2CO_3]$$

1 mol miqdorda parchalangan sheyelit va V litr eritma hajmidan quyidagini aniqlaymiz:

$$K^- = (1/V)/((r_{soda} - 1)/V) = 1/(r_{soda} - 1)$$

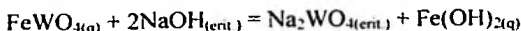
$$K_{\Sigma} = K^-$$

Termodinamik jihatdan 1 mol sheyelit uchun sarflanadigan soda miqdori quyidagicha:

$$r_{soda}^0 = 1 + (1/K_{\Sigma}) = 1 + (1/K^-)$$

Bundan kelib chiqadiki, Na_2CO_3 ning zaruriy miqdori 1 mol va minimal darajada (termodinamik jihatdan) ortiqcha sarflanish miqdori $(1/K^-)$ molni tashkil etadi.

3-misol. Ferberit mineralini NaOH eritmasi bilan tanlab eritish.



$$K^- = [Na_2WO_4]/[NaOH]^2$$

1 mol miqdordagi $FeWO_4$ ning to'liq parchalanishini hisoblashda quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$K^- = (1/V)/[(pH_{\text{NaOH}} - 2)/V]^2 = V/(pH_{\text{NaOH}} - 2)^2;$$

$$K_{\Sigma} = K^-/V$$

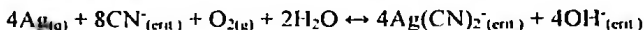
Termodinamik jihatdan 1 mol ferberit uchun sarflanadigan NaOH miqdori quyidagicha:

$$r_{\text{NaOH}}^0 = 2 + (1/K_{\Sigma})^{1/2} = 2 + (V/K^-)^{1/2}$$

Bundan ko'rinadiki, NaOH ning zaruriy miqdori 2 mol va minimal darajada (termodinamik) ortiqcha sarflanish miqdori $(V/K^-)^{1/2}$ molni tashkil etadi.

4-misol. Tug'ma (sof) kumushni sianid tuzlari eritmasi bilan havo kislorodi ishtirokida tanlab eritish. Bunda eritmaga CN^- ionlari gidrolizlanib, uchuvchan HCN kislotasi hosil bo'lmashligi uchun eritmaga himoyalovchi ishqorlar (ohak suti – $\text{Ca}(\text{OH})_2$) eritmaning vodorod ko'rsatkichi $\text{pH} = 12$ ga yetgunga qadar qo'shiladi.

Jarayon quyidagi reaksiya tenglamasi bilan yoziladi:



Reaksiyaning konsentratsiyaga bog'liq bo'lgan muvozanat doimiysi:

$$K^- = [\text{Ag}(\text{CN})_2^-]^4 \cdot [\text{OH}^-]^4 / ([\text{CN}^-]^8 \cdot P_{\text{O}_2})$$

Berilgan tenglamada qo'llanilgan OH^- ionlarining konsentratsiyasi va kislorodning bosimi eritilgan kumushning miqdoriga bog'liq emas. 1 mol Ag^+ V litrda eritilganda reaksiyaning muvozanat doimiysi quyidagiga teng bo'ladi:

$$K^- = ((1/V)^4 \cdot [\text{OH}^-]^4) / ((r_{\text{CN}} - 2)/V)^8 \cdot P_{\text{O}_2} = (V^4 \cdot [\text{OH}^-]^4) / ((r_{\text{CN}} - 2)^8 \cdot P_{\text{O}_2});$$

$$K_{\Sigma} = K^- \cdot P_{\text{O}_2} / (V^4 \cdot [\text{OH}^-]^4)$$

Termodinamik jihatdan sianidning zaruriy miqdori:

$$r_{\text{CN}}^0 = 2 + (1/K_{\Sigma})^{1/2} = 2 + (V \cdot [\text{OH}^-])^{1/2} / (K^- \cdot P_{\text{O}_2})^{1/2}$$

Reaksiya uchun minimal termodinamik ortiqcha miqdori 1 mol kumush uchun $(V \cdot [\text{OH}^-])^{1/2} / (K^- \cdot P_{\text{O}_2})^{1/2}$ molni tashkil etadi.

Nazorat savollari:

1. Moddalarni tanlab eritishdagi zarur bo'ladigan termodinamik ortiqcha miqdor deganda nimani tushunasiz?
2. Natriy fosfat qanday ionlarga ajraladi?
3. Sulfidlarni parchalashdagi reagentning ortiqcha sarfi qanday topiladi?

23-amaliy mashg'ulot

Rux keklari tarkibini va neytral eritmalarning miqdorini hisoblash (2 soat)

Rux keklarining chiqishini hisoblash uchun hisob 100 kg kuydirilgan rux boyitmasiga nisbatan olib boriladi. Qaynar qatlamli pechdan chiqqan kuyindimig kimyoviy tarkibini bilgan holda tanlab eritishdan so'ng chiqadigan kekning tarkibini hisoblash mumkin. kuyindining kimyoviy tarkibi quyidagicha: 56,63% Zn, 1,67% Rb. 0,78% Cu, 0,49% Cd, 8,23% Fe, 2,8% S_{SO_4} , 0,3% Ss, 21,76% O_2 , 0,55% MgO , 1,11% CaO, 3,33% SiO_2 , 1,22% Al_2O_3 va 1,11% boshqalar.

Metallurgik zavodlar amaliyoti natijasiga ko'ra, kuyindi tarkibidagi rux oksidi (erkin holatda va SiO_2 ga bog'langan holda) H_2SO_4 bilan ta'sirlashib, $ZnSO_4$ ko'rinishiga o'tadi (99,7 %). Oksidlanmay qolgan sulfidlar va temir oksidlariga bog'lanib qolgan ferritlar kuchsiz konsentratsiyali sulfat kislotali eritmalarda odatdagi sharoitda erimaydi hamda oqibatda ular tanlab eritishdan so'ng qoladigan chiqindi kek tarkibiga o'tib ketadi. Kekning tarkibini hisoblash uchun ba'zi amaliyot natijalaridan foydalanib bir nechta qiymatlar qabul qilinadi. Masalan, kuyindi tarkibidagi qo'rg'oshinning barcha miqdori tanlab eritish jarayonida $PbSO_4$ ko'rinishiga o'tadi. Kuyindidagi CuO ning 94 % qismi, CdO ning esa 95 % qismi eritmaga o'tadi. Agar rux kuyindilarini tanlab eritish jarayoni yopiq siklda olib borilsa, u holda kuyindi bilan keladigan SiO_2 , Al_2O_3 , $CaSO_4$ birkmalari to'laligicha kek tarkibiga o'tib ketadi, deb hisoblash kerak.

Ishlab chiqarish amaliyoti natijalariga tayangan holda kekning tarkibi quyidagicha bo'ladi, deb qabul qilamiz: 4,5% Zn_{н.о} (yoki 11,11% $ZnSO_4$), 0,05% Cu_{н.о} (yoki 0,13% $CuSO_4$), 0,03% Cd_{н.о} (yoki 0,06% $CdSO_4$).

Kek tarkibidagi metall sulfatlari miqdorini eritmaga o'tgan metallarning miqdorini bilgan holda topish mumkin. Bundan tashqari kekning chiqishini va namligini ham bilish zarur (aniqroq aytganda, kek tarkibida qolib ketgan eritma massasining quruq kek massasiga nisbatidan topish mumkin). Kimyoviy tarkib berilganda boshqalar deb ketilgan moddalarning miqdori kekda 2,83 % deb olinadi. Bu son kuyindidagi boshqalarning tarkibi va kekning tarkibiga nisbatan olinadi va kuyindining 25-40 % ini tashkil etadi.

Endi ZnO ning miqdorini aniqlaymiz. Kek tarkibiga $100-99,7 = 0,3\%$ yoki $60,73-0,003 = 0,18$ kg ZnO o'tadi; bu yerda ruxning miqdori $48,79-0,003 \approx 0,15$ kg, kislorodniki esa $11,94-0,003=0,03$ kg. Kekda qolib ketgan ZnS miqdori 0,71 kg ni tashkil etadi, unda 0,48 kg Zn va 0,23 kg S bor. Rux ferritining miqdori ($ZnO \cdot Fe_2O_3$) 15,59 kg ni tashkil etadi; unda 4,23 kg Zn, 7,22 kg Fe, 4,14 kg O_2 mavjud. $RbSO_4$ miqdorini kuyindi tarkibidagi qo'rg'oshin miqdoridan topamiz (kuyindida 1,67 % Pb): $303,2-1,67 : 207,2 = 2,45$ kg; unda 0,26 kg Pb va

0,52 kg O_2 . CuO ning miqdori $0,68 \cdot 0,06 = 0,04$ ni tashkil etadi; unda 0,03 kg Cu va 0,01 kg O_2 . CuS ning miqdori 0,12 kg ni tashkil etadi; unda 0,08 kg Cu va 0,04 kg O_2 mavjud. Mis ferriti ($CuO \cdot Fe_2O_3$) ning miqdori 0,29 kg; unda 0,08 kg Cu , 0,13 kg Fe va 0,08 kg O_2 bor. CuO ning miqdori $0,33 \cdot 0,05 = 0,0165$ kg ni tashkil etadi; unda 0,0145 kg Cu va 0,0020 kg O_2 mavjud. CdS ning miqdori 0,05 kg ni tashkil etadi; unda 0,04 kg Cd va 0,01 kg S bor. Kadmiy ferritining miqdori ($CdO \cdot Fe_2O_3$) 0,10 kg; unda 0,04 kg Cd , 0,04 kg Fe va 0,02 kg O_2 mavjud. $MgSO_4$ ning miqdori 1,67 kg ni tashkil etadi; unda 0,55 kg MgO bor; 0,45 kg Mg va 0,67 kg O_2 bor. $CaSO_4$ ning miqdori 2,70 kg ni tashkil etadi; unda 1,11 kg CaO ; 0,64 kg Ca va 0,95 kg O_2 bor. Kvars (SiO_2) ning miqdori 3,33 kg ni tashkil etadi, Al_2O_3 ning miqdori esa 1,22 kg.

Sulfatlarning miqdori ($ZnSO_4 + CuSO_4 + CdSO_4$): $11,11 + 0,13 + 0,06 = 11,30\%$ ga teng. Miqdori ma'lum bo'lgan komponentlar $100 - (11,3 + 2,83) = 85,87\%$ ni tashkil etadi.

Olingan natijalarga asoslanib, rux kekining chiqishini hisoblaymiz: $(0,18 + 0,71 + 15,59 + 2,45 + 0,04 + 0,12 + 0,29 + 0,02 + 0,05 + 0,10 + 1,67 + 2,70 + 3,33 + 1,22) : 0,8587 = 28,47 : 0,8587 = 33,15$ kg, bu 100 kg tanlab eritilgan kuyindiga nisbatan olingan bo'lib, u 33,15 % ni tashkil etadi.

Endi $ZnSO_4$ miqdorini aniqlaymiz: $33,15 \cdot 0,1111 = 3,68$ kg, unda 1,49 kg Zn , 0,73 kg S va 1,46 kg O_2 mavjud.

Kekdagi $CuSO_4$ ning miqdori $33,15 \cdot 0,0013 = 0,04$ kg ni tashkil etadi; unda 0,02 kg Cu , ~ 0,01 kg S va ~ 0,01 kg O_2 mavjud.

$CdSO_4$ ning miqdori $33,15 \cdot 0,0006 = 0,02$ kg ga teng, unda 0,012 kg Cd , 0,003 kg S va 0,006 kg O_2 bor.

Endi boshqalarning miqdorini aniqlashtirib olamiz: $33,15 - (28,47 + 3,68 + 0,04 + 0,02) = 0,94$ kg va u $(0,94 : 33,15) 100 = 2,84\%$ ni tashkil etadi.

Kekning kuyindi massasiga nisbatan juda ko'p (33,15%) chiqishiga sabab dastlahki xomashyo tarkibida temirning miqdori ko'p va u kuydirish davrida boshqa kerakli metall oksidlarini o'ziga bog'lab oladi. Ular ferritlar deb ataluvchi tanlab eritish jarayonida erimaydigan moddalarni hosil qiladi. Bundan tashqari kvarsning miqdori oshib ketishi ham kuydirish davrida silikatlarini hosil qiladi va bu moddalar eritmaning filtratsiyasini yomonlashtiradi.

Kek tarkibidagi ruxning umumiy miqdori 19,16 % ni tashkil etadi, shuningdek, kekda kislotada erigan rux ham mavjud bo'lib, uning miqdori 4,95 % ni tashkil etadi. Ulardan suvda eruvchanlari esa 4.5 % ni tashkil etadi.

Kekdagi komponentlarning miqdori quyidagicha: 5,04 % Rb , 0,63 % Cu , 0,33 % Cd , 6,3 % sulfat holidagi oltingugurt, 0,84 % sulfid holidagi oltingugurt, 22,29 % Fe . Xulosa o'rinda shuni aytish mumkinki, olingan hisob natijalari amaliyot natijalariga ancha yaqin.

Rux keklari tarkibini hisoblash

Rangli metallarni gidrometallurgik qayta ishlash natijasida tanlab eritish jarayonidan so'ng hosil bo'lgan bo'tana tindirish, quyuqlashtirish yoki filtrlash jarayoniga beriladi. Bunda bo'tanadagi erigan minerallar va erimagan ruda jinslari bir-biridan ajratiladi. Natijada ikki xil mahsulot metall saqlagan eritma va erimagan jinslardan iborat kek hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan kek tarkibida ham qimmatbaho metall eritma holida mavjud bo'lsa, u holda undan metalni ajratib olish uchun u yana yuvishga jo'natiladi. Metallurgik keklar va ularning tarkibini hisoblash muhim amaliyotlardan biri bo'lib, bu hisoblarni amalga oshirish tufayli kek tarkibiga qaysi moddadan va qancha miqdorda qolganligini aniqlash mumkin. Bu ko'rsatkichlarni aniqlash ishlab chiqarish korxonalarining sutkalik unumdorligini hisoblashda qo'l keladi.

Mazkur amaliy mashg'ulotda rux ishlab chiqarishda hosil bo'ladigan keklar misolida jarayonning material balansini va miqdoriy ko'rsatkichlarini ko'rib chiqamiz. Bunda dastlab kekning hosil bo'lishiga sabab bo'luvchi jarayon hisoblangan eritmani keraksiz moddalardan tozalash jarayonini hisoblashdan boshlanadi. Rux eritmasini qo'shimcha metall ionlaridan tozalashda shunday faol modda tanlash kerakki, bunda eritmadagi qo'shimcha ionlar to'liq cho'kishi ta'minlansin.

Masalan, rux eritmalarini mis va kadmiydan tozalash maqsadida rux kukunlaridan foydalaniladi. Rux kukunlarining ko'p qismi gidrometallurgik jarayonda eritmaga o'tadi va buni olinadigan eritmalarining tarkibini va miqdorini aniqlashda hisobga olish zarur. Sementator sifatida rux kukunlaridan foydalanishning ahamiyati shundaki, birinchi navbatda rux eritmadagi boshqa metallardan ko'ra manfiyroq elektrod potensialiga ega bo'lib, elektrokimyoviy kuchlanishlar qatoridagi o'zidan keyingi metallarni to'la cho'ktiradi. Bundan tashqari, aynan rux kukunidan foydalanish eritmani ruxga nisbatan yanada boyishga olib keladi.

Rux kukunlarining sarfi birinchi navbatda eritmadagi misning va kadmiyning miqdori orqali topiladi. Mis-kadmiyli tozlashda ruxning sarfi eritmadagi bu metallarning miqdoriga nisbatan 2,5-3 marta ortiqcha sarflanadi. Lekin oxirgi yillarda rux eritmalarini kompleks tozalash usuli keng tarqalganligi tufayli eritmadan mis va kadmiy bilan birgalikda kobalt va nikel ionlaridan ham tozalaniladi. Buning uchun ularga ham rux kukuni saqlagan faollashtiruvchi qo'shimchalar solinadi va shu sababdan eritmani tozalash uchun ketadigan ruxning sarfi ancha ortadi. Rux va kadmiy ishlab chiqarish amaliyotida rux changidagi ruxning umumiy sarfi 4 -6 % ni tashkil etadi.

Eritmani mis va kadmiy ionlaridan tozalashda rux changining sarfini 1 tonna chushka holidagi rux uchun 55 kg deb qabul qilamiz.

Ishlab chiqarish zavodlarining amaliyot natijalariga tayangan holda chushka holidagi metall olish uchun rux eritmalaridan ruxni umumiy ajratib olish darajasi 97-97.2 % ni tashkil etadi. Hisobni amalga oshirish uchun bu ko'rsatkichni 97.2 % deb qabul qilamiz. Shuni hisobga olgan holda 1 tonna ruxga sarflanadigan rux kukunining miqdori quyidagicha:

$$55 \cdot 0,972 = 53,46 \text{ kg.}$$

Kuydirilgan rux boyitmasini tanlab eritish natijasida eritmaga o'tgan rux miqdori quyidagicha:

$$270,95 + 30,35 = 301,3 \text{ t/sutka.}$$

Eritmani mis va kadmiydan tozalash uchun ketadigan rux kukuniga ruxning sarfi quyidagicha:

$$301,3 \cdot 53,46 : 1000 = 16,11 \text{ t/sutka.}$$

Mis-kadmiyli tozalashda rux changidagi nazariy sarflanadigan ruxning zaruriy miqdorini hisoblaymiz:

Misni sementatsiyalash uchun. Eritmadagi misning miqdori:

$3,09 + 0,36 = 3,45 \text{ t/sut}$ ni tashkil etadi. Bu miqdor uchun ruxning sarfi quyidagicha:

$$65,4 \cdot 3,45 : 63,6 = 3,55 \text{ t.}$$

Kadmiyni sementatsiyalash uchun. Eritmadagi kadmiyning miqdori quyidagicha:

$$2,048 + 0,455 = 2,503 \text{ t.}$$

Buning uchun ruxning sarfi quyidagicha:

$$65,4 \cdot 2,503 : 112,4 = 1,46 \text{ t.}$$

Ruxning umumiy sarfi quyidagicha:

$$3,55 + 1,46 = 5,1 \text{ t/sut.}$$

Mis va kadmiyni sementatsiyalashga ortiqcha sarflanadigan ruxning karrali nisbatini aniqlash uchun uning nazariy sarflanadigan miqdorini rux changidagi miqdoriga nisbati bilan aniqlanadi:

$$16,11 : 5,1 = 3,2.$$

Mis va kadmiyni sementatsiyalash uchun sarflanadigan rux changidagi va eritmaga o'tgan ruxning miqdori 5,1 t ni tashkil etadi. Rux changining ortiqcha miqdori mis-kadmiyli kekda saqlanib qoladi. Bu $16,11 - 5,10 = 11,01 \text{ t/sutkani}$ tashkil etadi.

Ishlab chiqarish zavodlarining mis-kadmiyli keki tarkibida 38-45 % Zn mavjud bo'lib, shundan 7-10 % qismi ZnSO_4 ko'rinishida bo'ladi. Hisoblash uchun ruxning umumiy miqdorini 40 % deb qabul qilamiz. Shu qatorda 9,5 % qismi ZnSO_4 ko'rinishida va qolganlari boshqa minerallar ko'rinishida deb qabul

qilamiz. U holda mis-kadmiyli kekda metall holidagi ruxning miqdori 30,5 % ni tashkil etadi. Kekning chiqishi quyidagicha:

$$11,01 : 0,305 = 36,1 \text{ t/sut.}$$

Mis-kadmiyli kekda $(2,503 : 36,10) \cdot 100 = 6,9 \%$ kadmiy va $(3,45 : 36,10) \cdot 100 = 9,6 \%$ mis mavjud.

Mis-kadmiyli kekning tarkibi: 40% Zn, 9,6% Su, 6,9% Sd, 43,5% boshqalar.

Hozirgi kunda rux kekларini qayta ishlash dolzarb muammolardan biri bo'lib qolmoqda. Ayni paytda rux kekларini qayta ishlash velslash jarayomi bilan amalga oshirilmoqda. Ammo bunda koksning sarfi ancha ko'pligi uchun hozirgi kundagi ruxning tan-narxi uni nisbatan arzonroq va qulayroq gidrometallurgik usullar bilan qayta ishlash zarurligini keltirib chiqarmoqda.

Neytral eritmalarining miqdorini hisoblash

Hozirgi kunda metallurgiya sanoatida ko'pchilik metallarni gidrometallurgik usul bilan ajratib olish rivojlanib bormoqda. Bunga sabab gidrometallurgik jarayonlarni energiya va resurs tejamlorligi bo'lib, bu usulda nodir, noyob va og'ir rangli metallarni ishlab chiqarish nisbatan samaraliroq va ishlab chiqarish uchun ketadigan sarf-xarajatlari nisbatan kamroqdir. Metall birikmalarini gidrometallurgik qayta ishlash asosan tanlab eritish jarayonlariga asoslangan bo'lib, ularda uchraydigan qonuniyatlarni va ularning eng muhim parametrlarini o'rganish katta ahamiyatga ega. Tanlab eritish jarayonida eritmalarining miqdori, tanlab eritiluvchi moddaning miqdori, erituvchi reagentlarning stexiometrik va ortiqcha sarfi, chiquvchi eritmalarining miqdori, tanlab eritish mobaynida metallarning chiqindilar bilan chiqib ketishi kabi ko'rsatkichlar jarayonning eng muhim ko'rsatkichlaridan hisoblanadi. Chunki mana shu ko'rsatkichlarga tayangan holda jarayonning materiallar balansini va erituvchi reagentlarning sarfini aniqroq hisoblab topish mumkin. Bundan tashqari tanlab eritish mobaynida metallarni chiqindilar bilan yoki neytral eritmalar bilan chiqib ketish sabab va qonuniyatlarni o'rganish orqali jarayonda metallarning sarfi kamaytirilib, ularni maksimal darajada tejab qolish va bu bilan binga ishlab chiqarish unumdorligini oshirishga erishiladi.

Tanlab eritish jarayonida nafaqat rangli metallarning sarflanishi kuzatiladi, balki eritmada sulfat kislota bilan reaksiyaga kirishadigan kalsiy, qo'rg'oshin va shu kabi boshqa keraksiz metallar hisobidan hamda shu metallarni tozalashda sistemadan chiqarib yuboriladigan eritmalar hisobidan sulfat kislotaaning ham yo'qotilishi kuzatiladi. Amaliyotda sulfat holidagi oltingugurtning yo'qolishini qo'shimcha sulfat kislotaaning kiritilishi va kuyindidagi sulfatlarning kiritilishi

bilan to'ldiriladi. Suvning kelishi esa uning sarfi bilan tengdir. Shu amaliy natijalarga tayangan holda sulfatlar va suvning balansini tanlab eritish jarayonida teng deb hisoblaymiz.

Tanlab eritish jarayonida qayta ishlanadigan kuydirilgan rux boyitmasining miqdori quyidagichai:

$$200\,000 : 365 = 549,95 \text{ t/sutka.}$$

Shuncha miqdor kuyindi bilan quyidagi miqdorda moddalar keladi: t: Zn $549,95 \cdot 0,5663 = 311,44$; Cd $549,95 \cdot 0,0049 = 2,695$; Cu $549,95 \cdot 0,0078 = 4,29$.

23.1-jadval.

Rux kekining ratsional tarkibi

Birikmalar	S _{SO4}		S _s		O ₂		Jami	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
ZnO	-	-	-	-	0,03	0,09	0,18	0,54
ZnSO ₄	0,73	2,2	-	-	1,46	4,4	3,68	11,1
ZnS	-	-	0,23	0,69	-	-	0,71	2,14
ZnO·Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	4,14	12,49	15,59	47,03
PbSO ₄	0,26	0,78	-	-	0,52	1,57	2,45	7,39
CdO	-	-	-	-	-	-	0,02	0,06
CuO	-	-	-	-	0,01	0,03	0,04	0,12
CuS	-	-	0,04	0,12	-	-	0,12	0,36
CuO·Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0,08	0,25	0,29	0,88
CuSO ₄	0,01	0,03	-	-	0,02	0,06	0,04	0,12
CdSO ₄	-	-	-	-	-	-	0,02	0,06
CdS	-	-	0,01	0,03	-	-	0,05	0,15
CdO·Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0,02	0,06	0,1	0,3
MgSO ₄	0,45	1,36	-	-	0,67	2,02	1,67	5,04
CaSO ₄	0,64	1,93	-	-	0,95	2,86	2,7	8,14
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	3,33	10,05
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	1,22	3,68
Boshqalar	-	-	-	-	-	-	0,94	2,84
Jami	2,09	6,3	0,28	0,84	7,9	22,83	33,15	100

Ishlab chiqarish zavodlari ma'lumotlariga asoslangan holda kuyindidan neytral eritmaga o'tishda ajratib olishdagi yo'qotishlarni hisoblash ishlari uchun 87 % Zn, 76 % Cd va 72 % Cu bo'ladi deb qabul qilamiz.

Tanlab eritish mobaynida kuyindidan neytral eritmaga quyidagi moddalar o'tadi. t/sutka: $Zn \ 311,44 \cdot 0,87 = 270,95$; $Cd \ 2,695 \cdot 0,76 = 2,048$; $Cu \ 4,29 \cdot 0,79 = 3,09$.

Ruxni eritmaga o'tkazish uchun $98 \cdot 270,95 : 65,4 = 406,01$ t miqdorda kislota talab etiladi. Kadmiyni eritmaga o'tkazish uchun esa mos ravishda $98 \cdot 2,048 : 112,4 = 1,79$ t kislota va mis uchun $98 \cdot 3,09 : 63,6 = 4,76$ t kislota talab etiladi.

Jarayon uchun zarur bo'lgan kislotaning umumiy miqdori: $406,01 + 1,79 + 4,76 = 412,56$ t/sutkani tashkil etadi.

Kuydirilgan rux boyitmasini tanlab eritishdan so'ng chiqadigan eritmaning umumiy miqdori $412,56 \cdot 1000 : 130 = 3174$ m³/sutkani tashkil etadi.

Kuydirilgan rux boyitmasi tanlab eritilib, keraksiz metall ionlaridan tozalanib bo'lingandan so'ng olingan toza rux sulfati eritmasi elektroliz jarayoniga yo'naltiriladi va undan ruxni elektrolitik tozalash yo'li bilan katod holida ajratib olinadi.

Nazorat savollari:

1. Neytral eritma deganda nimani tushunasiz?
2. Neytrallanish reaksiyalari deb qanday reaksiyalarga aytiladi?
3. Tanlab eritish mobaynida kuyindidan eritmaga qanday moddalar o'tadi?
4. Rux keki tarkibida qancha miqdor atrofida rux mavjud bo'ladi?
5. Rux keki tarkibidagi rux qanday birikmalar ko'rinishida bo'ladi?
6. Ruxni tanlab eritishda necha foiz rux kek tarkibiga o'tadi?

24-amaliy mashg'ulot

Oltin saqllovchi rudalar misolida sorbsion tanlab eritish jarayonini hisoblash
(2 soat)

Sorbsion tanlab eritishning texnologik sxemasi 24.1 - rasmda keltirilgan.

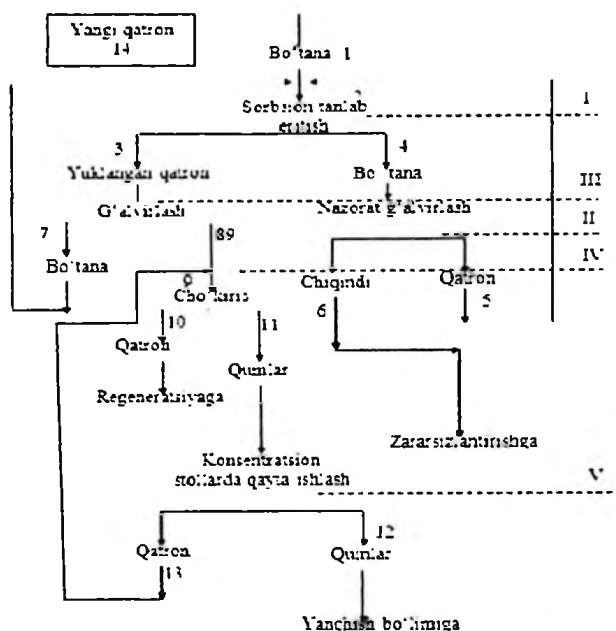
Sxemada 7 jarayon, 14 (ruda, qatron, bo'linish jarayonlarining 10 mahsuloti va qo'shilish jarayonlarning 2 mahsuloti). Hisobot bitta komponent - qatron bo'yicha olib boriladi.

$$N_n = C(n_p - a_p) = 1(10 - 5) = 5 = N_c$$

$$(N_\gamma = 0, N_\beta = 0)$$

Qatronning bir sutkadagi oqimi:

$$10,7 \cdot 24 = 256,8 \text{ kg}$$



24.1.-rasm. Sorbtsion tanlab eritish sxemasi

Kerakli 5 dastlabki ajratib olish ko'rsatkichlardan quyidagilarni tanlaymiz: ϵ_{10} i ϵ_{12} , E_{10} , E_8 i E_3 .

Yoki loyihalashtiriladigan bo'limning qayta ishlash quvvati bo'yicha

$$0,0316 \cdot 995 = 31,44 \text{ kg/sut,}$$

foiz hisobida $31,44 : 256,8 \cdot 100 = 12,25 \%$. Desorbsiyaga beriladigan to'yingan qatronning ajratib olish darajasi:

$$\epsilon_{10} = \epsilon_{14} - 12,25 = 100 - 12,25 = 87,75 \%.$$

Amaliyot ko'rsatkichlari bo'yicha qatronning mexanik yo'qolishi 1 tonna rudaga 0,0316 kg. Qatronning qumlar bilan yo'qolishini $\epsilon_{12} = 10 \%$ qabul qilinadi. Unda tashlandiq chiqindilar bilan qatronning yo'qolishi:

$$\epsilon_6 = \epsilon_{14} - \epsilon_{10} - \epsilon_{12} = 100 - 87,75 - 10 = 2,25 \%.$$

Qolgan shaxsiy ajratib olish darajalari quyidagicha qabul qilinadi:

- tovarli qatronga shaxsiy ajratib olish $E_{10} = 86,5\%$;

- III g'alvirlash jarayonida g'alvir usti mahsulotga ajratib olish $E_8 = 97\%$;

- "xomaki qatronga" ajratib olish $E_3 = 97,5\%$

$$\varepsilon_9 = \frac{\varepsilon_{10}}{E_{10}} = \frac{87,8}{86,5} \cdot 100 = 101,5\%$$

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_4 - \varepsilon_{10} = 101,5 - 87,8 = 13,7\%$$

$$\varepsilon_{13} = \varepsilon_4 - \varepsilon_{12} = 13,7 - 10,0 = 3,7\%$$

$$\varepsilon_8 = \varepsilon_9 - \varepsilon_{13} = 101,5 - 3,7 = 97,8\%$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_8}{E_8} = \frac{97,8}{97,0} \cdot 100 = 100,8\%$$

$$\varepsilon_7 = \varepsilon_3 - \varepsilon_8 = 100,8 - 97,8 = 3,0\%$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_3}{E_3} = \frac{100,8}{97,5} \cdot 100 = 103,4\%$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_2 - \varepsilon_3 = 103,4 - 100,8 = 2,6\%$$

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_{14} - \varepsilon_{10} - \varepsilon_{12} = 100,0 - 87,75 - 10,0 = 2,25\%$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_4 - \varepsilon_6 = 2,6 - 2,3 = 0,3\%$$

Sorbsion tanlab eritish jarayonining shlam va miqdor sxemasi hisobi

Sorbsion tanlab eritishda qum fraksiyasining chiqishi 0,5 % deb qabul qilinadi. Demak:

$$(1000 - 5) \cdot 0,005 = 4,98 \text{ t.}$$

Suyuq chiqindilardagi qattiq mahsulotning miqdori:

$$995 - 4,98 = 990 \text{ t.}$$

G'alvir ustidagi qattiq mahsulotning miqdori - 8,3 t.

Sorbsion tanlab eritish jarayonining miqdor sxemasi 24.1-jadvalda keltirilgan

Sorbtsion tanlab eritish jarayonining miqdor sxemasi

Jar. va mah. t/r	Jarayon va mahsulot nomi	Q_n , t/sut	γ_n , %	β_n , %	ϵ , %	P kg/sut
I	Sorbtsion tanlab eritish					
	Kiradi:					
1	Sianli bo'tana	995	-	-	-	-
7	III g'alvirlashdan keyingi bo'tana	3.04	-	-	3.0	7.7
5	II g'alvirlash qatroni	-	-	-	0.3	0.77
14	Yangi qatron	0.257	-	2	100.0	257.0
	Jami	998,3	-	-	103,3	265,5
	Chiqadi:					
3	G'alvir ustidagi mahsulot	8,3	-	-	100,8	259,0
4	Tashlandiq suyuq chiqindilar	990	-	-	2,6	6,68
	Jami	998,3	-	-	103,3	265,5
II	Nazorat g'alvirlash					
	Kiradi:					
4	Bo'tana	990	-	-	2,6	6,68
	Jami	990	-	-	2,6	6,68
	Chiqadi:					
5	Qatron				0,3	0,77
6	Chiqindilar zararsizlantirishga	990	-	-	2,25	5,78
	Jami	990	-	-	2,6	6,68
III	G'alvirlash					
	Kiradi:					
3	G'alvir ustidagi mahsulot	8,3	-	-	100,8	259,0
	Jami	8,3	-	-	100,8	259,0
	Chiqadi:					
8	"Xomaki qatron"	5,26	-	-	97,8	251,3
7	Bo'tana	3.04	-	-	3,0	7.7
	Jami	8,3	-	-	100,8	259,0
IV	Cho'ktirish					
	Kiradi:					
8	"Xomaki qatron"	5,26	-	-	97,8	251,3
13	Qayta tozalashdan chiqqan qatron	$9.5 \cdot 10^{-3}$	-	-	3,7	9.5

	Jami	5,269	-	-	101,5	260,8
	Chiqadi:					
10	Qatron regeneratsiyaga	0,257	-	-	87,6	225,1
11	Qumlar	5,012	-	-	13,7	35,2
	Jami	5,269	-	-	101,5	260,8
V	Qayta tozalash					
	Kiradi:					
11	Qumlar	5,012	-	-	13,7	35,2
	Jami	5,012	-	-	13,7	35,2
	Chiqadi:					
13	Qatron cho'kindiga	$9,5 \cdot 10^{-1}$	-	-	3,7	9,5
12	Qumlar qayta yanchishga	5,002	-	-	10,0	25,7
	Jami	5,012	-	-	13,7	35,2

24.2 -jadval

Sorbsion tanlab eritishning shlam sxemasi

Jar. va maxs. nomi t/r	Jarayon va mahsulotning nomlanishi	Q_n , t/sut	R_n	W_n , m^3/sut	V_n , m^3/sut
I	Sorbsion tanlab eritish				
	Kiradi:				
1	Sianli bo'tana	995	1,25	1243,8	1600
7	III g'alvirlashdan keyingi bo'tana	3,04	1,25	3,8	4,88
14	Yangi qatron	0,257	-	0,33	0,33
	Jami	998,3	-	1247,5	1605,2
	Chiqadi:				
3	G'alvir ustidagi mahsulot	8,3	1,25	10,4	13,34
4	Tashlandiq suyuq chiqindilar	990	1,25	1237,1	1591,8
	Jami	998,3	-	1247,5	1605,2
II	Nazorat g'alvirlash				
	Kiradi:				
4	Bo'tana	990	1,25	1237,1	1591,8
	Jami	990	1,25	1237,1	1591,8
	Chiqadi:				
5	Qatron		-	-	-
6	Chiqindilar zararsizlantirishga	990	1,25	1237,1	1591,8
	Jami	990	1,25	1237,1	1591,8

III	G'alvirlash				
	Kiradi:				
3	G'alvir ustidagi mahsulot	8,3	1,25	10,4	13,34
	Jami	8,3	1,25	10,4	13,34
	Chiqadi:				
8	«Xomaki qatron»	5,26	1,25	6,6	8,46
7	Bo'tana	3,04	1,25	3,8	4,88
	Jami	8,3	1,25	10,4	13,34
IV	Cho'ktirish				
	Kiradi:				
8	«Xomaki qatron»	5,26	1,25	6,6	8,46
13	Qayta tozalashdan chiqqan qatron	$9,5 \cdot 10^{-3}$	1,0	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,013
	Jami	5,269	1,25	6,61	8,47
	Chiqadi:				
10	Qatron regeneratsiyaga	0,257	1,0	0,257	0,42
11	Qumlar	5,012	1,25	6,353	8,05
	Jami	5,269	1,25	6,61	8,47
V	Qayta tozalash				
	Kiradi:				
11	Qumlar	5,012	1,25	6,353	8,05
	Jami	5,012	1,25	6,353	8,05
	Chiqadi:				
13	Qatron cho'ktirishga	$9,5 \cdot 10^{-3}$	1,0	$9,5 \cdot 10^{-3}$	0,013
12	Qumlar qayta yanchishga	5,002	1,25	6,34	8,037
	Jami	5,012	1,25	6,353	8,05

Nazorat savollari:

1. Sorbsion tanlab eritish deganda nimani tushunasiz?
2. Adsorbsiya va absorbsiyaning qanday farqlari bor?
3. Olinni tanlab eritishdan so'ng uni sorbsiyalashning nima ahamiyati bor?

25-amaliy mashg'ulot Eruvchanlikni hisoblash usuli (2 soat)

Moddalar eritilganda erigan modda erituvchi orasiga tarqaladi. Agar biror erituvchiga qattiq modda solinsa, qattiq moddaning sirtqi qavatidagi zarrachalar sekin-asta sirtidan uziladi va erituvchining butun hajmi bo'ylab tarqaladi. Eritmada: cho'kma $\leftrightarrow$ erigan modda muvozanat hosil bo'lgan

eritmaning ayni haroratdagi konsentratsiyasi o'zgarmay qoladi. Bunday eritma to'yingan eritma deyiladi, chunki ayni haroratda shu moddadan boshqa erimaydi. To'yingan eritmaning konsentratsiyasi moddaning ayni sharoitda eruvchanligining o'lchovi hisoblanadi. Agar muayyan haroratda eritmada tarkibidagi erigan modda miqdori eritmaning to'yinishi uchun kerakli miqdordan kam bo'lsa, bunday eritma to'yinmagan eritma deyiladi.

Eritmalar konsentratsiyasini ifodalash usullari turlicha bo'lishi sababli eruvchanlikni ifodalash usullari ham turlicha bo'ladi. Eruvchanlikni ifodalashda ko'pincha quyidagi usullardan foydalaniladi:

- foiz eruvchanlik bu – to'yingan eritmada erigan modda massasining eritma massasiga nisbatan olingan foiz konsentratsiyasidir. Ba'zi qo'llanmalarda eritmaning erituvchi massasiga nisbatan olingan foiz eruvchanligi ayni moddaning eruvchanlik koeffitsiyenti deb yuritiladi va unga quyidagicha ta'rif beriladi: ayni sharoitda 100 g erituvchida erib, to'yingan eritma hosil qilgan modda miqdori o'sha moddaning eruvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi.

- molyar eruvchanlik - ayni modda to'yingan eritmasining molyar konsentratsiyasi bilan ifodalanadi.

- l / to'yingan eritmada erigan moddaning gram sonlari bilan ifodalanadigan eruvchanlik.

Gazlarning eruvchanligi – erituvchining hajm birligida erib, to'yingan eritma hosil qilgan gaz hajmi bilan ifodalanadi. Moddalarning eruvchanligi haroratga bog'liq bo'ladi. Ko'pchilik qattiq modda va jismlarning eruvchanligi harorat ortishi bilan ortadi. Gazlarning eruvchanligi harorat ko'tarilgan sari kamayadi.

1 – masala. Agar 0°C da 13,1 g eritma 3,1 g BaCl₂ saqlasa, shu haroratdagi BaCl₂ ning eruvchanligini aniqlang.

Yechish. Eruvchanlikni (yoki eruvchanlik koeffitsiyentini) topish uchun 100 g erituvchida ya'ni suvda qancha BaCl₂ erishini topamiz.

Dastlab, 13,1 g BaCl₂ eritmasida erituvchi (suv) massasini topamiz:

$$m_{\text{suv}} = m_{\text{eritma}} - m_{\text{tuz}} = 13,1 - 3,1 = 10 \text{ g}$$

0 °C dagi BaCl₂ ning eruvchanlik koeffitsiyentini topamiz:

10 g suvda ----- 3,1 g BaCl₂ eriydi

100 g suvda ----- x g BaCl₂ eriydi

$$x = 100 \cdot 3,1/10 = 31 \text{ g.}$$

Demak 0° C dagi BaCl₂ ning eruvchanlik koeffitsiyenti 31 ga teng. Ya'ni 0°C da 100 g suvda 31 g BaCl₂ eriydi.

2 – masala. Eritmada kristallanishda erigan modda ajralib chiqadigan massasini hisoblash. 0° C da AlCl₃ ning eruvchanligi 44,9 g ga, 80° C da esa 48,6 ga teng. Agar aluminiy xloridning to'yingan 540 g eritmasi 80° C dan 0° C gacha sovutilsa, qancha massa tuz cho'kmaga tushadi?

Yechish. Agar 100 g suvda 80 °C da 48,6 g AlCl_3 erisa, u holda 148,6 g eritma sovutilsa, undagi 100 g suvda 44,9 g miqdori eriydi va $48,6 - 44,9 = 3,7$ g tuz cho'kmaga tushadi.

148,6 g eritma sovutilganda ----- 3,7 g AlCl_3 cho'kmaga tushadi

540 g eritma sovutilganda ----- x g AlCl_3 cho'kmaga tushadi

$$x = 540 \cdot 3,7 / 148,6 = 13,4 \text{ g.}$$

Demak, aluminiy xloridning to'yingan 540 g eritmasi 80 °C dan 0° C ga qadar sovutilganda 13,4 g AlCl_3 cho'kmaga tushadi.

3 – masala. Agar HCl ning 40 °C da (101,33 kPa bosimida) 1 m³ suvdagi eruvchanligi 386 m³ (n.sh.da)ni tashkil etsa, shu harorat va 98,625 kPa bosimda 100 l suvda qancha vodorod xlorid gazı eriydi?

Yechish. Agar 40 °C da va 101,33 kPa bosimda 100 l suvda qanday hajm HCl erishini aniqlaymiz. 1 m³ = 1000 l bo'lsa, proporsiya tuzamiz:

1000 l suvda ----- 386 m³ HCl eriydi

100 l suvda ----- x m³ HCl eriydi

$$x = 100 \cdot 386 / 1000 = 38,6 \text{ m}^3.$$

Mendeleyev - Klapeyron tenglamasidan foydalanib topilgan HCl hajmini massasini aniqlaymiz ($M(\text{HCl}) = 36,46 \text{ g/mol}$):

$$m = \frac{PVM}{RT} = \frac{98,625 \cdot 38,6 \cdot 36,46}{8,31 \cdot 313 \cdot 10^3} = 53,4 \text{ kg}$$

4 – masala. Gazning absorbsiya koeffitsiyenti bo'yicha gazsimon moddaning massasini aniqlash. 0° C va 101,33 kPa bosimda ammiak gazining adsorbsiya koeffitsiyenti 1300 ga teng. Eritnadagi ammiakning massa ulushini aniqlang.

Yechish. 1 m³ suvda 101,33 kPa bosimda gazlarning metr kublarda ifodalangan eruvchanligi absorbsiya koeffitsiyenti deyiladi.

1 m³ suvda erigan 1300 m³ ammiak massasini aniqlaymiz ($M(\text{NH}_3) = 17,03 \text{ g/mol}$)

$$m(\text{NH}_3) = \frac{17,03 \cdot 1,3 \cdot 10^6}{22,4} = 988,35 \text{ kg}$$

1 m³ suv massasini 1000 kg deb olib, 988,35 kg eritmada 988,35 kg ammiak bor deb hisoblaymiz. Unda 100 kg eritmada ammiak miqdorini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$100 \cdot 988,35 / 988,35 = 49,7 \text{ kg NH}_3$$

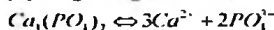
Demak, olingan eritmada ammiakning massa ulushi 49,7 % ni tashkil etadi.

Kam eruvchan birikmalarning eruvchanlikni hisoblash metodikasi

1-misol: 20-25 °C haroratda $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ning eruvchanligini aniqlash. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ eruvchanlik ko'paytmasi $3,0 \cdot 10^{-33}$ teng.

Yechish:

Suvli eritmada $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ quyidagi tenglama orqali dissotsiyanadi:



Demak, Ca^{2+} ning uchta kationiga ikkita PO_4^{3-} anioni to'g'ri keladi.

$$I_{\text{Ca}^{2+}} = [\text{Ca}^{2+}]^3 [\text{PO}_4^{3-}]^2 = 3,0 \cdot 10^{-33}$$

$$S_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = \sqrt[5]{\frac{I_{\text{Ca}^{2+}}}{3 \cdot 2^2}} = \sqrt[5]{\frac{3,0 \cdot 10^{-33}}{108}} \approx 1,2 \cdot 10^{-7}$$

2-misol: 25 °C da BaCrO_4 ($L_e=2,3 \cdot 10^{-10}$), SrCrO_4 ($L_e=3,6 \cdot 10^{-8}$) va CaCrO_4 ($L_e=2,3 \cdot 10^{-2}$) larning eruvchanligini (g/l) hisoblang.

Yechish:

BaCrO_4 uchun eruvchanlik:

$$S_{\text{BaCrO}_4} = [\text{Ba}^{2+}] = [\text{CrO}_4^{2-}] = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-10}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l yoki}$$

$$1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 253,33 \approx 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ g/l (253,3 = } M_{\text{BaCrO}_4})$$

SrCrO_4 va CaCrO_4 uchun:

$$S_{\text{SrCrO}_4} = [\text{Sr}^{2+}] = [\text{CrO}_4^{2-}] = \sqrt{3,6 \cdot 10^{-8}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$

$$6 \cdot 10^{-4} \cdot 203,61 \approx 1,22 \text{ g/l (203,61 = } M_{\text{SrCrO}_4})$$

$$S_{\text{CaCrO}_4} = [\text{Ca}^{2+}] = [\text{CrO}_4^{2-}] = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-2}} = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ mol/l}$$

$$1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 156,07 = 23,4 \text{ g/l (156,07 = } M_{\text{CaCrO}_4})$$

Birikmalarning ion kuchi:

BaCrO_4 uchun:

$$\mu = 4C \quad \lg f = -0,5Z^2 \sqrt{4C}$$

$$\mu = \frac{1}{2} (1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2^2 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2^2) = 6 \cdot 10^{-4}$$

$$f_2 = 1$$

SrCrO_4 uchun:

$$\mu = \frac{1}{2} (6 \cdot 10^{-4} \cdot 2^2 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot 2^2) = 2,4 \cdot 10^{-3}$$

$$f_2 = 0,57$$

CaCrO_4 uchun:

$$\mu = \frac{1}{2} (1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 2^2 + 1,5 \cdot 10^{-1} \cdot 2^2) = 6 \cdot 10^{-1}$$

$$f < 0,24$$

$$\mu = 4C \quad \lg f = -0,5Z^2 \sqrt{4C}$$

O'ta suyultirilgan eritmalar uchun:

$$f = 1 \text{ va } L_p = L_A.$$

Bu holda faollik koeffitsiyentini hisobga olganda eruvchanlik quyidagicha aniqlanadi:

BaCrO_4 uchun:

$$S_{\text{BaCrO}_4} \approx \sqrt{2,3 \cdot 10^{-10}} \approx 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$$

$$1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 253,33 = 3,8 \cdot 10^{-1} \text{ g/l}$$

SrCrO₄ uchun:

$$S_{\text{SrCrO}_4} \approx \frac{1}{0,57} \sqrt{3,6 \cdot 10^{-4}} \approx 1,05 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l} \text{ yoki}$$

$$1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 203,61 = 2,14 \text{ g/l}$$

CaCrO₄ uchun:

$$S_{\text{CaCrO}_4} \approx \frac{1}{0,24} \sqrt{2,3 \cdot 10^{-2}} \approx 6,3 \cdot 10^{-1} \text{ mol/l}$$

$$6,3 \cdot 10^{-1} \cdot 156,07 = 98,3 \text{ g/l}$$

Kam eruvchan elektrolitlarning suvda eruvchanligini hisoblash uchun formulalar (f_1, f_2, f_3 bir, ikki, uch zaryadli ionlarning faollik koeffitsiyenti):

Elektrolit	L_p	S (eruvchanlik)	L_1	S (faollik koeffitsiyentini hisobga olib faollik koeffitsiyenti)
K_2An	$[K^+] \cdot [An^-]$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{f_1}}$	$a_{K^+} \cdot a_{An^-}$	$\frac{1}{f_1} \sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{f_1}}$
K_2An	$[K^+]^2 \cdot [An^{2-}]$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{2^2}}$	$a_{K^+}^2 \cdot a_{An^{2-}}$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{4 f_1^2 f_2}}$
K_3An	$[K^+]^3 \cdot [An^{3-}]$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{3^3}}$	$a_{K^+}^3 \cdot a_{An^{3-}}$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{27 f_1^3 f_3}}$
K_2An_2	$[K^{2+}] \cdot [An^{2-}]^2$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{3^3}}$	$a_{K^{2+}} \cdot a_{An^{2-}}^2$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{4 f_2 f_1^2}}$
K_3An_3	$[K^{3+}] \cdot [An^{3-}]^3$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{3^3}}$	$a_{K^{3+}} \cdot a_{An^{3-}}^3$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{27 f_1^3 f_3}}$
K_2An_2	$[K^{2+}]^3 \cdot [An^{3-}]^2$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{3^3 \cdot 2^2}}$	$a_{K^{2+}}^3 \cdot a_{An^{3-}}^2$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{108 f_2^2 f_1^3}}$
K_2An_3	$[K^{3+}]^2 \cdot [An^{2-}]^3$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{2^2 \cdot 3^3}}$	$a_{K^{3+}}^2 \cdot a_{An^{2-}}^3$	$\sqrt{\frac{L_{\text{eruv}}}{108 f_1^2 f_2^3}}$

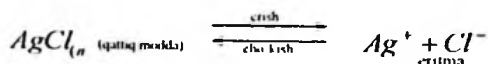
Nazorat savollari:

1. Eruvchanlik deganda nimani tushunasiz?
2. Gazsimon moddalarning suvda eruvchanligi haroratga bog'liqmi?
3. Tanlab eritish jarayonida moddaning erish tezligi qanday tashqi va ichki omillarga bog'liq?

26-amaliy mashg'ulot

Eruvchanlik ko'paytmasini hisoblash usuli (2 soat)

Biror bir modda erishida bir paytning o'zida ikkita qarama-qarshi jarayon boradi:



Eritma to'yinmagan bo'lganda eritiladigan moddaning erish jarayoni uning cho'kish jarayonidan ustun turadi. O'ta to'yungan eritmada esa qarshi jarayon kuzatiladi.

Erigan moddaning cho'kmasi ustidagi to'yingan eritmada *dinamik muvozanat* qaror topadi. Bu holda erish *tezligi* cho'kish tezligiga teng bo'lib qoladi.

Muvozanat qaror topganda, ma'lum vaqt birligida cho'kmaga o'tgan Ag^+ va Cl^- ionlarining miqdori cho'kma yuzasidan eritmaga o'tgan ionlarning miqdoriga teng bo'ladi.

Har bir modda ma'lum sharoitlarda (harorat, bosim) fizika-kimyoviy xususiyatiga ko'ra ma'lum miqdorda eriydi va bu ko'rsatkich doimiy bo'ladi. Ushbu ko'rsatkichni ifodalash uchun *muvozanat konstantasi "K"* tushunchasi qo'llaniladi:

$$K_{\text{erit}} = \frac{[Ag^+] \cdot [Cl^-]}{[AgCl]}$$

Tenglamada $[Ag^+]$ va $[Cl^-]$ - Ag va Cl - ionlarining eritmada muvozanat konsentratsiyasi;

$[AgCl]$ – moddaning qattiq fazadagi konsentratsiyasi (cho'kma hajmining birligida moddaning miqdori).

Geterogen sistemalarda erigan moddaning elementar zarrachasining qattiq moda bilan to'qnashishi faqatgina fazalar bo'linish chegarasida ro'y beradi va qattiq fazaning miqdoriga qaramasdan eritmada moddalarning miqdori doimiy bo'ladi. Bu holda quyidagi tenglamani yozsa bo'ladi:

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = K_{\text{erit}} [AgCl] = \text{const}$$

Kam eruvchan elektrolitning to'yingan eritmasidagi ionlar konsentratsiyasining ko'paytmasi *eruvchanlik ko'paytmasi* deb nomlanadi va L_e belgisi bilan belgilanadi:

$$[Ag^+] \cdot [Cl^-] = L_{e,AgCl}$$

Umumiy ko'rinishda kam eruvchan binar elektrolit uchun:

$$[K] \cdot [A] = L_{K,A} = const$$

Ya'ni muvozanat qaror topganda kam eruvchan elektrolitning to'yingan suvli eritmasida belgilangan harorat va bosimda ayrim ionlar konsentratsiyasining o'zgarishiga qaramasdan $L_{K,A}$ ko'rsatkichisi doimiy bo'ladi.

$L_{K,A}$ ko'rsatkichini spravochniklarda topish mumkin.

Kam eruvchan elektrolit uchun eruvchanlik ko'paytmasining umumiy tenglamasi quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$L_{P_{K,A}} [K]^+ \cdot [A]^- = const$$

Odatda, eruvchanlik ko'paytmasi eruvchanlik (S) ko'rsatkichi orqali aniqlanadi va eruvchanlik ko'paytmasi ko'rsatkichi aniq bo'lganda eruvchanlikni aniqlash mumkin.

Eruvchanlik va eruvchanlik ko'paytmasi orasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$S_{K,A, \text{in}} = \sqrt[n]{\frac{L_{P_{K,A, \text{in}}}}{a^+ b^+}}$$

Moddalarning eruvchanligini faollik va faollik ko'paytmasi ko'rsatkichi orqali ham hisoblash mumkin.

Faollik ko'paytmasi - L_A

$K_{A, \text{in}}$ tipidagi elektrolit uchun faollik ko'paytmasi quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$a_{K^+} \cdot a_{A^-} = L_{A, \text{in}}$$

$L_{A, \text{in}}$ - faollik ko'paytmasi;

a - faollik.

Shu elektrolit uchun eruvchanlik ko'paytmasi quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$L_{P_{K,A}} = [K]^+ [A]^-$$

Demak, quyidagi tenglamani yozishimiz mumkin:

$$L_{P_{K,A}} = [K]^+ [A]^- = \frac{a_{K^+} \cdot a_{A^-}}{f_{K^+} \cdot f_{A^-}} = \frac{L_{A, \text{in}}}{f_{K^+} \cdot f_{A^-}} = \frac{L_{A, \text{in}}}{f_{\pm}^2}$$

Tenglamada $f_{\pm}$ - f_{K^+} va f_{A^-} belgilaydi - $[K]^+$ va $[A]^-$ bir ishorali ionlarning faollik koeffitsiyentlari.

Agar $f_{\pm}$ - birga teng bo'lsa, bu holda $L_{P_{K,A}} = L_{A, \text{in}}$

Umumiy ko'rinishda $K_{A, \text{in}}$ turdagi kam eruvchan elektrolit uchun faollik ko'paytmasi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$L_{A, \text{in}} = a_{K^+}^{\nu} \cdot a_{A^-}^{\nu} = const$$

Faollik koeffitsiyentini hisobga olganda eruvchanlikni quyidagi tenglama orqali hisoblash mumkin:

$$[Kr'] \cdot [An^-] = \frac{L_{\text{er}}}{f_1^2}$$

$$S_{\text{er}} = [Kr'] \cdot [An^-] = \sqrt{\frac{L_{\text{er}}}{f_1^2}} = \frac{1}{f} \sqrt{L_{\text{er}}}$$

Kimyo va rangli metallurgiya sanoatida ko'pchilik moddalar kimyoviy cho'ktirish usuli bilan olinadi. Kimyoviy cho'ktirish jarayoni to'yingan eritmalaridan ajralib chiqadigan ikki yoki undan ortiq birikmalarni o'zaro ta'sirlashib kam eruvchan birikmalarni hosil qilishiga asoslangan.

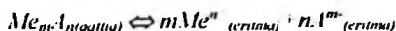
Rangli metallarni gidrometallurgik usul bilan ajratib olishda yoki analitik kimyoda kimyoviy yo'llar bilan kam eruvchan holda ajratib olinadigan moddalar ko'pincha oraliq mahsulotlar hisoblanadi.

Gidrometallurgiyada cho'ktirish jarayoni turli xil sinfdagi kam eruvchan birikmalarni olishda ishlatiladi:

- gidroksidlar ($Al(OH)_3$, $Ln(OH)_3$ va boshqalar) va asosli tuzlar ($xMeSO_4 \cdot yMe(OH)_2$ va boshq.);
- sulfidlar (CuS , CoS , In_2S_3 , MoS_4 va boshqalar);
- noorganik kislotalarning tuzlari ($AgCl$, $TiCl$, $CaWO_4$, $CaMoO_4$, va boshqalar);
- organik kislotalarning tuzlari.

Metallarni eritmalaridan kam eruvchan birikmalar holda cho'ktirish jarayoni gidrometallurgik usulda ishlab chiqariladigan asosiy metallar eritmalarini tozalash bosqichlarida keng qo'llaniladi. Shuning uchun kam eruvchan birikmalarning hosil bo'lishini va ularning suvda eruvchanlik qonuniyatlarini o'rganish muhim ahamiyatga ega. Shunday qonuniyatlardan biri bu - eruvchanlik ko'paytmasi hisoblanadi.

Eruvchanlik ko'paytmasi (L) suvda eriydigan modda ($Me_m \cdot t_n$) va eritma o'rtasidagi muvozanatning asosiy miqdoriy termodinamik tavsildir:



$$L = a_{Me^n}^m \cdot a_{t^{m-}}^n = K_a$$

Kuzatishlar natijasi shuni ko'rsatdiki, kam eruvchan birikmalarning to'yingan eritmalarida ularning ionlarining faollik ko'paytmasi berilgan haroratda doimiy qiymatga ega bo'ladi.

Agar kam eruvchan birikmalarning eritmaları qanchalik ko'proq suyultirilsa, u holda ionlarning faolligi $\gamma_{Me} = \gamma_A \approx 1$ bo'lib qoladi. Unda ionlarning faolligini ularning konsentratsiyalariga tenglashtirsa bo'ladi:

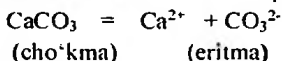
$$L \approx [Me^{n+}]^m / [A^{m+}]^n$$

Agar eritmadagi kam eruvchan birikmalar ionlarining konsentratsiyalari ko'paytmasi eruvchanlik ko'paytmasidan katta bo'lsa $[Me^{n+}]^m / [A^{m+}]^n < L$, u holda qattiq tuzning suvda erishi kuzatiladi. Agar aksincha bo'lsa, ya'ni $[Me^{n+}]^m / [A^{m+}]^n > L$ – to sistemada muvozanat qaror topgunga qadar kam eruvchan birikmalar holda cho'kish jarayoni yuz beradi.

1-misol: Belgilangan haroratda $CaCO_3$ eruvchanligi (S) 0,013 g/l ga teng. Tuzning eruvchanlik ko'paytmasini hisoblang.

Yechish

$CaCO_3$ ning to'yingan eritmasida dinamik muvozanat qaror topadi



Tenglama bo'yicha har bir Ca^{2+} ioniga bita CO_3^{2-} ioni to'g'ri keladi:

$$[Ca^{2+}] = [CO_3^{2-}] = S_{CaCO_3}$$

Demak: eritmaning molyar konsentratsiyasi:

$$M_r (CaCO_3) = 100,1$$

Molyar konsentratsiya:

$$S_{CaCO_3} = \frac{0,013}{100,1} = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$L_r CaCO_3 = [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] = 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 1,7 \cdot 10^{-8}$$

Nazorat savollari:

1. Eruvchanlik ko'paytmasi qanday formula orqali hisoblanadi?
2. Eruvchanlik va eruvchanlik ko'paytmasi orasida qanday bog'liqlik bor?
3. Kam eruvchan birikmalarning eruvchanligi qanday birlikda o'lchanadi?

27-amaliy mashg'ulot

Birikmalarni turli konsentratsiyali kislotalar eritmalarida eruvchanligini hisoblash (2 soat)

Metallarning oksidlari va sulfidlarining eruvchanligini hisoblaymiz. Masalan, uranning rudalaridan uran oksidlarini tanlab eritish uchun sulfat kislotalari qo'llaniladi. Uranning minerali hisoblangan uraninit (UO_2) birikmasining va U_3O_8 oksidining erishi oksidlovchi reagentlar ishtirokida borishi mumkin. Odatda, uranli rudalar kambag'al rudalar hisoblanadi. Ularning tarkibida 0,1 – 0,5 % U_3O_8 bo'ladi. Eritish davrida oksidlovchi sifatida kislorod, MnO_2 (piroyuzit), natriy xlorat (NaClO_3) birikmalari ishlatiladi.

Uranli rudalarni sulfat kislotali tanlab eritishda ishlab chiqarish amaliyotida juda keng tarqalgan. Lekin shuni nazarda tutish kerakki, tarkibida ko'p miqdorda karbonatlar (kalsit, siderit, rodoxrozit, dolomit, magnezit) tutgan rudalarni sulfat kislota ishtirokida tanlab eritib bo'lmaydi. Chunki bunda sulfat kislotalarning sarfi juda ko'payib ketadi. Bunday holatda soda eritmasi bilan tanlab eritish amaliyoti o'tkaziladi. Uran oksidlarini oksidlovchi kislorod ishtirokida tanlab eritishda kislorodni eritmada ko'proq erishini ta'minlash maqsadida tanlab eritish jarayoni avtoklavlarda olib boriladi. Erish jarayonining umumiy reaksiyasi quyidagicha:

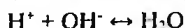
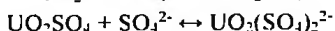
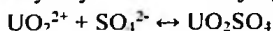


Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, UO_2 ning erishi quyidagi elektrokimyoviy mexanizm asosida boradi:

Anod reaksiyasi: $\text{UO}_2 \rightarrow \text{UO}_2^{2+} + 2e$

Katod reaksiyasi: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e \rightarrow 4\text{OH}^-$

Shundan so'ng eritmada kimyoviy muvozanat vujudga keladi:



Amaliy natijalarning ko'rsatishicha, tanlab eritish jarayonining tezligiga ta'sir qiluvchi omil mineralning yuzasiga sulfat kislotalarning o'tishi, ya'ni diffuziyasidir. Agar sulfat kislotalarning konsentratsiyasi ko'p bo'lsa (0,0025 va 0,005 mol/l dan yuqori konsentratsiyada), u holda oksidlovchi kislorodning mineral yuzasiga diffuziyasi limitlovchi bosqich hisoblanadi.

Sulfidli minerallarning kislota ishtirokida erishi. Ko'pchilik rudalarda metallar sulfidli minerallar ko'rinishida uchraydi. Ularga temirning minerallari – pirit (FeS_2) va pirrotin (FeS); mis minerallari – kovellin (CuS), xalkozin (Cu_2S) va xalkopirit (CuFeS_2); qo'rg'oshin va rux minerallari – galenit (PbS) va sfalerit (ZnS); molibden minerallari – molibdenit (MoS_2); mishyakning minerallari –

arsenopirit (FeAsS_2); nikel minerallari – pentlandit (Fe, NiS); simob minerali – kinovar (HgS) kiradi. Mazkur rangli va qora metallarning sulfidlari suvda odatdagi sharoitda kam eriydi. Ulardan baʼzilari suyultirilgan kislotali eritmalarida erishi mumkin. Masalan, ZnS , CoS , NiS va FeS 10 % li H_2SO_4 eritmasida (qizdirilganda) vodorod sulfid hosil qilib eriydi. Rux va qoʻrgʻoshinning sulfidlari natriy gidroksid eritmasi bilan reaksiyaga kirishib, Na_2PbO_2 va Na_2ZnO_2 birikmalarini hosil qiladi. Misning sulfidlari esa natriy sianid eritmalarida sianidli kompleks birikmalar hosil qilib eriydi.

Kislorod ishtirokida sulfidli minerallarni shteynlardan yoki sulfidli boyitmalardan tanlab eritish jarayoni mis, rux, nikel va kobaltlarni ajratib olishda foydalaniladi. Jarayon yoki ishqoriy muhitlarda olib boriladi.

Kislorod ishtirokisiz temir va rangli metallarning barcha sulfidlari 300 °C gacha suvda amaliy jihatdan erimaydi, lekin kislorod ishtirokida esa metallar sekin asta eritmaga oʻta boshlaydi. Harorat va eritmaning pH qiymatiga bogʻliq boʻlgan holda tanlab eritish jarayonining kimyoviy reaksiyasi elementar koʻrinishdagi oltingugurt yoki SO_4^{2-} ionlari hosil boʻlishi bilan oqib oʻtadi.

Agar jarayonning harorati 120 °C ga qadar koʻtarilsa (bu haroratda oltingugurt eriydi) hamda jarayon kislotali muhitda olib borilsa, S^{2-} ionlari elementar oltingugurtga qadar oksidlanadi, shuningdek, bu haroratdan pastroq haroratda $\text{S} + 3/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ reaksiyasining borishi sekinlashadi. 120 °C dan yuqori haroratda esa sulfat ionlari hosil boʻla boshlaydi.

Kislorod ishtirokida xalkozinni (Cu_2S) oksidlantirib eritish. Mis metali ruda va boyitmalarda koʻpincha xalkopirit minerali (CuFeS_2) koʻrinishida, kamdan-kam hollarda esa bomit minerali (Cu_3FeS_4) koʻrinishida uchraydi. Lekin mis va nikel pirometallurgiyasining baʼzi yarim mahsulotlarida mis (I)-sulfidi (Cu_2S) koʻrinishida ham uchraydi. Cu_2S – shteyn, faynshteyn va oq mattning asosiy komponenti hisoblanadi. Cu_2S juda oz miqdorda boyitmalar tarkibida ham uchraydi.

Amaliy natijalarga tayanadigan boʻlsak, Cu_2S mineralining ikki bosqichda oksidlanishini koʻrishimiz mumkin:



Bunda birinchi bosqich anchayin tezroq, 2-bosqich esa sekinroq borishi kuzatilgan. Cu_2S ni oksidlantirib tanlab eritish jarayonida Cu_2S ning panjaralari kovellinning (CuS) panjaralariga oʻzgarishi kuzatildi. Bu holda mineraldan iborat qattiq jismda uchta jarayon oqib oʻtadi:

- xalkozin Cu_2S kristall panjaralaridan mis ionlarining ajralib chiqishi;
- qattiq jismdan oksidlovchi kislorodga elektronlarning oʻtishi;

- mis va oltinugurt atomlarining CuS panjarasini hosil qilib, qayta guruhlanishi.

Elektronlarning harakati qanchalik tezlashsa, kimyoviy reaksiyada qattiq jismdan eritma fazasiga mis ionlarining o'tishi shunchalik tezlashadi. Amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, o'lchami 0.1-0.15 mm bo'lgan xalkozin bo'laklari 90-100 °C haroratda 30 daqiqa ichida CuS ga aylanadi. Bu jarayonda mis ionlarining diffuziyalanishi jadallashadi. Bu jarayonlarni o'rganib shunday xulosa qilish mumkin: qachonki tanlab eritishning 2-bosqichi samarali oqib o'tsagina, tanlab eritishning 1-bosqichi qattiq zarraning butun hajmida sodir bo'lishi mumkin.

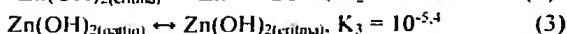
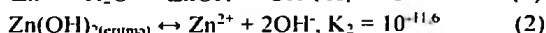
Nazorat savollari:

1. Moddalarni kislotalarda eritish jarayonini amalga oshirishda kislota konsentratsiyasining ta'siri qanday bo'ladi?
2. Tarkibida 0,3 % uran saqlagan 1 tonna rudani tanlab eritish uchun qancha hajm 80 % li ($\rho = 1,5 \text{ g/ml}$) sulfat kislota eritmasi zarur?
3. 200 g xalkozinni eritish uchun qancha hajm tarkibida 75 % kislorod saqlagan havo kerak?

28-amaliy mashg'ulot

Eritmada ruxning umumiy konsentratsiyasini pH ga bog'liqligini aniqlash (2soat)

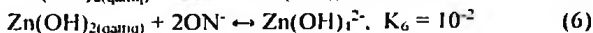
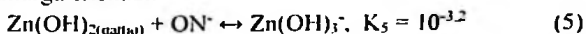
Neytral yoki kuchsiz ishqoriy muhitga ega bo'lgan eritmalarda muvozanat quyidagicha vujudga keladi:



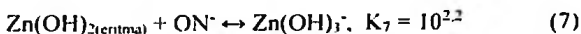
(2) va (3) reaksiyalarni umimlashtirib, quyidagi qiymatlarga ega bo'lamiz:



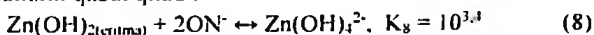
Mazkur kimyoviy reaksiyaning muvozanat doimiyligi ishqoriy muhitda quyidagi qiymatlarga erishadi:



Agar (5) va (3) reaksiyalarni kombinatsiyalashtirilsa, muvozanat qiymati o'zgaradi:



(6) va (3) tenglamalar birlashtirilsa, ishqoriy muhitdagi muvozanat doimiyligi quyidagi qiymatlarni qabul qiladi:



Shunda eritmadagi ruxning umumiy konsentratsiyasi uning barcha ionlarining konsentratsiyalari yig'indisiga teng bo'ladi:

$$C_{Zn} = [Zn^{2+}] + [Zn(OH)^+] + [Zn(OH)_2] + [Zn(OH)_3^-] + [Zn(OH)_4^{2-}]$$

Yozilgan tenglamalarni umumlashtirib, ionlarning konsentratsiyalarini eritmadagi gidrokso-ionlarning va vodorod ionlarining tegishli konsentratsiyalarining muvozanat doimiyliklari orqali ifodalash mumkin.

(2) va (4) tenglamalardan quyidagicha xulosa chiqarish mumkin:

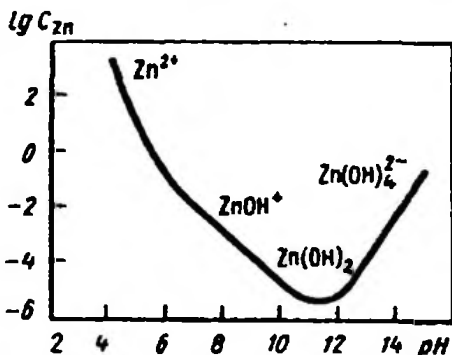
$$Zn(OH)_2(ertima) = \text{const} = 10^{-5.4}.$$

(2) tenglamadan kuzatilgan natijalardan rux ionining muvozanat doimiysi:

$$[Zn^{2+}] = \frac{[Zn(OH)_2(ertima)] K_2}{[OH^-]^2} = \frac{10^{-5.4} \cdot 10^{-11.6} \cdot [H^+]^2}{(10^{-14})^2} = 10^{11} [H^+]^2$$

(1), (5), (6) tenglamalardan esa rux gidrokso-ionining konsentratsiyasining qiymati:

$$[ZnOH^+] = \frac{K_1 [Zn^{2+}]}{[H^+]} = \frac{10^{-5.4} \cdot 10^{11} [H^+]^2}{[H^+]} = 10^{5.3} [H^+];$$



28.1-rasm. Eritmadagi rux konsentratsiyasi ($\lg C_{Zn}$)ning pH ga bog'liqligi.

$$[Zn(OH)_3^-] = \frac{K_3 \cdot 10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-12} \cdot 10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-26}}{[H^+]};$$

$$[Zn(OH)_4^{2-}] = \frac{K_4 \cdot (10^{-14})^2}{[H^+]^2} = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-28}}{[H^+]^2} = \frac{10^{-30}}{[H^+]^2}.$$

Yuqoridagi barcha tenglamalarni umumlashtirib, eritmadagi ruxning umumiy konsentratsiyasini aniqlaymiz:

$$C_{\Sigma} = 10^{11} [H^+]^2 + 10^{5.3} [H^+] + 10^{-5.4} + \frac{10^{-17.2}}{[H^+]} + \frac{10^{-20}}{[H^+]^2}.$$

28.1-rasmda ko'rsatilgan eritmadagi ruxning umumiy miqdorini eritmaning pH qiymatiga bog'liqligini oxirgi tenglama orqali ifodalash mumkin.

Nazorat savollari:

1. Eritmaning pH ko'rsatkichi deganda nimani tushunasiz?
2. Agar eritmaning pH ko'rsatkichi 7 dan kichik bo'lsa, rux oksidini tanlab eritishda eritma sistemasida qanday moddalar hosil bo'ladi?
3. Ruxni tanlab eritishda kislotali muhitda eritma sistemasida qanday rux birikmasi hosil bo'ladi?

29-amaliy mashg'ulot

Kumush xloridi ($AgCl$) ning eruvchanligini turli konsentratsiyada ammiak (NH_3) saqlovchi eritmalarda aniqlash

(2 soat)

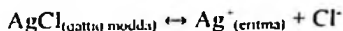
Misol. Eritmada NH_3 ning konsentratsiyasi 0,01 mol/l bo'lganda $AgCl$ ning eruvchanligini aniqlang.

Kumush xloridning eruvchanlik ko'paytmasi $L_{AgCl} = 1,56 \cdot 10^{-10}$ (25 °C) ga teng bo'lib, $Ag(NH_3)^+$ va $Ag(NH_3)_2^+$ kompleks ionlarining barqarorlik doimiyligi mos ravishda $\beta_1 = 10^{3.2}$, $\beta_2 = 10^{3.8}$ ga teng. Tuzning barqarorlik doimiyligi qiymati uncha katta bo'lmaganligi, bundan tashqari tuzning eruvchanlik qiymati anchayin kamligi tufayli bu tuzning eruvchanligini $[X] = C_x$ deb qabul qilib hisoblaymiz:

$$S = C_{Me} \sqrt{1,56 \cdot 10^{-10} [1 + 10^{3.2} \cdot 10^{-2} + 10^{3.2} \cdot 10^{3.8} \cdot (10^{-2})^2]} = \\ = \sqrt{1,56 \cdot 10^{-10} \cdot 10^3} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{mol}{l}.$$

Bu qiymat tajribaviy yo'l bilan aniqlangan qiymat bilan deyarli yaqin. Kumush xloridning toza suvda eruvchanligi $1,2 \cdot 10^{-5}$ mol/l ga teng. Bu hisoblashlarni quyidagicha izohlash mumkin:

Biror bir modda erishida bir paytning o'zida ikkita qarama-qarshi jarayon boradi:



Eritma to'yinmagan bo'lganda eritiladigan moddaning erish jarayoni uning cho'kish jarayonidan ustun turadi. O'ta to'yingan eritmada esa qarshi jarayon kuzatiladi.

Erigan moddaning cho'kmasi ustidagi to'yingan eritmada *dinamik muvozanat* qaror topadi. Bu holda erish tezligi cho'kish tezligiga teng bo'lib qoladi.

Muvozanat qaror topganda, ma'lum vaqt birligida cho'kmaga o'tgan Ag^+ va Cl^- ionlarining miqdori cho'kma yuzasidan eritmaga o'tgan ionlarning miqdoriga teng bo'ladi.

Har bir modda ma'lum sharoitlarda (harorat, bosim) fizika-kimyoviy xususiyatiga ko'ra ma'lum miqdorda eriydi va bu ko'rsatkich doimiy bo'ladi. Ushbu ko'rsatkichni ifodalash uchun *muvozanat konstantasi* " K " tushunchasi qo'llaniladi:

$$K_{\text{AgCl}} = \frac{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl}]}$$

Tenglamada $[\text{Ag}^+]$ va $[\text{Cl}^-]$ - Ag va Cl^- ionlarining eritmadagi muvozanat konsentratsiyasi;

$[\text{AgCl}]$ - moddaning qattiq fazadagi konsentratsiyasi (cho'kma hajmining birligida moddaning miqdori).

Geterogen sistemalarda erigan moddaning elementar zarrachasining qattiq modda bilan to'qnashishi faqatgina fazalar bo'linish chegarasida ro'y beradi va qattiq fazaning miqdoriga qaramasdan eritmadagi moddalarning miqdori doimiy bo'ladi. Bu holda quyidagi tenglamani yozsa bo'ladi:

$$[\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = K_{\text{AgCl}} [\text{AgCl}] = \text{const}$$

Nazorat savollari:

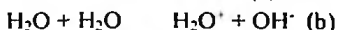
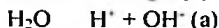
1. Kumush xloridini eritish uchun qanday chora-tadbirlar amalga oshiriladi?
2. Ammiakli suvda muhit qanday bo'ladi?
3. Kumush xloridi va ammiak qanday kimyoviy bog'lanish hisobiga birikadi?
4. Kumush xloridning ammiakli kompleks birikmasi xalqaro nomenklatura bo'yicha qanday o'qiladi?

30-amaliy mashg'ulot

Metall sulfidlarini sulfat kislota eritmalaridan metall ionining belgilangan konsentratsiyasigacha cho'ktirishning pH ko'rsatkichini hisoblash

(2 soat)

Suv ko'p moddalar uchun erituvchi vazifasini o'taydi va unda turli kimyoviy jarayonlar sodir bo'ladi. Bundan tashqari, kimyoviy toza suvning o'zi kuchsiz elektrolit bo'lib, boshqa elektrolitlar kabi ionlarga quyidagicha dissotsiyanadi:



Soddalashtirish maqsadida dissotsiyanishi (a) tenglama tarzida boradi va H^+ ioni hosil bo'ladi deb qarash mumkin. Bu holda massalar ta'siri qonuni (a) tenglamaga tatbiq etilsa, suvning elektrolitik dissotsiyanish konstantasi:

$$K = \frac{(\text{H}^+) (\text{OH}^-)}{(\text{H}_2\text{O})} \quad (1)$$

Suvning 22°C dagi dissotsiyanlash konstantasi $K=1,8 \cdot 10^{-16}$ va dissotsiyanlash darajasi $\alpha=1,7 \cdot 10^{-9}$ bo'lgani uchun, ya'ni juda kichik miqdor bo'lgani uchun suvning dissotsiyanlashgan molekular konsentratsiyasini o'zgarish deb qarash mumkin, ya'ni $(H_2O)=const$.

U vaqtda (1) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$[H^+][OH^-] = K [H_2O] = K_b \quad (2)$$

Bu yerda, K_b qiymatni suvning ion ko'paytmasi deyiladi. 1 litr suvda 55,6 mol H_2O ($100/18 = 55,6$ mol) bo'lgani uchun suvning konsentratsiyasi (2) tenglamaga qo'yilsa, quyidagi natija kelib chiqadi (22°C uchun):

$$K_v = K (H_2O) = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,6 = 10^{-14}$$

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14} \quad (3)$$

Har qanday suvli eritmada o'zgarish haroratda vodorod va gidroksil ionlari konsentratsiyalarining ko'paytmasi o'zgarish qiymatga ega.

Vodorod va gidroksil ionlarining konsentratsiyasi bir-biriga bog'liq holda o'zgaradi. Agar suvga kislotaga qo'shilib borilsa, $[H^+]$ ortib boradi, $[OH^-]$ shu darajada kamayib boradi. Natijada ularning ko'paytmasi o'zgarish saqlanadi. Neytral muhitda $[H^+]=[OH^-]=10^{-7}$ g=ion/l; agar muhit kislotali bo'lsa $[H^+]>[OH^-]$; asosli bo'lsa $[H^+]<[OH^-]$.

Muhitning kislotali yoki asosli ekanligini manfiy ko'rsatkich bilan ifodalash amalda ancha noqulaylik tug'diradi. Shuning uchun muhitning qandayligini ifodalash uchun vodorod ko'rsatkich pH ni Syorensen kiritgan (1909 yil) bo'lib, u quyidagicha teng:

$$pH = - \lg [H^+] \quad (4)$$

Vodorod ko'rsatkich deb, vodorod ionlarining g · ion/l birlikda ifodalangan konsentratsiyasining manfiy ishora bilan olingan o'nli logarifmiga aytiladi. Kimyoviy toza suvda 22°C uchun $pH=-\lg 10^{-7}=7$, kislotali muhitda $pH<7$, asosli muhitda $pH>7$. (4) tenglamani logarifmlasak:

$$\lg [H^+] + \lg [OH^-] = \lg 10^{-14}$$

- $\lg [H^+] = pH$ va - $\lg [OH^-] = pOH$ ekanligini hisobga olib yozsak:

$$pH + pOH = \lg 10^{-14} = 14 \quad (22^\circ C) \text{ kelib chiqadi.}$$

Vodorod ko'rsatkichning qiymatiga ko'ra muhit 30.1-jadvalda keltirilgan.

Eritma muhitining vodorod ko'rsatkichidagi qiymatlari

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Muhit	Kuchli kislotali			Kuchsiz kislotali			Neytral	Kuchsiz kislotali			Kuchli asosli (ishqoriy)			

Fan va texnikaning turli sohalarida, texnologik jarayonlarda vodorod ko'rsatkichning ahamiyati katta. Biologik jarayonlarda ham vodorod ko'rsatkichning ahamiyati katta. Fiziologik jarayonlar ma'lum pH da normal boradi. Masalan, inson qonining pH ko'rsatkichi 7.36 ga teng bo'lib, uning o'zgarishi insonning hayot faoliyati buzilishiga olib keladi.

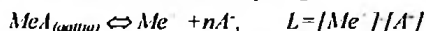
Turli fermentlarning aktivligi pH ga bog'liq holda o'zgaradi. Turlicha pH qiymatida bir fermentning o'zi har xil reaksiyalarda katalizatorlik vazifasini bajaradi.

1-misol. S^{2-} anionining gidrolizini hisobga olgan holda Tl_2S ni suvda eruvchanligini aniqlang.

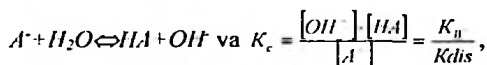
Yechish. Anion va kationlarning gidrolizi talliy sulfidini ishqor eritmalarida eritganda uning eruvchanligini oshiradi.

Agar tuz kuchsiz kislotadan hosil bo'lgan bo'lsa, u holda uning eruvchanligiga anion bo'yicha gidrolizlanishi ta'sir qilishi mumkin, agar kuchsiz kislotadan hosil bo'lga bo'lsa, u holda kation bo'yicha gidrolizlanish ta'sir qilishi mumkin.

Birinchi navbatda bir vaqtning o'zida tuzning dissotsiylanishi quyidagicha:



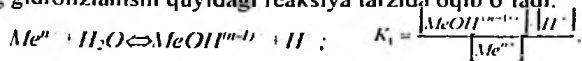
Anionning gidrolizi esa quyidagi reaksiya bilan boshlanadi:



Bu yerda, K_{dis} — kislota dissotsiatsiyasining doimiyliigi. Bu holda erkin A^- anionlarining konsentratsiyasi kamayadi, natijada $[Me^+]$ ionlarining miqdori ortadi va tuzning eruvchanligi ham ortadi. Eritmadagi erkin A^{m-} ionlarining ulushi L ning juda kam qiymatlarida taxminan quyidagi formulalar orqali hisoblanadi (critmada vodorod ionlarining konsentratsiyasi $[H^+] = 10^{-7}$ mol/l deb qabul qilinadi):

$$L = [Me^{n+}]^m [\alpha_m C_A]^n = [S]^m [n \alpha_m S]^n.$$

Kationning gidrolizlanishi quyidagi reaksiya tarzida o'qib o'tadi:



Erkin holdagi $[Me^n]$ ionlarining konsentratsiyasi kamayadi. A^- anionlarining konsentratsiyasi ortadi va bunda tuzning eruvchanligi ortadi. Eritmada metalning umumiy konsentratsiyasi:

$$S_{Me} = [Me^n] + [MeOH^{(n-1)+}] + [MeOH^{(n-2)+}] + \dots$$

MeA_n tarkibli tuz uchun eruvchanlik ko'paytmasi:

$$L = [A^-]^n \alpha C_{Me} / [S]^n [\alpha S],$$

Bu yerda, α - Me ning ulushi:

$$\alpha = \frac{[H^+]}{[H^+] + K_1[H^+]^{-1} + K_1K_2[H^+]^{-2} + \dots + K_1K_2 \dots K_n}$$

Bu yerda, $K_1, K_2, \dots$ - gidroliz bosqichlarining doimiyligi.

Nazorat savollari:

1. Eritmaning vodorod ko'rsatkichi deb nimaga aytiladi?
2. Ishqoriy muhitda eritmaning vodorod ko'rsatkichi qanday qiymatga ega bo'ladi?
3. Kislotali muhitda eritmaning vodorod ko'rsatkichi qanday qiymatga ega bo'ladi?
4. Eritmaning vodorod ko'rsatkichi tushunchasini birinchi bo'lib fanga kim kiritgan?

31-amaliy mashg'ulot

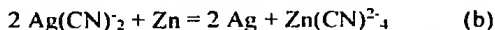
**Metallarni eritmalaridan sementatsiya usulida ajratib olishni hisoblash:
oltinni sianli eritmalaridan rux kukini bilan sementatsiyalash**

(2 soat)

Oltin va kumushni sianid eritmalaridan ajratib olishning quyidagi usullari qo'llanilishi mumkin: rux yoki alyuminiy bilan cho'ktirish, ion almashuvchi qatronlar, pista ko'mir va faollashtirilgan ko'mir cho'ktirish hamda ekstraksiyalash.

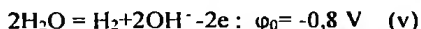
Oltin va kumushni sianid eritmalaridan rux kukuni yordamida cho'ktirish nazariyasi rus olimlaridan I.N.Plaksin, I.A.Suvorovskiy, O.K.Budnikov, I.A.Kakovskiy va boshqa chet ellik olimlar tomonidan talqin qilingan.

Potensiallar faolligi qatorida rux potentsiali oltin va kumushga qaraganda manfiyroq, shu sababdan, rux metali eritmalaridan oltin va kumushni oson siqib chiqaradi.

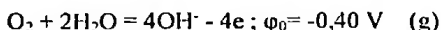


Bunda (a) reaksiyaning tezlik konstantasi $1,0 \cdot 10^{23}$ ga teng va (b) reaksiya konstantasi $1,4 \cdot 10^{23}$ ga tengdir. Ko'rinib turibdiki, oltin va kumush rux kukuni yordamida termodinamik nuqtayi nazaridan to'liq cho'kmaga o'tadi.

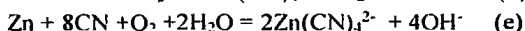
Kuchli qaytaruvchi rux suv molekulasini parchalab qaytarib, vodorod ajratib chiqarishi mumkin:



Bunday eritmalarda ma'lum miqdorda erigan kislorod bo'ladi. Kislorod yuqori oksidlovchi bo'lgani uchun rux bilan qaytariladi va gidroksil ionlarini hosil qiladi:



Shu sababdan bunday sementatsiya yo'li bilan cho'ktirishda rux metalining bir qismi befoyda sarf bo'ladi:



Nazariy jihatdan reaksiya (a) ga ko'ra 1g, Au uchun 0,19 g Zn sarf bo'ladi. Amalda esa nima? 10 barobar ortiqdir.

Hozirgi zamon nazariyasiga ko'ra bu usul elektrokimyoviy jarayondir. Uning ishi galvanik element ishiga qiyoslanadi.

Nodir metallarni cho'ktirishning samarali borishi uchun quyidagi amallarni bajarish kerak bo'ladi:

- eritmani dastlab dezintegratsiyalash;
- sirti faollashgan rux kukunini qo'llash;
- ruxni qo'rg'oshinlash;
- slanid va ishqorning optimal konsentratsiyali bo'lishi;
- jarayonni tindirib olib borish.

Rux bilan cho'ktirish amaliyoti

Oltin saralash fabrikalarida ruxning ikki turi ishlatiladi.

1. Rux qipig'i
2. Rux kukuni.

Har ikki xili ishlatilganida ham nodir metallarni cho'ktirish oldidan bo'tanaga dastlabki ishlov berish jarayoni bajarilishi kerak. Bu jarayon tindirishdir.

Cho'ktirish oldidan eritma tip-tiniq bo'lishi kerak. Aks holda rux, oltin va kumush zarrachalari to'g'ridan to'g'ri reaksiyaga kirisha olmaydi. Shu sababdan eritma ichida muallaq holda suzib yuruvchi zarralar bo'lmashligi kerak. Quyultirgich va suzgichlardan o'tgan oltin tarkibli eritma maxsus idishlarda

tindiriladi. Eritmalarni tindirish uchun qumli, vakuumli, qopli va boshqa suzish qurilmalari qo'llaniladi.

Oltin va kumushni cho'ktirishda ruxni qipiq shaklda ishlatishning quyidagi kamchiliklari mavjud:

- qipiqni o'sha joyda tayyorlash va uning ko'p sarflanishi;
- oltinni to'liq cho'ktira olmaslik;
- sianid eritmalarining ko'p sarflanishi;
- cho'kmaning toza bo'lmashligi;
- ko'p joyni egallashi;
- oltinning ma'lum qismida oqim aylanma harakatda yurishi.

Shu kamchiliklarga ko'ra ruxni qipiq shaklda qo'llash usuli chegaralangan.

Nodir metallarni rux kukuni bilan cho'ktirish. Hozir bu usul jahonda ko'pgina zavodlarda qo'llanilmoqda. Shu jumladan, oltinni rux kukuni bilan cho'ktirish O'zbekistonning Namangan viloyati, Chodak oltin fabrikasida qo'llaniladi. Buning uchun o'ta tindirilgan eritma deaeratsiyalanadi. Rux kukuni ma'lum miqdorda uzluksiz ravishda aralashtiriladi. So'ngra cho'kma suzib, oltinsiz eritmadan ajraladi. Suzish uchun vakuum romli, filtr-press, qopsimon yoki simli filtrlarni ishlatish mumkin.

Bu usulda ishlatilgan rux kukuni tarkibida 95-97 % Zn bo'ladi. Unda yirik uvoqlar bo'lmashligi lozim. O'lchami -0,105 mm bo'lgan kukun miqdori 95% dan kam bo'lmashligi kerak. Rux kukuni tez oksidlanishi tufayli uni germetik berk idishlarda tashib, saqlanadi. O'zining ulkan sirt yuzasiga ega bo'lgan rux kukuni oltinni tez va to'liq qaytarib, cho'ktira oladi. Rux kukuni har 1 tonna eritma uchun, oltin konsentratsiyasiga qarab 15÷50 g gacha sarf bo'ladi. Rux kukuni rux qipig'iga qaraganda bir necha afzalliklarga ega:

- kukun qipiqdan ko'ra arzon;
- kukun qipiqdan kam sarf bo'ladi;
- oltin to'laroq cho'kmaga tushadi;
- sianid kamroq sarflanadi;
- aylanma oltin va rux kamayadi;
- cho'kma sifati yaxshilanadi;
- dastgohlari ixchamroq;
- mexanizatsiyalashtirish va avtomatlashtirish mumkin.

Nazorat savollari:

1. Sementatsiya deb nimaga aytiladi?
2. Oltinni eritmalardan qanday metallar bilan cho'ktirish mumkin?
3. Oltinni aynan rux kukuni bilan cho'ktirishning sababi nima?
4. Qaysi xususiyatiga asoslanib rux oltinni eritmadagi birikmasidan siqib chiqaradi?

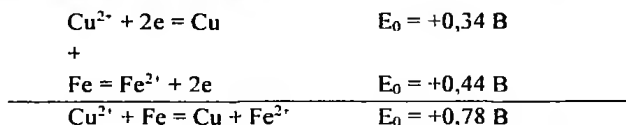
32-amaliy mashg'ulot

Metallarni eritmalardan sementatsiya usulida ajratib olishni hisoblash: misni sulfat kislota eritmalaridan metallik temir bilan sementatsiyalash (2 soat)

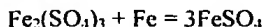
Sementatsiya deb, eritmalardan tiklanadigan metall ioni va metall sementator orasidagi o'zaro ta'sirlashuv elektrokimyoviy reaksiyalariga asoslangan holda metallarni eritmalardan siqib chiqarish jarayoniga aytiladi. Eritmalardan asosiy metallarni siqib chiqarish uchun metall sementatorning standart potentsiali siqib chiqariladigan metallning potentsialida manfiyroq bo'lish kerak.

Sementator metalni tanlashda nafaqat uning standart potentsialini hisobga olish kerak, balki asosiy metall siqib chiqariladigan eritmada sementator metallning unsur element sifatida borligini hisobga olish lozim. Masalan, misni sulfat kislota eritmasidan sementatsiyalashda asosan temir tanlanadi, chunki mis eritmalarida har doim temir onlari mavjud va sementatsiyadan so'ng eritmalar temirdan tozalanadi.

Eritmalardan misni temir bilan sementatsiyalash jarayonini quyidagi yarim reaksiyalar bilan ifodalash mumkin:

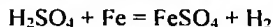


Misni eritmalardan metallik temir bilan cho'ktirishda eng zararli qo'shimcha uch valentli temirdir, chunki uning mavjudligi metallik temirni quyidagi reaksiya bo'yicha ortiqcha sarfiga olib keladi:

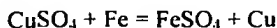


Metallik temirning ortiqcha sarfidan tashqari sement cho'kma temirining asosiy va sulfat kislota tuzlari va temirning gidroksidlari bilan ifloslanadi.

Temirning ortiqcha sarfiga sulfat kislota mavjudligi ham olib keladi:



Misni eritmada sementatsiyalashda temirning stexiometrik sarfi 1 kg misga 0,874 kg ni tashkil etadi. Amaliyotda esa temirning ortiqcha sarfini hisobga olganda temirning sarfi 1 kg misni sementatsiyalash uchun 1 dan 2,5 kg gacha tashkil etadi. Mis sulfat eritmasida misni sementatsiyalash jarayonining kimyoviy reaksiyasi quyidagicha:



Nazorat savollari:

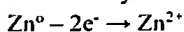
1. Misni temir bilan cho'ktirishda qanday elektrokimyoviy jarayonlar oqib o'tadi?
2. Misning standart elektrod potentsiali qiymati nechaga teng?
3. Temirning standart elektrod potentsiali qiymati nechaga teng?
4. Nega aynan mis metalini temir bilan cho'ktiriladi?

33-amaliy mashg'ulot

Metallarni turli konsentratsiyali eritmalaridagi potentsiallarini hisoblash (2 soat)

Oksidlanish potentsiali haqida tushuncha. Har bir element yoki ionning oksidlovchilik va qaytaruvchilik xususiyatining miqdoriy tavsifnomasi sifatida oksidlanish potentsiali qiymati xizmat qiladi. Oksidlanish potentsiali (o.p.) tushunchasini quyidagi misol bilan tushunib olaylik.

Rux metalli bo'lakchasini (xohlagan biror metall bo'lakchasi ham xuddi shunday xossaga ega) uning tuzi ($ZnSO_4$) eritmasiga tushirilsa, rux elektrodni hosil bo'ladi va elektrodda metalning sirti bilan eritma sirti chegarasida elektrokimyoviy reaksiya boradi. Bu reaksiya natijasida Zn plastinkasi tarkibidagi rux atomlari ikkitadan elektron chiqarib oksidlana boshlaydi:



Elektronlar metall plastinkasida qoladi, eritmaga Zn^{2+} ionlari o'tadi. Natijada eritma bilan metall plastinka sirtida sirtida qo'sh elektr (metal manfiy va eritma musbat) zaryadli qavat hosil bo'ladi.

Hosil bo'lgan qo'sh elektr qavatda zaryadlarni bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chishi ro'y beradi.

Eritma bilan metall plastinkasi sirt chegaralarida zaryadning (yoki elektronlarning) bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko'chishi tufayli bajarilgan ish shu metal (ion)ning *oksidlanish potentsiali* deyiladi. Har qanday element (ion)ning oksidlanish potentsiali $E_{oksid/qayt}^0$ holida belgilanadi va "volt – v", "millivolt – mv" birliklarda o'lchanadi.

Har bir elektrod potentsialining qiymati elementning yoki eritmadagi ionning tabiatiga, miqdori (konsentratsiyasi) va haroratiga bog'liq. Bu bog'lanishni *Nernst tenglamasi* orqali ifodalash mumkin:

$$E = E_{oksid/qayt}^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg \frac{[oksid]}{[qayt]}$$

Bu yerda, E – oksidlanish potentsiali, v;

$E_{oksid/qayt}^0$ – standart oksidlanish potentsiali, v;

R – universal gaz doimiysi 8,314 J/(mol·K);

T – mutlaq harorat (standart sharoit uchun), $T=298\text{ K}$ ($t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$);

n – berilgan yoki qabul qilingan elektronlar soni;

F – Faradey soni, 96500 KJ;

[oksid] – moddaning oksidlangan shakli konsentratsiyasi, mol/l;

[qayt] – moddaning qaytarilgan shakli konsentratsiyasi, mol/l.

Agar R, T, F larning son qiymatlarini oʻrniga qoʻysak, *Nernst* formulasi quyidagi koʻrinishga keladi:

$$E = E_{\text{oksid/qayt}}^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{[\text{oksid}]}{[\text{qayt}]}$$

Metall elektrodlarida qaytarilgan shakl metall atomiga toʻgʻri kelgani uchun tenglamadagi [qayt]=[Me⁰]=1 mol/l ga teng deb qabul qilinadi va u holda Nernst tenglamasi quyidagi koʻrinishda yoziladi:

$$E = E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}^0}^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg [\text{Me}^{n+}]$$

33.1-jadval

Metallarning elektrokimyoviy kuchlanishlar qatori yoki standart elektrod potensiallar qatori (Beketov qatori)

Metall	E°, V	Metall	E°, V	Metall	E°, V	Metall	E°, V
Li^+ / Li	-3.045	$\text{La}^{3+} / \text{La}$	-2.522	$\text{Ga}^{3+} / \text{Ga}$	-0.560	$\text{Re}^{\text{III}} / \text{Re}$	+0.300
Rb^+ / Rb	-2.925	Y^{3+} / Y	-2.372	$\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}$	-0.441	$\text{Bi}^{\text{III}} / \text{Bi}$	+0.317
K^+ / K	-2.924	$\text{Mg}^{2+} / \text{Mg}$	-2.370	$\text{Cd}^{2+} / \text{Cd}$	-0.404	$\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$	+0.338
Cs^+ / Cs	-2.923	$\text{Sc}^{3+} / \text{Sc}$	-2.077	$\text{In}^{3+} / \text{In}$	-0.338	$\text{Hg}_2^{2+} / \text{Hg}$	+0.796
$\text{Ra}^{2+} / \text{Ra}$	-2.916	$\text{Be}^{2+} / \text{Be}$	-1.847	$\text{Co}^{2+} / \text{Co}$	-0.277	Ag^+ / Ag	+0.799
$\text{Ba}^{2+} / \text{Ba}$	-2.905	$\text{Al}^{3+} / \text{Al}$	-1.700	$\text{Ni}^{2+} / \text{Ni}$	-0.234	$\text{Rh}^{3+} / \text{Rh}$	+0.800
$\text{Sr}^{2+} / \text{Sr}$	-2.888	$\text{Tl}^{3+} / \text{Tl}$	-1.208	$\text{Sn}^{2+} / \text{Sn}$	-0.141	$\text{Pd}^{2+} / \text{Pd}$	+0.915
$\text{Ca}^{2+} / \text{Ca}$	-2.864	$\text{Mn}^{2+} / \text{Mn}$	-1.192	$\text{Pb}^{2+} / \text{Pb}$	-0.126	$\text{Pt}^{\text{II}} / \text{Pt}$	+0.963
Na^+ / Na	-2.771	$\text{Cr}^{2+} / \text{Cr}$	-0.852	H^+ / H_2	± 0.000	Au^+ / Au	+1.691
$\text{Ac}^{3+} / \text{Ac}$	-2.600	$\text{Zn}^{2+} / \text{Zn}$	-0.763	$\text{Sb}^{\text{III}} / \text{Sb}$	+0.240		

Agar 33.1-jadvalda keltirilgan metallarning E^0 qiymatlarini manfiy ishorali qiymatidan boshlab o'sib borishi tartibida joylashtirib chiqilsa, metallarning oksidlanish potentsiali qatori metallarning kuchlanishlar qatori hosil bo'ladi.

Kimyoviy galvanik elementlar. Kimyoviy galvanik elementlarda elektr yurituvchi kuch (elektr energiyasi) kimyoviy reaksiya energiyasi hisobiga hosil bo'ladi. Bu xil elementlarga Daniel Yakobi elementi misol bo'la oladi.

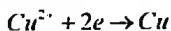
Daniel Yakobi elementi mis va rux elektrodlaridan tuziladi. Mis elektrod Cu^{2+} ionlari bor eritmaga (masalan, $CuSO_4$ eritmaga), rux elektrod esa Zn^{2+} ionlari bor eritma (masalan, $ZnSO_4$ eritmasi) tushuniladi. Eritmalar chegarasida hosil bo'ladigan diffuzion potentsiallarni yo'qotish uchun ular orasiga kaliy yodid (KI) eritmasidan iborat "ko'priq" qo'yiladi.

Yuqorida qayd etib o'tilganidek, mis elektrod mis kuporosi eritmasiga tushirilganda mis bilan mis kuporosi eritmasi chegarasida potentsial hosil bo'ladi. Shuningdek, rux bilan rux kuporosi eritmasi chegarasida ham potentsial hosil bo'ladi. Agar elektrodlar bir-biri bilan tutashtirilmasa, elektrodlarda muvozanat holatdagi potentsiallar hosil bo'lishi bilan jarayon nihoyasiga yetadi.

Agar elektrodlar elektr oqimini o'tkazuvchi material (masalan, mis sim) bilan tutashtirilsa va bu ishga elektrning mavjudligini bildiruvchi biror asbob (masalan galvanometr) ulansa, bu asbob sim orqali elektr oqimi o'tayotganligini ko'rsatadi. Elektrodlar sim orqali tutashtirilganda quyidagi o'zgarishlar yuz beradi. Elektrodda hosil bo'lgan potentsiallar qiymatining har xil bo'lganligidan ular haravarlashishga intiladi.

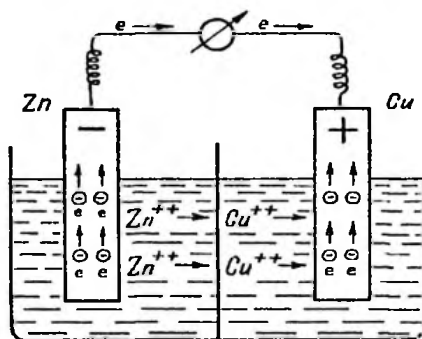
Rux elektrodning potentsiali mis elektrodning potentsialiga nisbatan manfiyroq. Bu potentsiallar baravarlashishi uchun rux elektrodning potentsiali manfiylashishi kerak. Natijada elektronlar rux elektrodidan mis elektrodga sim orqali o'ta boshlaydi. Shunday qilib, elektrodlar tutashtirilgan simda elektronlar tutamining oqimi, ya'ni elektr oqimi paydo bo'ladi.

Elektronlarning rux elektrodan mis elektrodga o'tishi natijasida elektrodlarda elektr qo'sh qavatining muvozanati bo'ladi. Natijada mis elektrod manfiylashadi. Rux elektrod esa musbatlashadi. O'z navbatida elektrodlarda buzilgan muvozanatni tiklash uchun yangi Cu^{2+} ionlar eritmada mis elektrodga o'tirib, kelayotgan elektronlarni neytrallaydi.



Ya'ni mis cho'kadi, rux elektrodga esa aksincha bo'ladi. Elektrodan eritmaga ketayotgan elektronlarning o'rnini qoplash uchun yangi Zn^{2+} ionlari eritmaga o'tib, elektrodga yangi elektronlarni qoldiradi:





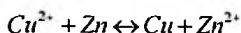
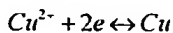
33.1-rasm. Daniel Yakobining galvanik elementi

Shunday qilib, element ishlagan vaqtda mis elektrodda qaytarilish, rux elektrodda esa oksidlanish jarayoni boradi, ya'ni rux elektrokimyoviy eriydi. Moddalarning erituvchiga ion holatiga o'tib erishiga *elektrokimyoviy erish* deyiladi. Masalan, AgCl suvda AgCl holida emas, balki Ag⁺ va Cl⁻ ion holida eriydi. Elektrodda rux metalli holida emas, balki rux ioni Zn²⁺ o'tgan holda eriydi. Har qanday galvanik elementning bir elektrodida oksidlanish, ikkinchi elektrodida qaytarilish jarayoni boradi. Qaytarilish jarayoni borgan elektrod musbat qutb (+), oksidlanish jarayoni borgan elektrod esa manfiy qutb (-) ishorasi bilan belgilanadi.

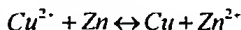
Agar galvanik element faqat elektr musbat elektrodlardan tuzilgan bo'lsa, elektr musbatligi kuchliroq elektrod musbat, elektr musbatligi kuchsizroq elektrod esa manfiy qutbli bo'ladi.

Demak, kuchlanishlar qatorida yuqorida turgan metall manfiy va pastda turgan metall musbat qutbli bo'ladi. Masalan, Zn va Ni elektrodan tuzilgan galvanik elementda Ni musbat Zn manfiy qutbli bo'ladi.

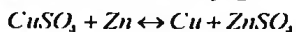
Agar musbat va manfiy elektrodalarda borayotgan kimyoviy jarayonlarning tenglamalari bir-biriga qo'shilsa, galvanik elementda sodir bo'layotgan kimyoviy reaksiya tenglamasi hosil bo'ladi:



Demak, Daniel Yakobi elementida elektr yurituvchi kuch (EYUK) quyidagi reaksiya energiyasi hisobiga hosil bo'ladi.



Bu ionli reaksiya quyidagi molekulyar reaksiyaga muvofiq keladi:



Shunday qilib, hamma oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari ma'lum sharoitda o'tkazilganda (galvanik elementda) elektr oqimi hosil bo'ladi.

Nazorat savollari:

1. Oksidlanish potentsiali deganda nimani tushunasiz?
2. Misning standart elektrod potentsiali nechga teng?
3. Galvanik element tushunchasini qanday izohlaysiz?
4. Standart elektrod potentsiallar qatorini yana qanday nomlanadi?

34-amaliy mashg'ulot

Metallarni eritmalarda elektroliz usulida cho'ktirish jarayonini hisoblash
(2 soat)

Rux sulfat eritmasini elektrolitik cho'ktirish

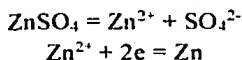
Amaliy mashg'ulotning asosida Faradey qonuni yotadi. Bu qonunning binoan, metall ekvivalentining bir molyar massasini cho'ktirish uchun 96500 K (kulon) yoki $96500 : 3600 = 26,8$ A·soat elektr sarflanadi. Misning ekvivalenti $63,6 : 2 = 31,78$ g/mol ga teng. Agar mis saqlovchi eritmadan 1 soat davomida 1 A tok kuchiga ega bo'lgan tok o'tkazilsa $31,78 : 26,8 = 1,186$ g mis cho'kadi. Bu ko'rsatkich misning elektrkimyoviy ekvivalenti deb nomlanadi (moddaning kimyoviy grammi ekvivalenti elektrkimyoviy ekvivalentdan 26,8 barobar ko'pdir).

Amaliyotda bir qator metallarni elektr cho'ktirishda asosiy reaksiya bilan bir qatorda qo'shimcha jarayonlar ham boradi va ularning hisobiga eritmadan 96500 K elektr o'tganda 1 g-ekv dan kam miqdorda metall cho'kadi. Shu sababdan Faradey qonunlarini elektr cho'ktirish jarayonida kechadigan barcha reaksiyalar uchun qo'llash zarur.

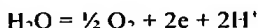
Elektroliz jarayoni elektroliz vannalarida olib boriladi. Vannalarga ketma-ket anod va katodlar joylashtiriladi. Elektroliz jarayoni doimiy tok yordamida olib boriladi. Anodlar doimiy tok manbasining musbat zaryadiga katodlar esa manfiy zaryadiga ulanadi. Elektrolit sifatida tarkibida rux sulfati eritmasi qo'llaniladi.

Elektrodlarga doimiy tok ulanganda elektronlar tashqi zanjirdan anoddan katodga elektronlar harakatlanadi. Buning natijasida anod musbat, katod esa manfiy zaryadlanadi. Elektrolit eritmasida katodga musbat zaryadga ega bo'lgan Zn^{2+} ionlari harakatlanadi, bu ionlar yetishmaydigan elektronlarni qabul qilib katodda neytral atom sifatida cho'kadi.

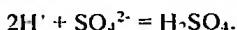
Ruxni elektroliz usulida cho'ktirish jarayonida katodda quyidagi reaksiya kechadi:



Anodda esa suvning parchalanishi va kislorodning hosil bo'lishi ro'y beradi:



Shunindek, ruxni elektroliz usulida cho'ktrish natijasida sulfat kislota tiklanadi:



Anod misni elektrolitik rafinirlash

Misni elektrolitik tozalash asosan barcha zarra moddalardan holi sifatli metall olish uchun qo'llaniladi. Xomashyo tarkibida uchrovchi nodir metallar mis bilan yo'ldosh metallar sifatida elektroliz jarayonigacha yetib keladi va bu jarayonda shlam sifatida metall holdagi misdan ajratib olinadi. Bu shlam tarkibida oltin, kumush va platinaoidlar uchraydi.

Anod mislarini elektroliz qilish uchun misning ikki valentli, misning sulfat kislotali eritmasi erkin holdagi sulfat kislotalarida olib boriladi. Odatda, elektrolit tarkibi 140-200 g/l $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ va 150-220 g/l H_2SO_4 dan iborat. Elektroliz jarayonida elektrolit harorati 55-65° C ni tashkil etadi. Yuqori sifatli katod mahsulotini olish uchun elektrolitga turli xil tiomochevina va boshqa qo'shimchalar qo'shiladi. Anod sifatida misni olovli tozalashdan song olinadigan yarim mahsulot ishlatiladi. Katod sifatida elektrolitik toza, yupqa mis plastinkasidan yasalgan bo'ladi. Elektroliz jarayoni doimiy va zaxiralangan doimiy toklarda olib boriladi. Elektroliz jarayonini texnologik hisoblashda uning material balansi, regeneratsiyaga yuboriladigan elektrolit miqdori, elektrolit tarkibidagi zarra moddalar tarkibi va miqdorlari aniqlanadi.

Quyidagi tarkibli anod misini elektroliz jarayonining material balansini hisoblash kerak: 99,6% Cu; 0,08% Au; 0,035% Ag; 0,05% Sc; 0,02% Te; 0,05% Rb; 0,08% Ni; 0,03% As; 0,02% Sb; 0,01 % Bi; 0,015% Fe; 0,01% O₂. bu hisoblashlarni olib borish uchun amaliyotdagi ma'lumotlarga ko'ra ayrim kattaliklarni qabul qilamiz. Anod skrapining chiqishi 18 %. Adabiyotlardagi ma'lumotlarga asosan skraplarda, eritmalar orasida, shlam va katod chiqindilarida mis va zarra moddalarning taqsimlanishini quyidagicha belgilaymiz:

Anod misning kimyoviy tarkibi

Material balansi	Cu	Au	Ag	Se	Te	Rb	Ni	As	Sb	Bi	Fe	O ₂
Eritmaga	1,9	-	-	-	-	8	92	25	7	52	70	-
Shlamga	0,1	99	98,5	99	99	83	1	51	64	7	20	90
Katodlarga	98	1	1,5	1	1	9	7	24	29	41	10	10

Jadvalda keltirilgan taqsimlanishga ko'ra elektroliz jarayoning material balansini topamiz, kg:

34.2-jadval

Elektroliz jarayonining material balansi

Material balansi	Cu	Au	Ag	Se	Te	Pb
Kelishi	996	0,8	0,35	0,5	0,2	0,5
Chiqishi: Skrup va qoldiqlarga	179,28	0,144	0,063	0,09	0,036	0,09
Shlamga	0,817	0,6493	0,283	0,406	0,162	0,34
Eritmaga	15,52	-	-	-	-	0,0328
Katodga	800,39	0,0043	0,0043	0,00168	0,00164	0,015

34.2-jadval davomi

Material balansi	Ni	As	Sb	Bi	Fe	O ₂
Kelishi	0,8	0,3	0,2	0,1	0,15	0,1
Chiqishi: Skrup va qoldiqlarga	0,144	0,054	0,036	0,018	0,027	0,018
Shlamga	0,0066	0,125	0,105	0,0057	0,025	0,074
Eritmaga	0,603	0,0615	0,0115	0,0426	0,0861	-
Katodga	0,046	0,059	0,0476	0,0336	0,0123	0,008

Regeneratsiyaga beriladigan elektrolitning hajmini hisoblaymiz. Elektrolit hajmi, regeneratsiyadan chiqadigan elektrolitda chegaralangan elementlar miqdoridan aniqlanadi. Amaliyotdan olingan ma'lumotlarga asosan elektrolit tarkibidagi elementlarning chegaraviy miqdori quyidagicha: 40 Cu, 20 Ni, 4 As, 0,7 Sb, g/l.

Material balansdan olingan ma'lumotlarga binoan 1000 kg anoddan elektrolitga o'tgan zarra moddalarning miqdorini aniqlaymiz:

Anoddan elektrolitga o'tgan moddalar miqdori

Elementlar	Anod tarkibi, kg	Elektrolit tarkibiga, kg	Qabul qilgan tarkibi, g/l	Elektrolit tarkibi, l
Ni	0.8	0.603	20	30.15
As	0.3	0.0615	4	0.0154
Sh	0.2	0.017	0.7	24.3
Cu	996	15.52	40	388.0

Ishlatilgan elektrolit tarkibini hisoblash. Regenerativ vannaga 40 g/l Cu, 150 g/l H₂SO₄ tarkibli elektrolit 1 soatda 0,4 m³ kelib turadi. Ishlatilgan elektrolit tarkibini aniqlash kerak.

Erimaydigan anodni elektroliz qilish va sulfat kislotani regeneratsiya qilish quyidagi reaksiya bo'yicha oqib o'tadi:



Elektroliz jarayonida tok kuchi 12 400 A, tok chiqishi esa 83 %. Unda 1 soatda ajraladigan misning miqdori: $12\,400 \cdot 1,186 \cdot 1 - 0,83 = 12\,196$ g. Vannaga 1 soatda keladigan misning miqdori: $400 \cdot 40 = 16000$ g. Ishlatilgan elektrolitda qoladigan misning miqdori $16000 - 12196 = 3804$ g, elektrolit tarkibidagi misning miqdori $3804 : 400 = 9,5$ g/l.

Yuqorida keltirilgan reaksiya bo'yicha 63,5 g misga 98 g sulfat kislotaga to'g'ri keladi. $40 - 9,5 = 31,5$ g/l mis uchun esa $31,5 - 98 : 63,5 = 48,6$ g/l H₂SO₄ to'g'ri keladi. Elektrolit tarkibidagi kislotaning miqdori $150 + 48,6 = 198,6$ g/l ni tashkil etadi.

Elektr energiya sarfini hisoblash

Misni elektrolitik tozalash jarayonida elektr energiya sarfi quyidagi nisbatlikda topiladi: $kVt \cdot s/t$:

$$W = EI0^3 : 1,186 A,$$

Bu yerda, E - bitta vannadagi kuchlanishning to'liq tushishi, V;

$$E = E_v + E_{sh}$$

Bu yerda: E_v - vannadagi kuchlanish tushishi, V;

E_{sh} - vanna shinalarining kuchlanishining tushishi, V;

1,186 - misning elektrokimyoviy ekvivalenti, g/(A · s);

A - tok bo'yicha chiqishi, %.

Elektr energiya sarfini aniqlash uchun amaliyotda aniqlangan tokning chiqishi ko'rsatkichini va mashina vaqti kattaligini belgilab olamiz. Ular quyidagiga teng:

$$M = 91 \div 93 \% ; \quad A = 94 \div 96 \%$$

Vannadagi kuchlanish tushishini vannadagi kuchlanishni yechish orqali ham aniqlash mumkin. Umumiy ravishda vannadagi kuchlanishning tushishini quyidagi ifoda orqali aniqlasa bo'ladi:

$$E_v = E_a - E_k + E_{ch} + E_{cl}$$

Bu yerda, E_a - anod potentsiali;

E_k - katod potentsiali;

E_{cl} - elektrolitdagi kuchlanishning tushishi;

E_{ch} - tutashma va uzatgichlarda kuchlanishning tushishi.

Mis elektrolitik tozalash zavodida, A.I.Levina va M.I.Nombergning ma'lumotiga ko'ra vannalardagi kuchlanishning tushishi o'rtacha 0,29 - 0,404 V qiymatlarni tashkil etadi.

Vannadagi umumiy kuchlanish tushishida elektrenergiyaning asosiy yo'qoladigan qismi bu elektrolitlarga to'g'ri keladi. Bunda 50-70 % kuchlanishning yo'qolishi to'g'ri keladi.

Mis elektrolit sexlarida shina tayyorlashda ishlatiladigan materiallar sifatida mis va alyuminiy ishlatiladi. Elektroliz sexi ichidagi atmosferani o'rganib bu iqlim alyuminiy turg'unligiga yomon ta'sir qiladi. Shu tufayli shinalar misdan tayyorlanadi. Amaliyotdagi ma'lumotlarga asosan vannadagi kuchlanishning tushishidan, 12-15 % shinalarda kuchlanishning yo'qolishiga to'g'ri keladi. Yuqorida keltirilgan ma'lumotlarga asosan texnologik jihatdan 1 tonna katod misiga sarflanadigan elektr energiyani topamiz. Agarda vannadagi kuchlanishning tushishi 0.36 V ni tashkil etsa, shinalarning qarshiligi esa har bir vannaga 0.4 V hisobida shinalarda kuchlanish pasayishiga olib keladi, vannadagi mashina vaqti 91 % ni, tok bo'yicha chiqish unumi 94 % ni tashkil qiladi. Ko'rsatilgan qiymatlarni tenglamadagi noma'lumlar o'rniga qo'yib chiqamiz.

$$[(0,36 + 0,04) : 1,186 \cdot 0,94] 10^3 = (0,4 : 1,115) 10^3 = 359 \text{ kVt} \cdot \text{s/t.}$$

Amaliyotda 1 tonna katod mis olish uchun sarflanadigan elektr energiya miqdori 320 - 400 kVt · s ni tashkil etadi.

Nazorat savollari:

1. Elektroliz deb nimaga aytiladi?
2. Suyuqlanma va eritma elektrolizining bir-biridan qanday farqi bor?
3. Eritma elektrolizi usulida qanday metallar ajratib olinadi?
4. Rux va mis elektrometallurgiyasining asosiy farqi nimada?
5. Ruxni elektroliz usuli bilan ajratib olishning qanday ahamiyatli tomoni bor?
6. Mis anodlarini elektrolizlashda anod tarkibida qancha mis mavjud bo'ladi?
7. Mis anodini elektrolitik rafinirlash deganda nimani tushunish kerak?
8. Mis anodini elektrolitik rafinirlashda vanna qancha kuchlanish beriladi?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. G.P. Xomchenko, I.G. Xomchenko. Kimyo. Oliy o'quv yurtlariga kiruvchilar uchun. – Toshkent: “O'qituvchi” NMIU, 2016.
2. A.G. Muftaxov, H.T. Omonov, R.O. Mirzayev. Umumiy kimyo. – Toshkent: “O'qituvchi” NMIU, 2015.
3. M.M. Abdulxayeva, O'M. Mardonov. Kimyo. – Toshkent: “O'zbekiston”, 2012.
4. Mirziyoev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birlashtiramiz. – T.: “O'zbekiston” NMIU, 2017. -488 b.
5. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida. –T.: 2017 yil 7-fevral, PF-4947-son farmoni.
6. A.S. Xasanov, Q.S. Sanakulov, A.A. Yusupxodjaev. Rangli metallar metallurgiyasi. O'quv qo'llanma. – T.: Fan, 2010. - 284 b.
7. O. Kubaschewski., E. L. Evans. Metallurgical Thermo – chemistry: 3rd ed. Pergamon Press., New York. 2014. P. 32 – 35.
8. K. K. Kelly. Data on theoretical Metallurgy. XIII. High temperature heat capacity and Entropy data for elements and inorganic compounds., U.S.A. Bur. Mines, Bull. 2017. P. 584.
9. D. J. Chakrabarti, D. E. Laughlin. The Cu – S (Copper – Sulfur) system., Carnegie – Mellon University, U.S.A. 2012. P. 23.
10. M.M. Abdulxayeva, O'M. Mardonov. Kimyo: darslik – T.: “O'zbekiston”, 2015-y. 608 b.
11. Севрюков Н.Н. Общая металлургия. Москва. Металлургия. 2015. 467 с.
12. A.A. Yusupxodjayev, D.E. Aripjanova, S.B. Mirzajonova. Pirometallurgiya jarayonlari nazariyasi. Ma'ruza matni. Toshkent: ToshDTU, 2015. 78 b.
13. Thum Earnest Edger. A practice Book in Elementary Metallurgy. 2015. P. 321.
14. A.K. Biswas, W.G. Davenport. Extractive Metallurgy of Copper. Pergamon, 2013, P. 489.
15. W.G. Davenport, M. King, M. Schlesinger, A.K. Biswas. Extractive Metallurgy of Copper. Pergamon, 2016, P. 460.
16. Fundamental of Metallurgy. Edited by Seshadri Seetharaman. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014, P. 589.
17. Steven S. Zumdahl, Susan A. Zumdahl. Chemistry. – New York: “Houghton Mifflin Company”, 2007.
18. Darrel D. Ebbing, Steven D. Gammon. General Chemistry. – New York: “Houghton Mifflin Company”, 2009.
19. Tracy Poulsen. Introduction to Chemistry. – New York: “CK – 12 Foundation”, 2010.

ENTALPIYA, GIBBS ENERGIYASI VA ENTROPIYASINING STANDART O'ZGARISHI

- gipo - gipotetik ajralmagan holatda
- kr - kristal holati,
- amorf - amorf holat,
- shisha - shishasimon holat,
- s - suyuq holat,
- g - gaz holati,
- tanq - tanqidiy holat
- erit - eritma
- eritma; 100H₂O - bu molning bir molini 100 mol suvdagi eritmasi
- cheksiz H₂O - suvli eritmaning cheksiz suyultirilishi bilan

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
Ag (kristal)	0	0	42.55
Ag ⁺ (erit., cheksiz H ₂ O)	105.6	77.13	72.6
AgBr (kristal)	-100.7	-97.2	107.1
AgCl (kristal)	-127.1	-109.8	96.1
AgCl ₂ ⁻ (erit., gipo.)	-245.2	-214.8	228.9
AgCN (kristal)	145.9	156.9	107.2
Ag(CN) ₂ ⁻ (erit., cheksiz H ₂ O, gipo.)	269.0	301.7	201.3
AgF (kristal)	-205.9	-187.9	84
AgF (erit., 20H ₂ O)	-223.5	-	-
AgF (erit., 50H ₂ O)	-223.7	-	-
AgF (erit., 1000H ₂ O)	-223.7	-	-
AgF (erit., cheksiz H ₂ O)	-225.9	-200.6	58.8
AgI (kristal)	-61.9	-66.4	115.5
Ag(NH ₃) ₂ ⁺ (erit., cheksiz H ₂ O, gipo.)	-111.2	-17.6	246
AgNO ₃ (kristal)	-124.5	-33.6	140.9

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
AgNO ₃ (erit.; 50H ₂ O)	-103.7	-	-
AgNO ₃ (erit.; 1000H ₂ O)	-101.7	-	-
AgNO ₃ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-101.8	-34.5	219.8
Ag ₂ O (kristal)	-31.1	-11.3	121.0
Ag ₂ S (kristal)	-32.8	-40.8	144.0
Ag(S ₂ O ₃) ₂ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-1296.2	-1033.2	98.9
Ag ₂ SO ₄ (kristal)	-717.2	-619.6	199.8
Al (g)	329.1	288.5	164.4
Al (kristal)	0	0	28.34
Al ³⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-529.7	-490	-301
Al ₄ C ₃ (kristal)	-209	-196	89.0
AlCl (g)	-45.9	-72.1	227.9
AlCl ₃ (g)	-585	-571	313.8
AlCl ₃ (kristal)	-704.2	-628.6	109.3
AlCl ₃ (erit.; 1000 H ₂ O)	-1035.4	-	-
AlCl ₃ (erit.; 10000 H ₂ O)	-1036.6	-	-
AlCl ₃ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1031.0	-883.8	-132
AlCl ₃ 6H ₂ O (kristal)	-2691.6	-2261.3	318.0
Al ₂ Cl ₆ (g)	-1293	-1209	444.3
Al ₂ Cl ₆ (kristal)	-1408.3	-1257.2	218.6
Al(CH ₃) ₃ (s)	-151	-24.8	209.6
AlF (g)	-263.3	-288.7	215.01
AlF ₃ (g)	-1210.8	-1194.3	277.0
AlF ₃ (kristal)	-1510.4	-1431.1	66.5

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
AlF_6^{3-} (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-2518	-2275	24
AlH_3 (kristal)	-11,4	46	30,0
AlI_3 (kristal)	-307,9	-304,1	190
$AlBr_3$ (kristal)	-513,88	-490,60	180,25
$Al(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (kristal)	-2850,1	-2203,5	468
AlO_2^- (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-934,9	-832,1	-46
$Al(OH)_3$ (amorf)	-1276	-	-
$Al(OH)_3^-$ (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-1506,5	-1306,6	90
Al_2O_3 (kristal)	-1675,7	-1582,3	50,9
Al_2O_3 (amorf)	-1602	-	-
Al_2S_3 (kristal)	-724	-	-
$Al_2(SO_4)_3$ (kristal)	-3441,8	-3100,9	239,2
$Al_2(SO_4)_3$ (crit.; 55H ₂ O)	-3771,6	-	-
$Al_2(SO_4)_3$ (crit.; 100H ₂ O)	-3780,1	-	-
$Al_2(SO_4)_3$ (crit.; 800H ₂ O)	-3786,6	-	-
$Al_2(SO_4)_3$ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-3792,4	-3217,1	-548
As (g)	288,7	247,4	174,1
As (kristal)	0	0	35,61
$AsCl_3$ (g)	-271,1	-258,1	326,2
$AsCl_3$ (s)	-315,5	-268,4	212,5
AsF_3 (s)	-956,9	-909,6	181,2
AsH_3 (g)	66,4	68,9	222,97
AsI_3 (kristal)	-64,9	-65,8	213,0
AsO_4^{3-} (crit.; cheksiz H ₂ O)	-890,1	-648,9	-167,28

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
As ₄ O ₆ (kristal)	-1334.7	-1176.4	233
As ₂ O ₃ (kristal)	-926.4	-783.8	105.4
As ₂ S ₃ (kristal)	-159.0	-158.0	164
HAsO ₄ ³⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-908.3	-715.6	-5
H ₂ AsO ₄ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-911.5	-755.6	119
H ₃ AsO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-908.6	-768.2	171
Au (kristal)	0	0	47.4
AuBr ₃ (kristal)	-54	-18.0	155
AuCl (kristal)	-36.4	-14.6	85.9
AuCl ₃ (kristal)	-118	-54	164
AuCl ₄ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-322.0	-235.6	268.3
AuF ₃ (kristal)	-431.4	-	-
Au(OH) ₃ (kristal)	-477.8	-349.8	121
Au ₂ O ₃ (kristal)	-13.0	78.7	-
B (g)	561.6	517.6	153.33
B ₂ (g)	845.2	788.6	201.79
B (kristal)	0	0	5.86
BBr ₃ (s)	-239.3	-237.5	228
B(CH ₃) ₃ (g)	-124	-36.2	315.0
BCl ₃ (g)	-403.8	-388.7	289.5
BCl ₃ (s)	-427.1	-387.1	206
BF ₃ (g)	-1136.9	-1120.3	254.3
BF ₄ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1572	-1482	176
BH ₃ (g)	92	96	187.7

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
BN (kristal)	-252,6	-226,8	14,8
B(OH) ₃ (kristal)	-1094,2	-968,8	88,7
BO ₃ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-1344,1	-1152,9	101
B ₂ H ₆ (g)	38	90	232
B ₂ O ₃ (kristal)	-1272,9	-1193,8	54,0
B ₂ O ₃ (amorf.)	-1254,0	-	-
B ₃ H ₆ (g)	105	-	-
B ₃ H ₆ (s)	75	-	-
B ₁₀ H ₁₄ (g)	68	-	-
HBO ₂ (kristal)	-803,8	-736,1	49
Ba (g)	179	147	170,13
Ba (kristal)	0	0	62,5
Ba ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-524,0	-546,8	8,4
BaCO ₃ (kristal)	-1211	-1132,2	112,1
BaCl ₂ (kristal)	-844,0	-795,7	123,7
BaCl ₂ (erit.; 50H ₂ O)	-855,7	-	-
BaCl ₂ (erit.; 100H ₂ O)	-855,8	-	-
BaCl ₂ (erit.; 1000H ₂ O)	-856,7	-	-
BaCl ₂ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-858,2	-809,3	121,4
BaCl ₂ 2H ₂ O (kristal)	-1446,4	-1282,9	203,3
BaCrO ₄ (kristal)	-1428,8	-1332	172,01
Ba(NO ₃) ₂ (kristal)	-978,6	-783,2	213,8
BaI ₂ (kristal)	-190,1	-151,3	63
BaO (kristal)	-548	-520	72,0

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
BaO ₂ (kristal)	-623	-	-
Ba(OH) ₂ (kristal)	-941	-855	109
Ba(OH) ₂ (erit.; 400H ₂ O)	-984,5	-	-
Ba(OH) ₂ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-984,1	-861,4	-13,4
BaS (kristal)	-456	-451	78,4
BaSO ₄ (kristal)	-1458,9	-1347,9	132,2
BaSiO ₃ (kristal)	-1617	-1534	109,6
Be (g)	324	286	136,16
Be (kristal)	0	0	9,50
Be ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-377,4	-375,7	-127
BeCO ₃ (kristal)	-1046	-965	52
BeCl ₂ (kristal)	-496,2	-449,5	75,8
BeF ₂ (kristal)	-1027,3	-979,9	53,3
BeH ₂ (g)	126	115	174,6
BeO (kristal)	-609,2	-579,9	13,77
Be(OH) ₂ (kristal)	-905,8	-816,5	45,56
BeSO ₄ (kristal)	-1201,2	-1089,8	77,9
BeSO ₄ (erit.; 20H ₂ O)	-1273,9	-	-
BeSO ₄ (erit.; 50H ₂ O)	-1278,2	-	-
BeSO ₄ (erit.; 100H ₂ O)	-1279,8	-	-
BeSO ₄ (erit.; 1000H ₂ O)	-1283,9	-	-
BeSO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1288,4	-1121,4	-109
Be ₂ C (kristal)	-117,2	-	-
Be ₃ N ₂ (kristal)	-587,9	-532,5	34,3

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
Bi (kristal)	0	0	56.9
Bi^{3+} (erit.; cheksiz H_2O)	81.0	91.8	175
$BiCl_3$ (g)	-263.0	-252.6	356.5
$BiCl_3$ (kristal)	-378.7	-313.1	172
BiI_4^+ (erit.; cheksiz H_2O , gipo.)	-	-211.8	-
Bi_2S_3 (kristal)	-155.6	-152.9	200
Bi_2O_3 (kristal)	-577.8	-497.3	151.5
$BiOCl$ (kristal)	-371.1	-321.0	103
$Bi(OH)_3$ (kristal)	-712.1	-	-
Bi_2Te_3 (kristal)	-78.62	-75.3	251
Br (g)	111.84	82.38	174.9
Br_2 (g)	30.91	3.13	245.37
Br_2 (s)	0	0	152.2
Br^- (g)	-218.87	-238.66	163.38
Br^- (erit.; cheksiz H_2O)	-121.4	-104.1	83.3
BrF (g)	-42.39	-57.71	228.9
BrF_3 (g)	-255.6	-229.5	292.5
BrF_5 (g)	-428.9	-350.3	-
BrO_3^- (erit.; cheksiz H_2O)	-82.8	1.9	164.8
HBr (g)	-36.3	-53.3	198.59
HBr (erit.; 20 H_2O)	-118.7	-	-
HBr (erit.; 50 H_2O)	-119.9	-	-
HBr (erit.; 100 H_2O)	-120.3	-	-
HBr (erit.; 1000 H_2O)	-121.1	-	-

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
HBr (erit.: cheksiz H ₂ O)	-121.4	-104.1	83.3
C (g)	715.1	669.7	157.99
C (k. olmos)	1.83	2.83	2.37
C (k. grafit)	0	0	5.74
CCl ₄ (g)	-102.9	-60.7	309.9
CCl ₄ (s)	-135.4	-64.6	214.4
CF ₄ (g)	-933.0	-888.4	261.37
CHBr ₃ (g)	42	32.5	330.7
CHCl ₃ (g)	-101.3	-68.6	295.9
CHF ₃ (g)	-698.7	-664.3	259.57
CH ₂ F ₂ (g)	-445.6	-418.1	246.6
CH ₃ OH (g)	-202.0	-163.3	239.7
CH ₃ OH (s)	-239.45	-167.1	126.6
CH ₄ (g)	-74.81	-50.82	186.31
CN ⁻ (erit.: cheksiz H ₂ O)	150.6	171.6	96.4
CNO ⁻ (erit.: cheksiz H ₂ O)	-145.90	-96.07	101.13
CNS ⁻ (erit.: cheksiz H ₂ O)	74.27	89.96	146.05
CO (g)	-110.52	-137.14	197.54
CO ₂ (g)	-393.51	-394.38	213.67
CO ₃ ²⁻ (erit.: cheksiz H ₂ O)	-676.64	-527.6	-56
COCl ₂ (g)	-221	-207	284
COS (g)	-141.70	-168.94	231.53
C ₂ H ₂ (g)	226.0	208.5	200.83
C ₂ H ₄ (g)	52.5	68.3	219.3

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
C_2H_6 (g)	-84.7	-33.0	229.5
C_2H_5OH (g)	-234.6	-168.1	282.4
C_2H_5OH (s)	-276.9	-174.2	161.0
C_6H_6 (s)	49.03	124.5	172.8
C_6H_{12} (s)	-156.23	26.65	204.39
HCN (g)	134.7	124.3	201.71
HCN (g)	134.7	124.3	201.71
HNCs (g)	127.61	112.89	248.03
$COOH^+$ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-426.2	-351.5	91
CH_3COO^- (crit.; cheksiz H ₂ O)	-485.64	-369.37	87.58
$C_2O_4^{2-}$ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-824.25	-674.86	51.04
$HC_2O_4^-$ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-818.18	-688.47	117.03
HCOOH (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-426.2	-373.0	163
HCO_3^- (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-691.3	-586.6	93
H ₂ CO ₃ (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-699.0	-623.3	190
CS ₂ (g)	116.7	66.55	237.8
CS ₂ (s)	88.70	64.41	151.04
Ca (kristal)	0	0	41.6(63)
Ca^{2+} (crit.; cheksiz H ₂ O)	-543.1	-552.8	56.5
CaC ₂ (kristal)	-60	-65	70.0
CaCl ₂ (kristal)	-795.9	-749.4	108.4
CaCl ₂ (crit.; 20H ₂ O)	-870.3	-	-
CaCl ₂ (crit.; 50H ₂ O)	-873.2	-	-
CaCl ₂ (crit.; 100H ₂ O)	-874.1	-	-

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
CaCl_2 (erit.: 1000H ₂ O)	-875.7	-	-
CaCl_2 (erit.: cheksiz H ₂ O)	-877.3	-815.3	169.5
CaCO_3 (kristal)	-1206.8	-1128.4	91.7
CaF_2 (kristal)	-1220.9	-1168.5	68.5
Ca(OH)_2 (kristal)	-985.1	-897.1	83.4
CaHPO_4 (kristal)	-1808.6	-1675.4	111.4
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (kristal)	-2397.46	-2148.60	189.45
$\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2$ (kristal)	-3114.6	-2811.8	189.5
$\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (kristal)	-3408.29	-3057.00	259.83
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (kristal)	-4120.8	-3885.0	236.0
$\text{Ca(NO}_3)_2$ (kristal)	-938.8	-743.5	193.3
CaO (kristal)	-635.1	-603.5	38.1
CaS (kristal)	-476.98	-471.93	56.61
CaSO_4 (kristal)	-1436.3	-1323.9	106.7
Ca_3N_2 (kristal)	-431.8	-	-
Cd (kristal)	0	0	51.76
Cd^{2+} (erit.: cheksiz H ₂ O)	-75.3	-77.7	-71
CdCl_2 (kristal)	-390.8	-343.2	115.3
CdO (kristal)	-259.0	-229.3	54.8
CdSO_4 (kristal)	-934.41	-823.88	123.05
CdS (kristal)	-157	-153.2	71.1
Ce (kristal)	0	0	71.5
Ce^{3+} (erit.: cheksiz H ₂ O)	-700.8	-675.4	-209.6
Ce^{4+} (erit.: cheksiz H ₂ O)	-538.1	-506.7	-295

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
Cl (g)	121,31	105,33	165,08
Cl ⁺ (g)	-233,62	-239,85	153,25
Cl ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-167,1	-131,26	56,5
Cl ₂ (g)	0	0	222,98
ClO ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-110,0	-36,6	33
ClO ₂ ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-66,53	17,12	101,25
ClO ₃ ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-95,6	-0,2	164,4
ClO ₄ ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-123,6	-3,4	183,7
HCl (g)	-92,31	-95,30	186,79
HCl (erit.; 20H ₂ O)	-163,7	-	-
HCl (erit.; 50H ₂ O)	-165,3	-	-
HCl (erit.; 100H ₂ O)	-165,8	-	-
HCl (erit.; 1000H ₂ O)	-166,7	-	-
HCl (erit.; cheksiz H ₂ O)	-167,1	-131,26	56,5
HClO ₄ (s)	-34,9	84,0	188,3
ClO ₂ (g)	104,60	122,34	257,02
Cl ₂ O (g)	75,73	93,40	266,23
Co (kristal)	0	0	30,04
Co ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-56,6	-53,6	-110
Co ³⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	94	130	285
CoCl ₂ (kristal)	-310,0	-267,3	109,7
Co(NH ₃) ₆ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-	-239,6	-
Co(NH ₃) ₆ ³⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-594,5	-221	332
CoO (kristal)	-238,9	-215,1	52,7

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
CoSO ₄ (kristal)	-867.76	-760.83	113.39
Cr (kristal)	0	0	23,6(64)
Cr ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-138.91	-183.26	41.87
Cr ³⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-236.0	-223.1	215.5
CrCl ₃ (kristal)	-570	-501	124.7
CrCl ₃ (erit.; 300H ₂ O)	-720	-	-
CrCl ₃ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-737.3	-616.9	385.0
Cr ₂ O ₃ (kristal)	-1140.6	-1059,0	81,2
CrO ₃ (kristal)	-590	-513	73.2
CrO ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-882	-729	54
CrO ₂ Cl ₂ (g)	-528.9	-492.5	330
Cr(OH) ₃ (kristal, chesecacasiz)	-1013	-867	-
Cr ₂ O ₇ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1491	-1305	270
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇ (kristal)	-1807	-	-
Cs (g)	76.9	49.9	175.49
Cs (kristal)	0	0	85.23
Cs ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-258.07	-291.6	132.2
CsBr (kristal)	-405.5	-391.1	113.0
CsCl (kristal)	-442.44	-414.0	101.17
CsF (kristal)	-553.5	-525.7	93.01
CsI (kristal)	-346.5	-340.2	122.2
CsOH (kristal)	-416.6	-372	103
Cs ₂ SO ₄ (kristal)	-1444.3	-1325,0	211,9
Cu (kristal)	0	0	33.1

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
Cu' (erit.; cheksiz H ₂ O)	72.8	50.0	-44
Cu ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	66,9(94)	65,6(56)	-93
CuCl (kristal)	-137,3	-120,1	87
CuCl ₂ (kristal)	-205,85	-161,71	108,07
Cu(NH ₃) ₂ ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-151,04	-63,1	-263,59
Cu(NH ₃) ₂ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-36,86	15,76	17,90
Cu(NH ₃) ₂ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-140,21	-30,50	117,74
Cu(NH ₃) ₃ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-244,01	-73,18	204,24
Cu(NH ₃) ₄ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-346,4	-111,5	281
Cu(NH ₃) ₅ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-448,23	-134,64	309,47
Cu ₂ O (kristal)	-173,2	-150,6	92,9
CuO (kristal)	-162,0	-134,3	42,63
CuS (kristal)	-53,14	-53,58	66,53
Cu ₂ S (kristal)	-79,50	-86,27	120,92
CuSO ₄ (kristal)	-770,9	-661,79	109,2
CuSO ₄ 5H ₂ O (kristal)	-2279,4	-1880	300
CuSO ₄ (erit.; 50H ₂ O)	-837,5	-	-
CuSO ₄ (erit.; 100H ₂ O)	-837,9	-	-
CuSO ₄ (erit.; 1000H ₂ O)	-839,4	-	-
CuSO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-844,1	-680,1	-75
D ₂ O (s)	-294,60	-243,47	75,90
D ₂ O (g)	-249,20	-234,55	198,23
H ₂ D (g)	0,32	-1,47	143,70
F (g)	79,38	62,30	158,64

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
F ⁻ (g)	-259.68	-266.61	145.47
F ₂ (g)	0	0	202.7
F ⁻ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-331.5	-277.7	-13.8
HF ₂ ⁻ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-660.65	-581.52	67.78
HF (g)	-273.30	-275.41	173.67
Fe (kristal)	0	0	27.15
Fe ²⁺ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-87.1	-78.9	-131
Fe ³⁺ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-46.4	-4.5	-309
Fe(CN) ₆ ⁴⁻ (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	457.7	696.0	98
Fe(CN) ₆ ³⁻ (crit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	564.0	731.7	269
FeCl ₂ (kristal)	-341.7	-303.4	118
FeCl ₂ (crit.; 350H ₂ O)	-416.6	-	-
FeCl ₂ (crit.; 5000H ₂ O)	-423.4	-	-
FeCl ₂ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-421.3	-341.4	-18
FeCl ₃ (kristal)	-399.4	-	-
FeCl ₃ (crit.; 1000H ₂ O)	-531.8	-	-
FeCl ₃ (crit.; 2000H ₂ O)	-528.0	-	-
FeCl ₃ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-547.7	-398.3	-140
FeCO ₃ (kristal)	-738.15	-665.09	95.40
Fe(CO) ₅ (s)	-764	-695	338
FeO (kristal)	-265	-244	60.8
Fe(OH) ₂ (kristal)	-562	-479.7	88
Fe(OH) ₃ (kristal)	-827	-699.6	105
Fe ₂ O ₃ (kristal)	-822	-740	87

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
Fe ₃ O ₄ (kristal)	-1117.13	-1014.17	146.19
FeSO ₄ (kristal)	-927.59	-819.77	107.53
Fe ₂ (SO ₄) ₃ (kristal)	-2580	-2253	283
FeS (kristal)	-100.42	-100.78	60.29
FeS ₂ (kristal)	-177.40	-166.05	52.93
Ga (kristal)	0	0	41.09
Ga ₂ O ₃ (kristal)	-1089.10	-998.24	84.98
Ge (kristal)	0	0	31.13
GeCl ₄ (g)	-504.6	-466.0	347.7
GeH ₄ (g)	90.8	113.2	217.1
GeO ₂ (kristal)	-580.2	-521.6	39.7
H (g)	217.98	203.27	114.60
H ⁺ (erit.: cheksiz H ₂ O)	0	0	0
H ⁺ (g)	1536.21	1517.00	108.84
H ⁻ (g)	139.03	132.26	108.85
H ₂ (g)	0	0	130.52
Hg (s)	0	0	75.9
Hg (g)	61.3	31.8	174.85
Hg ²⁺ (erit.: cheksiz H ₂ O)	173.5	164.7	25
Hg ₂ ²⁺ (erit.: cheksiz H ₂ O)	171.8	153.6	82
HgCl ₂ (kristal)	-228.24	-180.90	140.02
Hg ₂ Cl ₂ (kristal)	-265.06	-210.81	192.76
HgI ₂ (kristal)	-169.45	-152.22	170.31
Hg ₂ Br ₂ (kristal)	-207.07	-181.35	217.70

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
HgI ₂ (kristal)	-105.44	-103.05	184.05
HgO (κ, spach.)	-90.88	-58.65	70.3
HgO (κ, se:m.)	-90.46	-58.52	71.3
HgS (kristal)	-59.0	-51.42	82.42
Hg ₂ SO ₄ (kristal)	-744.7	-627.51	200.71
I (g)	106.76	70.21	180.67
I ₂ (g)	62.43	19.37	260.6
I ₂ (kristal)	0	0	116.1
I ⁻ (crit.: cheksiz H ₂ O)	-55.2	-51.67	111
I ₃ ⁻ (crit.: cheksiz H ₂ O)	-51.46	-51.42	239.32
I ⁰ (g)	-195.02	-221.92	169.15
IO ₃ ⁻ (crit.: cheksiz H ₂ O)	-233.9	-141.5	120.9
HI (g)	26.57	1.78	206.48
HI (crit.: 50H ₂ O)	-54.2	-	-
HI (crit.: 100H ₂ O)	-54.5	-	-
HI (crit.: 1000H ₂ O)	-54.9	-	-
HI (crit.: cheksiz H ₂ O)	-55.2	-51.67	111
In (kristal)	0	0	57.82
In ₂ O ₃ (kristal)	-925.92	-831.98	107.95
In ₂ (SO ₄) ₃ (kristal)	-2725.50	-2385.87	302.08
K (g)	88.9	60.4	160.23
K (kristal)	0	0	64.68
K ⁺ (crit.: cheksiz H ₂ O)	-252.25	-282.52	100.9
K[AlH ₄] (kristal)	-170.7	-	-

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
KAl(SO ₄) ₂ (kristal)	-2465.00	-2235	204.50
KAl(SO ₄) ₂ 12H ₂ O (kristal)	-6063.2	-5143.1	687
K[BF ₄] (kristal)	-1884	-1782.1	134
KBr (kristal)	-393.5	-380.1	95.9
KBrO ₃ (kristal)	-376.1	-287.0	149.2
KCN (kristal)	-113.4	-101.9	127.8
K ₂ CO ₃ (kristal)	-1150.18	-1064.87	155.52
KCl (kristal)	-436.56	-408.6	82.55
KCl (erit.; 20H ₂ O)	-420.46	-	-
KCl (erit.; 50H ₂ O)	-419.50	-	-
KCl (erit.; 100H ₂ O)	-419.15	-	-
KCl (erit.; 1000H ₂ O)	-419.07	-	-
KCl (erit.; cheksiz H ₂ O)	-419.35	-413.78	157.4
KClO ₃ (kristal)	-389.1	-287.5	142.97
KClO ₄ (kristal)	-427.2	-297.4	151.04
KF (kristal)	-566.1	-536.4	66.5
KF 2H ₂ O (kristal)	-1162.3	-1020.1	155.0
KH (kristal)	-57.82	-34.0	50
KHF ₂ (kristal)	-925.9	-857.8	104.3
KI (kristal)	-327.74	-322.76	106.06
KMnO ₄ (kristal)	-833.9	-734.0	171.7
KNO ₃ (kristal)	-494.5	-394.6	132.9
KOH (kristal)	-424.67	-378.9	78.9
KOH (erit.; 20H ₂ O)	-481.11	-	-

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
KOH (erit.; 50H ₂ O)	-481.44	-	-
KOH (erit.; 100H ₂ O)	-481.55	-	-
KOH (erit.; 1000H ₂ O)	-481.92	-	-
KOH (erit.; cheksiz H ₂ O)	-482.29	-439.84	90
K ₂ CrO ₄ (kristal)	-1407.9	-1299.8	200
K ₂ Cr ₂ O ₇ (kristal)	-2062	-1882	291
K ₂ O (kristal)	-362	-322	96
KO ₂ (kristal)	-283	-238	117
KO ₃ (kristal)	-261	-181	105
K ₂ S (kristal)	-387	-373	113
K ₂ SO ₄ (kristal)	-1439.3	-1321.3	175.6
K ₃ [Fe(CN) ₆] (kristal)	-253.6	-131.5	420.9
K ₄ [Fe(CN) ₆] (kristal)	-600.4	-458.6	419.1
La (kristal)	0	0	56.90
LaCl ₃ (kristal)	-1070.68	-997.07	144.35
Li (g)	159.3	126.7	138.67
Li (kristal)	0	0	29.1
Li ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-278.45	-292.3	10.5
Li[AlH ₄] (kristal)	-107.1	-35.6	78.7
LiBr (kristal)	-351.0	-341.7	74.01
LiCl (kristal)	-408.4	-384.1	59.29
LiI (kristal)	-90.67	-68.7	20.6
LiNO ₃ (kristal)	-483.2	-380.5	88
LiOH (kristal)	-484.9	-439.0	42.8

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
Li ₂ O (kristal)	-597,9	-561,2	37,61
Li ₂ CO ₃ (kristal)	-1216,00	-1132,67	90,16
Li ₂ SO ₄ (kristal)	-1435,86	-1321,28	114,00
Mg (kristal)	0	0	32,7
Mg ²⁺ (erit., cheksiz H ₂ O)	-468,1	-457,3	-133,9
MgCl ₂ (kristal)	-644,8	-595,3	89,54
MgO (kristal)	-601,5	-569,3	27,07
Mg(OH) ₂ (kristal)	-924,7	-833,7	63,2
MgCO ₃ (kristal)	-1095,85	-1012,15	65,10
MgSO ₄ (kristal)	-1287,4	-1173,2	91,5
MgSO ₄ *6H ₂ O (kristal)	-3089,50	-2635,10	348,10
MgSO ₄ (erit., 25H ₂ O)	-1372,1	-	-
MgSO ₄ (erit., 50H ₂ O)	-1373,1	-	-
MgSO ₄ (erit., 100H ₂ O)	-1373,8	-	-
MgSO ₄ (erit., 1000H ₂ O)	-1375,8	-	-
MgSO ₄ (erit., cheksiz H ₂ O)	-1379,1	-1203,0	-115,9
Mn (kristal)	0	0	32,0
Mn ²⁺ (erit., cheksiz H ₂ O)	-220,2	-231,0	-62
MnO (kristal)	-385,1	-363,34	61,5
MnO ₂ (kristal)	-521,5	-466,7	53,1
Mn ₂ O ₃ (kristal)	-957,72	-879,91	110,46
Mn ₃ O ₄ (kristal)	-1387,60	-1282,91	154,81
MnO ₄ ⁻ (erit., cheksiz H ₂ O)	-538,1	-445,3	196
MnO ₄ ²⁻ (erit., cheksiz H ₂ O)	-	-499,2	-

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
MnCO ₃ (kristal)	-881.66	-811.40	109.54
MnCl ₂ (kristal)	-481.16	-440.41	118.24
MnS (kristal)	-214.35	-219.36	80.75
MnSO ₄ (kristal)	-1066.8	-959.0	112.5
MnSO ₄ (erit.; 20H ₂ O)	-1120.6	-	-
MnSO ₄ (erit.; 50H ₂ O)	-1123.1	-	-
MnSO ₄ (erit.; 100H ₂ O)	-1123.7	-	-
MnSO ₄ (erit.; 1000H ₂ O)	-1125.9	-	-
MnSO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1131.2	-976.7	-44
Mo (kristal)	0	0	28.62
MoO ₂ (kristal)	-589.1	-533.2	46.28
MoO ₃ (kristal)	-745.2	-668.1	77.7
MoO ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-997.9	-838.9	36
N (g)	472.71	455.59	153.19
N ₂ (g)	0	0	191.5
NH ₂ OH (g)	-50.9	-3.62	235.6
NH ₃ (g)	-46.2	-16.71	192.6
NH ₃ (s)	-69.87	-	-
NH ₃ (erit.; 1H ₂ O)	-75.44	-	-
NH ₃ (erit.; 20H ₂ O)	-80.10	-	-
NH ₃ (erit.; 50H ₂ O)	-80.23	-	-
NH ₃ (erit.; 100H ₂ O)	-80.28	-	-
NH ₃ (erit.; 1000H ₂ O)	-80.28	-	-
NH ₄ ⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-132.3	-79.5	114.3

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
$\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ (kristal)	-2353.50	-2039.80	216.31
NH_4Cl (kristal)	-314.2	-203.2	95.81
NH_4Cl (erit.; 20H ₂ O)	-299.0	-	-
NH_4Cl (erit.; 50H ₂ O)	-298.9	-	-
NH_4Cl (erit.; 100H ₂ O)	-298.9	-	-
NH_4Cl (erit.; 1000H ₂ O)	-299.1	-	-
NH_4Cl (erit.; cheksiz H ₂ O)	-299.4	-210.8	170.8
NH_4NO_2 (kristal)	-256.1		
NH_4NO_3 (kristal)	-365.43	-183.83	151.04
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (kristal)	-1180.31	-901.53	220.08
NH_4OH (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-366.2	-264.0	181.7
NO (g)	90.2	86.6	210.6
NOCl (g)	52.59	66.37	263.50
NO_2 (g)	33.5	51.55	240.2
NO_2^- (erit.; cheksiz H ₂ O)	-104.6	-37.1	139.5
NO_3^- (erit.; cheksiz H ₂ O)	-207.4	-111.6	147.2
N_2H_4 (g)	95.3	159.1	238.5
N_2O (g)	82.01	104.12	219.86
N_2O_4 (g)	9.6	98.4	303.8
N_2O_4 (s)	-19.0	97.9	209.2
N_2O_5 (kristal)	-42.7	114.1	178.2
N_2O_5 (g)	13.30	117.14	355.65
HNO_3 (s)	-173.00	-79.90	156.16
HNO_3 (g)	-133.91	-73.78	266.78

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
HNO ₃ (crit.; H ₂ O)	-187.7	-	-
HNO ₃ (crit.; 20H ₂ O)	-206.7	-	-
HNO ₃ (crit.; 50H ₂ O)	-206.9	-	-
HNO ₃ (crit.; 100H ₂ O)	-206.9	-	-
HNO ₃ (crit.; 1000H ₂ O)	-207.1	-	-
HNO ₃ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-207.4	-111.6	147.2
Na (kristal)	0	0	51.30
Na ⁺ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-240.41	-262.12	58.9
NaH (kristal)	-56.44	-33.6	40.0
NaAlO ₂ (kristal)	-1133.03	-1069.20	70.29
Na ₃ AlF ₆ (kristal)	-3309.54	-3158.53	283.49
NaBr (kristal)	-361.2	-349.1	86.94
NaC ₂ H ₃ O ₂ (kristal)	-710.40	-608.96	123.10
NaCl (kristal)	-411.41	-384.4	72.13
NaF (kristal)	-572.8	-542.6	51.17
NaI (kristal)	-288.06	-284.84	98.6
NaNO ₃ (kristal)	-466.70	-365.97	116.50
NaOH (kristal)	-495.93	-379.8	64.43
NaOH (crit.; 20H ₂ O)	-470.53	-	-
NaOH (crit.; 50H ₂ O)	-470.17	-	-
NaOH (crit.; 100H ₂ O)	-469.98	-	-
NaOH (crit.; 1000H ₂ O)	-470.10	-	-
NaOH (crit.; бесконечн.Н 0)	-470.45	-419.44	48.0
Na ₂ B ₄ O ₇ (kristal)	-3289	-3094	189.5

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
NaHCO_3 (kristal)	-949.08	-851.1	101.3
Na_2CO_3 (kristal)	-1129.43	-1045.7	135.0
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (kristal)	-4077	-3906	2172
Na_3PO_4 (kristal)	-1924.64	-1811.31	224.68
NaH_2PO_4 (kristal)	-1544.90	-1394.24	127.57
Na_2HPO_4 (kristal)	-1754.86	-1615.25	150.60
Na_2S (kristal)	-374.47	-358.13	79.50
Na_2SO_3 (kristal)	-1095.0	-1006.7	146.02
Na_2SO_4 (kristal)	-1389.5	-1271.7	149.62
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (kristal)	-4329.6	-3648.9	591.87
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (kristal)	-1117.13	-1043	225
Na_2SiF_6 (kristal)	-2849.72	-2696.29	214.64
Na_4SiF_6 (kristal)	-2849.72	-2696.29	214.64
Na_2SiO_3 (kristal)	-1561.43	-1467.50	113.76
Na_4SiO_4 (kristal)	-2106.64	-1976.07	195.81
Na_2O (kristal)	-414.84	-376.1	75.3
Na_2O_2 (kristal)	-512.5	-449.0	94.6
Ni (kristal)	0	0	29.9
Ni^{2+} (erit., cheksiz H_2O)	-53.1	-45.6	-126
$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$ (erit., cheksiz H_2O , gipo.)	-638	-253	356
$\text{Ni}(\text{OH})_2$ (kristal)	-543.5	-458.4	80
$\text{Ni}(\text{OH})_3$ (kristal)	-670.3	-540.0	96
NiO (kristal)	-239.74	-211.60	37.99
NiCl_2 (kristal)	-304.18	-258.03	98.07

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
NiSO ₄ (kristal)	-873,49	-763,76	103,85
NiS (kristal)	-79,50	-76,87	52,97
O (g)	249,2	231,8	160,94
O ₂ (g)	0	0	205,04
O ⁺ (g)	1568,78	1546,96	154,85
O ⁻ (g)	101,43	91,20	157,69
O ₃ (g)	142,2	162,7	238,8
OH ⁺ (g)	-134,5	-129,4	171,4
OH ⁺ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-230,04	-157,32	-10,9
H ₂ O (kristal)	-291,85	-	39,33
H ₂ O (g)	-241,82	-228,61	188,72
H ₂ O (s)	-285,83	-237,25	70,08
H ₂ O ₂ (s)	-187,78	-120,38	109,5
H ₂ O ₂ (g)	-135,88	-105,74	234,41
H ₂ O ₂ (crit.; 1H ₂ O)	-189,87	-	-
P (g)	316,5	280,1	163,08
P (к. белый)	0	0	41,09
P (к. красный)	-17,4	-11,9	22,8
PCl ₃ (g)	-279,5	-260,45	311,71
PCl ₃ (s)	-311,7	-274,49	218,49
PCl ₅ (kristal)	-445,89	-318,36	170,80
PCl ₅ (g)	-366,9	-297,1	364,4
P ₂ O ₃ (s)	-1097	-1023	142
P ₂ O ₅ (kristal)	-1507,2	-1371,7	140,3

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
P ₄ O ₆ (kristal)	-1640	-	-
P ₄ O ₁₀ (kristal)	-2984,03	-2698	228,86
P ₄ O ₁₀ (g)	-2894,49	-2657,46	394,55
PH ₃ (g)	5,4	13,4	210,2
HPO ₃ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-969,01	-811,70	16,81
H ₂ PO ₃ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-969,43	-830,81	79,50
PO ₄ ³⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1272	-1012,6	-221
HPO ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-1286,2	-1083,2	-34
H ₂ PO ₄ ⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-1289,9	-1124,3	91,6
H ₃ PO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-1281,8	-1136,5	160
H ₃ PO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1272	-1012,6	221
H ₃ PO ₄ (kristal)	-1279,05	-1119,20	110,50
H ₃ PO ₄ (s)	-1266,90	-1134,00	200,83
Pb (kristal)	0	0	64,8
Pb ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-0,9	-24,4	-13
PbCl ₂ (kristal)	-359,82	-314,56	135,98
PbCl ₂ (g)	-173,64	-182,02	315,89
PbBr ₂ (kristal)	-282,42	-265,94	161,75
PbI ₂ (kristal)	-175,23	-173,56	175,35
PbCO ₃ (kristal)	-699,56	-625,87	130,96
Pb(NO ₃) ₂ (kristal)	-451,7	-256,9	218
Pb(NO ₃) ₂ (erit.; 100H ₂ O)	-425,2	-	-
Pb(NO ₃) ₂ (erit.; 1000H ₂ O)	-417,6	-	-
Pb(NO ₃) ₂ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-415,7	-247,6	307

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
PbO (к. селит.)	-217,61	-188,20	68,70
PbO (к. красн.)	-219,3	-189,10	66,1
PbO ₂ (kristal)	-276,6	-218	71,9
Pb ₃ O ₄ (kristal)	-723,41	-606,17	211,29
PbS (kristal)	-100	-99	91,2
PbS (g)	122,34	76,25	251,33
PbSO ₄ (kristal)	-920,48	-813,67	148,57
Pt (kristal)	0	0	41,55
PtCl ₆ ²⁻ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-669,44	-485,31	223,43
PtCl ₄ ²⁻ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-500,82	-354,01	125,64
PtCl ₂ (kristal)	-106,69	-93,35	219,79
PtCl ₄ (kristal)	-229,28	-163,80	267,88
Ra (kristal)	0	0	71,2
Ra ²⁺ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-529,69	-555,99	28,87
RaCl ₂ (kristal)	-887,6	-842,9	144,4
Ra(NO ₃) ₂ (kristal)	-992,27	-795,5	217,71
RaO (kristal)	-544	-513	71
RaSO ₄ (kristal)	-1473,75	-1363,2	142,35
Rb (g)	80,9	53,1	169,98
Rb (kristal)	0	0	76,73
Rb ⁺ (crit.; cheksiz H ₂ O)	-251,04	-283,5	120,5
RbBr (kristal)	-394,6	-381,8	110,0
RbCl (kristal)	-435,2	-407,4	95,2
RbF (kristal)	-555,8	-525,9	77,8

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
RbI (kristal)	-331,9	-327,1	118,8
RbOH (kristal)	-418,7	-373,3	92
Rb ₂ SO ₄ (kristal)	-1437,1	-1318,4	197,5
S (κ. monokl.)	0,377	0,188	32,6
S (κ. romb.)	0	0	31,9
S (g)	278,81	238,31	167,75
S ²⁻ (crit., cheksiz H ₂ O)	32,6	85,4	-15
HS ⁻ (crit., cheksiz H ₂ O)	-17,57	12,15	62,76
SOCl ₂ (g)	-212,8	-198,0	307,94
SO ₂ (g)	-296,90	-300,21	248,07
SO ₂ Cl ₂ (g)	-363,2	-318,9	311,3
SO ₂ Cl ₂ (s)	-394,13	-321,49	216,31
SO ₃ (g)	-395,8	-371,2	256,7
SO ₃ (s)	-439,0	-	-
SO ₃ ²⁻ (crit., cheksiz H ₂ O)	-641,0	-486,8	-47,3
HSO ₃ ⁻ (crit., cheksiz H ₂ O)	-627,98	-527,32	132,38
SO ₃ ²⁻ (crit., cheksiz H ₂ O)	-911,0	-745,7	18,0
HSO ₄ ⁻ (crit., cheksiz H ₂ O, gipo)	-889,2	-757,0	129
S ₂ O ₃ ²⁻ (crit., cheksiz H ₂ O)	-665	-516,7	3,7
H ₂ S (g)	-20,9	-33,8	205,69
H ₂ S ₂ (g)	15,3	-4,5	260,7
H ₂ SO ₄ (s)	-814,2	-690,3	156,9
H ₂ SO ₄ (crit., 20H ₂ O)	-885,2	-	-
H ₂ SO ₄ (crit., 50H ₂ O)	-887,2	-	-

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
H ₂ SO ₄ (erit.; 100H ₂ O)	-887.8	-	-
H ₂ SO ₄ (erit.; 1000H ₂ O)	-892.5	-	-
H ₂ SO ₄ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-911.0	-745.7	18.0
Sb (kristal)	0	0	45.7
SbCl ₃ (kristal)	-381.16	-322.45	183.26
SbCl ₃ (g)	-312.0	-299.5	338.5
SbCl ₅ (g)	-388.8	-328.7	402
SbCl ₅ (s)	-437.2	-345.4	295
SbI ₃ (g)	145.1	147.6	233.0
Sb ₂ O ₃ (kristal)	-715.46	-636.06	132.63
Sb ₂ O ₅ (kristal)	-1007.51	-864.74	125.10
Sb ₄ O ₆ (kristal)	-1417.12	-1263.10	282.00
Sb ₂ S ₃ (qeyri)	-157.74	-156.08	181.59
Se (kristal)	0	0	42.13
Se (shisha)	5.4	2.66	51.5
SeO ₃ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-507.5	-363.6	-2.5
SeO ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-599.6	-444.5	62.7
H ₂ Se (g)	33	19.7	218.8
Si (kristal)	0	0	18.82
SiC (kristal)	-63	-60	16.61
SiCl ₄ (g)	-657.5	-617.6	331.0
SiCl ₄ (s)	-687.8	-620.75	239.7
SiF ₄ (g)	-1614.94	-1572.66	282.38
SiH ₄ (g)	34.73	57.18	204.56

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
SiF_6^{2-} (crit.: cheksiz H_2O)	-2397	-2209	127
SiO_2	-910,94	-856,67	41,84
SiO_2	-908,3	-854,2	42,68
SiO_2	-905,4	-851,6	43,51
SiO_2 (shisha)	-903,49	-850,71	46,86
Sn (k, oq)	0	0	51,5
Sn (k, kulrang)	-2,092	0,126	44,1
Sn^{2+} (crit.: cheksiz H_2O)	-10,5	-27,2	-22,7
SnCl_2 (kristal)	-331,01	-288,40	131,80
SnCl_2 (crit.: 300 H_2O)	-332,6	-	-
SnCl_2 (crit.: cheksiz H_2O)	-344,7	-289,7	90,3
SnCl_4 (s)	-528,86	-457,74	258,99
SnCl_4 (g)	-489,11	-449,55	364,84
SnO (kristal)	-285,98	-256,88	56,48
SnO (g)	20,85	-2,39	232,01
SnO_2 (kristal)	-580,8	-519,9	52,30
SnI_4 (g)	162,8	187,8	228,7
Sr (kristal)	0	0	55,7
Sr^{2+} (crit.: cheksiz H_2O)	-551,5	-563,9	-33
$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ (kristal)	-984,1	-785,0	194,6
SrO (kristal)	-590,5	-559,8	55,2
$\text{Sr}(\text{OH})_2$ (kristal)	-965	-876	94
SrSO_4 (kristal)	-1459,0	-1346,9	121,81
Te (kristal)	0	0	49,5

Modda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
TcO ₂ (kristal)	-321.7	-264.6	59
TcCl ₄ (kristal)	-323.84	-236.00	200.83
TcF ₆ (g)	-1369.00	-1273.11	335.89
H ₂ Te (g)	99.7	85.2	228.8
Th (kristal)	0	0	53.39
Th(OH) ₄ (kristal)	-1764.7	-1588.6	134
ThO ₂ (kristal)	-1226.75	-1169.15	65.23
ThS ₂ (kristal)	-627.60	-621.34	96.23
Th(SO ₄) ₂ (kristal)	-2541.36	-2306.04	148.11
Ti (kristal)	0	0	30.63
TiCl ₂ (kristal)	-516	-467	87
TiCl ₃ (kristal)	-720	-653	140
TiCl ₄ (s)	-804	-737	252.40
TiCl ₄ (g)	-763.16	-726.85	354.80
TiO ₂ (κ, pynai)	-943.9	-888.6	50.33
TiO ₂ (κ, anaraz)	-933.03	-877.65	49.92
Tl (kristal)	0	0	64.18
TlCl (kristal)	-204.18	-184.98	111.29
TlCl (g)	-68.41	-92.38	256.06
Tl ₂ O (kristal)	-167.36	-138.57	134.31
Tl ⁺ (erit.: cheksiz H ₂ O)	5.52	-32.43	126.20
Tl ³⁺ (erit.: cheksiz H ₂ O)	201.25	214.76	-176.92
U (kristal)	0	0	50.2
U ³⁺ (erit.: cheksiz H ₂ O)	-514.63	-520.59	-125.52

Modda va holat	ΔH_{298}° kJ/mol	ΔG_{298}° kJ/mol	S_{298}° kJ/mol
U^{4+} (erit.; cheksiz H ₂ O)	-590,15	-538,91	-382,62
UCl ₃ (kristal)	-867	-800	159,1
UF ₄ (kristal)	-1910,37	-1819,74	151,67
UF ₄ (g)	-1591,55	-1559,87	349,36
UF ₆ (kristal)	-2188,23	-2059,82	227,61
UF ₆ (g)	-2138,61	-2055,03	377,98
UO ₂ Cl ₂ (kristal)	-1243,5	-1145,8	150,5
UO ₂ F ₂ (kristal)	-1637,20	-1541,06	135,56
UO ₂ (kristal)	-1085,0	-1031,9	77,03
UO ₂ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1018	-952	-89,68
UO ₂ (NO ₃) ₂ (kristal)	-1348	-1114,76	-276,33
U ₃ O ₈ (kristal)	-3574,81	-3369,50	282,42
V (kristal)	0	0	28,9
VCl ₂ (kristal)	-461	-415	97,1
VCl ₃ (kristal)	-581,2	-511,9	131,0
V ₂ O ₅ (kristal)	-1552	-1421	131,0
W (kristal)	0	0	32,7
WCl ₆ (kristal)	-598,3	-469,0	230
WO ₂ (kristal)	-589,5	-533,7	50,5
WO ₃ (kristal)	-842,7	-763,8	75,90
WO ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-1073,2	-931,4	97,5
WS ₂ (kristal)	-200,4	-192,8	71
Zn (kristal)	0	0	41,63
Zn ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-153,64	-147,16	-110,62

Madda va holat	ΔH_{298}^0 kJ/mol	ΔG_{298}^0 kJ/mol	S_{298}^0 kJ/mol
ZnCl ₂ (kristal)	-415,1	-369,4	111,5
ZnCl ₂ (g)	-265,68	-269,24	276,56
ZnCO ₃ (kristal)	-812,53	-730,66	80,33
ZnCl ₂ (erit.; 20H ₂ O)	-462,7	-	-
ZnCl ₂ (erit.; 50H ₂ O)	-471,2	-	-
ZnCl ₂ (erit.; 100H ₂ O)	-477,6	-	-
ZnCl ₂ (erit.; 1000H ₂ O)	-485,1	-	-
ZnCl ₂ (erit.; cheksiz H ₂ O)	-487,8	-409,7	-
Zn(NH ₃) ₄ ²⁺ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-537,0	-304,6	298
Zn(CN) ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-332,1	-427,2	259,3
ZnO (kristal)	-350,6	-320,7	43,51
Zn(OH) ₂ (kristal)	-645,43	-555,92	77,0
Zn(OH) ₄ ²⁻ (erit.; cheksiz H ₂ O, gipo.)	-	-860,8	-
ZnS (kristal)	-205,4	-200,7	57,7
ZnSO ₄ (kristal)	-981,4	-870,12	110,54
Zr (kristal)	0	0	38,99
ZrCl ₄ (kristal)	-979,8	-889,3	181
ZrCl ₄ (g)	-869,31	-834,50	368,19
Zr(OH) ₄ (kristal)	-1661	-	-
ZrO ₂ (kristal)	-1100,6	-1042,8	50,4

STANDART ELEKTROD POTENTSIYALARI

Element	Reaksiya	E°
Ac	$\text{Ac}^{3+} + 3e = \text{Ac}$	-2.6
Ag	$\alpha - \text{Ag}_2\text{S} + 2e = 2\text{Ag} + \text{S}^{2-}$	-0.70
	$\text{Ag}(\text{CN})_2^- + e = \text{Ag} + 2\text{CN}^-$	-0.29
	$\text{AgI} + e = \text{Ag} + \text{I}^-$	-0.152
	$\text{AgCN} + e = \text{Ag} + \text{CN}^-$	-0.04
	$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + e = \text{Ag} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	0.01
	$\text{AgBr} + e = \text{Ag} + \text{Br}^-$	0.071
	$\text{AgCl} + e = \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.222
	$\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e = 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$	0.344
	$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + e = \text{Ag} + 2\text{NH}_3$	0.373
	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4 + 2e = 2\text{Ag} + \text{CrO}_4^{2-}$	0.446
	$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2e = 2\text{Ag} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	0.472
	$\text{AgBrO}_3 + e = \text{Ag} + \text{BrO}_3^-$	0.55
	$2\text{AgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$	0.60
	$\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}$	0.799
	$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{Ag} + \text{H}_2\text{O}$	1.173
	$2\text{AgO} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	1.398
Al	$\text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{Al} + 4\text{OH}^-$	-2.35
	$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3e = \text{Al} + 3\text{OH}^-$	-2.31
	$\text{AlF}_6^{3-} + 3e = \text{Al} + 6\text{F}^-$	-2.07
	$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	-1.663
	$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + 3e = \text{Al} + 3\text{H}_2\text{O}$	-1.471
	$\text{AlO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{Al} + 2\text{H}_2\text{O}$	-1.262
As	$\text{As} + 3\text{H}^+ + 3e = \text{AsH}_3$	-0.60
	$\text{HAsO}_2 + 3\text{H}^+ + 3e = \text{As} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.248
	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0.559
	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.58
Au	$\text{Au}(\text{CN})_2 + e = \text{Au} + 2\text{CN}^-$	-0.61
	$\text{AuBr}_4^- + 2e = \text{AuBr}_2^- + 2\text{Br}^-$	0.802
	$\text{AuCl}_4^- + 2e = \text{AuCl}_2^- + 2\text{Cl}^-$	0.926
	$\text{AuBr}_2^- + e = \text{Au} + 2\text{Br}^-$	0.959
	$\text{AuCl}_2^- + 2e = \text{Au} + 2\text{Cl}^-$	1.15

Element	Реаксија	E°
	$\text{Au}^{3+} + 2\text{e} = \text{Au}^0$	1.401
	$\text{Au}^{3+} + 3\text{e} = \text{Au}$	1.498
	$\text{Au}^+ + \text{e} = \text{Au}$	1.692
B	$\text{BF}_4^- + 3\text{e} = \text{B} + 4\text{F}^-$	-1.04
	$\text{H}_3\text{BO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{B} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.869
	$\text{BO}_3^{3-} + 6\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{B} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.165
Ba	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ba}$	-2.905
Be	$\text{Be}^{2+} + 2\text{e} = \text{Be}$	-1.847
	$\text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Be} + 2\text{H}_2\text{O}$	-1.820
	$\text{BeO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Be} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.909
Bi	$\text{Bi}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = 2\text{Bi} + 6\text{OH}^-$	-0.46
	$\text{BiOCl} + 2\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Bi} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	0.16
	$\text{Bi}^{3+} + 3\text{e} = \text{Bi}$	0.215
	$\text{BiO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Bi} + \text{H}_2\text{O}$	0.32
	$\text{Bi}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = 2\text{Bi} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.371
	$\text{NaBiO}_3(\text{т}) + 6\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Bi}^{3+} + \text{Na}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	1.6 - 1.808
Br	$2\text{BrO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Br}_2 + 4\text{OH}^-$	0.45
	$2\text{BrO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10\text{e} = \text{Br}_2 + 12\text{OH}^-$	0.50
	$\text{BrO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{BrO}^- + 4\text{OH}^-$	0.54
	$\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$	0.61
	$\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	0.76
	$\text{Br}_3^- + 2\text{e} = 3\text{Br}^-$	1.05
	$\text{Br}_2(\text{ж}) + 2\text{e} = 2\text{Br}^-$	1.065
	$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1.44
	$2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e} = \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1.52
	$2\text{HBrO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.59
C	$\text{HCOO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{HCHO} + 3\text{OH}^-$	-1.07
	$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0.49
	$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{HCOOH}$	-0.20
	$\text{C}(\text{графит}) + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{CH}_4$	-0.132
	$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	-0.12
	$\text{HCOOH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$	-0.01
	$\text{HCOOH} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	0.145
	$\text{HCOO}^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$	0.167

Element	Реаксија	E°
	$\text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	0.19
	$\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{HCHO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.197
	$\text{HCOO}^- + 5\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	0.199
	$\text{CO}_3^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{CH}_3\text{OH} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.209
	$\text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O}$	0.227
	$\text{HCHO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{CH}_3\text{OH}$	0.232
	$2\text{CO}_3^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.441
	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$	0.46
	$\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{C(графит)} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.475
	$\text{CO} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	0.497
	$\text{CH}_3\text{OH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	0.59
Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ca}$	-2.866
Cd	$\text{CdS} + 2\text{e} = \text{Cd} + \text{S}^{2-}$	-1.175
	$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e} = \text{Cd} + 4\text{CN}^-$	-1.09
	$\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2\text{e} = \text{Cd} + 2\text{OH}^-$	-0.81
	$\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 2\text{e} = \text{Cd} + 4\text{NH}_3$	-0.61
	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.005
	$\text{CdO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cd} + \text{H}_2\text{O}$	0.063
Ce	$\text{Ce}^{3+} + 3\text{e} = \text{Ce}$	-2.48
	$\text{Ce}^{4+} + \text{e} = \text{Ce}^{3+} (\text{IM H}_2\text{SO}_4)$	1.44
	$\text{Ce}^{4+} + \text{e} = \text{Ce}^{3+} (\text{IM HNO}_3)$	1.61
	$\text{Ce}^{4+} + \text{e} = \text{Ce}^{3+} (\text{IM HClO}_4)$	1.70
	$\text{Ce}^{4+} + \text{e} = \text{Ce}^{3+}$	1.77
Cl	$\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$	0.36
	$2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^-$	0.40
	$\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 8\text{e} = \text{Cl}^- + 8\text{OH}^-$	0.56
	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	0.63
	$\text{ClO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 5\text{e} = \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$	0.85
	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	0.88
	$\text{ClO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e} = \text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1.15
	$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1.189
	$\text{ClO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = 2\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$	1.351
	$\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Cl}^-$	1.3595

Element	Reaksiya	E°
	$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8\text{e} = \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	1.38
	$2\text{ClO}_4^- + 16\text{H}^+ + 14\text{e} = \text{Cl}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$	1.39
	$\text{ClO}_2 + 5\text{H}^+ + 5\text{e} = \text{HCl} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.436
	$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1.451
	$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e} = \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1.47
	$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	1.494
	$\text{ClO}_2 + 4\text{H}^+ + 5\text{e} = \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	1.51
	$2\text{ClO}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e} = \text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1.549
	$\text{HClO}_2 + 3\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	1.57
	$2\text{HClO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.63
	$2\text{HClO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1.64
Co	$\beta\text{-CoS} + 2\text{e} = \text{Co} + \text{S}^{2-}$	-1.07
	$\alpha\text{-CoS} + 2\text{e} = \text{Co} + \text{S}^{2-}$	-0.90
	$\text{Co}(\text{CN})_6^{3-} + \text{e} = \text{Co}(\text{CN})_6^{4-}$	-0.84
	$\text{Co}(\text{OH})_2 + 2\text{e} = \text{Co} + 2\text{OH}^-$	-0.73
	$\text{CoCO}_3 + 2\text{e} = \text{Co} + \text{CO}_3^{2-}$	-0.64
	$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+} + 2\text{e} = \text{Co} + 6\text{NH}_3$	-0.42
	$\text{Co}^{2+} + 2\text{e} = \text{Co}$	-0.277
	$\text{Co}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Co} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.095
	$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+} + \text{e} = \text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	0.1
	$\text{CoO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Co} + \text{H}_2\text{O}$	0.166
	$\text{Co}(\text{OH})_3 + \text{e} = \text{Co}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	0.17
	$\text{Co}^{3+} + 3\text{e} = \text{Co}$	0.33
Cr	$\text{Co}^{3+} + \text{e} = \text{Co}^{2+}$	1.38 - 1.842
	$\text{Cr}(\text{OH})_2 + 2\text{e} = \text{Cr} + 2\text{OH}^-$	-1.4
	$\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{e} = \text{Cr} + 3\text{OH}^-$	-1.3
	$\text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{Cr} + 4\text{OH}^-$	-1.2
	$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cr}$	-0.913
	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} = \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Cr} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.654
	$\text{Cr}^{3+} + \text{e} = \text{Cr}^{2+}$	-0.407
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	-0.13
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 12\text{e} = 2\text{Cr} + 7\text{H}_2\text{O}$	0.294
	$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{Cr} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.366

Element	Reaksiya	E°
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$	0.945
	$\text{CrO}_2^- + 4\text{H}^+ + \text{e} = \text{Cr}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.188
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e} = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.333
	$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.477
Cs	$\text{Cs}^+ + \text{e} = \text{Cs}$	-2.923
Cu	$\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{e} = 2\text{Cu} + \text{S}^{2-}$	-0.89
	$\text{CuS} + 2\text{e} = \text{Cu} + \text{S}^{2-}$	-0.71
	$\text{Cu}(\text{CN})_2^- + \text{e} = \text{Cu} + 2\text{CN}^-$	-0.43
	$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = 2\text{Cu} + 2\text{OH}^-$	-0.36
	$\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{e} = \text{Cu} + 2\text{OH}^-$	-0.22
	$\text{CuI} + \text{e} = \text{Cu} + \text{I}^-$	-0.185
	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{e} = \text{Cu} + 2\text{NH}_3$	-0.12
	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu} + 4\text{NH}_3$	-0.07
	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+ + 2\text{NH}_3$	-0.01
	$\text{CuI}_2^- + \text{e} = \text{Cu} + 2\text{I}^-$	0.00
	$\text{CuBr} + \text{e} = \text{Cu} + \text{Br}^-$	0.03
	$\text{CuCl} + \text{e} = \text{Cu} + \text{Cl}^-$	0.137
	$\text{Cu}^{2+} + \text{e} = \text{Cu}^+$	0.153
	$\text{CuCl}_2^- + \text{e} = \text{Cu} + 2\text{Cl}^-$	0.177
	$2\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	0.203
	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$	0.337
	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^- + \text{e} = \text{CuCl}_2^-$	0.463
	$\text{Cu}^+ + \text{e} = \text{Cu}$	0.520
	$\text{Cu}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{e} = \text{CuCl}$	0.538
	$\text{CuO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$	0.570
	$\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cu} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.609
	$\text{Cu}^{2+} + \text{Br}^- + \text{e} = \text{CuBr}$	0.640
	$2\text{CuO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	0.669
	$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + \text{e} = \text{CuI}$	0.86
	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{CN}^- + \text{e} = \text{Cu}(\text{CN})_2$	1.12
	$\text{Cu}^{3+} + \text{e} = \text{Cu}^{2+}$	2.40
Dy	$\text{Dy}^{3+} + 3\text{e} = \text{Dy}$	-2.353
Eu	$\text{Eu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Eu}$	-3.395
	$\text{Eu}^{3+} + \text{e} = \text{Eu}^{2+}$	-0.429

Element	Reaksiya	E°
F	$F_2O + 2H^+ + 4e = 2F^- + H_2O$	2.1
	$F_2 + 2e = 2F^-$	2.87
Fe	$FeS + 2e = Fe + S^{2-}$	-0.95
	$Fe(OH)_2 + 2e = Fe + 2OH^-$	-0.877
	$FeCO_3 + 2e = Fe + CO_3^{2-}$	-0.756
	$Fe(OH)_3 + e = Fe(OH)_2 + OH^-$	-0.56
	$Fe^{2+} + 2e = Fe$	-0.440
	$Fe_3O_4 + 8H^+ + 8e = 3Fe + 4H_2O$	-0.085
	$Fe_2O_3 + H_2O + 2H^+ + 2e = 2Fe(OH)_2$	-0.057
	$Fe_2O_3 + 6H^+ + 6e = 2Fe + 3H_2O$	-0.051
	$Fe(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Fe + 2H_2O$	-0.047
	$Fe^{3+} + 3e = Fe$	-0.037
	$Fe(OH)_3 + 3H^+ + 3e = Fe + 3H_2O$	0.059
	$Fe(OH)_3 + H^+ + e = Fe(OH)_2 + H_2O$	0.271
	$Fe(CN)_6^{3-} + e = Fe(CN)_6^{4-}$	0.356
	$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$ (1M H_2SO_4)	0.68
	$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$ (1M HCl)	0.70
	$Fe(CN)_6^{3-} + e = Fe(CN)_6^{4-}$ (1M HCl)	0.71
	$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$	0.771
	$Fe_3O_4 + 8H^+ + 2e = 3Fe^{2+} + 4H_2O$	0.980
Ga	$Ga^{3+} + 3e = Ga$	-0.53
Gd	$Gd^{3+} + 3e = Gd$	-2.397
Ge	$H_2GeO_3 + 4H^+ + 2e = Ge^{2+} + 3H_2O$	-0.363
	$GeO_2 + 4H^+ + 4e = Ge + 2H_2O$	-0.15
	$H_2GeO_3 + 4H^+ + 4e = Ge + 3H_2O$	-0.13
	$Ge^{2+} + 2e = Ge$	0.000
H	$2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$	-0.828
	$2H^+ + 2e = H_2$	0.0000
	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e = 2H_2O$	1.776
Hf	$Hf^{4+} + 4e = Hf$	-1.70
	$HfO_2 + 4H^+ + 4e = Hf + 2H_2O$	-1.57
Hg	$HgS + 2e = Hg + S^{2-}$	-0.69
	$Hg(CN)_4^{2-} + 2e = Hg + 4CN^-$	-0.37
	$Hg_2I_2 + 2e = 2Hg + 2I^-$	-0.041

Element	Реаксија	E°
	$\text{HgI}_2^{\text{ж}} + 2\text{e} = \text{Hg} + 4\text{I}^-$	-0.04
	$\text{HgO}(\text{красная}) + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0.098
	$\text{Hg}_2\text{Br}_2 + 2\text{e} = 2\text{Hg} + 2\text{Br}^-$	0.140
	$\text{HgBr}_4^{2-} + 2\text{e} = \text{Hg} + 4\text{Br}^-$	0.21
	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{K}^+ + 2\text{e} = 2\text{Hg} + 2\text{KCl}(\text{тв})$	0.2415
	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	0.268
	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^- (1\text{M KCl})$	0.28
	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^- (0.1\text{M KCl})$	0.334
	$\text{HgCl}_4^{2-} + 2\text{e} = \text{Hg} + 4\text{Cl}^-$	0.48
	$\text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2\text{e} = 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	0.6151
	$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e} = 2\text{Hg}$	0.788
	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Hg}$	0.850
	$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Hg}_2^{2+}$	0.920
	$\text{HgO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Hg} + \text{H}_2\text{O}$	0.926
Ho	$\text{Ho}^{3+} + 3\text{e} = \text{Ho}$	-2.319
I	$\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{I}^- + 4\text{OH}^-$	0.14
	$2\text{IO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10\text{e} = \text{I}_2 + 12\text{OH}^-$	0.21
	$\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{I}^- + 6\text{OH}^-$	0.25
	$2\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{I}_2 + 4\text{OH}^-$	0.45
	$\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{I}^- + 2\text{OH}^-$	0.49
	$\text{I}_2 + 2\text{e} = 2\text{I}^-$	0.536
	$\text{I}_3^- + 2\text{e} = 3\text{I}^-$	0.545
	$\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{IO}^- + 4\text{OH}^-$	0.56
	$\text{HIO} + \text{H}^+ + 2\text{e} = \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$	0.99
	$2\text{ICl}_2^- + 2\text{e} = \text{I}_2 + 4\text{Cl}^-$	1.06
	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1.085
	$\text{IO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{HIO} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.14
	$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e} = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1.19
	$2\text{HIO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.45
	$\text{H}_2\text{IO}_6 + 11\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1.60
Ir	$\text{IrO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Ir} + \text{H}_2\text{O}$	0.93
	$\text{Ir}^{3+} + 3\text{e} = \text{Ir}$	1.15
K	$\text{K}^+ + \text{e} = \text{K}$	-2.924
La	$\text{La}^{3+} + 3\text{e} = \text{La}$	-2.522

Element	Reaksiya	E°
Li	$\text{Li}^+ + e = \text{Li}$	-3.045
Mg	$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2e = \text{Mg} + 2\text{OH}^-$	-2.69
	$\text{Mg}^{2+} + 2e = \text{Mg}$	-2.363
	$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O}$	-1.862
Mn	$\text{MnCO}_3 + 2e = \text{Mn} + \text{CO}_3^{2-}$	-1.48
	$\text{Mn}^{2+} + 2e = \text{Mn}$	-1.18
	$\text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Mn} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.727
	$\text{MnO}_4^- + e = \text{MnO}_4^{2-}$	0.564
	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	0.60
	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.228
	$\text{Mn}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 2e = 2\text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	1.443
	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.507
	$\text{Mn}^{3+} + e = \text{Mn}^{2+}$ (8M H_2SO_4)	1.509
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.692
	$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2.257
Mo	$\text{H}_2\text{MoO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-1.091
	$\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{Mo} + 8\text{OH}^-$	-1.05
	$\text{Mo}^{3+} + 3e = \text{Mo}$	-0.200
	$\text{MoO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{Mo} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.072
	$\text{MoO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e = \text{Mo} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.154
	$\text{MoO}_3 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{MoO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0.320
	$\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e = \text{MoO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0.606
	$3\text{N}_2 + 2e = 2\text{N}_3^-$	-3.4
	$3\text{N}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{HN}_3$	-3.1
	$\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2e = 2\text{NH}_2\text{OH} + 2\text{OH}^-$	-3.04
	$\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{OH}^-$	-1.16
	$\text{N}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + 6e = 2\text{NH}_4\text{OH} + 6\text{OH}^-$	-0.74
	$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + e = \text{NO} + 2\text{OH}^-$	-0.46
	$\text{NO}_2^- + 6\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{NH}_4\text{OH} + 7\text{OH}^-$	-0.15
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{NO} + 4\text{OH}^-$	-0.14
	$\text{NO}_3^- + 7\text{H}_2\text{O} + 8e = \text{NH}_4\text{OH} + 9\text{OH}^-$	-0.12
	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0.01
	$\text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6e = 2\text{NH}_3$	0.057
	$\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 2e = 2\text{NH}_4\text{OH} + 2\text{OH}^-$	0.1

Element	Reaksiya	E°
	$N_2 + 8H^+ + 6e = 2NH_4^+$	0.275
	$2NO_2^- + 4H_2O + 6e = N_2 + 8OH^-$	0.41
	$NH_2OH + 2H_2O + 2e = NH_4OH + 2OH^-$	0.42
	$2NO_2 + 4H_2O + 8e = N_2 + 8OH^-$	0.53
	$NO_3^- + 2H^+ + e = NO_2 + H_2O$	0.78
	$NO_3^- + 2H^+ + e = NO_2 + H_2O$	0.80
	$2NO + 2H_2O + 4e = N_2 + 4OH^-$	0.85
	$HNO_2 + 7H^+ + 6e = NH_4^+ + 2H_2O$	0.864
	$NO_3^- + 10H^+ + 8e = NH_4^+ + 3H_2O$	0.87
	$2NO_2 + 2e = 2NO_2^-$	0.88
	$N_2O + H_2O + 2e = N_2 + 2OH^-$	0.94
	$NO_3^- + 3H^+ + 2e = HNO_2 + H_2O$	0.94
	$NO_3^- + 4H^+ + 3e = NO + 2H_2O$	0.957
	$NO_3^- + 4H^+ + 3e = NO + 2H_2O$	0.96
	$HNO_2 + H^+ + e = NO + H_2O$	1.00
	$NO_2 + 2H^+ + 2e = NO + H_2O$	1.03
	$NO_2 + H^+ + e = HNO_2$	1.09
	$2NO_3^- + 10H^+ + 8e = N_2O + 5H_2O$	1.116
	$2NO_3^- + 12H^+ + 10e = N_2 + 6H_2O$	1.246
	$2HNO_2 + 4H^+ + 4e = N_2O + 3H_2O$	1.297
	$2NO_2 + 8H^+ + 8e = N_2 + 4H_2O$	1.36
	$2HNO_2 + 6H^+ + 6e = N_2 + 4H_2O$	1.45
	$2NO + 4H^+ + 4e = N_2 + 2H_2O$	1.678
	$N_2O + 2H^+ + 2e = N_2 + H_2O$	1.766
	$Na^+ + e = Na$	-2.714
	$Nd^{3+} + 3e = Nd$	-2.431
	$\gamma-NiS + 2e = Ni + S^{2-}$	-1.04
	$\alpha-NiS + 2e = Ni + S^{2-}$	-0.83
	$Ni(OH)_2 + 2e = Ni + 2OH^-$	-0.72
	$Ni(NH_3)_6^{2+} + 2e = Ni + 6NH_3$	-0.49
	$NiCO_3 + 2e = Ni + CO_3^{2-}$	-0.45
	$Ni^{2+} + 2e = Ni$	-0.25
	$Ni(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Ni + 2H_2O$	0.110
	$NiO + 2H^+ + 2e = Ni + H_2O$	0.116

Element	Реаксия	E°
	$\text{NiO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.68
	$\text{Np}^{3+} + 3\text{e} = \text{Np}$	-1.856
	$\text{Np}^{4+} + \text{e} = \text{Np}^{3+}$	0.152
	$\text{NpO}_2^{2+} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Np}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.451
	$\text{NpO}_2^{2+} + \text{e} = \text{NpO}_2^+$	0.564
	$\text{NpO}_2^{2+} + \text{e} = \text{NpO}_2^+$	1.149
	$\text{Np}_2\text{O}_5 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{NpO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1.253
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = 4\text{OH}^-$	0.401
	$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{O}_2$	0.682
	$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = 3\text{OH}^-$	0.88
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1.229
	$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	1.24
	$\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = 3\text{H}_2\text{O}$	1.511
	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1.776
	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2.07
	$\text{OsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{Os} + 4\text{OH}^-$	-0.15
	$\text{OsCl}_6^{3-} + \text{e} = \text{Os}^{2+} + 6\text{Cl}^-$	0.4
	$\text{OsO}_4 + 8\text{H}^+ + 8\text{e} = \text{Os} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.85
	$\text{OsCl}_6^{2-} + \text{e} = \text{OsCl}_6^{3-}$	0.85
	$\text{Os}^{2+} + 2\text{e} = \text{Os}$	0.85
	$\text{OsO}_4 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{OsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0.96
	$\text{H}_2\text{PO}_2^- + \text{e} = \text{P} + 2\text{OH}^-$	-2.05
	$\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{OH}^-$	-1.57
	$\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$	-1.12
	$2\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.94
	$\text{P} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{PH}_3 + 3\text{OH}^-$	-0.89
	$\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}^+ + \text{e} = \text{P} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.51
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{P(белый)} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.502
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-0.50
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{P(красный)} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.454
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\text{e} = \text{P(белый)} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0.411
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{H}_3\text{PO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.39
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\text{e} = \text{P(красный)} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0.383
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-0.276

Element	Reaksiya	E°
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-0.50
	$\text{P} + 3\text{H}^+ + 3\text{e}^- = \text{PH}_3$	0.06
	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 2\text{H}_3\text{PO}_3$	0.38
	$\text{PbS} + 2\text{e}^- = \text{Pb} + \text{S}^{2-}$	-0.93
	$\text{PbO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 2\text{OH}^-$	-0.58
	$\text{PbCO}_3 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + \text{CO}_3^{2-}$	-0.506
	$\text{PbI}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 2\text{I}^-$	-0.365
	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.3563
	$\text{PbF}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 2\text{F}^-$	-0.350
	$\text{PbBr}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 2\text{Br}^-$	-0.280
	$\text{PbCl}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 2\text{Cl}^-$	-0.268
	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Pb}$	-0.126
	$\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{PbO} + 2\text{OH}^-$	0.2
	$\text{PbO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Pb} + \text{H}_2\text{O}$	0.248
	$\text{Pb}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Pb} + \text{H}_2\text{O}$	0.277
	$\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{PbO} + 2\text{OH}^-$	0.28
	$\text{Pb}_3\text{O}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 3\text{PbO} + \text{H}_2\text{O}$	0.972
	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.449-1.455
	$\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.685
	$\text{Pb}^{4+} + 2\text{e}^- = \text{Pb}^{2+}$	1.694
	$\text{Pd}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^- = \text{Pd} + 2\text{OH}^-$	0.07
	$\text{PdI}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pd} + 2\text{I}^-$	0.623
	$\text{PdCl}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pd} + 2\text{Cl}^-$	0.623
	$\text{PdO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Pd} + \text{H}_2\text{O}$	0.896
	$\text{PdCl}_2 + 4\text{e}^- = \text{Pd} + 6\text{Cl}^-$	0.96
	$\text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Pd}$	0.987
	$\text{PdBr}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pd} + 2\text{Br}^-$	0.993
	$\text{PdO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{PdO} + \text{H}_2\text{O}$	1.283
	$\text{PdCl}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pd} + 2\text{Cl}^-$	1.288
	$\text{PtS} + 2\text{e}^- = \text{Pt} + \text{S}^{2-}$	-0.95
	$\text{PtS}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pt} + \text{S}_2^{2-}$	-0.64
	$\text{Pt}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^- = \text{Pt} + 2\text{OH}^-$	0.15
	$\text{PtI}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pt} + 2\text{I}^-$	0.393
	$\text{PtBr}_2 + 2\text{e}^- = \text{Pt} + 2\text{Br}^-$	0.58

Element	Reaksiya	E°
	$\text{PtBr}_6^{2-} + 2e = \text{PtBr}_4^{2-} + 2\text{Br}^-$	0.59
	$\text{PtCl}_6^{2-} + 2e = \text{PtCl}_4^{2-} + 2\text{Cl}^-$	0.720
	$\text{PtCl}_4^{2-} + 2e = \text{Pt} + 4\text{Cl}^-$	0.73
	$\text{Pt}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Pt} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.980
	$\text{PtO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Pt}(\text{OH})_2$	1.045
	$\text{Pt}^{2+} + 2e = \text{Pt}$	1.188
	$\text{Ra}^{2+} + 2e = \text{Ra}$	-2.925
	$\text{Rb}^+ + e = \text{Rb}$	-2.925
	$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0.93
	$2\text{SO}_4^{2-} + 5\text{H}_2\text{O} + 8e = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 10\text{OH}^-$	-0.76
	$\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{S} + 6\text{OH}^-$	-0.66
	$2\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{OH}^-$	-0.58
	$\text{S}_2^{2-} + 2e = 2\text{S}^{2-}$	-0.524
	$\text{S} + 2e = \text{S}^{2-}$	-0.48
	$2\text{S} + 2e = \text{S}_2^{2-}$	-0.476
	$\text{S} + \text{H}^+ + 2e = \text{HS}^-$	-0.065
	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 8e = 2\text{S}^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.006
	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2e = 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	0.08
	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8e = \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.149
	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{S}$	0.141-0.17
	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.17
	$\text{SO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6e = \text{S}^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.231
	$2\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 5\text{H}_2\text{O}$	0.29
	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e = \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.311
	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e = \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.357
	$2\text{H}_2\text{SO}_3 + 2\text{H}^+ + 4e = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.40
	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.449
	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4e = 2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.5
	$2\text{SO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4e = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.705
	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e = 2\text{SO}_4^{2-}$	2.01
	$\text{SbO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{Sb} + 4\text{OH}^-$	-0.675
	$\text{Sb} + 3\text{H}^+ + 3e = \text{SbH}_3$	-0.51
	$\text{SbO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{SbO}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.43
	$\text{Sb}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6e = 2\text{Sb} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.152

Element	Reaksiya	E°
	$\text{SbO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Sb} + \text{H}_2\text{O}$	0.212
	$\text{SbO}_3^- + 2\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{SbO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	0.353
	$\text{SbO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} = \text{Sb} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.446
	$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 6\text{H}^+ + 4\text{e} = 2\text{SbO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	0.581
	$\text{Sb}_2\text{O}_5 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Sb}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	0.671
	$\text{Se}_3 + 3\text{e} = \text{Se}$	-2.077
	$\text{Se} + 2\text{e} = \text{Se}^{2-}$	-0.92
	$\text{Se} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{Se}$	-0.40
	$\text{SeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{Se} + 6\text{OH}^-$	-0.366
	$\text{SeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{SeO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	0.05
	$\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Se} + 3\text{H}_2\text{O}$	0.741
	$\text{SeO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	1.15
	$\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{Si} + 6\text{OH}^-$	-1.7
	$\text{SiF}_6^{2-} + 4\text{e} = \text{Si} + 6\text{F}^-$	-1.2
	$\text{SiO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Si} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.455
	$\text{Si} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{SiH}_4$	0.102
	$\text{SnS} + 2\text{e} = \text{Sn} + \text{S}^{2-}$	-0.94
	$\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-} + 2\text{e} = \text{HSnO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 3\text{OH}^-$	-0.93
	$\text{HSnO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Sn} + 3\text{OH}^-$	-0.91
	$\text{SnF}_6^{2-} + 4\text{e} = \text{Sn} + 6\text{F}^-$	-0.25
	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sn}$	-0.136
	$\text{SnO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{SnO} + \text{H}_2\text{O}$	-0.108
	$\text{SnO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Sn} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.106
	$\text{SnO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Sn} + \text{H}_2\text{O}$	-0.104
	$\text{Sn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Sn} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.091
	$\text{SnCl}_6^{2-} + 2\text{e} = \text{SnCl}_4^{2-} + 2\text{Cl}^-$ (1M HCl)	0.14
	$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e} = \text{Sn}^{2+}$	0.151
	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sr}$	-2.888
	$\text{Te} + 2\text{e} = \text{Te}^{2-}$	-1.14
	$\text{Te} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{Te}$	-0.72
	$\text{TeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{Te} + 6\text{OH}^-$	-0.57
	$\text{TeO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Te} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.529
	$\text{TeO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{TeO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	0.892
	$\text{H}_6\text{TeO}_6 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{TeO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1.02

Element	Reaksiya	E°
	$\text{Th}^{4+} + 4e = \text{Th}$	-1,899
	$\text{ThO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{Th} + \text{H}_2\text{O}$	-1,789
	$\text{Ti}^{2+} + 2e = \text{Ti}$	-1,63
	$\text{TiO} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Ti} + \text{H}_2\text{O}$	-1,306
	$\text{TiF}_6^{2-} + 4e = \text{Ti} + 6\text{F}^-$	-1,19
	$\text{TiO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{Ti} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,86
	$\text{TiO}_2(\text{pyrid}) + \text{H}^+ + 4e = \text{Ti}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,666
	$\text{TiO}_2(\text{pyrid}) + 2\text{H}^+ + 4e = \text{Ti}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,502
	$\text{Ti}^{3+} + e = \text{Ti}^{2+}$	-0,368
	$\text{Ti}^{4+} + e = \text{Ti}^{3+} (5\text{M H}_3\text{PO}_4)$	-0,15
	$\text{TiO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Ti}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	-0,135
	$\text{TiO}_2 + 2\text{H}^+ + e = \text{Ti}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	0,10
	$\text{Ti}_2\text{S} + 2e = 2\text{Ti} + \text{S}^{2-}$	-0,93
	$\text{TiH} + e = \text{Ti} + \text{H}^-$	-0,753
	$\text{TiBr} + e = \text{Ti} + \text{Br}^-$	-0,658
	$\text{TiCl} + e = \text{Ti} + \text{Cl}^-$	-0,557
	$\text{TiOH} + e = \text{Ti} + \text{OH}^-$	-0,344
	$\text{Ti} + e = \text{Ti}$	-0,3363
	$\text{Ti}(\text{OH})_3 + 2e = \text{TiOH} + 2\text{OH}^-$	-0,05
	$\text{Ti}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 4e = 2\text{Ti} + 6\text{OH}^-$	0,02
	$\text{TiOH} + \text{H}^+ + e = \text{Ti} + \text{H}_2\text{O}$	0,778
	$\text{Ti}^{3+} + 2e = \text{Ti}^+$	1,252
	$\text{UO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{U} + 4\text{OH}^-$	-2,39
	$\text{U}^{3+} + 3e = \text{U}$	-1,798
	$\text{U}^{4+} + e = \text{U}^{3+}$	-0,607
	$\text{UO}_2^{2+} = \text{UO}_2^+$	0,05
	$\text{UO}_2^{2+} + 4\text{H}^+ + 2e = \text{U}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,334
	$\text{UO}_2^+ + 4\text{H}^+ + e = \text{U}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,62
	$\text{V}^{2+} + 2e = \text{V}$	-1,175
	$\text{V}^{3+} + e = \text{V}^{2+}$	-0,255
	$\text{VO}_2 + 4\text{H}^+ + 5e = \text{V} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,25
	$\text{VO}_2^+ + e = \text{VO}^+$	-0,044
	$\text{VO}_2^+ + 4\text{H}^+ + 3e = \text{V}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,360
	$\text{V}_2\text{O}_5 + 6\text{H}^+ + 2e = 2\text{VO}_2^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	0,958

Element	Reaksiya	E°
	$\text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + \text{e} = \text{VO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1.004
	$\text{VO}_4^{3-} + 6\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{VO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	1.256
	$\text{H}_2\text{VO}_4^- + 4\text{H}^+ + \text{e} = \text{VO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	1.314
	$\text{WO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{W} + 8\text{OH}^-$	-1.05
	$\text{WO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{W} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.119
	$\text{WO}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0.09
	$\text{W}_2\text{O}_5 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{WO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-0.031
	$2\text{WO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{W}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$	-0.029
	$\text{WO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{W} + 4\text{H}_2\text{O}$	0.049
	$2\text{WO}_4^{2-} + 6\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{W}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O}$	0.801
	$\text{Y}^{3+} + 3\text{e} = \text{Y}$	-2.372
	$\text{Yb}^{3+} + \text{e} = \text{Yb}^{2+}$	-1.205
	$\text{ZnS} + 2\text{e} = \text{Zn} + \text{S}^{2-}$	-1.405
	$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e} = \text{Zn} + 4\text{CN}^-$	-1.26
	$\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{e} = \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1.245
	$\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} + 2\text{e} = \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1.22
	$\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1.216
	$\text{ZnCO}_3 + 2\text{e} = \text{Zn} + \text{CO}_3^{2-}$	-1.06
	$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+} + 2\text{e} = \text{Zn} + 4\text{NH}_3$	-1.04
	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Zn}$	-0.763
	$\text{ZnO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.441
	$\text{ZrO}_2 + 2\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Zr} + \text{H}_2\text{O}$	-1.570
	$\text{ZrO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} = \text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O}$	-1.43 - -1.553
	$\text{Zr}^{4+} + 4\text{e} = \text{Zr}$	-1.539

MUNDARIJA

1.	Eritmalar haqida tushuncha va geterogen eritmalarda kechadigan qonuniyatlarni o'rganish	3
2.	Eritmalar konsentratsiyasini ifodalash usullari	10
3.	Turli konsentratsiyali eritmalarni tayyorlash va ularning konsentratsiyalarini hisoblash usullari: "Krest" usuli yordamida hisoblash	15
4.	Eritma konsentratsiyasini "To'g'ri chiziq" qoidasi yordamida hisoblash	18
5.	Eritma konsentratsiyasini "Matematik model" usuli yordamida hisoblash	21
6.	Termodinamik qonunlar bo'yicha hisoblar. Entalpiya, entropiya va Gibbs energiyasi tushunchalari	26
7.	Rux oksidini sulfat kislota bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini hisoblash	31
8.	Oltinni "zar suvi" bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini hisoblash	33
9.	Mis oksidini sulfat kislota bilan reaksiyasining standart entalpiyasini va Gibbs energiyasini hisoblash	36
10.	Eritmaning ion kuchi tushunchasi va uni aniqlash	39
11.	Turli eritmalarning ion kuchini hisoblash misollari	41
12.	Gidrometallurgik jarayonlar kinetikasi bo'yicha hisoblar	42
13.	Gidrometallurgik jarayonlari mexanizmi bo'yicha misollar	47
14.	Muvozanat doimiyliklarini hisoblash misollari	50
15.	Potensial – pH (Purbe) diagrammasini tuzish qoidalari. Suv uchun Purbe diagrammasi	54
16.	Aluminiy – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi	57
17.	Rux – suv sistemasi uchun Purbe diagrammasi	60
18.	Ayrim sanoat tanlab eritish jarayonlarining termodinamikasi: boksitli rudalarning asosiy minerali bo'lmish Gibbsite mineralini NaOH eritmasida eritish	63
19.	Avtoklavda sheyelit mineralining soda eritmasi bilan parchalanish jarayonining termodinamikasi	66
20.	Oksidovchi sifatida kislorodni, uch valentli temir sulfatini qo'llab og'ir metallar sulfidlarini va quyi oksidlarini tanlab eritish jarayonining termodinamikasi	69

21.	Sheyeliitni avtoklavlarda parchalashda natriy floridining termodinamik zarur bo'lgan ortiqcha miqdorini aniqlash	71
22.	Sheyeliitni parchalashda natriy fosfatining termodinamik zarur bo'lgan ortiqcha miqdorini aniqlash	72
23.	Rux keklari tarkibini va neytral eritmalarining miqdorini hisoblash ...	75
24.	Oltin saqlovchi rudalar misolida sorbsion tanlab eritish jarayonini hisoblash	81
25.	Eruvchanlikni hisoblash usuli	86
26.	Eruvchanlik ko'paytmasini hisoblash usuli	91
27.	Birikmalarni turli konsentratsiyali kislotalar eritmalarida eruvchanligini hisoblash	95
28.	Eritmada ruxning umumiy konsentratsiyasini pH ga bog'liqligini aniqlash	97
29.	AgCl ning eruvchanligini turli konsentratsiyada NH ₃ saqlovchi eritmalarida aniqlash	99
30.	Metall sullidlarini sulfat kislota eritmalaridan metall ionining belgilangan konsentratsiyasigacha cho'ktirishning pH ko'rsatkichini hisoblash	100
31.	Metallarni eritmalaridan sementatsiya usulida ajratib olishni hisoblash: oltinni sianli eritmalaridan rux kukini bilan sementatsiyalash	103
32.	Metallarni eritmalaridan sementatsiya usulida ajratib olishni hisoblash: misni sulfat kislota eritmalaridan metallik temir bilan sementatsiyalash	106
33.	Metallarning turli konsentratsiyali eritmalaridagi potentsiallarini hisoblash	107
34.	Metallarni eritmalarida elektroliz usulida cho'ktirish jarayonini hisoblash: rux sulfat eritmasini elektrolitik cho'ktirish, anod misni elektrolitik rafinirlash	111
	Foydalanilgan adabiyotlar	116
	Ilova 1	117
	Ilova 2	149

**S.A. ABDURAXMONOV, J.B. SUNNATOV,
SH.B. KARSHIBOYEV, N.E.AXMEDOVA**

GIDROMETALLURGIYA JARAYONLARI NAZARIYASI

fanidan amaliy mashg'ulotlar uchun uslubiy ko'rsatma

Nash.lis. Al № 276, 15.06.2015
Bosishga ruhsat etildi: 28.12.2021 yil
Bichimi 60x84 1/16. «Times New Roman»
gamiturada raqamli bosma usulda chop etildi.
Shartli bosma tabog'i 10,3. Adadi 100. Buyurtma № 29-12
Тел: (99) 832 99 79; (97) 815 44 54
“LESSON PRESS” MCHJ nashriyoti,
100071, Toshkent, Komolon ko'chasi, 13.
«IMPRESS MEDIA» MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent shaxri, Qushbegi ko'chasi, 6-uy.