

BATAREYALI SAQLASH TIZIMLARI • 2YBSS

2-mavzu

Ochiq zanjir kuchlanishini termodinamik tenglamalar orqali aniqlash

Gibbs erkin energiyasi va Nernst tenglamasidan OCV–SOC bog‘liqligigacha

“Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.”

Sustainable Transportation within the Framework of Green Deal - SPHERE

Call: ERASMUS-EDU-2023-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101128065

TAKROR VA MOTIVATSIYA

Elementlardan element kuchlanishigacha

1-mavzuda element **elektrokimyoviy potensial energiyani** saqlashi va kimyosi bilan belgilanadigan kuchlanish berishini koʻrdik. Endi biz bu **kuchlanishni miqdoriy aniqlaymiz** — termodinamika orqali.

- ▶ **Ochiq zanjir kuchlanishi (OCV)** — tok oqmaganda elementning muvozanat kuchlanishi.
- ▶ **Termodinamika** OCV'ni bevosita element reaksiyasi va sharoitlardan bashorat qiladi.
- ▶ **OCV va zaryad holati** — batareya zaryad darajasini oʻlchashning (SOC baholash) asosi.

USHBU MAVZU REJASI

- 1 Gibbs erkin energiyasi
- 2 $\Delta G = -nFE$
- 3 Standart potentsiallar E°
- 4 Nernst tenglamasi
- 5 Harorat va entropiya
- 6 OCV — SOC funksiyasi

2-MAVZU

Siz nimalarni o'rganasiz

1

Ta'riflash

OCV nima ekanini va uning ortidagi muvozanat shartini ayting.

2

Bog'lash

Gibbs erkin energiyasini kuchlanish bilan bog'lang: $\Delta G = -nFE$.

3

Hisoblash

Yarim elementlar potensialidan standart kuchlanish E° ni toping.

4

Qo'llash

Nostandart sharoitlar uchun Nernst tenglamasini qo'llang.

5

Tushuntirish

Harorat va entropiya OCV'ga qanday ta'sir qilishini tasvirlang.

6

Ulash

OCV'ni zaryad holati bilan bog'lab, SOC baholashga ulang.

TA'RIF

Ochiq zanjir kuchlanishi nima?

TA'RIF

Ochiq zanjir kuchlanishi (OCV) — element **elektrokimyoviy muvozanat** holatidagi terminallari orasidagi potentsiallar farqi: tashqi tok yo'q, element to'liq dam olgan (relaksatsiyalangan) holatda.

U *elektr yurituvchi kuch (EYK)* deb ham ataladi va kimyo bera oladigan maksimal kuchlanishni ifodalaydi.

Dam olishda ($I = 0$)

$$V = OCV$$

Razryadda

$$V < OCV$$

Zaryadda

$$V > OCV$$

Tok oqimi polarizatsiya (ortiqcha kuchlanish) qo'shadi; OCV — mos yozuvlar nuqtasi.

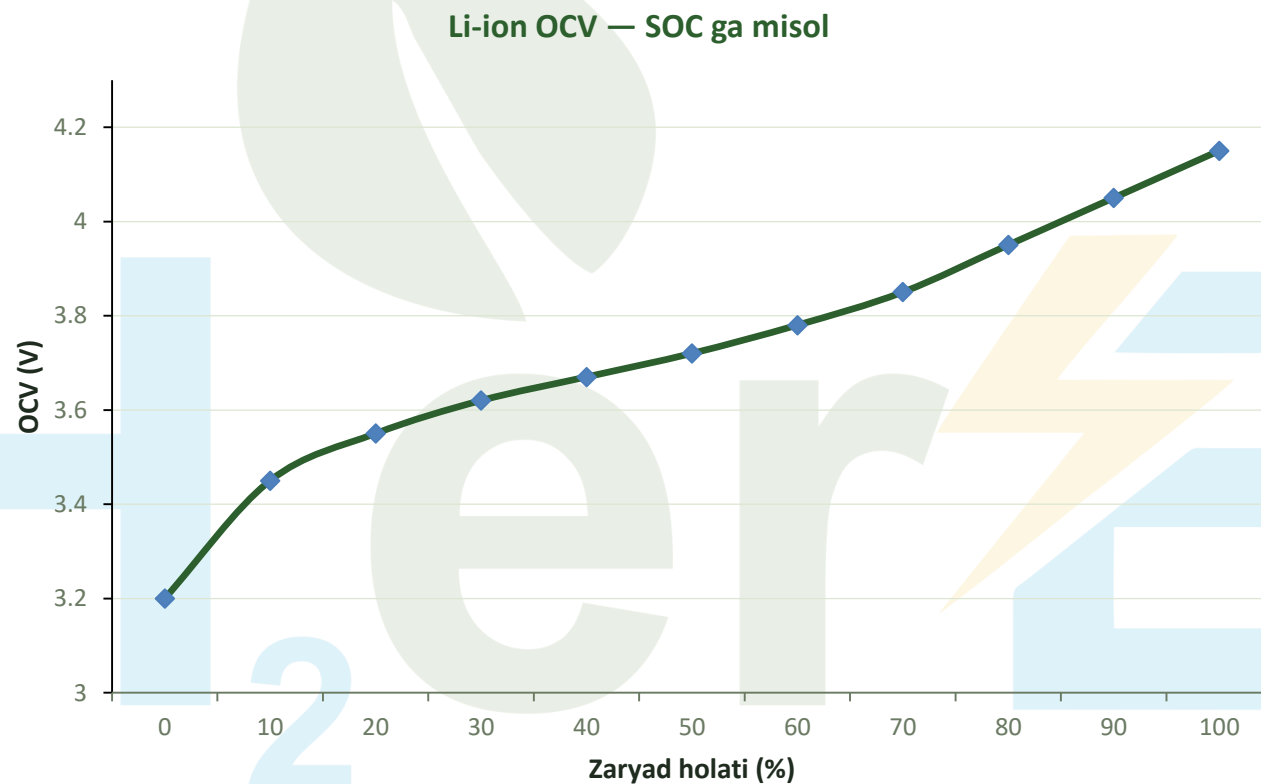
ASOSIY BOG'LIQLIK

OCV — zaryad holatining funksiyasi

Muvozanatdagi element uchun OCV — **zaryad holatining (SOC) statik funksiyasi**.

To'liq zaryadlangan element yuqori OCV'da bo'ladi; element razryadlanganda OCV pasayadi.

Aynan shu monoton egri chiziq **dam olgan kuchlanishdan SOC'ni aniqlashga** imkon beradi.



KUCHLANISHNI NIMA BELGILAYDI

Elektrod potentsiali

Materialning boshqasiga nisbatan **elektron olish yoki berish** moyilligi uning **elektrod potentsiali**. Ikki elektrod orasidagi farq qancha katta bo'lsa, element kuchlanishi shuncha yuqori.

- ▶ **Manfiy elektrod:** past (manfiy) potentsialli material — elektron beradi.
- ▶ **Musbat elektrod:** yuqori (musbat) potentsialli material — elektron qabul qiladi.
- ▶ **Tabiat bilan cheklangan:** faqat mavjud elementlardan foydalanamiz — kuchli qaytaruvchilar (davriy jadval chap tomoni) va kuchli oksidlovchilar (o'ng tomoni).

STANDART ELEMENT POTENSIALI

$$E^{\circ}_{\text{element}} = E^{\circ}_{+} - E^{\circ}_{-}$$

(musbat elektrod potentsiali minus manfiy elektrod potentsiali)

HARAKATLANTIRUVCHI KUCH

Gibbs erkin energiyasi

Reaksiya o'z-o'zidan boradi, agar uning **Gibbs erkin energiyasi kamaysa** ($\Delta G < 0$).

ΔG — reaksiya bera oladigan **maksimal (elektr) ish**, aynan batareya ajratib oladigan narsa.

GIBBS ERKIN ENERGIYASI

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

 ΔH

reaksiya entalpiyasi (issiqlik miqdori)

 T

absolyut harorat (K)

 ΔS

reaksiya entropiyasi (tartibsizlik)

BOG'LOVCHI TENGLAMA

Erkin energiyani kuchlanishga bog'lash

Barcha elektr ish erkin energiya o'zgarishidan keladi, shuning uchun muvozanat element kuchlanishi bevosita ΔG bilan bog'liq:

ERKIN ENERGIYA $\leftrightarrow$ OCHIQ ZANJIR KUCHLANISHI

$$\Delta G = -n F E_{\text{element}}$$

n

reaksiyada o'tadigan elektronlar
mollari

F

Faradey doimiysi = 96 485 C/mol

E

muvozanat element kuchlanishi
(OCV)

Standart sharoitlarda: $\Delta G^\circ = -n F E^\circ$ — ΔG qancha manfiyroq bo'lsa, kuchlanish shuncha yuqori.

STANDART POTENSIALLAR

Yarim elementlardan E° ni qurish

Har bir elektrod reaksiyasi standart vodorod elektrodiga (SVE) nisbatan o'lchanadigan **standart qaytarilish potensialiga** ega. $E^{\circ}(\text{element}) = E^{\circ}(+) - E^{\circ}(-)$.

Yarim reaksiya (qaytarilish)	E° (SVE ga nisbatan)
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3.04 V
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76 V
Pb (PbSO ₄) manfiy plastina	-0.36 V
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (SVE)	0.00 V
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.34 V
PbO ₂ (PbSO ₄) musbat plastina	+1.69 V

Manfiyroq → kuchliroq qaytaruvchi (anod); musbatroq → kuchliroq oksidlovchi (katod).

YECHIM NAMUNASI 1

Daniell elementi (Zn–Cu)

Umumiy: $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$ (n = 2 elektron)

1	Manfiy (anod)	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	$E^\circ = -0.76 \text{ V}$
----------	----------------------	--	-----------------------------

2	Musbat (katod)	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	$E^\circ = +0.34 \text{ V}$
----------	-----------------------	--	-----------------------------

3	Element kuchlanishi	$E^\circ = 0.34 - (-0.76)$	$E^\circ = 1.10 \text{ V}$
----------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

4	Erkin energiya	$\Delta G^\circ = -nFE^\circ$	$\approx -212 \text{ kJ/mol}$
----------	-----------------------	-------------------------------	-------------------------------

YECHIM NAMUNASI 2

Qo'rg'oshin-kislotali element

Umumiy: $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ($n = 2$)

1	Manfiy plastina	$\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{e}^-$	$E^\circ = -0.356 \text{ V}$
----------	------------------------	--	------------------------------

2	Musbat plastina	$\text{PbO}_2 + \dots \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$E^\circ = +1.685 \text{ V}$
----------	------------------------	--	------------------------------

3	Element kuchlanishi	$E^\circ = 1.685 - (-0.356)$	$E^\circ = 2.04 \text{ V}$
----------	----------------------------	------------------------------	----------------------------

“12 V” avtomobil batareyasi = ketma-ket ulangan oltita 2 V element. Kuchlanish kislota konsentratsiyasi (SOC) va haroratga ham bog'liq.

STANDART SHAROITLARDAN TASHQARI

Haqiqiy elementlar standart emas

Standart potentsiallar (E°) **ma'lum konsentratsiyalar (aktivliklar) va haroratni** nazarda tutadi. Haqiqiy OCV element razryadlanib, sharoit o'zgarganda E° 'dan chetga chiqadi — shuning uchun tuzatish kerak.



Konsentratsiya

Reagentlar sarflanib, mahsulotlar to'planganda samarali harakatlantiruvchi kuch o'zgaradi.



Harorat

Yuqori T entropiya hissasini va muvozanat kuchlanishini o'zgartiradi.



Zaryad holati

Elektrod tarkibi SOC bilan o'zgarib, muvozanat potentsialini siljitadi.

TUZATISH

Nernst tenglamasi

Nernst tenglamasi standart kuchlanishni haqiqiy aktivliklar uchun **reaksiya koeffitsienti Q** orqali tuzatadi:

NERNST TENGLAMASI

$$E = E^{\circ} - (RT / nF) \ln Q$$

R

gaz doimiysi 8.314 J/(mol·K)

T

harorat (K)

Qreaksiya koeffitsienti
(mahsulot/reagent)

Mahsulotlar to'planganda (Q ortadi), $\ln Q$ hadi kattalashadi va kuchlanish pasayadi.

NERNST — YECHIM NAMUNASI

25 °C da tenglama soddalashadi

T = 298 K DA

$$E = E^{\circ} - (0.0592 / n) \log_{10} Q$$

25 °C da $RT/F \times \ln 10 = 0.0592 \text{ V}$ bo'lgani uchun, Q'ning har o'n barobar o'zgarishi kuchlanishni 0.0592/n voltga siljitadi.

DANIELL ELEMENTI MISOLI

Berilgan $[Zn^{2+}] = 0.1 \text{ M}, [Cu^{2+}] = 1.0 \text{ M}$

Koeffitsient $Q = [Zn^{2+}]/[Cu^{2+}] = 0.1$

Qo'llash $E = 1.10 - (0.0592/2) \cdot \log(0.1)$

Natija $E = 1.10 + 0.030 = 1.13 \text{ V}$

BOG'LANISHLAR

Nega OCV SOC bilan o'zgaradi

Razryad vaqtida reagent aktivliklari **kamayadi** va mahsulot aktivliklari **ortadi** — shuning uchun Q ortadi va Nernst hadi kuchlanishni pasaytiradi. Silliq natija — **OCV–SOC egri chizig'i**.



HARORAT TA'SIRI

OCV va entropiya koeffitsienti

OCV haroratga qarab qanday o'zgarishini **reaksiya entropiyasi** belgilaydi:

Bu **entropiya koeffitsienti** ($\partial E / \partial T$) odatda kichik — har °C uchun bir necha o'ndan bir mV — lekin aniq SOC va termal modellar uchun muhim.

ENTROPIYA KOEFFITSIENTI

$$(\partial E / \partial T)_p = \Delta S / (nF)$$

- ▶ Musbat $\partial E / \partial T$: OCV harorat bilan ortadi
- ▶ Manfiy $\partial E / \partial T$: OCV harorat bilan kamayadi
- ▶ Elementni bir necha haroratda dam oldirib o'lchanadi

ENERGIYA BALANSI

Issiqlik qayerdan keladi?

Munosabatlarni birlashtirish to'liq energiya manzarasini beradi — **termal boshqaruv** uchun foydali:

ENERGIYA BALANSI

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

QAYTAR ISSIQLIK

$$q_{\text{rev}} = T\Delta S = nFT(\partial E / \partial T)$$

- ▶ **Foydali elektr ish** ΔG 'dan keladi ($= -nFE$) — batareya beradigan qism.
- ▶ **Qaytar issiqlik** $T\Delta S$ entropiya o'zgarishi ishorasiga qarab yutiladi yoki ajraladi.
- ▶ **Qaytmas issiqlik** (qarshilik va kinetikadan) ustiga qo'shiladi — 3-mavzuda ko'riladi.

AMALIYOTDA

OCV'ni o'lchash

1

Dam olish va relaksatsiya

Elementni nol tokda kuchlanish muvozanatga kelguncha qoldiring — bu daqiqalardan soatlargacha davom etadi.

2

Bosqichli OCV testi

Uzoq dam olishlar bilan kichik qadamlarda zaryad/razryad qiling, har SOC'da muvozanat kuchlanishini yozib boring.

3

Past tokli yaqinlashtirish

Juda sekin ($\approx C/30$) zaryad/razryad uzoq kutmasdan OCV'ni taxminlaydi.

!

Gisterezisga e'tibor

Zaryad yo'nalishidagi OCV razryad yo'nalishidagidan biroz farq qiladi — o'rtachalang yoki modellashtiring.

NEGA BU MUHIM

OCV — SOC baholashning asosi

OCV zaryad holatiga bir-to-bir mos kelgani uchun, dam olgan kuchlanish BMS'ga batareya qanchalik to'laligini aytadi — har bir **kuchlanishga asoslangan zaryad ko'rsatkichining** asosi.

1

Zaryadni o'lchash

Dam olgan kuchlanish → SOC,
OCV egri chizig'i orqali.

2

Model tayanchi

OCV — har bir ekvivalent-sxema
modelidagi mos yozuv.

3

Kalibrlash

Dam olish davrlari BMS'ga SOC
bahosini qayta nollashga imkon
beradi.

4

Xavfsizlik chegaralari

Kuchlanish oynalari OCV'ga
nisbatan belgilanadi.

O'ZINGIZNI SINANG

Darsdagi savollar

Q1

Element reaksiyasi $n = 2$ elektron o'tkazadi, $E^\circ = 2.0 \text{ V}$. Standart erkin energiya o'zgarishi ΔG° 'ni hisoblang.

Q2

Yarim element potentsiallari $E^\circ_+ = +1.23 \text{ V}$ va $E^\circ_- = -0.83 \text{ V}$. Standart element kuchlanishi qancha?

Q3

25°C da bir elektronli reaksiyada $Q = 10$. OCV E° 'dan qancha siljiydi?

Q4

Bir gapda batareya razryadlanganda OCV nega kamayishini tushuntiring.

Q1 va Q3'ni doskadagi tenglamalar bilan yechib ko'ring.

YECHIMLAR

Q1 va Q3 — bosqichma-bosqich

Q1 — erkin energiya

Formula $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$

Qo'yamiz $-(2)(96\,485)(2.0)$

Natija $\approx -386 \text{ kJ/mol}$

Manfiy ΔG° o'z-o'zidan boradigan, energiya ajratuvchi reaksiyani tasdiqlaydi.

Q3 — Nernst siljishi

Formula $\Delta E = -(0.0592/n) \cdot \log Q$

Qo'yamiz $-(0.0592/1) \cdot \log(10)$

Natija $\Delta E = -0.0592 \text{ V}$

OCV E° dan taxminan 59 mV past — kattaroq Q kuchlanishni pasaytiradi.

(Q2 javobi: $E^\circ = 1.23 - (-0.83) = 2.06 \text{ V}$.)

YAKUN

Asosiy xulosalar

- ▶ OCV — nol tokda, relaksatsiyadan keyin elementning muvozanat kuchlanishi.
- ▶ Termodinamika uni erkin energiyaga bog'laydi: $\Delta G = -nFE$ ($\Delta G^\circ = -nFE^\circ$).
- ▶ Standart kuchlanish yarim elementlardan keladi: $E^\circ(\text{element}) = E^\circ(+)-E^\circ(-)$.
- ▶ Misol elementlar: Daniell ≈ 1.10 V, qo'rg'oshin-kislotali ≈ 2.04 V (ikkalasi $n = 2$).
- ▶ Nernst tenglamasi aktivliklarni hisobga oladi: $E = E^\circ - (RT/nF) \ln Q$.
- ▶ Haroratga bog'liqlik entropiya bilan belgilanadi: $(\partial E/\partial T) = \Delta S/(nF)$.
- ▶ OCV zaryad holatiga mos keladi — SOC baholashning asosi.

Thank you for your attention!

SPHERE