ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТІРЛІГІ
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Электродтар түрлері. I және II текті электродтар. Тотығу-тотықсыздану электроды. Лютер ережесі. Амальгамды және газды электродтар

Химия және химиялық технология факультеті, Физикалық химия, катализ және мұнайхимия кафедрасының оқытушысы
PhD Савденбекова Б.Е.

Алматы, 2026

Дәрістің мақсаты

Дәрістің мақсаты – студенттерге электродтардың жіктелу принциптерін, бірінші және екінші текті электродтардың құрылысын, жұмыс істеу механизмін, электродтық потенциалдың түзілуін, тотығу-тотықсыздану және газ электродтарының ерекшеліктерін, сондай-ақ Лютер ережесінің мәнін түсіндіру және олардың электрохимиялық жүйелердегі қолданылуын меңгерту.

Бақылау сұрақтары

1. Электродтық потенциалдың түзілу механизмі қандай физика-химиялық құбылыстарға негізделген? Металл мен ерітінді арасындағы тепе-теңдіктің қалыптасуын түсіндіріңіз.
2. I және II текті электродтардың құрылысы мен жұмыс істеу принциптерін салыстырыңыз. Олардың потенциалы қандай факторларға тәуелді және қандай жағдайларда әрқайсысын қолданған тиімді?
3. Тотығу-тотықсыздану электродының жұмыс істеу ерекшелігі неде? Оның бірінші және екінші текті электродтардан негізгі айырмашылықтарын нақты мысалдар арқылы түсіндіріңіз.
4. Лютер ережесінің электрохимиядағы маңызын талдаңыз. Көп компонентті тотығу тотықсыздану жүйелерінде бұл ереже электрод потенциалын болжауға қалай мүмкіндік береді?
5. Газ және амальгамды электродтардың құрылысы мен қолданылу салаларын салыстырыңыз. Бұл электродтардың қандай артықшылықтары мен шектеулері бар?
6. Электродтардың әртүрлі түрлері қазіргі ғылым мен өндірісте қандай міндеттерді шешуге мүмкіндік береді? Нақты мысалдар келтіріп, олардың электрохимиялық өлшеулерде, коррозиядан қорғауда, металл қаптауда, сенсорлар мен энергия сақтау құрылғыларындағы рөлін түсіндіріңіз.

Дәріс жоспары

Дәріс жоспары

Электродтар туралы жалпы түсінік және олардың жіктелуі.

I текті электродтар: құрылысы, жұмыс істеу принципі және электродтық потенциалдың түзілуі.

II текті электродтар: құрылысы, ерекшеліктері және потенциалдың қалыптасу механизмі.

Тотығу-тотықсыздану электродтары: құрылысы, жұмыс істеу принципі және потенциалын анықтау.

Лютер ережесі және оның электродтық потенциалдарды есептеудегі маңызы.

Амальгамды электродтар: құрылысы, қасиеттері және қолданылуы.

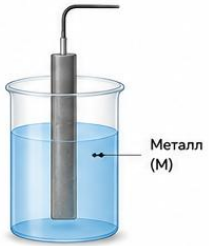
Газды электродтар: құрылысы, жұмыс істеу принципі және потенциалдың түзілу ерекшеліктері.

Әртүрлі типтегі электродтардың потенциалдарын Нернст теңдеуі арқылы өрнектеу және салыстыру.

ЭЛЕКТРОДТАРДЫҢ ТҮРЛЕРІ

1. БІРІНШІ ТҮР (МЕТАЛЛДЫ) ЭЛЕКТРОДТАР

1. Металл электроды (бірінші түр)



Электродтың материалы мен оның иондары ерітіндіде болады.
Мысалы: $Cu|Cu^{2+}$, $Zn|Zn^{2+}$

2. Екінші текті электрод



Металл және оның нашар еритін тұзы, ерітіндіде сол тұздың аниондары болады.
Мысалы: $Ag|AgCl|Cl^-$

3. Газдық электрод



Инертті металл (кобіне платина) бетінде газ және ерітіндімен құрылатын тепе-теңдік жүйе.
Мысалы: $Pt|H_2|H^+$

4. Қызылтекті (тотығу-тотықсыздану) электрод



Инертті металл және ерітіндідегі тотығу-тотықсыздану жұбы.
Мысалы: $Pt|Fe^{3+},Fe^{2+}$

5. Амальгама электроды



Металл сынаппен амальгама түрінде және ерітіндіде сол металл иондары болады.
Мысалы: $Na(Hg)|Na^+$

2. ЕКІНШІ ТҮР (ИНДИКАТОРЛЫҚ) ЭЛЕКТРОДТАР

1. Әйнек электроды (pH-электрод)



Әйнек мембранасы арқылы сутек иондарына селективті.
Ерітіндінің pH-на тәуелді потенциал береді.

2. Ион-селективті электрод (ISE)



Белгілі бір ионға селективті мембрана арқылы потенциал тудырады.
Мысалы: F^--электрод, Cl^--электрод

3. Сұйықтық мембраналы электрод



Иондар сұйық мембрана арқылы тасымалданып, потенциал тудырады.

4. Қатты мембраналы электрод



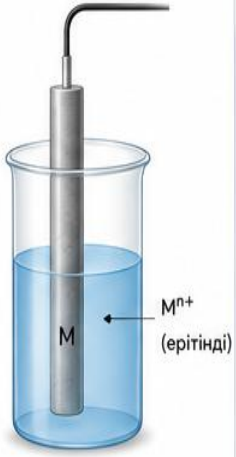
Қатты электролит мембранасы арқылы иондарға селективті жауап береді.

5. Ферменттік электрод



Ферменттік реакция нәтижесінде түзілген иондар концентрациясына сезімтал.

1. МЕТАЛЛ ЭЛЕКТРОДЫ (БІРІНШІ ТҮР)



Металл (M) өзінің иондары бар ерітіндіде

ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯ (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Анодтық процесс (тотығу):

$$M \rightarrow M^{n+} + n\,e^-$$

Катодтық процесс (тотықсыздану):

$$M^{n+} + n\,e^- \rightarrow M$$

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ

$$\varphi = \varphi^0_{M^{n+}/M} + \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{n+}}$$

МЫСАЛЫ: $Cu^{2+}|Cu$

Жартылай реакциялар:

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Гальваникалық қаптау (мыс, никель, хром)



Электроқазбалау (металдарды тазарту)



Гальваникалық элементтер (батареялар, аккумуляторлар)

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН МЕТАЛДАР: Cu, Zn, Ni, Ag, Pb, Fe және т.б.

2. СҰЙЫҚТЫҚ МЕМБРАНАЛЫ ЭЛЕКТРОД



Сұйықтық мембрана иондарды селективті өткізеді

ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯ (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Мембрана шекарасындағы ион алмасу:

$$M^{z+}_{(ерітінді)} \rightleftharpoons M^{z+}_{(мембрана)}$$

Электродтық процесс:

$$M^{z+}_{(мембрана)} + z\,e^- \rightleftharpoons M_{(ішкі\ фаза)}$$

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{RT}{zF} \ln a_{M^{z+}}$$

МЫСАЛЫ: $Ag^+_{(aq)}$ | Ag (сұйық мембрана)

Жартылай реакциялар:

$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$ (мембрана ішінде)

Ag (мембрана) $+ e^- \rightleftharpoons Ag$ (ішкі фаза)

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Су сапасын бақылау (ион-селективті электродтар)



Аналитикалық химия (pH, F^-, Cl^- және т.б. өлшеу)



Медицина (қанды талдау және мониторинг)

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ИОНДАР: H^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-, F^- және т.б.

3. ГАЗДЫҚ ЭЛЕКТРОД



Инертті металл бетінде газ және ерітінді шекарасында

ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯ (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Анодтық процесс (тотығу):

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

Катодтық процесс (тотықсыздану):

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ (НЕРНСТ)

$$\varphi = \varphi^0_{H^+/H_2} + \frac{RT}{2F} \ln\left(\frac{a^2_{H^+}}{p_{H_2}}\right)$$

МЫСАЛЫ: $Pt \mid H_2(g) \mid H^+(aq)$

Жартылай реакциялар:

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$$

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Сутегі отын элементтері (энергетика)



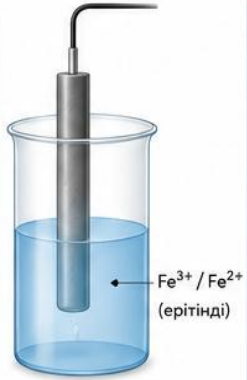
Электролиз процестері



Электрохимиялық өлшеулердің стандартты электроды

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ГАЗДАР: H_2, O_2, Cl_2, CO_2 және т.б.

4. ҚЫЗЫЛТЕКТІ (ТОТЫҒУ-ТОТЫҚСЫЗДАНУ) ЭЛЕКТРОД



Инертті металл және тотығу-тотықсыздану жұбы бар ерітінді

ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯ (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Тотықсыздану:

$$Ox + n\,e^- \rightarrow Red$$

Тотығу:

$$Red \rightarrow Ox + n\,e^-$$

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ (НЕРНСТ)

$$\varphi = \varphi^0_{Ox/Red} + \frac{RT}{nF} \ln\frac{a_{Ox}}{a_{Red}}$$

МЫСАЛЫ: $Pt \mid Fe^{3+}, Fe^{2+}$

Жартылай реакциялар:

$$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$$

$$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$$

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Гальваникалық қаптау (никельдеу, алтындау)



Редокс-аккумуляторлар (энергия сақтау жүйелері)

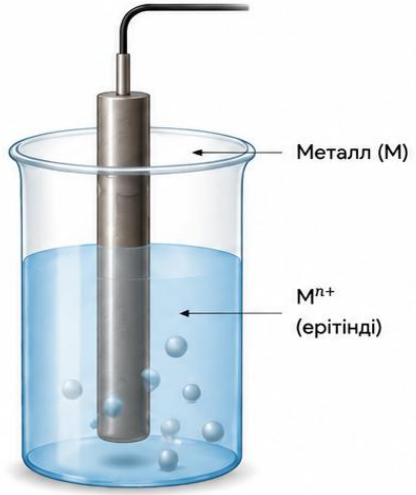


Химиялық өндіріс пен электрохимиялық синтез

НЕГІЗГІ РЕДОКС ЖҰПТАР: Fe^{3+}/Fe^{2+}, Cu^{2+}/Cu^+, I_2/I^-, Ce^{4+}/Ce^{3+} және т.б.

1. БІРІНШІ ТЕКТІ ЭЛЕКТРОД (МЕТАЛЛ ЭЛЕКТРОДЫ)

Металл өз иондарының ерітіндісімен жанасқанда пайда болатын электрод.



$M \rightarrow M^{n+} + n\,e^-$ (тотығу, анодтық процесс)

$M^{n+} + n\,e^- \rightarrow M$ (тотықсыздану, катодтық процесс)

НЕГІЗГІ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

- ✓ Электрод металл мен оның сол металл иондары бар ерітіндіден тұрады.
- ✓ Потенциалы металл иондарының концентрациясына тәуелді.
- ✓ Мысалдар: $Cu|Cu^{2+}$, $Zn|Zn^{2+}$, $Ag|Ag^+$ және т.б.

ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯЛАР (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Анодтық процесс (тотығу):

$$M \rightarrow M^{n+} + n\,e^-$$

Катодтық процесс (тотықсыздану):

$$M^{n+} + n\,e^- \rightarrow M$$

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ (НЕРНСТ ТЕҢДЕУІ)

$$\varphi = \varphi^0_{M^{n+}/M} + \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{n+}}$$

мұндағы $\varphi^0_{M^{n+}/M}$ – стандартты электрод потенциалы,
$a_{M^{n+}}$ – металл иондарының белсенділігі (концентрациясы)

МЫСАЛДАР

$Cu | Cu^{2+}$ (c)

Жартылай реакциялар:

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

Нәтижесі: $Cu | Cu^{2+}$

$Zn | Zn^{2+}$ (c)

Жартылай реакциялар:

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

$$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$$

Нәтижесі: $Zn | Zn^{2+}$

$Ag | Ag^+$ (c)

Жартылай реакциялар:

$$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$$

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$

Нәтижесі: $Ag | Ag^+$

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН МЕТАЛДАР: Cu, Zn, Ag, Pb, Hg, Ni, Fe және т.б.

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Гальваникалық қаптау (мыс, никель, мырыш, хром және т.б.)



Гальваникалық элементтер (батареялар, аккумуляторлар)



Металдарды коррозиядан қорғау (қорғаныш қаптамалар)

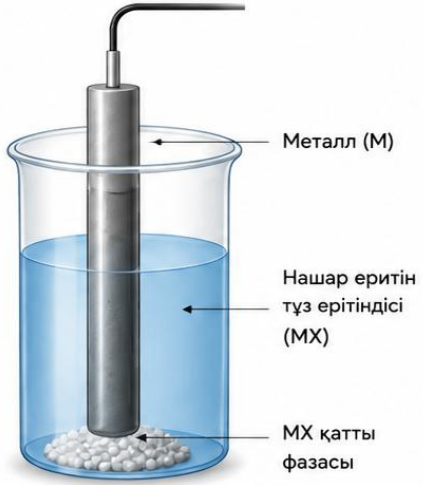


Металлдарды тазарту және электролиттік алу

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ИОНДАР: Cu^{2+}, Zn^{2+}, Ag^+, Pb^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}/Fe^{3+}, Cd^{2+} және т.б.

2. ЕКІНШІ ТЕКТІ ЭЛЕКТРОД

Металл және оның нашар еритін тұзы ерітіндіде болғанда пайда болатын электрод.



ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯЛАР (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Анодтық процесс (тотығу):

$$M \rightarrow M^{n+} + n\,e^-$$

Катодтық процесс (тотықсыздану):

$$M^{n+} + n\,e^- \rightarrow M$$

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ

$$\varphi = \varphi^0_{M^{n+}/M} + \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{n+}}$$

мұндағы $a_{M^{n+}}$ – ерітіндідегі металл иондарының белсенділігі (концентрациясы)

МЫСАЛДАР

Ag | AgCl (қаныққан KCl)

Жартылай реакциялар:

$$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$$

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$$

$$Ag^+ + Cl^- \rightleftarrows AgCl\downarrow$$

Нәтижесі: Ag | AgCl | Cl^-

Cu | $CuSO_4$ (қаныққан)

Жартылай реакциялар:

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$

Нәтижесі: Cu | Cu^{2+}

НЕГІЗГІ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

- ✓ Металл электрод MX нашар еритін тұзымен қамтылған ерітіндіде болады.
- ✓ Ерітіндідегі металл иондарының белсенділігі potentialды анықтайды.
- ✓ Электродтың потенциалы тұрақты және қайтымды.

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Потенциометрия және электрохимиялық өлшеулер



Гальваникалық қаптау үдерістері



Аналитикалық химия (pH, иондарды анықтау)



Элементтер мен сенсорларда қолдану

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ИОНДАР: Cl^-, Br^-, I^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, ацетат (CH_3COO^-) және т.б.

3. КАЛОМЕЛЬДІ ЭЛЕКТРОД (ЕКІНШІ ТЕКТІ ЭЛЕКТРОД)



ЖЕКЕ ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯ (ЖЕКЕ ТІЗБЕК)

Электродтың жартылай реакциясы:

$$Hg_2Cl_2\,(s) + 2e^- \rightleftharpoons 2Hg\,(l) + 2Cl^-\,(aq)$$

Бұл – кері қайтымды электродтық процесс.

ЭЛЕКТРОД ПОТЕНЦИАЛЫ

25 °C температурада каломельді электродтың потенциалы қаныққан KCl ерітіндісінде тұрақты және белгілі:

$$E^0_{Hg_2Cl_2/Hg,\,KCl(қаныққан)} = +0{,}2415\ В\ (vs.\ SHE)$$

Потенциал тек ерітіндінің Cl^- белсенділігіне тәуелді.

ЖАРТЫЛАЙ РЕАКЦИЯЛАР:

Тотықсыздану (катодтық процесс):

$$Hg_2Cl_2\,(s) + 2e^- \rightarrow 2Hg\,(l) + 2Cl^-(aq)$$

Тотығу (анодтық процесс):

$$2Hg\,(l) + 2Cl^-\,(aq) \rightarrow Hg_2Cl_2\,(s) + 2e^-$$

МЫСАЛ:

Каломельді электродтың схемалық жазылуы:

$$Hg \mid Hg_2Cl_2\ (қатты) \mid KCl\ (қаныққан)$$

Нәтижесі:

Каломельді электрод – тұрақты, қайтымды екінші текті электрод.

НЕГІЗГІ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

- ✓ Екінші текті электрод, себебі оның потенциалы ерітіндідегі Cl^- иондарының белсенділігіне тәуелді.
- ✓ Қаныққан KCl ерітіндісінде потенциалы тұрақты (+0,2415 В vs. SHE, 25 °C).
- ✓ Практикада салыстырмалы электрод ретінде кең қолданылады.
- ✓ Температураға және Cl^- концентрациясының өзгеруіне бойсұнсақ сезімтал.

ПАЙДАЛАНУ СЕКТОРЫ



Электрохимиялық өлшеулерде (потенциометрия)



pH-метрияда салыстырмалы электрод ретінде



Суды тазарту және су сапасын бақылау жүйелерінде



Коррозияны зерттеу және қорғау жүйелерінде (коррозиметрия)



Гальваникалық өндірістерде процесті бақылау және реттеу үшін

НЕГІЗГІ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ИОНДАР: Cl^- (негізгі), K^+ (қолжетімді ион)

НЕГІЗГІ РЕАКТИВТЕР: Hg (сынап), Hg_2Cl_2 (қаломель), KCl (қаныққан ерітінді)

Оспанов Х. Қ., Қамысбаев Д. Х., Абланова Е. Х., Шәбікова Г. Ж. Физикалық химия / Оқулық. — Алматы, 2014. — (Химиялық кинетика және электрохимия тарауы).

- Шабікова Г.Х., Оспанова Э.К., Ашимхан Н.С. Физикалық химия пэні бойынша есептер (химиялық кинетика жене электрохимия). Алматы: Казак университеті,2016 ж.
- Оспанова Э.К., Сейілханова Г.А. Химиялық, кинетика және электрохимия.Алматы: Казак университеті, 2010.