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

Электрофоретикалық және релаксациялық эффектілер. Вин және Фолькенгаген эффектілері. Ион тасымалдау сандары, тасымалдау сандарын анықтау әдістері.

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

Алматы, 2026

Дәрістің мақсаты

Электролит ерітінділеріндегі иондардың қозғалыс механизмдерін, электрофоретикалық және релаксациялық эффектілердің электрөткізгіштікке әсерін, Вин және Фолькенгаген эффектілерінің физикалық табиғатын, сондай-ақ иондардың тасымалдау сандарының мәнін, оларды анықтау әдістерінің теориялық негіздерін талдау арқылы студенттердің электролиттік жүйелердегі заряд тасымалдану құбылыстарын себеп салдарлық байланыста түсіндіру қабілетін қалыптастыру.

Бақылау сұрақтары

1. Әлсіз және күшті электролиттердің концентрациясы артқан сайын электрөткізгіштіктің өзгеру себептерін тек иондардың саны арқылы түсіндіру жеткіліксіз. Бұл құбылысты электрофоретикалық және релаксациялық эффектілер тұрғысынан қалай дәлелдеуге болады?
2. Егер электролит ерітіндісіне сыртқы электр өрісінің кернеулігі біртіндеп арттырылса, қандай жағдайда Вин эффектісі байқалады? Оның пайда болуы иондық атмосфераның құрылымы мен иондардың қозғалысына қалай әсер етеді?
3. Электролит ерітіндісіне жоғары жиілікті айнымалы электр өрісі әсер еткенде Фолькенгаген эффектісі неліктен пайда болады? Бұл құбылыстың Вин эффектісінен негізгі физикалық айырмашылығы неде?
4. Неліктен бір электролиттің катионы мен анионы электр тогын бірдей мөлшерде тасымалдамайды? Иондардың қозғалғыштығы, гидратация дәрежесі және өлшемі тасымалдау сандарына қалай ықпал етеді?
5. Гитторф және қозғалмалы шекара әдістері бір шаманы – иондардың тасымалдау санын анықтайды. Әр әдістің теориялық негізі қандай және қандай тәжірибелік жағдайда бір әдісті екіншісінен тиімдірек деп таңдауға болады?

Дәріс жоспары

Дәріс жоспары

Электролит ерітінділеріндегі иондардың қозғалысы және электр тогын тасымалдау механизмдері.

Иондардың қозғалғыштығы және электр өрісіндегі бағытталған қозғалысының ерекшеліктері.

Электролит ерітінділеріндегі электрофоретикалық эффект. Оның физикалық табиғаты және электрөткізгіштікке әсері.

Релаксациялық эффект. Иондық атмосфераның қайта құрылу механизмі және оның иондардың қозғалысына әсері.

Электрофоретикалық және релаксациялық эффектілердің күшті электролиттер ерітінділерінің электрөткізгіштігіне бірлескен әсері.

Вин эффектісі. Күшті электр өрісінің әсерінен электролит ерітінділерінің электрөткізгіштігінің өзгеру механизмі.

Фолькенгаген эффектісі. Жоғары жиілікті айнымалы электр өрісінің иондық атмосфераға және электрөткізгіштікке әсері.

Иондардың тасымалдау саны туралы түсінік. Катиондар мен аниондардың жалпы электр тогын тасымалдауға қосатын үлесі.

Иондардың тасымалдау сандарын анықтау әдістері: қозғалмалы шекара және Хитторф әдістерінің теориялық негіздері.

Иондардың тасымалдау санының концентрацияға, температураға және иондардың табиғатына тәуелділігі.

Электролит ерітінділеріндегі электрокинетикалық құбылыстар мен заряд тасымалдану заңдылықтарының өзара байланысы және практикалық маңызы.

Вин эффектісі – күшті электр өрісінің әсерінен электролит ерітіндісіндегі иондық атмосфераның бұзылуы немесе әлсіреуі нәтижесінде иондардың қозғалғыштығы мен ерітіндінің электрөткізгіштігінің арту құбылысы.

Қолданылуы:

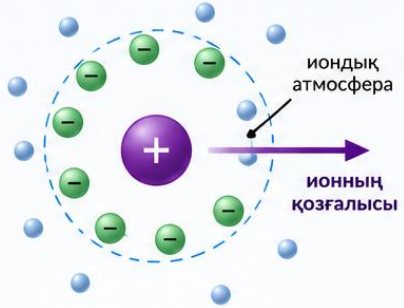
- **Электрохимияда** – күшті электр өрісіндегі электролиттердің электрөткізгіштігін зерттеуде.
- **Электролиттік жүйелерді зерттеуде** – иондардың қозғалғыштығы мен иондық атмосфераның әсерін анықтауда.
- **Электрохимиялық технологияларда** – жоғары электр өрісіндегі электролиттердің тасымалдау қасиеттерін талдауда.

Қарапайым түсінік: әлсіз электр өрісінде иондар өздерінің иондық атмосферасымен бірге қозғалады, ал күшті өрісте иондық атмосфера толық қалыптасып үлгермейді. Соның нәтижесінде иондардың қозғалысына кедергі азайып, электрөткізгіштік артады.

ВИН ЭФФЕКТІСІ

Өте күшті электр өрісі әсерінен иондардың қозғалысы максимал болады

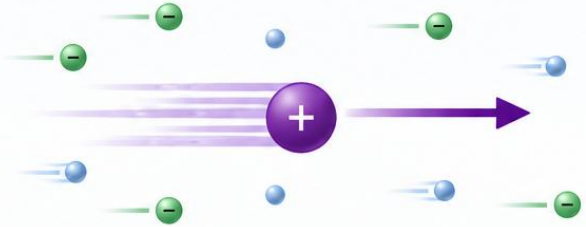
Қалыпты жағдайда



Иондық атмосфера бар. Релаксациялық және электрофоретикалық эффектілер ионның қозғалысын тежейді.

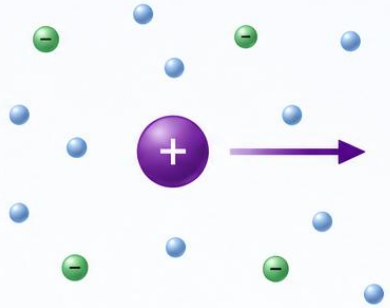
Өте күшті
электр өрісі (E → өте үлкен)

Иондар өте үлкен жылдамдықпен қозғалады.



Иондық атмосфера қайта түзіліп үлгермейді. Релаксациялық эффект те, электрофоретикалық эффект те болмайды.

ВИН ЭФФЕКТІСІНДЕ



Иондар еркін қозғалады. Электрөткізгіштік максимал мәнге жетеді.

ВИН ЭФФЕКТІСІ –

өте күшті тұрақты электр өрісінің әсерінен иондық атмосфераның жойылып, иондардың қозғалысына кедергі келтіретін эффектілердің (релаксациялық және электрофоретикалық) болмай қалуы.

ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР:

- Катион
- Анион
- Еріткіш молекуласы (H_2O)
- Иондық атмосфера
- Катионның қозғалысы

НӘТИЖЕ:

- ✓ Иондық атмосфера жойылады
- ✓ Релаксациялық эффект болмайды
- ✓ Электрофоретикалық эффект болмайды
- ✓ Иондар еркін қозғалады

ЭЛЕКТРӨТКІЗГІШТІК МАКСИМАЛ БОЛАДЫ

Есте сақтаңыз! Вин эффектісі тек өте күшті электр өрісінде байқалады. Кәдімгі жағдайда иондардың қозғалысын иондық атмосфера әрқашан тежейді.

ВИН ЭФФЕКТІСІ

Қалыпты жағдайда (өріс салыстырмалы түрде әлсіз)



Вин эффектісі жағдайында (өріс өте күшті)



ФОРМУЛА-1 КӨЛІГІ ӨТЕ ЖОҒАРЫ ЖЫЛДАМДЫҚПЕН КЕТКЕНДЕ, ШАҢ ОНЫҢ АРТЫНАН ҚАЛЫП ҚОЯДЫ.

Дебай–Фалькенгаген эффектісі – жоғары жиілікті айнымалы электр өрісінің әсерінен электролит ерітіндісіндегі иондық атмосфераның қалыптасуы мен қайта құрылуына уақыт жетіспеуі нәтижесінде электрөткізгіштіктің арту құбылысы.

Физикалық механизмі:

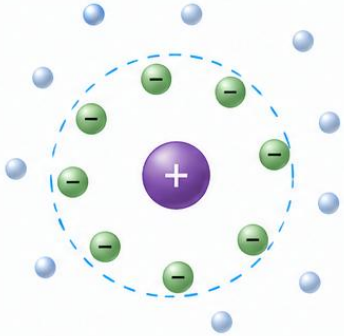
- Төмен жиілікте иондық атмосфера электр өрісінің өзгерісіне ілесіп, иондардың қозғалысына кедергі келтіреді.
- Жоғары жиілікте электр өрісі бағытын өте жылдам өзгертетіндіктен, иондық атмосфера қайта қалыптасып үлгермейді.
- Нәтижесінде релаксациялық әсер әлсіреп, ерітіндінің электрөткізгіштігі артады.

$$\lambda = \lambda_\infty - \frac{\lambda + 2A_э\sqrt{c}}{1 - A_p\sqrt{c}} + B \cdot c \qquad \lambda = \lambda_\infty - \frac{(2A_э + \lambda_\infty A_p)\sqrt{c}}{1 - aB\sqrt{c}},$$

ДЕБАЙ–ФАЛЬКЕНГАГЕН ЭФФЕКТІСІ

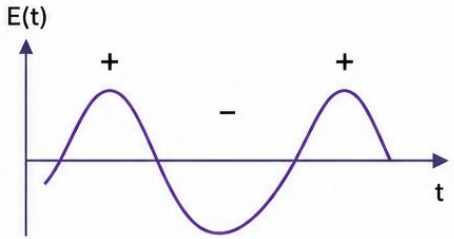
Жоғары жиілікті айнымалы электр өрісі әсеріндегі иондардың қозғалысы

1. Айнымалы өріс қосылады



Катионның айналасында иондық атмосфера бар.

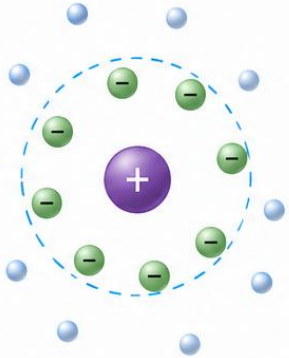
2. Жоғары жиілікті айнымалы өріс



Өріс бағыты өте тез өзгереді (жиілігі өте жоғары).

Иондар мен иондық атмосфера қайта түзілуге үлгермейді.

3. Нәтиже – Дебай–Фалькенгаген эффектісі



Иондық атмосфера сақталады.

↓

Релаксациялық эффект болмайды, ал электрофоретикалық эффект сақталады.

ҚОРЫТЫНДЫ:

Жоғары жиілікті айнымалы өрісте релаксациялық эффект жойылады, электрофоретикалық эффект сақталады.

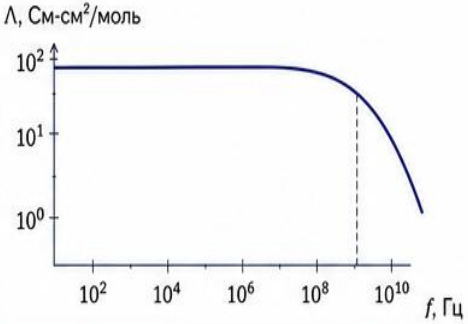
Сондықтан электрөткізгіштік артады, бірақ Вин эффектісіндегідай максимал мәнге жетпейді.

ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР

- Катион
- Анион
- Еріткіш молекуласы (H_2O)
- Иондық атмосфера
- Катионның қозғалысы

4. Фолькенгаген эффекті (жоғары жиіліктер аймағы)

Жиілігі өте жоғары айнымалы токта электролиттердің эквиваленттік электрөткізгіштігі азаяды.



Түсіндірме:
Жоғары жиіліктерде иондық атмосфера ионға ерісе алмайды → ион мен қарсы заряд арасындағы байланыс әлсірейді → тиімді заряд және өткізгіштік азаяды.

Маңызы: Фолькенгаген эффекті релаксациялық эффектімен байланысты және әдетте $f > 10^5$–10^6 Гц жиіліктерде байқалады.

5. Иондардың тасымалдау сандары

Тасымалдау саны – токтың қандай бөлігі катиондар немесе аниондар арқылы өтетінін көрсетеді.

$$t_+ = \frac{I_+}{I_+ + I_-}, \quad t_- = \frac{I_-}{I_+ + I_-}, \quad t_+ + t_- = 1$$

I_+, I_- – тиісінше катиондар мен аниондар тасымалдайтын токтар.

6. t_+ және t_- мәндеріне әсер ететін факторлар

- Ионның қозғалғыштығы (көбірек болса, t үлкен)
- Гидратация дәрежесі (күшті гидратация → қозғалғыштық төмен)
- Ионның өлшемі және заряды
- Еріткіштің табиғаты және температурасы

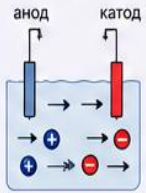
Мысал (25 °C, шексіз сұйылтуда)

Электролит	t_+	t_-
KCl	0,49	0,51
HCl	0,83	0,17
CH_3COOK	0,48	0,52

7. Тасымалдау сандарын анықтау әдістері

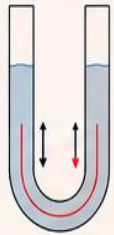
Хитторф әдісі (концентрациялық әдіс)

1. Электролизде ерітіндінің концентрациясының өзгерісі өлшенеді (анод және катод маңында).
2. Концентрация өзгерісінен t_+ немесе t_- есептеледі.



Қозғалмалы шекара әдісі

1. U-тәрізді түтікке электролит ерітіндісі және индикатор қосылады.
2. Ток өткенде катиондар мен аниондар шекараға карай жылжиды.
3. Шекараның орны ауысуы бойынша t_+ және t_- анықталады.

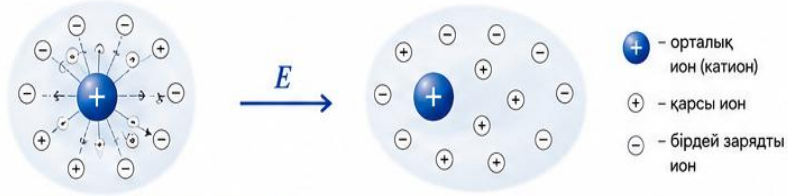


Қорытынды ой: электролит ерітінділеріндегі заряд тасымалдануы иондық атмосфераның құрылымына және өрістің жиілігі мен кернеулігіне тәуелді.

ЭЛЕКТРОФОРЕТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ РЕЛАКСАЦИЯЛЫҚ ЭФФЕКТЕР. ВИН ЖӘНЕ ФОЛЬКЕНГАГЕН ЭФФЕКТІЛЕРІ

1. Электрофоретикалық эффект

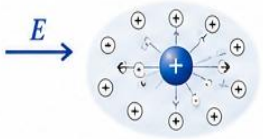
Сыртқы электр өрісінің әсерінен иондардың қозғалуы нәтижесінде иондық атмосфера деформацияланады.



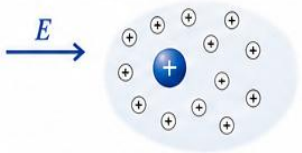
2. Релаксациялық эффект

Өріс өзгерген кезде иондық атмосфераның бастапқы тепе-теңдік күйіне қайта келуі белгілі бір уақытты талап етеді. Бұл құбылыс айнымалы (переменный) электр өрістерде байқалады.

Өріс кенеттен қосылғанда



Иондық атмосфера «өрісті қуып жетпейді»



3. Вин эффекті (төмен жиіліктер, тұрақты ток аймағы)

Өріс кернеулігінің артуымен иондардың қозғалғыштығы өседі, өйткені қарсы зарядталған иондарды өз жағына тарту күші артады.



Түсіндірме:
Үлкен E өрістерде иондық бұлт қарсы ионды «кууа» үлгермейді → тиімді заряд азаяды → қозғалғыштық артады.

Негізгі идея: күшті электр өрістерде иондық атмосфера деформацияланып, иондардың қозғалысы мен ерітіндінің өткізгіштігі өзгереді.

Қолданылуы:

- Электролит ерітінділерінің жоғары жиіліктегі электрөткізгіштігін зерттеуде;
- Иондық атмосфераның релаксация уақытын анықтауда;
- Электролиттердің электрлік және динамикалық қасиеттерін зерттеуде.

Вин және Дебай–Фалькенгаген эффектілерінің айырмашылығы

Салыстыру көрсеткіші	Вин эффектісі	Дебай–Фалькенгаген эффектісі
Өріс түрі	Күшті электр өрісі	Жоғары жиілікті айнымалы электр өрісі
Негізгі себеп	Иондық атмосфераның бұзылуы немесе әлсіреуі	Иондық атмосфераның өріс өзгерісіне ілесе алмауы
Нәтижесі	Электрөткізгіштік артады	Электрөткізгіштік артады
Негізгі параметр	Өріс кернеулігі	Өріс жиілігі

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.