

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія природничих дисциплін

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

**з навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти
Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів**

за темою - Електричний струм у металах і електролітах

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 26.09.2022 № 9

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу ХНУВС
Протокол від 19.09.2022 № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 23.09.2022 № 9

Розглянуто на засіданні циклової комісії природничих дисциплін протокол
від 12.09.2022 № 3

Розробник: викладач циклової комісії природничих дисциплін, спеціаліст
першої категорії, Москалик В.М.

Рецензенти:

1. Завідувач відділення фахової підготовки навчального відділу КЛК ХНУВС,
к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.
2. Доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного
університету імені Михайла Остроградського, к.т.н., доцент Черниш А.А.

План лекції

1. Класична електронна теорія електропровідності.
2. Залежність опору від температури.
3. Закон Джоуля-Ленца.
4. Термоелектричні явища. Явище Зеебека. Явище Пельтьє.
5. Електролітична дисоціація. Електроліз.
6. Застосування електролізу в техніці.
7. Перший закон Фарадея.
8. Другий закон Фарадея.
9. Заряд одновалентного іона.
10. Перетворення хімічної енергії в електричну.

Рекомендована література:

Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

Додаткова

1. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
2. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
4. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серєда В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

Текст лекції

1. Класична електронна теорія електропровідності

Електронна теорія пояснює різні властивості речовини існуванням і рухом у ній електронів.

У класичній електронній теорії електрони провідності розглядають як

електронний газ, подібний до ідеального одноатомного газу. При цьому припускають, що рух електронів підпорядковується законам класичної механіки Ньютона.

Взаємодією електронів між собою нехтують і вважають, що вони взаємодіють тільки з позитивними іонами ґрат. За цією теорією електронний газ має підпорядковуватись усім законам ідеального газу. Згідно з законом рівномірного розподілу енергії за степенями вільності, на один електрон припадає середня кінетична енергія теплового руху

$$E_k = \frac{3}{2} kT,$$

де k - стала Больцмана; T – температура (на кожний степінь вільності припадає енергія, яка дорівнює $\frac{1}{2} kT$, електрон розглядають як матеріальну точку; отже, вільний електрон має три степені вільності). У процесі теплового руху електрони зазнають співударів. Шлях, який проходять електрони між двома послідовними співударами, називають довжиною вільного пробігу (λ). Припускають, що при кожному співударі електрон повністю передає свою енергію іонам ґрат і початкова швидкість наступного руху електрона дорівнює нулю.

2. Залежність опору від температури

Виходячи з електронної теорії електропровідності металів, можна пояснити залежність опору провідника від температури. З підвищенням температури його питомий опір збільшується, а електропровідність зменшується. Проаналізувавши вираз, побачимо, що електропровідність пропорційна концентрації електронів провідності і середній довжині вільного пробігу (λ), тобто чим більше (λ), тим меншою перешкодою для впорядкованого руху електронів є співудари. Електропровідність обернено пропорційна середній тепловій швидкості (u_T).

Теплова швидкість при підвищенні температури зростає пропорційно \sqrt{T} , що веде до зменшення електропровідності і збільшення питомого опору провідників. Аналізуючи формулу, можна, крім того, пояснити залежність σ і ρ від роду провідника.

3. Закон Джоуля – Ленца

На основі класичної електронної теорії провідності металів можна пояснити закон Джоуля — Ленца.

Електрони рухаються упорядковано під дією сил поля. Як раніше, вважатимемо, що в момент співудару з позитивними іонами кристалічних ґрат електрони повністю передають їм свою кінетичну енергію. До кінця вільного пробігу швидкість електрона $u = eE(t)/m_e$, а кінетична енергія

$$\frac{1}{2} m_e u^2 = \frac{e^2 (t)^2 E^2}{2m_e} = \frac{e^2 (\lambda)^2 E^2}{2m_e (u_t)^2}.$$

Потужність, яку виділяє одиниця об'єму металу (густина потужності), дорівнює добутку енергії одного електрона на кількість співударів за секунду $(u_T)|(\lambda)$ і на концентрацію n електронів:

$$\omega = \frac{ne^2 (\lambda)}{2m_e (v_T)} E^2.$$

Врахувавши, маємо

$$\omega = \sigma E^2 = \frac{E^2}{\rho}$$

— закон Джоуля — Ленца.

Якщо нас цікавить енергія Q , яку виділяє провідник завдовжки l , площею поперечного перерізу S за час t , то вираз треба помножити на об'єм провідника $V = Sl$ і час t :

$$Q = \frac{ne^2 (\lambda)}{2m_e (u_T)} E^2 lSt.$$

Врахувавши, що $E=U/l = IR/l$ (де R - опір провідника), дістанемо закон Джоуля — Ленца в іншому вигляді:

$$Q = I^2 Rt.$$

4. Термоелектричні явища. Явище Зеебека. Явище Пельтьє

Явище Зеебека

Теплову дію електричного струму, тобто перетворення енергії електричного струму в теплоту. А чи можна в механічній дії перетворити теплоту в електричну енергію? Виявляється, що можна.

Виконаємо такий дослід. Якщо спаяти кінці двох металевих дротів, наприклад мідного і залізного, а потім нагріти один із спаїв, а другий лишити холодним, то в такому колі виникає електричний струм, який можна виявити за

допомогою гальванометра. Це явище відкрив у 1821 р. Т. Зеебек.

Суть його в тому, що в замкненому електричному колі, складеному з різних металів, виникає термоелектрорушійна сила, якщо спаї матимуть різну температуру. Два метали, спаяні своїми кінцями, назвали термопарою, або термоелементом.

Струм, добутий від такої термопари, називають термоелектричним струмом.

ТермоЕРС термопари залежить від різниці температур спаїв:

$$\varepsilon = \varepsilon (T_2 - T_1) = \varepsilon_0 \Delta T,$$

де ε_0 — питома термоЕРС, яка залежить не тільки від матеріалу провідників, а й від інтервалу температур; T_2 T_1 — температури відповідно гарячого і холодного спая.

Явище Пельтьє

До термоелектричних явищ належить також явище Пельтьє, яке полягає в тому, що коли через термопару, спаї якої мають однакову температуру ($T_1 = T_2$), від зовнішнього джерела ЕРС пропускати електричний струм, то температура одного спая починає підвищуватись, а другого — знижуватись, тобто додатково до джоулевої теплоти в одному спаї поглинатиметься, а в другому виділятиметься теплота Пельтьє Q_p . Ця теплота пропорційна силі струму I і часу його проходження t (тобто кількості електрики):

$$Q_p = nIt,$$

де n — коефіцієнт Пельтьє, який залежить від природи металів.

Для збільшення термоелектрорушійної сили кілька термопар з'єднують у батарею.

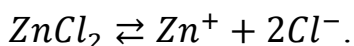
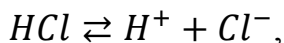
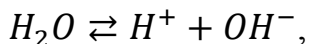
1. Електролітична дисоціація. Електроліз

Електролітична дисоціація

Хорошими провідниками електричного струму є розплавлені метали і солі, а також розчини кислот, солей і лугів, які називають електролітами. Заряд в електролітах переносять іони. Таку провідність називають іонною. Дистильована вода, концентрована сірчана або інші концентровані кислоти не проводять електричного струму. Проте, якщо в дистильовану воду додати трохи солі, то вона стає провідником електричного струму. Це пояснюється тим, що під дією розчинника (води) молекули розчиненої речовини розпадаються на заряджені іони і виникають рухом заряди, потрібні для

проходження електричного струму. Такий процес називають електролітичною дисоціацією. Внаслідок дисоціації в розчині утворюються позитивні (катиони) іони металів і водню та негативні (аніони) іони кислотних залишків і гідроксильні групи.

Процес дисоціації записують так:



У цьому запису стрілки, направлені вправо, відповідають дисоціації. Стрілки, направлені вліво, відповідають оберненому до дисоціації процесу - рекомбінації (або молекуляції); в ньому різнойменно заряджені іони, сполучаючись, утворюють нейтральні молекули.

Внаслідок процесів дисоціації і рекомбінації, які відбуваються одночасно, в розчині встановлюється рухома (динамічна) рівновага між дисоційованими і недисоційованими молекулами.

У стані динамічної рівноваги розчин характеризується ступенем дисоціації α – відношенням числа n'_0 молекул, які дисоціювали на іони, до загального числа n_0 молекул речовини:

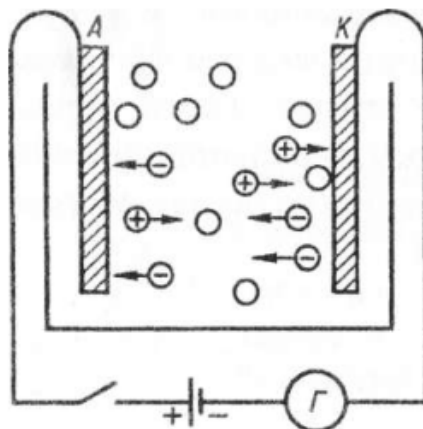
$$\alpha = n'_0/n_0.$$

Ступінь дисоціації залежить від діелектричної проникності розчинника.

Чим більше ϵ , тим менша сила взаємодії іонів, які утворюють молекулу, і тим легше, за законом Кулона, можуть бути розірвані внутрішньо-молекулярні зв'язки. Ступінь дисоціації залежить також від концентрації розчину і його температури. При підвищенні температури кінетична енергія молекул зростає, а це веде до збільшення ймовірності іонізації, зумовленої співударами молекул. Ступінь дисоціації характеризує кількість носіїв струму в рідині – іонів протилежних знаків.

Електроліз

Якщо зовнішнього електричного поля немає, то іони протилежних знаків і молекули, що не розпалися, які утворюють розчин, перебувають у стані хаотичного руху. Якщо в розчині створити електричне поле, рух іонів буде впорядкований. Електричне поле в електроліті можна створити, опустивши в нього електроди - провідники, з'єднані з джерелом струму.



Під дією електричного поля катіони рухаються до негативного електрода К (катода), а аніони - до позитивного електрода А (анода). Слід зазначити, що швидкість руху іонів невелика (наприклад, при $E = 10^2$ В/м швидкість іонів водню приблизно $3,3 \cdot 10^{-5}$ м/с). В електроліті виникає напрямлений рух електричних зарядів, тобто виникає електричний струм. Сумарний струм дорівнює відношенню заряду (обох знаків), що проходить через даний переріз розчину, до часу. Густина електричного струму в електроліті можна визначити за законом Ома:

$$j = E/\rho,$$

де ρ - питомий опір електроліту. Опір електролітів, як і опір провідників, можна обчислити за формулою

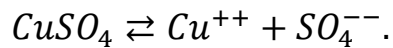
$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Питомий опір електроліту від підвищення температури зменшується, а питома електропровідність збільшується.

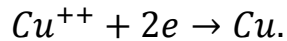
Проходження електричного струму через електроліт супроводиться явищем електролізу – виділенням на електродах речовин, що входять до складу електроліту. Струм в електролітах зв'язаний з перенесенням речовини, тому електроліти на відміну від металів називають провідниками другого роду.

2. Застосування електролізу в техніці

Явище електролізу широко використовують у техніці і промисловості. Електролізом добувають чисті речовини: залізо, марганець, хром, мідь, цинк, водень, хлор, фтор тощо. Під час добування, наприклад, чистої міді (рафінування міді) з розчину сульфату міді (мідного купоросу) спочатку відбувається дисоціація:



Потім під дією електричного поля катіони міді рухаються до катода і нейтралізуються на ньому, внаслідок чого утворюються атоми міді:



Широко використовують гальванотехніку, за допомогою якої металеві деталі і прилади покривають антикорозійними покриттями.

Поверхню металевих предметів, які легко окислюються, часто покривають металами, які важко окислюються: нікелем, сріблом, цинком тощо. Усі бачили, наприклад, нікельовані речі: самовари, чайники, ковзани, ножі, виделки тощо.

Електричний спосіб покриття предметів металами, які не окислюються, називають гальваностегією. Цей спосіб дуже дешевий, зручний і швидкий.

Предмет, який треба покрити, наприклад, шаром нікелю, старанно очищають від бруду і слідів жиру, після чого занурюють в електролітичну ванну. У ванну наливають аміачний розчин подвійної солі нікелю. За анод беруть кусок нікелю, а катодом є сам предмет. Пропускаючи деякий час струм, дістають потрібної товщини густий шар нікелю.

Для сріблення або золочення використовують розчини солей золота й срібла.

Електролітичне осадження металу на поверхню предмета для відтворення форми називають гальванопластикою. Гальванопластику винайшов у 1836 р. російський учений Б. С. Якобі. Відкриття Якобі швидко поширилось у промисловості.

Гальванопластику застосовують для виготовлення копій з барельєфів, статуй, кліше, випуску кредитних білетів та інших паперів тощо.

У поліграфічній промисловості гальванопластику використовують для виготовлення гальванопластичних копій із цинкографічних кліше та ін. Це дає можливість випускати ілюстровані видання великими тиражами.

Електрохімію використовують для синтезу органічних і неорганічних сполук і добування сплавів.

3 Перший закон Фарадея

Хімічні дії електричного струму вперше були відкриті в 1800 р., але тільки в 1833 р. М. Фарадей установив закони електролізу. Перший закон Фарадея формулюють так:

маса m речовини, яка виділяється на електроді, пропорційна електричному заряду Q , що пройшов через електроліт:

$$m = kQ,$$

або

$$m = kIt,$$

де $I = Q/t$ – сила постійного струму, що проходить через розчин за час t .

Коефіцієнт пропорційності k називають електрохімічним еквівалентом речовини. Він дорівнює відношенню маси речовини, яка виділилась на електроді під час електролізу, до заряду, що пройшов через електроліт. Фізичний зміст першого закону Фарадея можна зрозуміти, знаючи механізм іонної провідності й електролізу. Чим більша кількість електронів пройде через електроліт, тим більша кількість іонів підійде до електронів. Позитивні іони, стикаючись з катодом, одержують електрони, яких не вистачало, і осідають на катоді у вигляді нейтральних атомів. Негативні іони, стикаючись з анодом, віддають зайві електрони і осідають на аноді. Кожний іон, який осідає на електроді, переносить з собою деякий електричний заряд. Отже, повний заряд, який переноситься всіма іонами, точно пропорційний повній кількості іонів, що осіли на електродах, тобто масі речовини, яка виділяється.

4 Другий закон Фарадея

Другий закон Фарадея формулюють так: електрохімічний еквівалент речовини прямо пропорційний відношенню атомної (молекулярної) маси A до валентності n :

$$k = \frac{1}{F} \frac{A}{n}.$$

Відношення атомної (молекулярної) маси до валентності називають хімічним еквівалентом.

Електрохімічні еквіваленти речовин пропорційні їх хімічним еквівалентам.

Фізичний зміст сталої Фарадея F можна з'ясувати, якщо підставити значення k , яке визначаємо

$$m = \frac{1}{F} \frac{A}{n} Q.$$

Вираз називають об'єднаним законом електролізу Фарадея:

Стала Фарадея характеризує електричний заряд, який треба пропустити через розчин електроліту, щоб виділити на електроді масу будь-якої речовини, яка чиселено дорівнює хімічному еквіваленту.

5 Заряд одновалентного іона

Цей заряд переносять іони. Число іонів у масі речовини, яка чисельно дорівнює хімічному еквіваленту, становить N_A/n , де N_A стала Авогадро; отже,

$$F = Q_i \frac{Na}{n};$$

тут Q_i - заряд іона. Значення сталої Фарадея визначено експериментально:

$$F = 9,648 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль.}$$

Можна визначити електричний заряд будь-якого іона:

$$Q_i = \pm \frac{nF}{Na}$$

Обчислимо заряд одновалентного ($n=1$) іона:

$$Q = \pm \frac{F}{Na} = \pm \frac{9,648 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = \pm 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Оскільки одновалентний іон-це атом, який при дисоціації позбувся одного електрона (позитивний іон), або такий, що має один зайвий електрон (негативний іон), знайдене значення заряду одновалентного іона збіглося із значенням заряду e електрона.

Слід зауважити, що значення заряду електрона, визначене за законами електролізу, збігається із значеннями заряду електрона, визначеними іншими способами.

6. Перетворення хімічної енергії в електричну

Контактні різниці потенціалів виникають не тільки від стикання двох металів, а й на межах метал - електроліт і електроліт - електроліт.

Якщо металевий електрод занурено в розчин, то негативні іони електроліту, підходячи до поверхні металу, вкриватимуть позитивні іони з кристалічних ґрат. Водночас відбуватиметься й зворотний процес осідання іонів металу на електроді. Найсприятливішим для зворотного процесу буде випадок, коли катіони електроліту є іонами того самого металу, наприклад мідний електрод у розчині CuSO_4 .

Внаслідок переходу іонів металу в розчин метал заряджається негативно, а розчин - позитивно, тобто виникає електричне поле, яке напрямлене від розчину до металу і перешкоджає дальшому розчиненню металу. Якщо спочатку мав перевагу зворотний процес осадження іонів з розчину на електрод, то останній зарядиться позитивно.

В обох випадках різниця потенціалів, яка встановилася між металом і розчином, зрівнює швидкості розчинення і кристалізації електрода; цю

різницю потенціалів називають електролітичним потенціалом певного металу в певному розчині.

Якщо в той самий розчин занурити два електроди з різних металів, то між електродами встановиться різниця потенціалів, яка дорівнює різниці їх електролітичних потенціалів.

Отже, енергія хімічної взаємодії металу з електролітом перетворюється в енергію електричного поля.

Пристрої, які застосовують для безпосереднього перетворення енергії хімічної реакції в електричну енергію, називають *гальванічними елементами*.