

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
Кафедра фізики

Єфременко В.Г.

ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОПАРИ

Методичні вказівки
по виконанню лабораторної роботи № 51
по курсу «Фізика»
для студентів усіх спеціальностей
всіх форм навчання

Маріуполь
2019

УДК 540.145

Градування термопар: методичні вказівки по виконанню лабораторної роботи №51 з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей всіх форм навчання / Сост. В.Г Єфременко.-Маріуполь: ПДТУ, 2019-13с.

Містять основні теоретичні положення по термоелектричним явищам, що виникають при контакті різних металів; відомості щодо використання термопар; опис методики вимірювань і обробки їх результатів.

Составник

проф. Єфременко В.Г.

Рецензент

доц. Цветкова Е.В.

Затверджено

на засіданні кафедри фізики,
протокол № 4 від 11 жовтня 2019 р.

Затверджено

на засіданні методичної комісії
факультету інформаційних технологій,
протокол № 4 від 11 листопада 2019 р.

©ДВНЗ «ПДТУ», 2019

©В.Г.Єфременко, 2019

ВСТУП

При вивченні електричних властивостей твердих тіл важливо засвоїти такі поняття як енергетичний стан електрона, потенційна яма, робота виходу, енергія (рівень) Фермі. Так як ці параметри для різних металів відрізняються, то при контакті металів виникає різниця потенціалів, а при різних температурах спаїв виникає термо-ЕРС. Даний ефект знайшов практичне застосування в пристроях для визначення температури. Тема особливо актуальна для студентів металургійних спеціальностей, які в подальшій своїй роботі будуть користуватися термопарами.

1 ЦІЛЬ РОБОТИ

Вивчити фізичні основи роботи термопари і визначити її чутливість.

Вказівки з підготовки до лабораторної роботи:

1. Вивчить цей посібник, а також теоретичний матеріал по темі лабораторної роботи.
2. Розберіть як працює пристрій лабораторної установки і методику вимірювань, що застосовуються в роботі.
3. Дайте відповіді на контрольні питання.

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Контактна різниця потенціалів

Якщо привести два різних метала до контакту, між ними виникне різниця потенціалів, яка називається контактною.

Для пояснення виникнення контактної різниці потенціалів скористаємося моделлю вільних електронів. Згідно квантової теорії електрони в металі знаходяться в дозволених енергетичних станах (займають так звані енергетичні рівні), які в свою чергу утворюють дозвалені енергетичні зони. Оскільки

надалі йтиметься про валентні (вільні) електрони, які беруть участь в процесі електропровідності, то відповідно розглядати будемо валентну зону і її заповнення.

Електрони в металі знаходяться в усередненому полі позитивно зарядженої кристалічної ґратки. Тому потенційна енергія електронів негативна і можна сказати, що ґратка утворює для них потенціальну яму глибиною E_p ; при цьому значення E_p відраховується від нульового рівня (на схемах вниз, див. рис.1), вважаючи, що потенційна енергія електрона поза металу дорівнює нулю.

Електрони провідності не можуть самовільно залишати метал в помітній кількості. Покинути метал вдається тільки тим електронам, енергія яких виявляється достатньою для подолання потенційного бар'єру, що має місце на поверхні. Сили, що зумовлюють цей бар'єр, мають таке походження: випадкове видалення електрона від зовнішнього шару позитивних іонів решітки призводить до виникнення надлишкового позитивного заряду в тому місці, яке покинув електрон. Кулонівська взаємодія ґратки з цим зарядом змушує електрон, швидкість якого не дуже велика, повернутися назад. Таким чином, окремі електрони весь час залишають поверхню металу, віддаляються від неї на кілька міжатомних відстаней і потім повертають назад. В результаті метал виявляється оточеним тонкою хмарою електронів. Ця хмара утворює спільно з зовнішнім шаром іонів подвійний електричний шар. Сили, що діють на електрон, в такому шарі, спрямовані всередину металу. Саме тому електрони перебувають в потенційній ямі.

Повна енергія електронів складається з потенційної і кінетичної енергій. Згідно з принципом Паулі в системі взаємодіючих частинок не може бути більше двох¹ електронів з однаковою енергією (тобто стан який описується однаковими квантовими числами не має місця); тому з'являється відмінність кінетичної енергії електронів, а отже і відмінність повної енергії. В результаті електрони заповнюють енергетичні рівні парами з

¹ Допускається стан з різним спіновим числом $s=\pm\frac{1}{2}$

самого нижчого до рівня Фермі. Всі рівні енергії аж до рівня Фермі E_f будуть заповнені електронами, рівні вище – будуть вакантними, а енергія Фермі E_f представляє собою максимальну кінетичну енергію, яку можуть мати електрони провідності в металі при абсолютному нулі. Слід зазначити, що величина E_f пропорційна концентрації електронів провідності n .

Найменша енергія, яку необхідно надати електрону, щоб перемістити його з металу у вакуум, називається роботою виходу A . Робота виходу A відраховується від верхнього зайнятого електронами рівня Фермі E_f до нульового рівня (рис. 1). Робота виходу має величину порядку декількох еВ, залежить від роду металу і стану його поверхні.

На рисунку 1 дана схема рівнів енергій електронів для різних металів у відсутності контакту (до дотику). Рівень Фермі в першому металі лежить вище, ніж у другому.

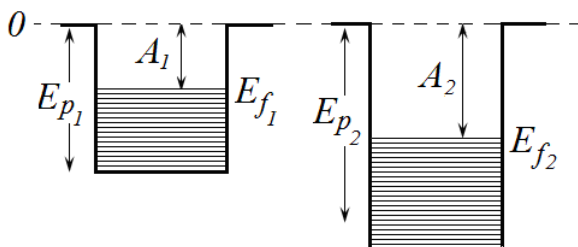


Рисунок 1 – Схема енергетичних рівнів електронів в металах

Приведемо два метала 1 і 2 в безпосередній контакт один з одним (рис. 2 та 3). Так як енергії Фермі E_{f1} і E_{f2} у різних металах різні, це означає, що різні і концентрації електронів провідності n_1 і n_2 . Нехай для визначеності $E_{f2} > E_{f1}$ і, отже, $n_2 > n_1$. В цьому випадку почнеться процес вирівнювання концентрацій електронів, в результаті якого електрони будуть переходити з металу 2 в метал 1. Дійсно, в другому металі є заповнені рівні, розташовані вище рівня Фермі E_{f1} першого металу. Електрони з цих рівнів можуть переходити на відповідні

вільні рівні металу 1, що лежать вище того ж рівня E_{f1} . Зворотний перехід електронів з металу 1 в метал 2 неможливий, так як в другому металі всі рівні з енергією E_{f1} і нижче заповнені електронами. В результаті дифузії метал 2 буде заряджатися позитивно, а метал 1 – негативно. Потенціал металу 2 почне підвищуватися, а металу 1 – знижуватися. На самій межі виникне стрибок потенціалу $\Delta\phi$.

На рисунку 2 дана схема рівнів енергій електронів в металах при виникненні контакту між ними.

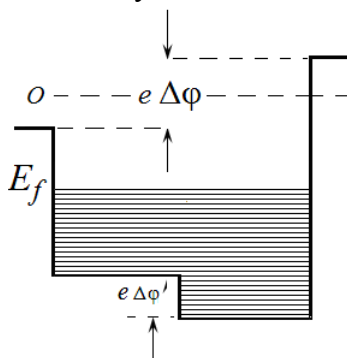


Рисунок 2 – Схема вирівнювання енергетичних рівнів при контакті двох металів

Коли різниця потенціалів $\Delta\phi$ досягне певної величини, дифузія припиниться. Це станеться, коли рівні Фермі обох металів зрівняються по величині, так як в цьому випадку в металі 1 вже не залишиться вільних рівнів, на які могли б переходити електрони з металу 2, а в металі 2 ще не звільняться рівні, на які могли б переходити електрони з металу 1. Отже, в стані рівноваги рівень Фермі стає однаковим в обох металах. Різницю потенціалів, яка виникла при цьому

$$\Delta\phi = \frac{A_2 - A_1}{e} \quad (2.1)$$

називають *зовнішньою контактною різницею потенціалів*, тому що вона встановлюється між точками, що лежать поза металами в безпосередній близькості до їх поверхні.

Між внутрішніми точками металів також є різниця потенціалів $\Delta\phi'$, яка визначається різницею потенціальних енергій електрона в металах, що контактують і називають її *внутрішньою різницею потенціалів*

$$\Delta\phi' = \frac{E_{p2} - E_{p1}}{e} \quad (2.2)$$

При визначенні величин (2.1) і (2.2) передбачалося, що метал знаходиться при абсолютному нулі температури. Однак цей результат залишається вірним і при інших температурах.

Слід особо підкреслити, якщо таку пару металів замкнути (створити електричний ланцюг), то ЕРС в ній буде відсутня і електричний струм проходити не буде, тому що в ланцюзі буде два ідентичних за властивостями контакта з однаковою контактною різницею потенціалів, тобто ЕРС в різних металах спрямовані назустріч один одному, а струми між з'ютами² В і С компенсують один одного (рис. 3 а). Вочевидь, щоб в ланцюзі з'явився електричний струм необхідно, щоб внутрішні різниці потенціалів з'ютів В і С були неоднаковими, тобто $\Delta\phi'_B \neq \Delta\phi'_C$. Це означає, що необхідно змінити хоча б один параметр, який впливає на виникнення $\Delta\phi'$. Саме енергія Фермі слабо, але залежить від температури і цього достатньо, щоб виявити ЕРС і наявність електричного струму в замкнутому ланцюзі різних металів при різній температурі з'ютів В і С.

2.2 Явище Зеебека

Якщо в замкнутому ланцюзі, що складається з двох різних металів, місця з'єднання (з'юти) знаходяться при різних температурах, то в ланцюзі виникає електрорушійна сила і проходить електричний струм (рис. 3 б). Якщо контакт в т.С розірвати, то між провідниками 1 і 2 в цьому місці буде існувати різниця потенціалів. Чим більше різниця температур ($T_B - T_C$), тим більше різниця потенціалів. Електрорушійну силу

² Переклад з російської - спай

(ЕРС), яка виникає внаслідок будь-яких теплових процесів називають термо-ЕРС. При зміні знака різниці температур спаїв змінюється напрямок струму, а отже, змінюється знак термо-ЕРС. Даний ефект був виявлений Т.І. Зеебеком в 1821 р. Існує також зворотний даному явищу ефект Пельтьє (виявлений в 1834 р.), який полягає в тому, що при протіканні струму через ланцюг, складений з різнорідних металів в одних з'ютах відбувається виділення, а в інших – поглинання тепла.

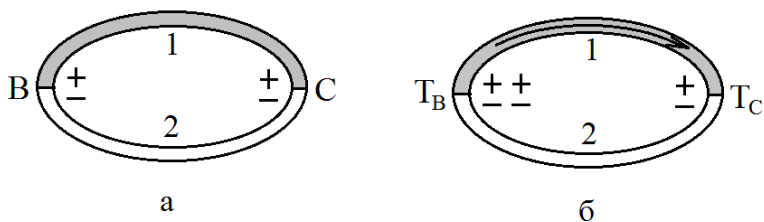


Рисунок 3 – Схеми для пояснення ефектів при контакті різнорідних металів

Ефект Зеебека обумовлений декількома причинами.

1. Рівень Фермі залежить від температури, тому внутрішня контактна різниця потенціалів при переході з одного металу в інший для з'ютів, що знаходяться при різних температурах, неоднакова і сума стрибків потенціалу для всього ланцюга відмінна від нуля.
2. Існує спрямований рух теплових електронів уздовж градієнта температури. Він виникає завдяки тому, що у нагрітого з'юта концентрація електронів, енергія яких $E > E_f$ більше, ніж у холодного. Отже, виникає дифузний потік, який призводить до надлишку негативного заряду на холодному з'юті.
3. Захоплення електронів фононами. Концентрація фононів більше у нагрітого з'юта, тому дрейф фононів (процес теплопровідності) відбувається в напрямку від більш нагрітого з'юта до холодного.

Таким чином, холодний злут має негативний потенціал, а більш нагрітий – позитивний.

Для підтримки постійного струму необхідно забезпечити сталість різниці температур спаїв. Отже термо-ЕРС

$$\varepsilon = \alpha(T_B - T_C) \quad (2.3)$$

де α – питома термо-ЕРС, або чутливість.

Явище Зеєбека використовується для визначення температур. Відповідний пристрій називається термопарою. Один злут термопари підтримується при постійній температурі (наприклад, при температурі навколишнього середовища), інший злут поміщають в середовище, температуру якого вимірюють. Про величину температури можна судити, по термо-ЕРС, яка вимірюється чутливим вольтметром. За допомогою термопар можна вимірювати як низькі, так і високі температури, з точністю порядку сотих часток градусів. Так термопара залізо-константан застосовується для вимірювання температур до 600°C і має чутливість $5,3 \cdot 10^{-5} \text{ В/К}$. Термопара платина-платинородій (90% платини і 10% родію), має чутливість $6 \cdot 10^{-6} \text{ В/град}$ і застосовується для вимірювання температур від десятка до тисяч градусів. Однак слід зазначити, що в загальному випадку коефіцієнт α залежить від температури складним чином, а для деяких пар металів в певному діапазоні температур навіть може змінювати знак (Рисунок 4). Тому кожна пара контактуючих металів повинна бути відградуйована індивідуально, з метою встановлення залежності $\alpha(T)$. Тільки в разі, якщо ця залежність лінійна можна говорити про можливість визначити питому термо-ЕРС термопари (чутливість) в досліджуваному діапазоні температур.

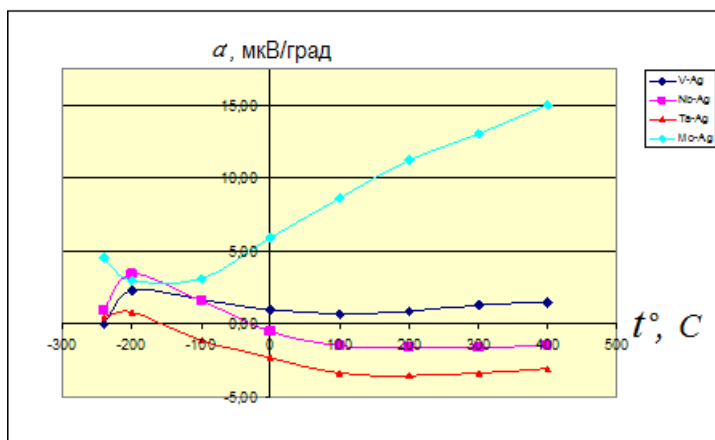


Рисунок 4 – Залежності питомої термо-ЕРС для деяких металів по відношенню до срібла

3 ОПИС УСТАНОВКИ І МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ

Схема установки для градування термопари показана на рис. 5. Використовується хромель-алюмеліва термопара. Для підтримки постійної температури холодний з'єд В термопари занурений в посудину з водою при кімнатній температурі, яку вимірюють термометром t_1 . З'єд С поміщений у посудину з маслом, яка має електронагрівач і забезпечена термометром t_2 . Термо-ЕРС вимірюють високочутливим потенціометром, інструкцію по роботі з яким дивись в додатку 8.

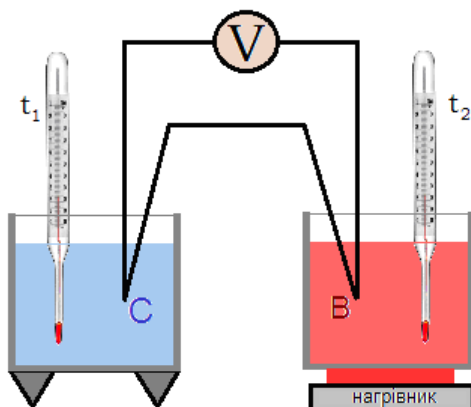


Рисунок 5 – Схема експериментальної установки

Мета експерименту: встановлення експериментальної залежності між різницею температур злутів та термо-ЕРС, по якій визначають питому термо-ЕРС для досліджуваного діапазону температури.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

1. Запишіть показання термометрів t_1 і t_2 .
2. Увімкніть електропіч; у міру нагрівання злота В через кожні 5-6°C записуйте температуру t_{2i} і відповідне показання вольтметра. Результати запишіть в табл.4.1

Таблиця 4.1

$$t_1 =$$

№п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
t_{2i}								
$\Delta t_i = t_{2i} - t_1$								
U, B								

3. Побудуйте графік залежності U від різниці температур Δt . Визначте за графіком чутливість термоелемента, як тангенс кута нахилу прямої:

$$\alpha = \operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta U}{\Delta(\Delta t)} \quad (4.1)$$

4. Визначте за допомогою даної термопари температуру Вашого тіла. Для цього витягніть з масла злит В, витріть масло і затисніть його в кулаці. Почекайте деякий час для встановлення рівноваги. Виміряйте напругу на термопарі. За графіком визначте Δt і розрахуйте Вашу температуру по формулі $t = t_1 + \Delta t$. Результат покаже на скільки якісно Ви провели вимірювання.

5. Зробіть висновки по роботі.

6 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поясніть поняття: потенційна яма, енергетичні рівні, рівень Фермі.
2. Що називається роботою виходу електрона?
3. Як виникає контактна різниця потенціалів?
4. Поясніть ефект Зеебека.
5. За рахунок яких ефектів виникає термо-е.р.с.?
6. Поясніть принцип дії термопари.
7. Розкажіть хід роботи і поясніть методику експерименту.

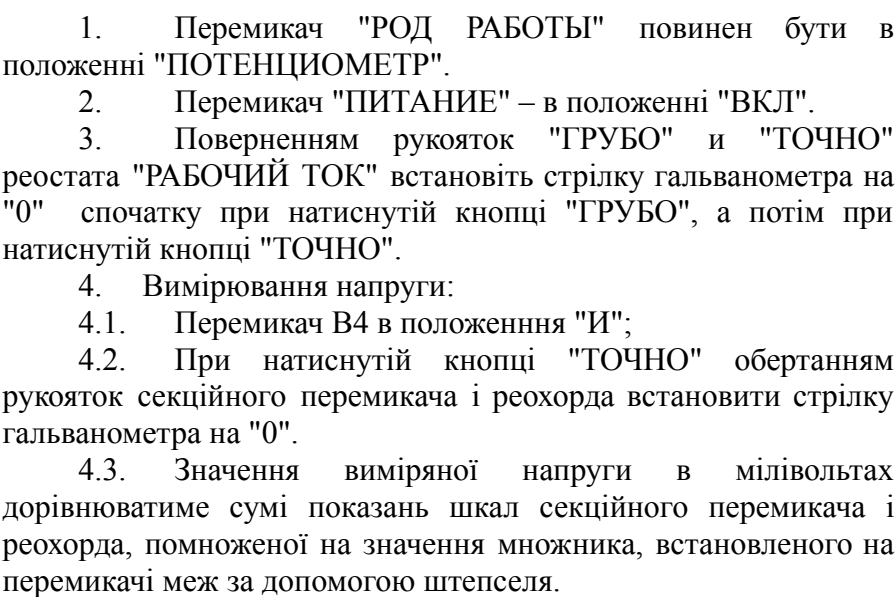
7 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Савельев И. В. Курс общей физики: учеб. пособие для втузов. В 3-х т. Т.3. / И. В. Савельев - М.: Наука, 1988.- 496 с.

2 Калашников С. Г. Электричество: учеб. пособие для втузов / С. Г. Калашников - М.: Физматлит, 2003. - 624 с.

8 ДОДАТОК

Короткий опис приладу ПП-63 і порядок роботи з ним.



- 13