

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний центр «Мала академія наук України»**  
**LIX Всеукраїнська учнівська олімпіада з фізики, м. Львів, 2025**  
**Експериментальний тур, 11-й клас**

**Умови та розв'язки**

**1. «Криптоніт»**

**Обладнання:** штангенциркуль пластиковий, магнітометр з мультиметром та джерелом живлення (інструкція з використання магнітометра додається), магніт (південний полюс позначений синьою точкою), викрутка, підкладки для регулювання висоти, два аркуші міліметрового паперу, досліджуваний зразок – криптоніт, шматок двостороннього скотчу для кріплення криптоніту та ножиці (групове).

**Вказівка:** Запропоновані для дослідження зразки криптоніту, мабуть, були завезені на Землю прибульцями, оскільки матеріали з такими магнітними властивостями ніколи не траплялись дослідникам раніше. Криптоніт буває двох видів: «північний» і «південний» («північним» називають той, до якого з обох боків (полюсів) притягається південний кінець стрілки компаса). Зразки одного виду відштовхуються, а різних видів притягуються, незалежно від того, якими поверхнями прикладати один до одного. Деякі дослідники висловили припущення, що криптоніт містить магнітні монополі (магнітні заряди), «північний» – одного знаку, а «південний» – протилежного, і вони взаємодіють аналогічно до точкових електричних зарядів.

**Завдання:** вивчити магнітні властивості досліджуваного зразка криптоніту.

А) Складіть установку та установіть нуль на шкалі магнітометра. Проградуйте магнітометр (встановіть коефіцієнт пропорційності між індукцією магнітного поля та показами мультиметра), використовуючи наявний магніт (уважайте, що на відстані 4,2 см від полюсу магніта вздовж його осі індукція магнітного поля становить 1 мТл ).

Б) Визначіть вид досліджуваного вами зразка криптоніту («північний» чи «південний»).

В) Встановіть залежність індукції магнітного поля **магніта** від відстані між центром магніта та магнітометром. Уважаючи цю залежність степеневою, визначіть показник степеня.

Порівняйте залежність від відстані індукції магнітного поля даного магніту з теоретичною залежністю напруженості поля електричного диполя.

До уваги: звичайний магніт можна розглядати як диполь, бо він має два полюси аналогічно до електричного диполя.

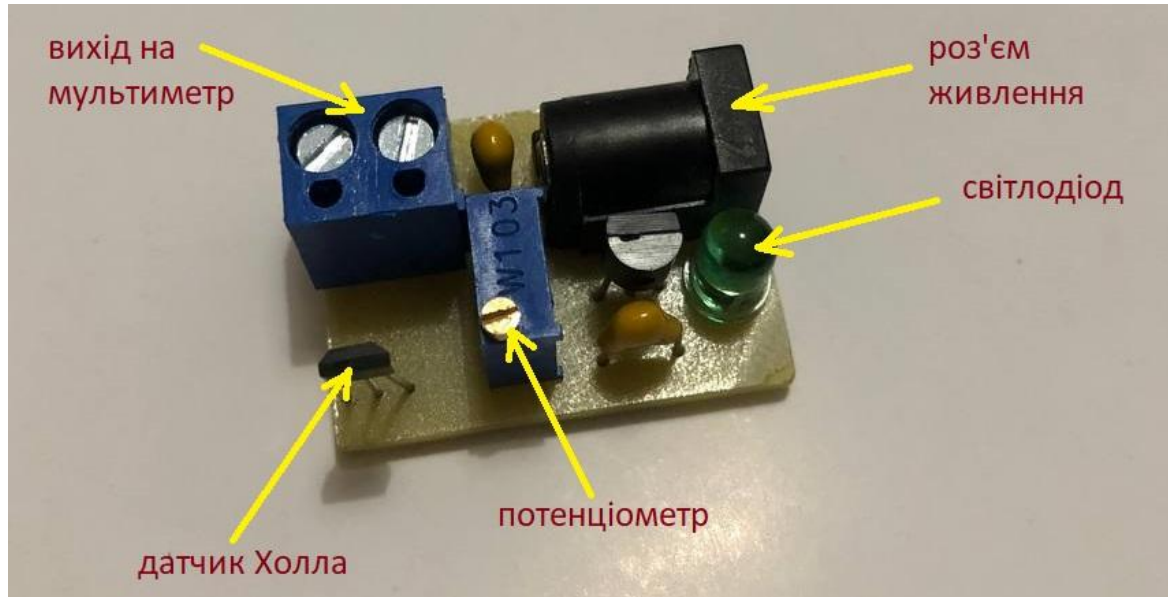
Г) Встановіть залежність індукції магнітного поля криптоніту від відстані до магнітометра та визначіть показник цієї залежності також вважаючи її степеневою.

Д) Спираючись на результати попереднього пункту, перевірте припущення, що зразок криптоніту містить магнітний монополь.

Е) Запропонуйте гіпотезу щодо внутрішньої структури зразка криптоніту.

## Магнітометр

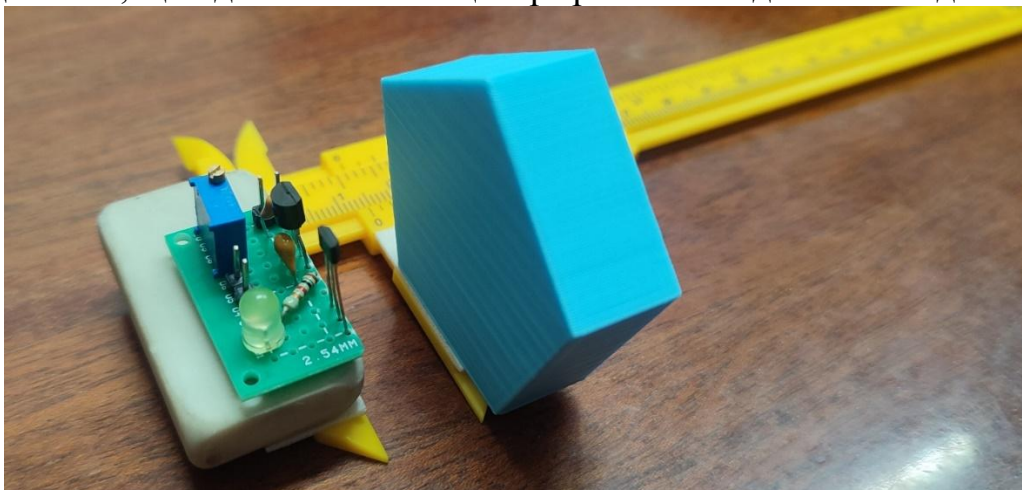
Використаний в задачі магнітометр побудований на основі датчика Холла. Принцип його роботи полягає у відхиленні носіїв заряду (електронів або дірок) силою Лоренца при проходженні струму крізь напівпровідник при наявності перпендикулярного магнітного поля. Внаслідок такого відхилення виникає поперечна різниця потенціалів, пропорційна індукції магнітного поля. Мікросхема 49Е містить такий датчик і підсилювач напруги. Чутливий до магнітного поля елемент знаходиться в центрі корпусу датчика Холла.



Для роботи магнітометра на нього потрібно подати напругу живлення 6-15 В, а до вихідного конектора (синього кольору) за допомогою викрутки під'єднати щупи мультиметра. **(УВАГА! Затискаючи гвинти надмірних зусиль не прикладати! Надійний контакт забезпечується при легкій фіксації щупів.)** Мультиметр працює в режимі вольтметра. Необхідний діапазон вимірювання вибираємо залежно від величини магнітного поля. Наявність напруги живлення показує світлодіод.

За допомогою потенціометра та викрутки встановлюється нульова вихідна напруга при відсутності магнітного поля.

Для виконання вимірювань магнітометр і досліджуваний зразок закріплюємо до губок штангенциркуля за допомогою двостороннього скотчу. Використовуємо додаткові підкладки для того, щоб датчик Холла і центр зразка знаходились на одній висоті.



## Розв'язання.

- 1) Підключаємо магнітометр до батарейки і до мультиметра, закріплюємо на одній з губок штангенциркуля так як описано в описі магнітометра.
- 2) Прибираємо магніт і «криптоніт» подалі від магнітометра. За допомогою викрутки встановлюємо нульову напругу на виході.
- 3) До другої губки штангенциркуля закріплюємо постійний магніт. Використовуємо додаткові підкладки так, щоб центр магніта був на рівні датчика Холла.
- 4) Встановлюємо магніт на такій відстані, для якої в умові вказана величина магнітної індукції. Записуємо напругу. Визначаємо коефіцієнт пропорційності між індукцією магнітного поля і вихідною напругою магнітометра.
- 5) Повертаємо магніт на  $180^\circ$ , переконуємось що при зміні напрямку магнітного поля вихідна напруга магнітометра змінює знак.
- 6) Змінюючи відстань між магнітом і магнітометром визначаємо діапазон зміни вихідної напруги до насичення.
- 7) Прибираємо магніт, до губки штангенциркуля закріплюємо досліджуваний зразок «криптоніту».
- 8) За знаком вихідної напруги визначаємо тип «криптоніту».
- 9) Вимірюємо залежність поля криптоніту від відстані. При визначенні відстані враховуємо товщину зразка і датчика Холла.
- 10) Визначаємо, якою функцією описується залежність індукції магнітного поля від відстані. (Це можна зробити, побудувавши графік у подвійному логарифмічному масштабі, або послідовно пробуєючи різні степені  $r$  до тих пір, поки не отримуємо лінійну залежність.)
- 11) Якщо вийде  $1/r^2$  – значить це магнітний монополь (хороші шанси отримати Нобеля :). Якщо  $1/r^3$  – магнітний диполь (як звичайний магніт), але це навряд, бо він створює з двох боків поле протилежного знаку, а наш зразок – однакового. Якщо  $1/r^4$  – два диполі, орієнтовані назустріч (це – підходить!)

## 2. «Конденсаторна чорна скринька»

**Обладнання:** чорна скринька, що має 2 виводи і містить резистор і конденсатор, батарейка, резистор, з'єднувальні провідники, мультиметр, секундомір.

**Визначити:**

- А) Як з'єднані між собою в скринці резистор та конденсатор (послідовно чи паралельно);
- Б) Внутрішній опір мультиметра в режимі вольтметра в діапазоні до 20 В;
- В) Ємність конденсатора,
- Г) Опір резистора (того що в чорній скриньці).



У звіті навести застосовану методику експерименту, оцінку її ефективності, рисунки, результати вимірювань, розрахунок результату, та описати, що саме ви зробили для покращення точності результату.

## Мультиметр

Мультиметр **DT-9208A** – це багатофункціональний електровимірювальний прилад, за допомогою якого можна вимірювати силу струму, напругу (як постійні, так і змінні), опір, ємність, частоту. Також можна перевіряти справність напівпровідникових діодів і

біполярних транзисторів, а з допомогою зовнішньої термопари вимірювати температуру. Потрібний тип вимірювання задається обертовим перемикачем в центрі передньої панелі. Мультиметр вмикається і вимикається жовтою клавішею “ON/OFF” в лівому верхньому кутку. Один щуп підключають до клеми “COM” – загальний, мінус, а другий до клеми позначеної:

- “V  $\Omega$  Hz” – при вимірюванні напруги, опору чи частоти;
- “mA”, “20A” – для вимірювання сили струму (в залежності від його величини).

Якщо полярність напруги або струму виявиться протилежною до описаної вище, на екрані з’являється знак “-” перед вимірюваною величиною. Якщо вимірювана величина перевищує межі вибраного діапазону вимірювання, то на екрані з’являється “OL”. Це відбувається, наприклад, у випадку, коли мультиметр перевели в режим вимірювання опору («зелені» положення перемикача в лівому верхньому секторі, позначені символом “ $\Omega$ ”), а вимірюваний опір не під’єднали, або коли величина опору виходить за межі вибраного діапазону.

Мультиметр має захист від неправильного приєднання або перевищення діапазону вимірювання в розумних межах, окрім режимів вимірювання сили струму. Тому, при вимірюванні сили струму подбайте, щоб вона не перевищувала встановлений діапазон вимірювання. Наприклад, не можна вмикати мультиметр в режимі вимірювання сили струму до батарейки без обмежувального опору, бо при цьому він вийде з ладу, і ви не зможете більше вимірювати ним силу струму.

Похибка при вимірюванні мультиметром згідно інформації від виробника складає 1-2 одиниці найменшого розряду індикації (для різних діапазонів вимірювання).

При розв’язуванні задачі ви можете використовувати всі можливості виданого мультиметра, але звертаємо увагу, що вольтметр і амперметр в мультиметрі є неідеальними, тобто мають певний внутрішній опір, який може залежати від діапазону вимірювання.

## Розв’язання

- 1) Вимірюємо опір виданого нам резистора за допомогою мультиметра в режимі омметра.
- 2) Визначаємо внутрішній опір мультиметра в режимі вольтметра. Для цього підключаємо мультиметр до батарейки, вимірюємо напругу. Повторюємо вимір, підключивши послідовно з мультиметром резистор з відомим опором. За результатами цих двох вимірів розраховуємо опір вольтметра. Слід зауважити, що опір мультиметра в режимі вольтметра може бути різним на різних діапазонах вимірювання. Тому в подальших вимірах слід використовувати той же діапазон вимірювання напруг, для якого був визначений опір.
- 3) Досліджуємо чорну скриньку за допомогою мультиметра в режимі омметра. Він показує великий опір (мегоми), який повільно збільшується. На підставі цього вже можна зробити висновок, що конденсатор і резистор в чорній скриньці ввімкнуті послідовно (конденсатор повільно заряджається струмом омметра, напруга на ньому зростає, на резисторі падає, отже, струм через резистор зменшується, покази омметра зростають).
- 4) Інший спосіб визначення схеми з’єднання: підключаємо чорну скриньку до батарейки на деякий час (секунди – хвилини), а потім до вольтметра. Напруга, яку

показує вольтметр, помітно менша, ніж напруга батарейки, виміряна в попередніх пунктах, і повільно зменшується. Це означає, що конденсатор і резистор з'єднані послідовно, тому за час підключення скриньки до батарейки конденсатор не встиг зарядитись до е.р.с. батарейки.

5) Визначаємо ємність конденсатора і опір резистора в чорній скриньці. Для цього підключаємо її до батарейки на кілька хвилин, щоб конденсатор зарядився, а потім відключаємо від батарейки і підключаємо до вольтметра.

6) Вимірюємо динаміку зміни показів вольтметра з часом (записуємо покази вольтметра кожні 10 секунд або кожну хвилину, так щоб зміни напруги були невеликі – менше 10%). Розраховуємо сталу часу розряду – добуток  $C \cdot (R + R_v)$ , де  $C$  – ємність конденсатора,  $R$  – опір резистора,  $R_v$  – опір вольтметра.

7) Повторюємо п.5-6, ввімкнувши послідовно з вольтметром відомий резистор. Визначаємо добуток  $C \cdot (R + R_v + R_0)$ , де  $R_0$  – опір відомого резистора.

8) Розв'язавши систему двох рівнянь, знаходимо  $R$  і  $C$ .