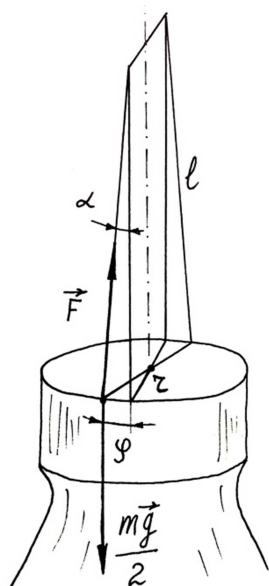


**Завдання експериментального туру**  
**11 клас**

**Можливий розв'язок задачі №1**

**Частина 1. Визначення моменту інерції пляшки.**



В основі методу визначення моменту інерції пляшки лежить аналіз її малих крутильних коливань на біфілярному підвісі з двох паралельних ниток. При закручуванні пляшки на невеликий кут  $\varphi$  навколо вертикальної осі роль квазіпружних сил, що повертають пляшку до положення рівноваги, виконують горизонтальні складові сил пружності ниток, на яких підвішена пляшка. Ці сили утворюють з вертикаллю невеликий кут  $\alpha$ , а модуль кожної з них практично дорівнює половині сили тяжіння, що діють на пляшку. Момент цих сил  $M$  дорівнює

$$M = -2 \cdot \frac{1}{2} mg \cdot \alpha \cdot r .$$

З геометричних міркувань  $\alpha = \frac{r}{l} \varphi$ .

Тому

$$M = -\frac{mgr^2}{l} \cdot \varphi .$$

Користуючись другим законом Ньютона для обертального руху  $M = I \cdot \varepsilon$ , знаходимо кутове прискорення пляшки  $\varepsilon$

$$\varepsilon = -\frac{mgr^2}{Il} \cdot \varphi .$$

З цього виразу випливає, що при малих кутах закручування рух пляшки представлятиме собою гармонічні коливання з циклічною частотою

$$\omega = r \cdot \sqrt{\frac{mg}{Il}} .$$

Враховуючи, що період коливань  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , отримуємо для моменту інерції пляшки

$$I = \frac{mg}{l} \cdot \left( \frac{rT}{2\pi} \right)^2 .$$

Для вимірювання періоду крутильних коливань без годинника можна запропонувати порівняти його з періодом коливань математичного маятника. В ролі математичного маятника можна використати ту ж саму пляшку. Для цього її варто спочатку не лише закрутити, а й відхилити від вертикального положення і знайти, скільки коливань маятника відбувається за час одного крутильного коливання. Наприклад, при довжині підвісу  $l = 880$  мм періоди крутильних і плоских коливань пляшки співвідносяться, як 2:1 (слід врахувати, що у формулі

$$T_p = 2\pi \sqrt{\frac{l_p}{g}} \quad l_p - \text{відстань між точкою підвісу та центром мас пляшки.}$$

Інший можливий метод визначення періоду крутильних коливань – виготовити модель математичного маятника з використанням нитки та тягарця. Найвищої точності можна досягнути, якщо підібрати довжину маятника таким чином, щоб його період був рівний періоду крутильних коливань.

Для визначення маси пляшки використовувався важок масою 100 г та лінійка у якості важеля.

Остаточно матимемо:

$$I = \frac{mr^2}{(1 + \gamma)} n^2$$

Де  $m$  – маса пляшки,  $r$  – половина відстані між нитками підвісу,  $n = \frac{T_k}{T_p}$

$$\gamma = \frac{l_k}{l_p}$$

## Частина 2. Визначення модуля пружності міді для деформації зсуву $G$ .

Підвішуємо пляшку на одному мідному дроті, зробивши маленьку петлю через отвори у корку щоб точка підвісу знаходилася при цьому на осі пляшки. Верхній кінець дроту закріплюємо до штатива. Закручуємо пляшку навкруги осі симетрії на невеликий кут, одночасно відхиляючи від вертикального положення акуратно відпускаємо та порівнюємо періоди крутильних та плоских коливань пляшки.

Момент сили, що повертає пляшку до положення рівноваги,

$$M = -G \cdot \frac{\pi r^4}{2l} \cdot \varphi ,$$

За другим законом Ньютона для обертального руху кутове прискорення пляшки

$$\varepsilon = -G \cdot \frac{\pi r^4}{2l \cdot I} \cdot \varphi ,$$

Період коливань пляшки задовольняє співвідношенню

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = G \cdot \frac{\pi r^4}{2l \cdot I} ,$$

Використовуючи,  $n = \frac{T_k}{T_p}$ ,  $\gamma = \frac{l_k}{l_p}$  для модуля зсуву остаточно отримуємо

$$G = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{mg}{r^2} n^2$$

Для визначення радіусу дроту його діаметр вимірювали мікрометром.

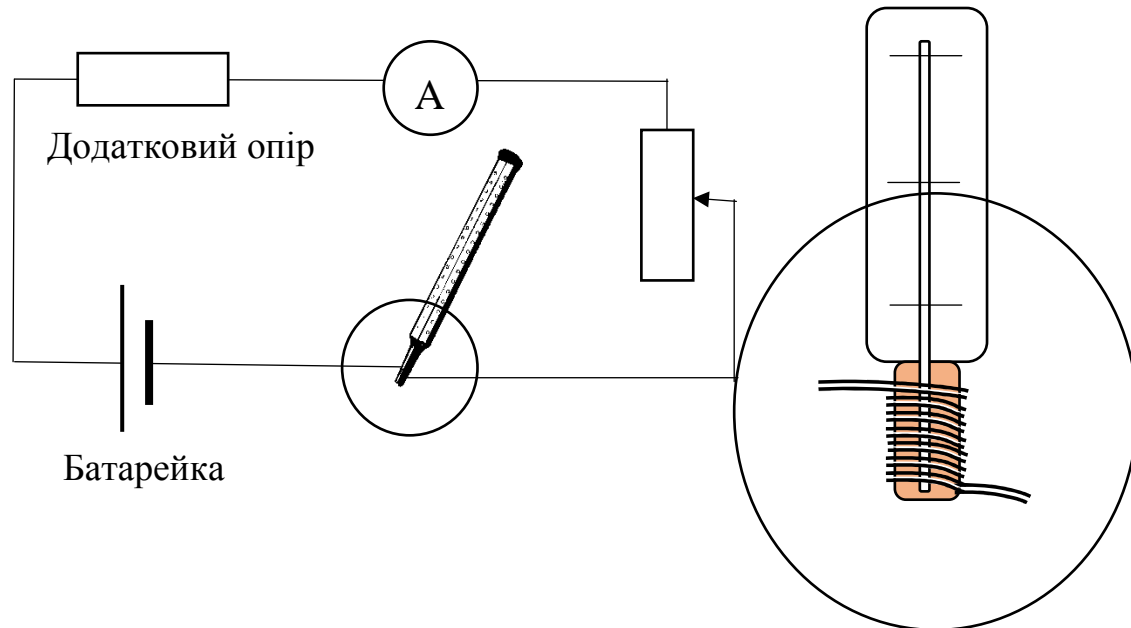
Розрахунки дають значення модуля пружності міді для деформації зсуву

$$G = 4,8 \cdot 10^{10} \text{ Па} = 48 \text{ ГПа} \quad .$$

## Завдання експериментального туру 11 клас

### Можливий розв'язок задачі №2

Схема



На рисунку показана робоча схема за якою проводяться вимірювання.

Термометричний амперметр виготовлено щільним намотуванням дроту на резервуар термометра. Особливістю є підбір кількості витків які навито на робочу частину термометру (показано на правій частині схеми). Підбір кількості витків визначає межі вимірювання сили струму та температури.

Збільшення кількості витків призводить до збільшення температури теплової рівноваги, яка встановлюється на нашому пристрої через певний час. І результуюча температура може бути занадто великою для вимірювання виданим термометром, чи взагалі може вийти за межі безпечного користування приладом.

Сильне зменшення кількості витків також не є бажаним, скільки діапазон вимірювання температур стає вузьким в межах можливого діапазону вимірювання струму. Також зростає інерційність приладу, якої бажано уникнути.

Отримана графічна залежність температури від сили струму виявилася нелінійною. Це можна пояснити найпростішою з можливих формул опису процесу встановлення теплової рівноваги:

$$P = I^2 R \text{ теплова потужність струму}$$

$$\Delta Q / \Delta t = k \Delta T \text{ теплові втрати приладу за рахунок теплопровідності.}$$

$$I^2 R = k \Delta T \quad (1)$$

Але зрозуміло, що теплопровідність не відіграє основну роль при врахуванні теплових втрат нашого приладу при робочих різницях температур приладу та оточуючого середовища (що спостерігалась при дослідах). Зрозуміло, що значно більшою є втрата енергії пов'язана з конвекцією. І такі втрати стрімко зростають при збільшенні різниці температури приладу та оточуючого повітря.

Тому отримана залежність повинна бути значно складнішою ніж параболічна, згідно виразу (1).

Остаточно, отриманий нелінійний графік може бути застосований для градування одержаного приладу, тобто еградувальним графіком приладу.

Чутливість амперметра визначаються як параметрами використаних приладів: амперметра та термометру, так – найбільше, точністю визначення остаточного стану теплової рівноваги. Внутрішній опір термометричного амперметра звичайно визначається опором мідного дроту, але не тільки намотаного на термометр, але й всього його довжини?

Недоліками приладу є його інерційність та складність врахування конвекційних потоків та їх сильна залежність від зовнішніх умов?

Перевагою вказаного приладу є те, що він може бути застосований як для постійного так і для змінного струму (визначає діюче значення сили струму), оскільки він працює на тепловій дії струму.