

УДК 539.19:53.072

**Кобель Григорій Петрович,**  
доцент кафедри загальної фізики  
та методики викладання фізики

## НАВЧАЛЬНО-ЕВРИСТИЧНІ МОДЕЛІ У МОЛЕКУЛЯРНІЙ ФІЗИЦІ

В статті розглянуто деякі аспекти організації лабораторного практикуму з використанням модельного експерименту.

**Ключові слова:** метод моделювання, молекули, температура, магнітне поле, сила струму.

**Kobel G.P.** The experimental study of friction

Some aspects of organization of physical works with the use model experimeht in the article.

**Keywords:** modeling method, molecules, temperature, magnetic field, strength of current..

Навчальний фізичний експеримент як органічна складова методичної системи навчання фізики забезпечує формування в учнів та студентів необхідних практичних умінь, дослідницьких навичок та особистого досвіду експериментальної діяльності.

Вищим ступенем самостійного експерименту учнів є лабораторний практикум, під час проведення якого набуті вміння удосконалюються та узагальнюються. Лабораторний практикум є обов'язковою складовою вивчення шкільного курсу фізики. У більшості шкіл області організація та проведення практикуму пов'язана з багатьма труднощами. Основною з них є відсутність у кабінетах фізики необхідного навчального обладнання для виконання робіт практикуму. Проте, як відмічено у Програмі [3, С. 11], залежно від умов і наявної матеріальної бази фізичного кабінету вчитель може замінювати окремі роботи або демонстраційні досліди рівноцінними, використовувати їх можливі варіанти. Деякі роботи лабораторного практикуму можна виконати з використанням методу моделювання і не лише комп'ютерного. Нами розроблена і виготовлена установка для моделювання молекулярних явищ (УММЯ), яка дає можливість продемонструвати ряд модельних дослідів: тепловий рух молекул у твердих тілах, рідинах і газах; тиск газу; броунівський рух; дифузія у газах; дифузія у рідинах; випаровування рідин; розподіл молекул газу в полі земного тяжіння; архімедова сила [1, С 40–42]. Крім

демонстраційних експериментів дана установка дозволяє виконувати деякі лабораторні роботи [2, С.5–8].

Вчитель організовує процес навчання на основі діяльнісного підходу. При цьому потрібно забезпечити не лише засвоєння знань, а й розвиток творчих здібностей учнів. Для формування творчого рівня активності необхідно використовувати моделі, які мають дослідницький характер. Саме цим вимогам відповідають навчально-евристичні моделі. Розглянемо приклад виконання лабораторної роботи з молекулярної фізики з допомогою УММЯ.

### **Лабораторна робота**

**Дослідження на УММЯ залежності енергії частинок від сили струму**

**Завдання 1.** Дослідити залежність середньої енергії частинки від сили струму в котушці.

**Завдання 2.** Визначити середню енергію зв'язку частинки.

*Прилади та матеріали:* УММЯ, регулятор змінної напруги, демонстраційний амперметр, лінійка, терези з важками.

### **Теоретичні відомості та опис установки**

Детальний опис УММЯ дано в [1, С 40]. Нагадаємо, що в ній кулька взаємодіє з магнітним полем котушки. Внаслідок цієї взаємодії кульки отримують кінетичну енергію, яка переходить у потенціальну у гравітаційному полі Землі. При цьому їх швидкість та висота підняття відносно дна кювети безперервно змінюються. Якщо виміряти середню висоту підняття кульок, то можна обчислити енергію однієї кульки при конкретній силі струму за формулою  $W = m g h$ .

Сила відштовхування між кульками виникає під час їх пружних співударів.

Котушка з осердям (3) служить для створення змінного магнітного поля, в якому рухаються пінопластові кульки з керамічними магнітиками. Котушка живиться змінною регульованою напругою (0-250 В) від шкільного регулятора напруги.

Демонстраційний амперметр вимірює силу струму, яку споживає обмотка котушки. Покажемо, що сила струму в цій установці моделює температуру відповідної системи (газ, рідина, тверде тіло).

Енергія кульок, які моделюють рух молекул речовини у відповідному агрегатному стані, поповнюється за рахунок

магнітного поля котушки. Позначимо середнє за період значення індукції магнітного поля котушки через  $\vec{B}_c$ . Керамічний магнітик кульки можна розглядати як магнітний диполь з моментом  $\vec{P}_m$ . Тоді середню потенціальну енергію взаємодії кожної кульки з магнітним полем можна обчислити за формулою:

$$W_p = (\vec{P}_m \cdot \vec{B}_c) = P_m \cdot B_c \cos \alpha \quad (1),$$

де  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{P}_m$  і  $\vec{B}_c$ .

Середнє за період значення індукції магнітного поля для даної котушки можна приблизно визначити за відповідною формулою для нескінченно довгого соленоїда:

$$B_c = \mu_0 \mu n I \quad (2)$$

де  $n$  – кількість витків дротину котушки, що припадає на одиницю її довжини.

Якщо врахувати, що котушка, яка використовується в даній установці, не є нескінченно довгим соленоїдом і, крім того, має місце деяке розсіювання магнітного потоку, то

$$B_c = \beta \mu_0 \mu n I$$

(3),

де  $\beta$  – деякий коефіцієнт, який враховує ці фактори.

Тому енергія взаємодії кульки з магнітним полем котушки буде рівна:

$$W_p = \beta P_m \mu_0 \mu n I \cos \alpha \quad (4)$$

Якщо припустити, що магнітні моменти кульок майже однакові і магнітний потік розподіляється приблизно рівномірно по всій основі кювети, то енергія взаємодії (4) при даній силі струму буде залежати тільки від значення  $\cos \alpha$  і змінюватиметься від 0 до деякого максимального значення:

$$W_{p \max} = \beta P_m \mu_0 \mu n I$$

(5)

Оскільки потенціальна енергія (5) перетворюється в кінетичну енергію кульки, то цілком зрозуміло, що матиме місце розподіл кульок за енергіями і за швидкостями. Тому на основі закону збереження енергії можна записати:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \beta P_m \mu_0 \mu n I \quad (6)$$

Покладемо, що кожна кулька має три ступені вільності, тоді:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (7)$$

Прирівнявши праві сторони рівності (6) і (7), одержимо:

$$\frac{3}{2}kT = \beta P_m \mu_0 \mu n I.$$

Звідки знаходимо: 
$$T = \frac{2\beta P_m \mu_0 \mu n}{3k} I \quad (8)$$

Ввівши нову сталу:  $\gamma = \frac{2\beta P_m \mu_0 \mu n}{3k}$ , рівність (8) можна записати так:

$$T = \gamma \cdot I \quad (9).$$

Зауважимо, що коефіцієнт пропорційності можна виміряти експериментально на цій установці.

Як видно з рівності (9), температура системи моделюється силою струму, яка вимірюється демонстраційним амперметром. На установці можна дослідити залежність середньої кінетичної енергії поступального руху „молекул” від „температури”.

### Хід роботи

Для знаходження маси однієї кульки зважують всі та отримане значення ділять на їх кількість. Наприклад в одному з вимірювань були отримані такі результати:

$$m = (9,28 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ кг}, \quad m_0 = \frac{m}{n} = \frac{9,28 \cdot 10^{-3}}{40} = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

Для спрощення обчислень значень енергії можна скористатися формулою:

$$W = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot h = 2,27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot h$$

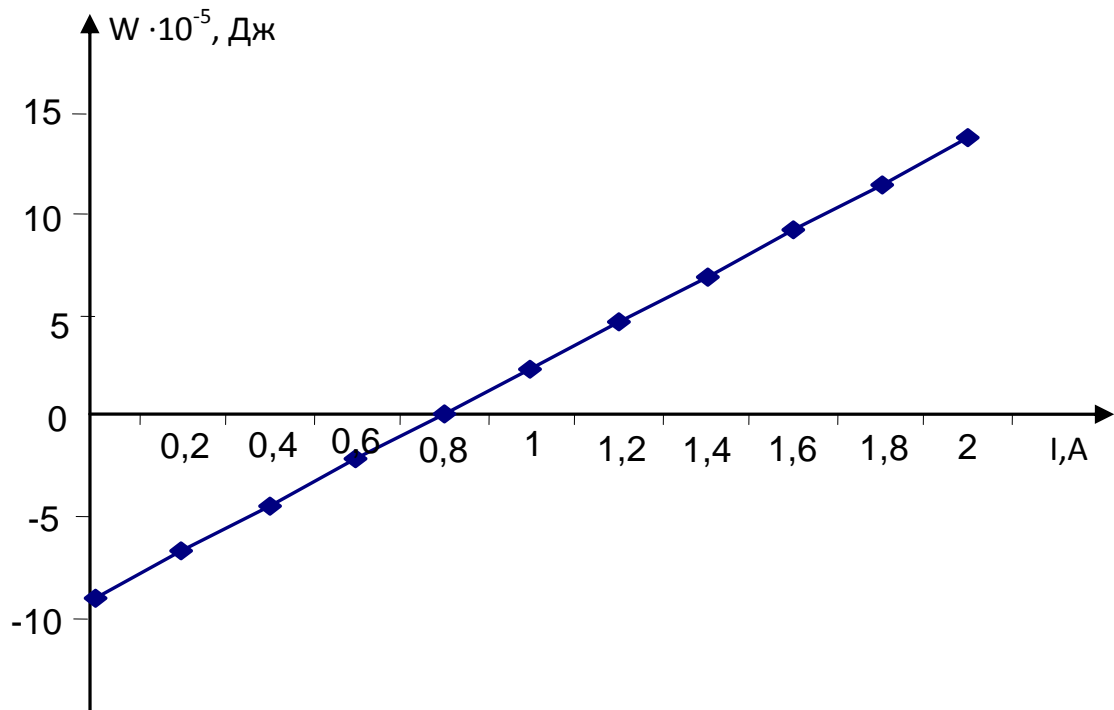
Висоту підняття кульок вимірюють за допомогою лінійки. Силу струму в котушці вимірюють лабораторним амперметром із змінними шкалами (0;0,5), (0;1), (0;2,5). Вимірювання висоти починають при такому значенні сили струму, яке забезпечує моделювання газоподібного стану речовини. Встановлюючи значення сили струму через 0,1 А, вимірюють висоту підняття кульок для відповідних значень  $I$ . На основі виконаних вимірювань обчислюють значення енергії  $W$ . Дані вимірювань та обчислень заносять в таблицю.

Таблиця 1.

I, А	0-0,5	0,5	0,5- 0,9	0,9	1	1,1	1,2
h, 10 <sup>-2</sup> м	тв. тіло	плавлення	Рідина	0,5	1,0	1,5	2
W, 10 <sup>-5</sup> Дж				1,135	2,27	3,4	4,55
I, А	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9

$h, 10^{-2} \text{ м}$	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
$W, 10^{-5} \text{ Дж}$	5,7	6,8	7,9	9,1	10,2	11,4	12,5

На основі отриманих результатів будують графік залежності



$$W = f(I).$$

З отриманого графіка прямої знаходять аналітичну залежність:

$$W - 2,27 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} = \frac{1,135 \cdot 10^{-5} \text{ Джс}}{0,1 \text{ А}} (I - 1 \text{ А})$$

$$\text{Тоді } W = 11,35 \cdot 10^{-5} \frac{\text{ Джс}}{\text{ А}} \cdot I - 9,1 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

Продовжують графік отриманої лінійної залежності до перетину з осями координат та проводять його аналіз.

При  $I = 0 \text{ А}$  енергія частинки від'ємна  $W = -9,1 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$ .

В даному випадку частинки мають лише потенціальну енергію взаємодії та знаходяться на дні потенціальної ями. В даній установці зміна температури системи моделюється зміною сили струму. Збільшення сили струму (температури) веде до зростання кінетичної енергії теплового руху частинок (молекул), що й послаблює зв'язок між ними. При деякому значенні сили струму  $I = 0,8 \text{ А}$  кінетична енергія частинок зрівнюється з потенціальною енергією притягання. При дальшому збільшенні сили струму зростає швидкість поступального руху частинок, а також їх кінетична енергія.

Аналізуючи розподіл молекул газу по всьому об'єму, ми враховували лише їх тепловий (хаотичний) рух. Він приводить до того, що молекули газу розподіляються рівномірно по всьому об'єму. Такий стан буде в тому випадку, коли на молекули не діють сторонні сили. В протилежному разі дія сил поля веде до встановлення нерівномірних густин у різних частинах об'єму газу. Прикладом такого стану може бути розподіл молекул атмосфери в полі сил земного тяжіння.

Виконання даної лабораторної роботи можна запропонувати на факультативних заняттях в 10 класі академічного рівня або для лабораторного практикуму у профільних класах. Програми для профільних класів пропонують демонстрацію необоротності явища дифузії на моделі [4, с. 9; 38].

### **Список використаних джерел**

1. Кобель Г. П. Установка для вивчення молекулярних явищ /Г.П.Кобель // Фізика та астрономія в школі. – 1999. – № 3. – С. 40 – 42.
2. Кобель Г. П. Моделювання необоротності теплових процесів /Г.П.Кобель // Теорія та методика вивчення природничо – математичних і технічних дисциплін: Збірник науково – методичних праць: Рівненський державний гуманітарний університет. Вип. 12.– Рівне: Волинські обереги, 2009.–С 5-8.
3. Програми середньої загальноосвітньої школи. Фізика, астрономія. 7- 11 класи.– К.: Освіта, 1992.– 110 с.
4. Фізика, 10-11 кл.: Програми для профільн. кл. загальноосвітніх навч. закладів з укр. мовою навч. / [О. Бугайов, М. Головка, Л. Закота та ін.]– К.: Пед. преса, 2004.– 144 с.

