

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**М. Б. ЛІТВІНОВА, О. Д. ШТАНЬКО**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни «ФІЗИКА 1»  
з використанням інтерактивних симуляцій**

*Рекомендовано Методичною радою НУК*



ВИДАВНИЦТВО  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2025

УДК 530(076)

Л64

*Автори:*

М. Б. Літвінова, д-р пед. наук, канд. фіз.-мат. наук, професор;

О. Д. Штанько, канд. фіз.-мат. наук, доцент

*Рецензент* П. Й. Гучек, д-р техн. наук, доцент

*Рекомендовано Методичною радою НУК*

**Літвінова М. Б.**

Л64      Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фізика 1» з використанням інтерактивних симуляцій / М. Б. Літвінова, О. Д. Штанько. – Миколаїв : НУК, 2025. – 40 с.

Вміщено інформацію про завдання лабораторних досліджень, докладні інструкції з їх виконання на основі інтерактивних симуляцій та вимоги до вмісту звітів. Методичні вказівки є електронним виданням, що містить інтерактивні посилання на онлайн-симуляції для виконання віртуальних лабораторних робіт з використанням безкоштовних інтернет-ресурсів.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх спеціальностей, навчальні плани яких передбачають вивчення курсу «Фізика 1», Херсонського навчально-наукового інституту НУК. Можуть бути корисні здобувачам інших закладів вищої освіти.

**УДК 530(076)**

© М. Б. Літвінова, О. Д. Штанько, 2025

© Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, 2025

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВСТУП.....                                                                                                                                             | 4         |
| <i>Лабораторна робота № 1. Дослідження руху тіла, кинутого під кутом до горизонту.....</i>                                                             | <i>6</i>  |
| <i>Лабораторна робота № 2. Дослідження законів збереження імпульсу та кінетичної енергії в результаті пружного та непружного зіткнення візків.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Лабораторна робота № 3. Дослідження закону збереження механічної енергії під час руху тіла по похилій площині.....</i>                              | <i>17</i> |
| <i>Лабораторна робота № 4. Дослідження коливального руху математичного маятника.....</i>                                                               | <i>22</i> |
| <i>Лабораторна робота № 5. Дослідження розподілу молекул за швидкостями.....</i>                                                                       | <i>27</i> |
| <i>Лабораторна робота № 6. Дослідження явища дифузії молекул газу.....</i>                                                                             | <i>32</i> |
| ВИМОГИ ДО ВМІСТУ ЗВІТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....                                                                                                        | 38        |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                                                                 | 39        |

## ВСТУП

Дисципліна «Фізика 1» є частиною курсу «Загальної фізики», що вивчається здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за всіма технічними спеціальностями ХННІ НУК.

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт призначені для допомоги студентам у набутті компетенції проведення фізичного експерименту, формуванні висновків за його результатами та оформленні звіту. Тематично лабораторні роботи відносяться до двох розділів курсу «Загальної фізики»: «Механіки» і «Молекулярної фізики та термодинаміки».

Методичні вказівки є електронним виданням, що містить інтерактивні посилання на онлайн-симуляції для виконання віртуальних лабораторних робіт. Віртуальні лабораторні роботи виконуються в початковому процесі під час дистанційної і змішаної форм навчання, а також в інших умовах, коли неможливо забезпечити повноцінне проведення занять у лабораторіях університету. В усіх пропонуваніх роботах застосовуються інтерактивні комп'ютерні моделі безкоштовних інтернет-ресурсів.

Дані методичні вказівки містять інформацію про завдання лабораторних досліджень, докладні інструкції з їх виконання на основі інтерактивних симуляцій та вимоги щодо вмісту робочого звіту. Кількість індивідуальних варіантів виконання завдань окремої симуляції відповідає діапазону варіативності її даних. Віртуальні лабораторні роботи розраховані на виконання студентами в дистанційному режимі та самостійно. Роботи є дещо полегшеними порівняно з тими, що виконуються в лабораторіях університету, оскільки викладач має обмеження в наданні допомоги й поясненні незрозумілого.

Тим не менш, запропоновані лабораторні роботи повністю відповідають вимогам освітнього рівня «бакалавр» і призначені для застосування в навчальному процесі Херсонського навчально-наукового інституту НУК, а також в інших закладах вищої освіти.

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ТІЛА, КИНУТОГО ПІД КУТОМ ДО ГОРИЗОНТУ

### Постановка задачі дослідження

Тіло кинули з висоти  $h$  зі швидкістю  $v_0$  під кутом  $\varphi$  до горизонту. **Завдання:** нехтуючи опором повітря, знайти:

1. Відстань  $L$  по горизонталі від місця кидання до місця падіння тіла.
  2. Максимальну висоту його підйому  $H$ .
- Для розв'язання робимо рисунок (рис. 1.1).

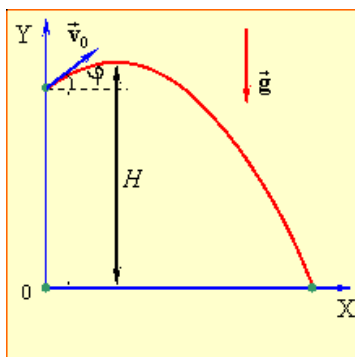


Рис. 1.1. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

Оскільки тіло рухається з постійним прискоренням  $a = g$ , його швидкість може бути задана наступними рівняннями:

$$v_x = v_0 \cos \varphi, \quad (1.1)$$

$$v_y = v_0 \sin \varphi - gt, \quad (1.2)$$

звідки переміщення  $S_x = \int v_0 \cos \varphi dt = v_0 \cos \varphi \cdot t + C_1$ ,

$$S_y = \int v_y dt = \int (v_0 \sin \varphi - gt) dt = v_0 \sin \varphi \cdot t - \frac{gt^2}{2} + C_2.$$

Оскільки при  $t=0$ ,  $S_{xy}=0$ , а  $S_y=h$ , тому  $C_1=0$ ,  $C_2=h$ , звідки

$$S_x = v_0 \cos \varphi \cdot t, \quad (1.3)$$

$$S_y = v_0 \sin \varphi \cdot t - \frac{gt^2}{2} + h. \quad (1.4)$$

Тому що під час падіння тіла на землю (значення часу  $t_2$ )  $S_y=0$ , то із (1.4) маємо

$$v_0 \sin \varphi \cdot t - \frac{gt^2}{2} + h = 0. \quad (1.5)$$

Розв'язок рівняння (1.5) має два корені – додатний  $t_{21}$  та від'ємний  $t_{22}$ .

Підставимо додатне значення часу  $t_{21}$  у (1.3) і одержимо значення відстані  $L$ .

У точці максимального підйому  $v=0$ . Знаходимо час підйому в цю точку з рівняння (1.2):

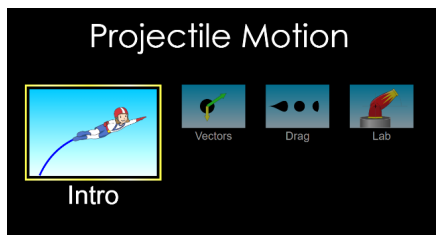
$$\begin{aligned} v_0 \sin \varphi - gt_1 &= 0, \\ t_1 &= \frac{v_0 \sin \varphi}{g}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

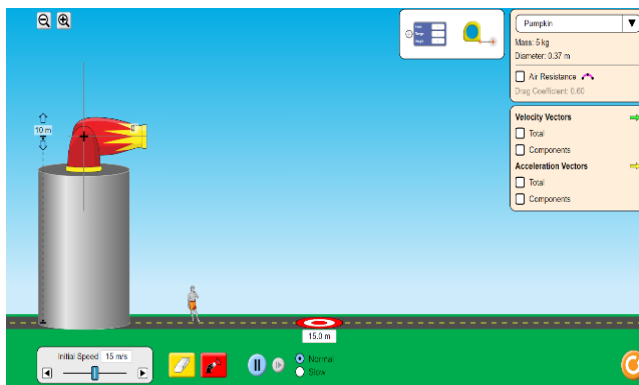
Підставимо значення (1.6) у (1.4) і одержимо максимальну висоту підйому  $H$ .

### ***Застосування вебсимуляції***

Відкрийте у браузері (вебпереглядачі) комп'ютера сторінку із симуляцією за посиланням: [https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html).

Для цього підведіть курсор до посилання, натисніть клавішу Ctrl і одночасно клацніть на посиланні. Завантажиться вебсторінка, як показано на зображенні праворуч.





### *Послідовність дій*

1. Розгорніть симуляцію із підписом «Intro» (зображення праворуч).

*З'ясуйте:*

- як змінювати початкову швидкість, уводячи її з клавіатури й повзунком;
- як стріляти з гармати; змінювати її висоту над поверхнею землі й кут вильоту «снарядів»;
- як змінювати кут тіла для «польоту»;
- як зменшити масштаб картинки, використовуючи позначку «мінус» зверху над гарматою;
- як вмикати і вимикати вектори, що характеризують рух тіла;
- навчіться «брати» і використовувати рулетку для вимірювання дальності польоту.

Вивчіть інструмент для вимірювання часу, відстані й висоти снаряда та способи його використання. Він дозволяє зібрати дані в позначених точках траєкторії.

Після завершення своїх експериментів із симуляцією потрібно очистити основне поле симуляції, щоб виконувати лабораторну роботу. Для цього клацніть на помаранчеву кнопку із заокругленою стрілкою у правій нижній частині вікна симуляції.

2. Розв'яжіть задачу за даними власного варіанта, що наведені в таблиці 1.1.

**Таблиця 1.1. Дані для розв'язування задачі за варіантами**

| Параметр          | Варіант |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                   | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| $h$ , м           | 10      | 15 | 10 | 12 | 13 | 8  | 14 | 14 | 4  | 11 |
| $v_0$ , м/с       | 11      | 12 | 5  | 7  | 22 | 6  | 8  | 9  | 18 | 10 |
| $\varphi$ , град. | 30      | 60 | 45 | 30 | 60 | 45 | 45 | 30 | 45 | 60 |
| $H$ , м           | ?       | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |
| $L$ , м           | ?       | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |
| Параметр          | Варіант |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                   | 11      | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $h$ , м           | 1       | 5  | 4  | 2  | 7  | 8  | 10 | 9  | 14 | 6  |
| $v_0$ , м/с       | 5       | 6  | 2  | 30 | 6  | 5  | 7  | 8  | 1  | 4  |
| $\varphi$ , град. | 30      | 60 | 45 | 30 | 60 | 45 | 45 | 30 | 45 | 60 |
| $H$ , м           | ?       | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |
| $L$ , м           | ?       | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |
| Параметр          | Варіант |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                   | 21      | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| $h$ , м           | 15      | 10 | 12 | 1  | 9  | 8  | 4  | 9  | 2  | 7  |
| $v_0$ , м/с       | 13      | 9  | 21 | 23 | 12 | 5  | 7  | 8  | 14 | 11 |
| $\varphi$ , град. | 30      | 60 | 45 | 30 | 60 | 45 | 45 | 30 | 45 | 60 |
| $H$ , м           | ?       | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |
| $L$ , м           | ?       | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  | ?  |

Наведіть повний розрахунок задачі та за отриманими результатами заповніть таблицю 1.2.

**Таблиця 1.2. Результати розв'язку задачі**

|         |             |                   |         |         |
|---------|-------------|-------------------|---------|---------|
| $h$ , м | $v_0$ , м/с | $\varphi$ , град. | $H$ , м | $L$ , м |
|         |             |                   |         |         |

3. Установіть положення гармати на симуляції (кут нахилу  $\varphi$  і висоту  $h$ ) та задайте початкову швидкість  $v_0$  (під гарматою).

Натисніть позначку  і за допомогою червоного кільця  визначіть положення точки падіння ядра (значення  $L$ ).

За розташуванням кільця з'ясуйте, чи співпадають дані точки падіння ядра на симуляції з вашими розрахунками (якщо не співпадають, то необхідно перерахувати задачу). Напишіть висновок.

За допомогою рулетки  зафіксуйте на симуляції максимальну висоту підйому ядра. Перевірте, чи співпадають виміри на симуляції з вашими розрахунками (якщо не співпадають, то необхідно перерахувати задачу). Напишіть висновок.

4. Зробіть скріншот екрана, де фіксується максимальна дальність польоту й висота підйому ядра. Прикріпіть скріншот до звіту лабораторної роботи.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ ТА КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РЕЗУЛЬТАТІ ПРУЖНОГО ТА НЕПРУЖНОГО ЗІТКНЕННЯ ВІЗКІВ

### *Постановка задачі дослідження*

На горизонтальній поверхні відбувається зіткнення двох візків з масою  $m_1$  та  $m_2$ , що рухаються зі швидкостями  $v_1$  і  $v_2$ , відповідно.

**Завдання:** після зіткнення візків знайти їх швидкість  $u_1$  і  $u_2$ , імпульс  $p_1$  та  $p_2$  і кінетичну енергію  $K_1$  та  $K_2$  у двох випадках:

1. Зіткнення є абсолютно пружним.
2. Зіткнення є абсолютно непружним.

**Випадок 1.** Абсолютно пружне зіткнення тіл є таким, за якого одночасно зберігаються сумарний імпульс і кінетична енергія тіл, що стикаються.

Запишемо закони збереження імпульсу (2.1) та кінетичної енергії (2.2) для випадку абсолютно пружного зіткнення візків:

$$m_1 v_1 \pm m_2 v_2 = m_1 u_1 \pm m_2 u_2, \quad (2.1)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (2.2)$$

Знаки плюс або мінус використовуються в рівнянні (2.1) залежно від напрямку руху візка 2 відносно візка 1 до і після їх зіткнення.

**Випадок 2.** Абсолютно непружне зіткнення є таким, за якого тіла далі рухаються, як одне ціле.

Абсолютно непружне зіткнення супроводжується втратами кінетичної енергії, частина якої переходить у внутрішню (теплову) енергію тіл.

Нехай загальна швидкість візків після зіткнення дорівнює  $u$ .

Запишемо закон збереження імпульсу для випадку абсолютно непружного удару:

$$m_1 v_1 \pm m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u,$$

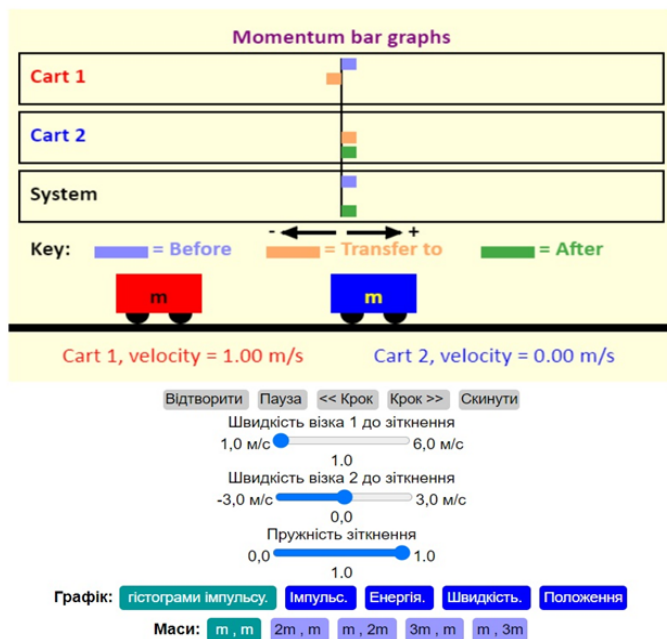
звідки

$$u = \frac{m_1 v_1 \pm m_2 v_2}{m_1 + m_2}. \quad (2.3)$$

### Застосування вебсимуляції

Відкрийте у браузері (вебпереглядачі) комп'ютера сторінку із симуляцією за посиланням: [https://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/collisions\\_1D\\_bargraphs.html](https://physics.bu.edu/~duffy/HTML5/collisions_1D_bargraphs.html).

Для цього підведіть курсор до посилання, натисніть клавішу Ctrl і одночасно клацніть на посиланні. Завантажиться вебсторінка, як показано на зображенні.



### Послідовність дій

1. Виставити значення мас візків та значення їх швидкості до зіткнення за даними власного варіанта, що наведені в таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1. Дані для виконання роботи за варіантами**

| № варіанта | Значення мас (кг) для трьох випадків |         |         | Швидкість до зіткнення |                |
|------------|--------------------------------------|---------|---------|------------------------|----------------|
|            | 1                                    | 2       | 3       | $v_{1i}$ , м/с         | $v_{2i}$ , м/с |
| 1, 11, 21  | $m, m$                               | $2m, m$ | $m, 2m$ | +6,0                   | -3,0           |
| 2, 12, 22  | $m, m$                               | $2m, m$ | $3m, m$ | +3,0                   | -3,0           |
| 3, 13, 23  | $m, m$                               | $2m, m$ | $m, 3m$ | +5,0                   | -3,0           |
| 4, 14, 24  | $2m, m$                              | $m, 2m$ | $3m, m$ | +3,0                   | -1,0           |
| 5, 15, 25  | $2m, m$                              | $m, 2m$ | $m, 3m$ | +4,0                   | -3,0           |
| 6, 16, 26  | $m, 2m$                              | $m, 3m$ | $m, 3m$ | +3,0                   | -2,0           |
| 7, 17, 27  | $m, 3m$                              | $3m, m$ | $m, 2m$ | +5,0                   | -2,0           |
| 8, 18, 28  | $3m, m$                              | $m, 3m$ | $2m, m$ | +3,0                   | -1,0           |
| 9, 19, 29  | $m, 3m$                              | $2m, m$ | $m, m$  | +2,0                   | -2,0           |
| 10, 20, 30 | $2m, m$                              | $m, 3m$ | $m, 2m$ | +3,0                   | -1,0           |

Для випадків 1 та 2 (абсолютно пружного та непружного зіткнення), наведених нижче, використовуйте симуляцію для отримання даних і виконання обчислень, щоб знайти імпульс системи та її повну кінетичну енергію до і після зіткнення візків. У кожному з випадків потрібно заповнити синю таблицю, а потім використовуйте ці дані для обчислення невідомих величин у червоних таблицях. Для всіх варіантів маса складає  $m = 1,0$  кг.

2. Запустіть симуляцію і заповніть значення параметрів після зіткнення візків за власним варіантом (для 3-х випадків з різним співвідношенням мас візків) у таблицях 2.2–2.7, що наведені нижче.

**Випадок 1.** Абсолютно пружні зіткнення (для цієї задачі необхідно виставити значення пружності на рівні 1).

1.1. Натисніть кнопку «Швидкість», потім кнопку «Грати» і заповніть таблицю 2.2. Зробіть скріншот екрана.

**Таблиця 2.2. Дані, що отримані в роботі**

| №<br>випадку | Значення мас |       | Швидкість<br>до зіткнення |          | Швидкість<br>після зіткнення |          |
|--------------|--------------|-------|---------------------------|----------|------------------------------|----------|
|              | $m_1$        | $m_2$ | $v_{1i}$                  | $v_{2i}$ | $u_{1f}$                     | $u_{2f}$ |
| 1            |              |       |                           |          |                              |          |
| 2            |              |       |                           |          |                              |          |
| 3            |              |       |                           |          |                              |          |

1.2. Натисніть кнопку «Імпульс», потім кнопку «Грати» і заповніть таблицю 2.3 (значення імпульсу  $p = mv$ ). Зробіть скріншот екрана.

**Таблиця 2.3. Дані, що отримані в роботі**

| №<br>випадку | Значення імпульсу<br>до зіткнення |          |                         | Значення імпульсу<br>після зіткнення |          |                         |
|--------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------------|
|              | $p_{1i}$                          | $p_{2i}$ | $p_i = p_{1i} + p_{2i}$ | $p_{1f}$                             | $p_{2f}$ | $p_f = p_{1f} + p_{2f}$ |
| 1            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |
| 2            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |
| 3            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |

1.3. Натисніть кнопку «Енергія», потім кнопку «Грати» і заповніть таблицю 2.4 (значення кінетичної енергії  $K = mv^2/2$ ). Зробіть скріншот екрана.

**Таблиця 2.4. Дані, що отримані в роботі**

| №<br>випадку | Кінетична енергія<br>до зіткнення |          |                         | Кінетична енергія<br>після зіткнення |          |                         |
|--------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------------|
|              | $K_{1i}$                          | $K_{2i}$ | $K_i = K_{1i} + K_{2i}$ | $K_{1f}$                             | $K_{2f}$ | $K_f = K_{1f} + K_{2f}$ |
| 1            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |
| 2            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |
| 3            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |

1.4. За одержаними результатами зробить висновок стосовно виконання законів збереження імпульсу й кінетичної енергії в результаті абсолютно пружного зіткнення. Прикріпіть усі скріншоти до звіту лабораторної роботи.

**Випадок 2.** Абсолютно непружні (для цієї задачі необхідно виставити значення пружності на рівні 0).

2.1. Натисніть кнопку «Швидкість», потім кнопку «Грати» і заповніть таблицю 2.5. Зробіть скріншот екрана.

**Таблиця 2.5. Дані, що отримані в роботі**

| № випадку | Значення мас |       | Швидкість до зіткнення |          | Швидкість після зіткнення |          |
|-----------|--------------|-------|------------------------|----------|---------------------------|----------|
|           | $m_1$        | $m_2$ | $v_{1i}$               | $v_{2i}$ | $u_{1f}$                  | $u_{2f}$ |
| 1         |              |       |                        |          |                           |          |
| 2         |              |       |                        |          |                           |          |
| 3         |              |       |                        |          |                           |          |

2.2. Натисніть кнопку «Імпульс», потім кнопку «Грати» і заповніть таблицю 2.6 (значення імпульсу  $p = mv$ ). Зробіть скріншот екрана.

**Таблиця 2.6. Дані, що отримані в роботі**

| № випадку | Значення імпульсу до зіткнення |          |                         | Значення імпульсу після зіткнення |          |                         |
|-----------|--------------------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|
|           | $p_{1i}$                       | $p_{2i}$ | $p_i = p_{1i} + p_{2i}$ | $p_{1f}$                          | $p_{2f}$ | $p_f = p_{1f} + p_{2f}$ |
| 1         |                                |          |                         |                                   |          |                         |
| 2         |                                |          |                         |                                   |          |                         |
| 3         |                                |          |                         |                                   |          |                         |

2.3. Натисніть кнопку «Енергія», потім кнопку «Грати» і заповніть таблицю 2.7 (значення кінетичної енергії  $K = mv^2/2$ ). Зробіть скріншот екрана.

Таблиця 2.7. Дані, що отримані в роботі

| №<br>випадку | Кінетична енергія<br>до зіткнення |          |                         | Кінетична енергія<br>після зіткнення |          |                         |
|--------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|--------------------------------------|----------|-------------------------|
|              | $K_{1i}$                          | $K_{2i}$ | $K_i = K_{1i} + K_{2i}$ | $K_{1f}$                             | $K_{2f}$ | $K_f = K_{1f} + K_{2f}$ |
| 1            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |
| 2            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |
| 3            |                                   |          |                         |                                      |          |                         |

2.4. За одержаними результатами зробіть висновок стосовно виконання законів збереження імпульсу й кінетичної енергії в результаті абсолютно непружного зіткнення. Прикріпіть усі скріншоти до звіту лабораторної роботи.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС РУХУ ТІЛА ПО ПОХИЛІЙ ПЛОЩИНІ

### Постановка задачі дослідження

На похилій площині з кутом нахилу  $\beta$  знаходиться вантаж масою  $m$  (рис. 3.1).

**Завдання:** знайти прискорення руху вантажу на похилій площині  $a$  і дослідити перетворення потенційної енергії в кінетичну у двох випадках:

1. Тертя між вантажем та поверхнею похилої площини відсутнє.
2. Коефіцієнти тертя між вантажем та поверхнею похилої площини дорівнює  $\mu$ .

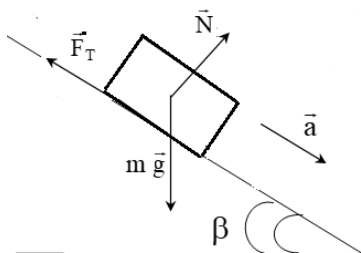


Рис. 3.1. Рух тіла по похилій площині

На тіло масою  $m$  діють сила тяжіння  $m\vec{g}$  ( $g$  – прискорення вільного падіння), сила нормальної реакції похилої площини  $\vec{N}$  і сила тертя  $\vec{F}_T$ , яка направлена протилежно напрямку руху (напрямку прискорення  $\vec{a}$ ).

Спочатку розв'язуємо задачу без урахування сили тертя. На основі законів Ньютона із рис. 3.1 впливає:

$$ma = mg \sin \beta, \quad (3.1)$$

$$0 = N - mg \cos\beta, \quad (3.2)$$

звідки  $a = g \sin\beta. \quad (3.3)$

Виходячи з того, що сила тертя  $F_T = \mu N$ , то із виразу (3.2), знаходимо

$$F_T = \mu mg \cos\beta. \quad (3.4)$$

Якщо враховувати силу тертя, то вираз (3.1) набуває наступного вигляду:

$$ma = mg \sin\beta - \mu mg \cos\beta,$$

звідки

$$a = g (\sin\beta - \mu \cos\beta). \quad (3.5)$$

У випадку, коли  $\sin\beta < \mu \cos\beta$ , тобто сила тертя перевищує силу, що спрямована вдовж похилої площини до низу, прискорення  $a = 0$ .

Пройдена тілом по похилій площині відстань (її довжина) складає:

$$d = at^2/2, \quad (3.6)$$

а швидкість руху  $v = at$ .

Потенційна енергія тіла на початку руху складає:

$$\Pi = mgh, \quad (3.7)$$

де  $h$  – висота, з якої спускається тіло.

Кінетична енергія тіла в кінці руху складає:

$$K = mv^2/2. \quad (3.8)$$

Якщо сила тертя відсутня, то в кінці руху має виконуватися співвідношення  $K = \Pi$ .

Якщо присутня сила тертя, то із закону збереження енергії в кінці руху виконується співвідношення:  $K = \Pi - A_T$ , де  $A$  – робота сили тертя.

$$A_T = F_T \cdot d,$$

тому

$$A_T = \mu mg \cos\beta \cdot d,$$

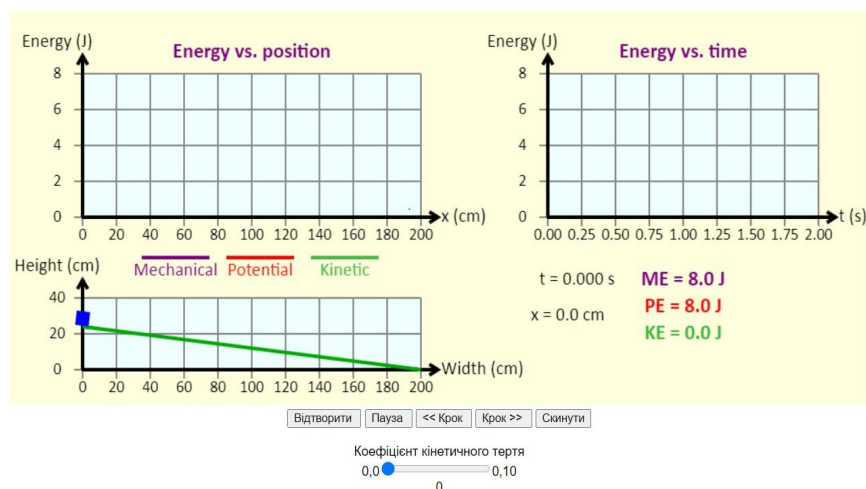
звідки

$$K = \Pi = \mu mg \cos\beta \cdot d. \quad (3.9)$$

## Застосування вебсимуляції

Відкрийте у браузері (вебпереглядачі) комп'ютера сторінку із симуляцією за посиланням: [https://physics.bu.edu/~duffy/VIPER/energy\\_rampslide.html?authuser=0&hl=ru](https://physics.bu.edu/~duffy/VIPER/energy_rampslide.html?authuser=0&hl=ru).

Для цього підведіть курсор до посилання, натисніть клавішу Ctrl і одночасно клацніть на посиланні. Завантажиться вебсторінка, як показано на зображенні.



### Послідовність дій

#### Випадок 1. Рух тіла без тертя

1.1. Виставіть на симуляції значення коефіцієнта тертя рівним 0.

1.2. За рисунком визначіть кут  $\beta$ : для цього в точці, де похила площина чітко збігається з кутом клітинки, подивіться параметри  $\Delta X$  (Wight) та  $\Delta Y$  (Heigh) і знайдіть  $\tan \beta = \Delta Y / \Delta X$ . Потім знайдіть кут  $\beta = \arctg(\Delta Y / \Delta X)$ .

1.3. За виразом (3.3) розрахуйте прискорення руху тіла.

1.4. За виразами (3.6), (3.7), (3.8) розрахуйте потенційну енергію тіла П, при цьому  $h = L \cdot \tan \beta$ , де  $L$  – переміщення тіла по горизонталі (уздовж вісі X).

1.5. Усі одержані результати занесіть до таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1. Дані, що отримані в роботі**

| $\beta$ , град | $a$ , м/с <sup>2</sup> | П, Дж | К, Дж | $d$ , м |
|----------------|------------------------|-------|-------|---------|
|                |                        |       |       |         |

1.6. Натисніть кнопку «Грати». Перевірте, чи співпадають ваші розрахунки з показниками симуляції. Зробіть скріншот екрана.

1.7. За значенням часу на симуляції розрахуйте кінетичну енергію К і довжину похилої площини  $d$ . Результати занесіть до таблиці 3.1.

1.8. Зробіть висновок, чи виконується закон збереження механічної енергії за даного виду руху.

## **Випадок 2. Рух тіла з урахуванням сили тертя**

Розглянемо ту ж саму ситуацію з урахуванням сили тертя.

2.1. Виставіть на симуляції за власним варіантом значення коефіцієнта тертя, що наданий у таблиці 3.2.

**Таблиця 3.2. Значення коефіцієнта тертя**

| № варіанта | Значення коефіцієнта тертя |
|------------|----------------------------|
| 1, 11, 21  | 0,01                       |
| 2, 12, 22  | 0,02                       |
| 3, 13, 23  | 0,03                       |
| 4, 14, 24  | 0,04                       |
| 5, 15, 25  | 0,05                       |
| 6, 16, 26  | 0,06                       |
| 7, 17, 27  | 0,07                       |
| 8, 18, 28  | 0,08                       |
| 9, 19, 29  | 0,09                       |
| 10, 20, 30 | 0,01                       |

- 2.2. За виразом (3.5) розрахуйте прискорення руху тіла.
- 2.3. За виразом (3.9) розрахуйте значення кінетичної енергії. Усі дані занесіть до таблиці 3.3.

*Таблиця 3.3. Дані, що отримані в роботі*

| П, Дж | $A_T$ , Дж | К, Дж |
|-------|------------|-------|
|       |            |       |

2.4. Запустіть симуляцію. Перевірте, чи співпадають розрахункові дані значення кінетичної енергії з даними симуляції. Зробіть скріншот екрана.

2.5. Зробіть висновок, чи виконується закон збереження механічної енергії у випадку дії сили тертя. Прикріпіть усі скріншоти до звіту лабораторної роботи.

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАЛЬНОГО РУХУ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА

### Постановка задачі дослідження

Кулька масою  $m$  підвішена на нерозтяжній нитці довжиною  $l$  і відхилена на кут  $\gamma$  з положення рівноваги, а потім відпущена. Під дією сили тяжіння вона виконує гармонійні коливання.

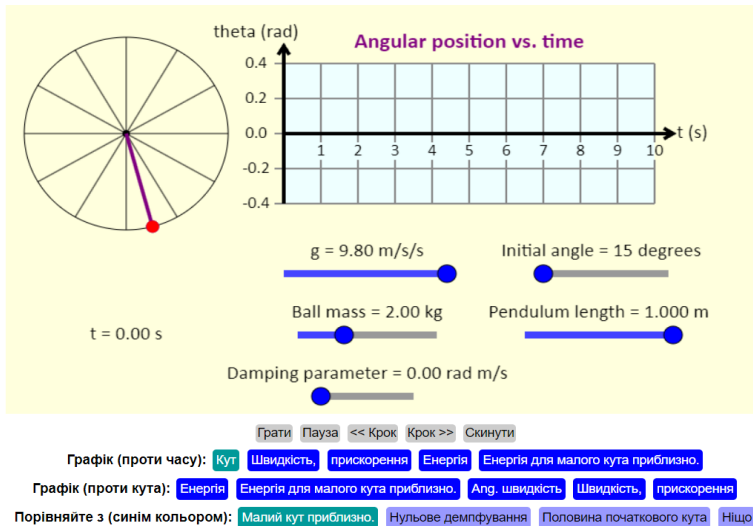
**Завдання:** якісно проаналізувати, чим відрізняється за певними параметрами графічний опис коливань математичного маятника в умовах наявності та відсутності супротиву його руху.

Період гармонійних коливань визначається як

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}. \quad (4.1)$$

Період не залежить від маси кульки.

### Застосування вебсимуляції



Відкрийте у браузері (вебпереглядачі) комп'ютера сторінку із симуляцією за посиланням: [http://physics.bu.edu/~duffy/VIPER/simple\\_pendulum\\_damped.html](http://physics.bu.edu/~duffy/VIPER/simple_pendulum_damped.html).

Для цього підведіть курсор до посилання, натисніть клавішу Ctrl і одночасно клацніть на посиланні. Завантажиться вебсторінка, як показано на зображенні.

Дана симуляція може показувати вісім різних зображень руху маятника (чотири графіки, що побудовані залежно від часу, і ще чотири – залежно від кута). На анімації маятник з червоною кулькою показує реальний рух маятника. Синя кулька показує рух у наближенні малого кута відхилення.

**УВАГА!** У цій лабораторній роботі ви будете досліджувати тільки рух червоної кульки. Тому на початку в нижньому рядку необхідно натиснути кнопку «*Нічого*» (англійською «*Nothing*»).

### *Послідовність дій*

1. Виставити всі параметри симуляції за даними власного варіанта, що наведені в таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1. Дані для виконання роботи за варіантами**

| № варіанта | Прискорення $g$ , м/с <sup>2</sup> | Маса $m$ , кг | Первинний кут, рад. | Довжина підвісу, м | Коефіцієнт демпфування |
|------------|------------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| 1          | 2                                  | 3             | 4                   | 5                  | 6                      |
| 1          | 4,2                                | 1,0           | 15                  | 0,2                | 0,1                    |
| 2          | 4,4                                | 1,2           | 20                  | 0,25               | 0,12                   |
| 3          | 4,6                                | 1,4           | 25                  | 0,30               | 0,14                   |
| 4          | 4,8                                | 1,6           | 30                  | 0,45               | 0,16                   |
| 5          | 5,0                                | 1,8           | 35                  | 0,50               | 0,18                   |
| 6          | 5,2                                | 2,0           | 40                  | 0,55               | 0,20                   |
| 7          | 5,4                                | 2,2           | 45                  | 0,6                | 0,22                   |
| 8          | 5,6                                | 2,4           | 50                  | 0,65               | 0,24                   |
| 9          | 5,8                                | 2,6           | 55                  | 0,70               | 0,26                   |
| 10         | 6,0                                | 2,8           | 60                  | 0,75               | 0,28                   |

Продовж. табл. 4.1

| 1  | 2   | 3   | 4   | 5    | 6    |
|----|-----|-----|-----|------|------|
| 11 | 6,2 | 3,0 | 65  | 0,80 | 0,3  |
| 12 | 6,4 | 3,2 | 70  | 0,95 | 0,32 |
| 13 | 6,6 | 3,4 | 75  | 1,0  | 0,34 |
| 14 | 6,8 | 3,6 | 80  | 0,75 | 0,36 |
| 15 | 7,0 | 3,8 | 85  | 0,80 | 0,38 |
| 16 | 7,2 | 4,0 | 90  | 0,95 | 0,4  |
| 17 | 7,4 | 1,1 | 95  | 1,0  | 0,42 |
| 18 | 7,6 | 1,3 | 100 | 0,2  | 0,44 |
| 19 | 7,8 | 1,5 | 105 | 0,25 | 0,46 |
| 20 | 8,0 | 1,7 | 110 | 0,30 | 0,48 |
| 21 | 8,2 | 1,9 | 115 | 0,45 | 0,5  |
| 22 | 8,4 | 2,1 | 120 | 0,50 | 0,52 |
| 23 | 8,6 | 2,3 | 125 | 0,55 | 0,54 |
| 24 | 8,8 | 2,5 | 130 | 0,6  | 0,56 |
| 25 | 9,0 | 2,7 | 135 | 0,65 | 0,58 |
| 26 | 9,2 | 2,9 | 140 | 0,70 | 0,60 |
| 27 | 9,4 | 3,1 | 145 | 0,75 | 0,62 |
| 28 | 9,6 | 3,3 | 150 | 0,80 | 0,64 |
| 29 | 9,8 | 3,5 | 15  | 0,95 | 0,66 |
| 30 | 10  | 3,7 | 20  | 1,0  | 0,68 |

1. Дослідження залежності кутової швидкості від часу коливань без урахування супротиву руху.

1.1. У першому рядку поруч з надписом «Графік (проти часу)» (англійською «Graph (versus time)» натисніть кнопку «Швидкість» (англійською «velocity»).

Параметр демпфування (*damping parameter*), тобто коефіцієнт супротиву руху має дорівнювати 0.

1.2. Розрахуйте за виразом (4.1) період коливань маятника.

1.3. Натисніть «Грати» («Play»), замалюйте отриманий графік швидкості, позначте на ньому амплітуду та період коливань.

2. Дослідження залежності кутової швидкості від часу коливань з урахуванням супротиву руху (параметра демпфування).

2.1. Виставіть параметр демпфування (*damping parameter*) за варіантом відповідно до таблиці 4.1.

2.2. Натисніть «Play» і замалюйте отриманий графік швидкості на тому ж самому рисунку, що й у пункті 1.3 (поруч з ним).

Позначте на графіку амплітуду та період коливань.

Зробіть висновок, чи відрізняється графік залежності швидкості від часу коливань у відсутності супротиву руху (пункт 1.3) за своїми характеристиками (амплітудою та періодом коливань) від графіка за наявності супротиву руху маятника.

3. Дослідження залежності енергії коливань від величини кута відхилення маятника.

3.1. У рядку поруч з надписом «Графік (проти кута)» (англійською «*Graph (versus angle)*») натисніть кнопку «Енергія» («*Energy*»).

Параметр демпфування (*damping parameter*) дорівнює 0.

Натисніть «Графік» («*Play*») і замалюйте графік залежності кінетичної (червона крива), потенційної (синя крива) та повної (зелена крива) енергій від величини кута. Зробіть висновки стосовно зміни цих видів енергії залежно від кута.

3.2. Виставіть параметр демпфування (*damping parameter*) за варіантом відповідно до таблиці 4.1.

Натисніть «Графік» («*Play*») і замалюйте тільки графік залежності кінетичної енергії (червона крива) від кута. Зробіть висновок стосовно цього графіка.

4. Дослідження залежності кутової швидкості коливань від величини кута відхилення маятника.

4.1. У рядку поруч з надписом «Графік (проти кута)» (англійською «*Graph (versus angle)*») натисніть кнопку «Angl. швидкість» («*Angl. velocity*») – кутова швидкість).

Параметр демпфування (*damping parameter*) дорівнює 0.

Натисніть «Грати» («Play») і замалюйте графік залежності кутової швидкості від величини кута.

4.2. Виставіть параметр демпфування (*damping parameter*) за варіантом відповідно до таблиці 4.1.

Натисніть «Грати» («Play») і замалюйте графік залежності кутової швидкості від величини кута на тому ж самому рисунку, що й у пункті 4.1 (поруч з ним). Зробіть висновок, чим графік у відсутності супротиву руху (у пункті 4.1) відрізняється від графіка за наявності супротиву (у пункті 4.2).

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ МОЛЕКУЛ ЗА ШВИДКОСТЯМИ

### Постановка задачі дослідження

Закон Максвелла розподілу молекул ідеального газу за швидкостями описується деякою функцією  $f(v)$ , що називається *функцією розподілу молекул за швидкостями руху*. Ця функція визначає відносну кількість молекул  $dn(v)/n$ , швидкості яких лежать в інтервалі від  $v$  до  $v + dv$ .

Застосовуючи методи теорії ймовірності, Максвелл записав функцію  $f(v)$  у такому вигляді:

$$f(v) = 4\pi (m / (2\pi kT))^{3/2} v^2 \exp(-mv^2 / (2kT)).$$

Конкретний вигляд функції залежить від роду газу (маси його молекул  $m$ ) і від параметра стану (температури  $T$ ). Графік функції  $f(v)$  наведений на рисунку 5.1.

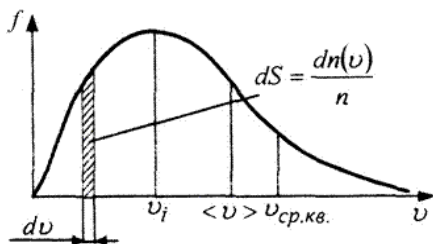


Рис. 5.1. Графік функції розподілу молекул за швидкостями

Функція  $f(v)$  починається від нуля, досягає максимуму, а потім асимптотично прямує до нуля. Крива є несиметричною відносно максимального значення  $f(v)$ . Відносна кількість молекул  $dS = dn(v)/n$ , швидкості яких лежать в інтервалі від  $v$  до  $v + dv$ , чисельно дорівнює площі, заштрихованій на рис. 5.1.

Швидкість за якою  $f(v)$  є максимальною, називається *найімовірнішою швидкістю* і позначається як  $v_i$ . *Середня арифметична швидкість* молекул позначається як  $\langle v \rangle$ . *Середня квадратична швидкість* молекул позначається як  $v_{\text{ср.кв.}}$ .

З рис. 5.1 видно, що має місце співвідношення:  $v_i < \langle v \rangle < v_{\text{ср.кв.}}$ .

Значення середньої швидкості молекули визначається за формулою:

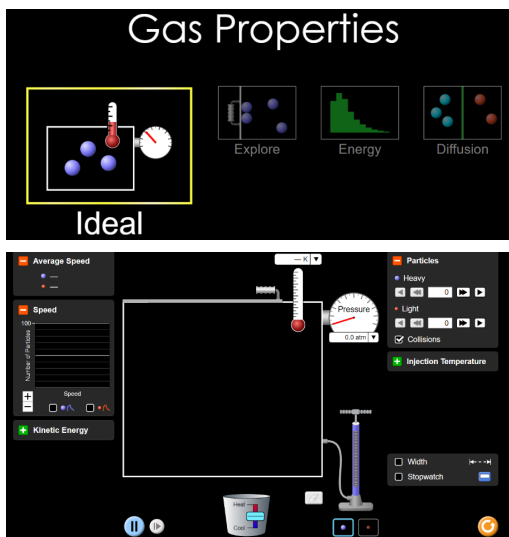
$$\langle v \rangle = \sqrt{8kT / \pi m}. \quad (5.1)$$

**Завдання:** дослідити формування розподілу молекул за швидкостями залежно від маси молекул газу та його температури.

### *Застосування вебсимуляції*

Відкрийте у браузері (вебпереглядачі) комп'ютера сторінку із симуляцією за посиланням: [https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_en.html).

Для цього підведіть курсор до посилання, натисніть клавішу Ctrl і одночасно клацніть на посиланні. Завантажиться вебсторінка, як показано на зображенні нижче.



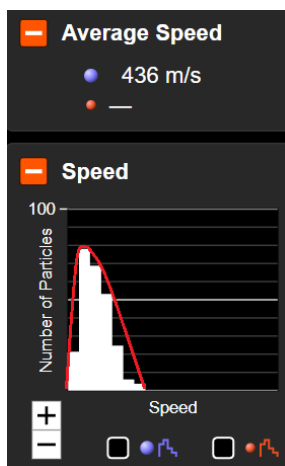
### Послідовність дій

1. Розгорніть симуляцію з підписом «*Energy*» (зображення праворуч).

З'ясуйте:

- як обирати один з двох видів молекул і закачувати відповідний газ до ємності за допомогою насоса та порціями надавати й вилучати певну кількість молекул;
- як нагрівати та охолоджувати газ;
- як визначати температуру й тиск газу;
- яким чином визначити середню швидкість руху обраного типу молекул.

2. Натисніть позицію з блакитною молекулою.



2.1. За допомогою «насоса» накачайте певну кількість речовини в ємність (7–8 рухів «насоса»). Дочекайтеся рівномірного розподілу молекул по ємності. Визначте усереднене за показниками значення середньої швидкості молекул  $\langle v_1 \rangle$  та значення температури  $T_1$ . Зробіть скріншот екрана. Намалюйте графік розподілу молекул за швидкостями (усереднено за змінами його форми в часі), як показано червоною лінією на зображенні справа (це можна зробити в редакторі Paint

або в будь-якому іншому графічному редакторі). Позначте на графіку розташування найімовірнішої швидкості, середньої швидкості та середньоквадратичної швидкості (відповідно до рис. 5.1).

*Зауваження.* Якщо ви не маєте можливості працювати зі скріншотом у будь-якому графічному редакторі, то зробіть відповідні графіки-рисунок «від руки».

2.2. Підвищити температуру до значення  $T_2$ , за даними власного варіанта, що наведені в таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1. Дані для виконання роботи за варіантами**

| № варіанта | Температура $T_2$ , K |
|------------|-----------------------|
| 1, 11, 21  | 600                   |
| 2, 12, 22  | 650                   |
| 3, 13, 23  | 700                   |
| 4, 14, 24  | 750                   |
| 5, 15, 25  | 800                   |
| 6, 16, 26  | 850                   |
| 7, 17, 27  | 900                   |
| 8, 18, 28  | 950                   |
| 9, 19, 29  | 1000                  |
| 10, 20, 30 | 1050                  |

Запишіть значення середньої швидкості  $\langle v_2 \rangle$  (усереднено за показниками). Поруч з попереднім графіком розподілу намалюйте новий розподіл. Позначте на графіку приблизне положення найімовірнішої швидкості, середньої швидкості та середньоквадратичної швидкості. Порівняйте розподіли для двох температур і зробіть висновки.

З формули середньої швидкості (5.1) визначіть та розрахуйте масу молекули  $m$ . Усі одержані результати занесіть до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Дані, що отримані в роботі

| Газ               | $T_1, K$ | $T_2, K$ | $\langle v_1 \rangle, \text{м/с}$ | $\langle v_2 \rangle, \text{м/с}$ | $m, \text{кг}$ |
|-------------------|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Блакитні молекули |          |          |                                   |                                   |                |
| Червоні молекули  |          |          |                                   |                                   |                |

3. Натисніть позицію з червоною молекулою (попередньо «стерти» дані першого дослідження).

3.1. За допомогою «насоса» накачайте певну кількість речовини в ємність (7–8 рухів «насоса»). Дочекайтеся рівномірного розподілу молекул по ємності. Визначіть усереднене за показниками значення середньої швидкості молекул  $\langle v_1 \rangle$  та значення температури  $T_1$ . Зробіть скріншот екрана. Намалюйте графік розподілу молекул за швидкостями (усереднено за змінами його форми з часом). Позначте на графіку розташування найімовірнішої швидкості, середньої швидкості та середньоквадратичної швидкості.

3.2. Підвищіть температуру до значення  $T_2$ , за даними власного варіанта, що наведені в таблиці 5.1. Запишіть значення середньої швидкості  $\langle v_2 \rangle$  (усереднено за показниками). Поруч з попереднім графіком розподілу намалюйте новий розподіл. Позначте на графіку приблизне положення найімовірнішої швидкості, середньої швидкості та середньоквадратичної швидкості. Порівняйте розподіли для двох температур і зробіть висновки.

З формули середньої швидкості (5.1) визначіть та розрахуйте масу молекули  $m$ . Усі одержані результати занесіть до таблиці 5.2.

4. Зробіть висновок, які зміни відбуваються в розподілі молекул за швидкостями із зміною їх маси. Усі скріншоти (або зроблені графіки-рисунок) прикріпіть до звіту лабораторної роботи.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ДИФУЗІЇ МОЛЕКУЛ ГАЗУ

### Постановка задачі дослідження

Явище дифузії відноситься до явищ переносу. Воно полягає в мимовільному перемішуванні молекул різних газів або рідин. Рівняння дифузії

$$\Delta M = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t, \quad (6.1)$$

дозволяє встановити, яка маса газу  $\Delta M$  переноситься за час  $\Delta t$  через площу  $\Delta S$ , що є перпендикулярною напрямку переносу  $\Delta x$  (рис. 6.1). Відношення  $\Delta \rho / \Delta x$  є градієнтом густини речовини. Знак мінус показує, що маса газу переноситься в напрямку зменшення густини.

$D$  є коефіцієнтом дифузії і визначається за формулою

$$D = (\langle v \rangle \cdot \langle \lambda \rangle) / 3, \quad (6.2)$$

де  $\langle v \rangle$  – середня швидкість руху молекул;  $\langle \lambda \rangle$  – середня довжина вільного пробігу молекул.

$$\langle \lambda \rangle = 1 / (\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n), \quad (6.3)$$

де  $d$  – ефективний діаметр молекул,  $n$  – їх концентрація,  $n = N/V$  ( $N$  – кількість молекул;  $V$  – об'єм).

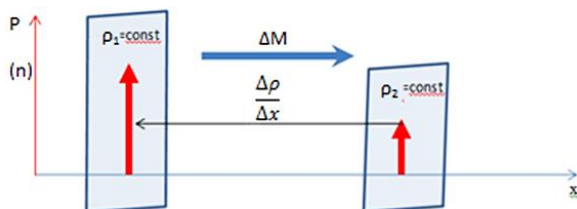


Рис. 6.1. Перенос речовини за існування градієнта її густини (концентрації)

З виразу 6.1 можна одержати час, необхідний для переносу газу масою  $\Delta M$ ,

$$\Delta t = \Delta M \cdot \Delta x / (\Delta \rho \cdot \Delta S \cdot D).$$

З урахуванням виразів (6.2) і (6.3) отримуємо наступне:

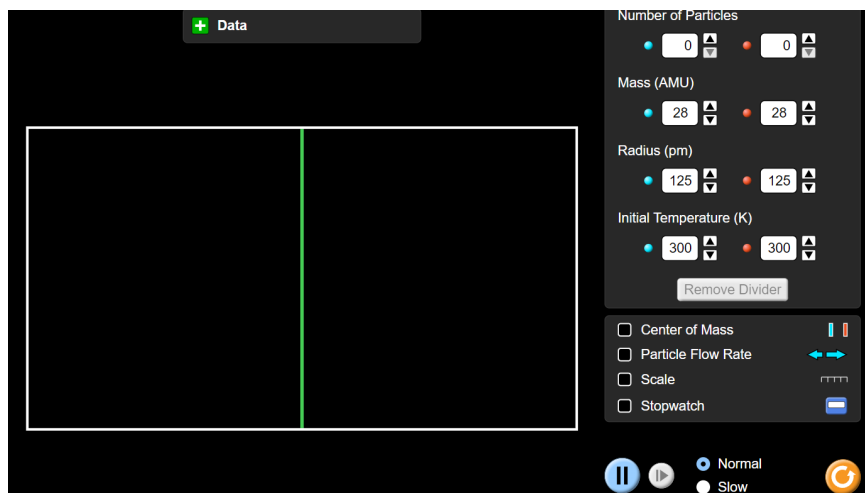
$$\Delta t = 3 \Delta M \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n \cdot \Delta x / (\Delta \rho \cdot \Delta S \cdot \langle v \rangle). \quad (6.4)$$

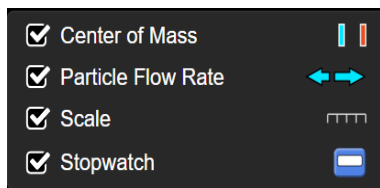
**Завдання:** дослідити зміну часу дифузії молекул залежно від їх кількості (концентрації), маси, розміру й температури газу.

### *Застосування вебсимуляції*

Відкрийте в браузері (вебпереглядачі) комп'ютера сторінку із симуляцією за посиланням: [Diffusion \(colorado.edu\)](http://Diffusion.colorado.edu).

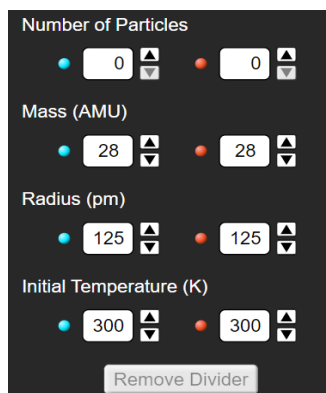
Для цього підведіть курсор до посилання, натисніть клавішу Ctrl і одночасно клацніть на посиланні. Завантажиться вебсторінка, як показано на зображенні.





### *Послідовність дій*

1. Під час ознайомлення із симуляцією з'ясуйте:
  - як змінювати кількість молекул кожного типу (блакитних і червоних), їх масу, радіус, температуру газу та приблизити роздільник (*divider*) між ємностями, використовуючи спеціальну шкалу (зображення справа);



- які функції надають позначки, зображені справа, і яким чином за їх допомогою фіксувати:

- а) час процесу дифузії;
- б) напрямок руху та позицію сукупного центра мас для кожного типу молекул.

2. Виставіть усі позначки з попереднього пункту. Для обох типів молекул (блакитних і червоних) внесіть до симуляції початкові дані про кількість молекул  $N$ , їх масу  $m$ , радіус  $R$  і температуру газу  $T$  за даними власного варіанта, що наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Дані для виконання роботи за варіантами

| № варіанта | $N$ | $m$ , в.о. | $R$ , пм | $T$ , К |
|------------|-----|------------|----------|---------|
| 1, 11, 21  | 30  | 10         | 90       | 250     |
| 2, 12, 22  | 40  | 9          | 100      | 200     |
| 3, 13, 23  | 50  | 8          | 90       | 250     |
| 4, 14, 24  | 60  | 7          | 80       | 200     |
| 5, 15, 25  | 70  | 6          | 70       | 250     |
| 6, 16, 26  | 80  | 5          | 80       | 200     |
| 7, 17, 27  | 90  | 4          | 70       | 250     |
| 8, 18, 28  | 40  | 13         | 100      | 200     |
| 9, 19, 29  | 50  | 12         | 90       | 250     |
| 10, 20, 30 | 60  | 11         | 80       | 200     |

**УВАГА:** для червоних та блакитних молекул усі показники будуть мати однакове значення.

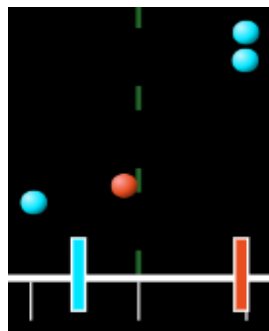
2.1. За допомогою кнопки  запустіть симуляцію.

2.2. За допомогою кнопки  приберіть перемичку між ємностями і в ту же мить запустіть відлік часу на таймері .

2.3. Спостерігайте за рухом блакитної та червоної позначок по шкалі, яку наведено на ілюстрації.



Швидко нижньою кнопкою  зупиніть процес дифузії в ту мить, коли обидві позначки (тобто центри мас груп молекул) по шкалі зайдуть за рисочки, що є найближчими до пунктиру, котрий поділяє ємності (як показано на зображенні справа). Занесіть отриманий час до таблиці 6.2 (рядок «Вихідні дані»).



2.4. За допомогою кнопки  скиньте результати експерименту.

2.5. Знову занесіть до симуляції початкові дані й повторіть експеримент ще чотири рази. Отримані результати занесіть до таблиці 6.2.

2.6. Знайдіть середнє значення часу серед п'яти результатів і занесіть його до таблиці 6.2.

*Таблиця 6.2. Дані, що отримані в роботі*

| Зміна параметрів | Номер експерименту |   |   |   |   | Середнє значення часу, с |
|------------------|--------------------|---|---|---|---|--------------------------|
|                  | 1                  | 2 | 3 | 4 | 5 |                          |
| Вихідні дані     |                    |   |   |   |   |                          |
| Збільшено $N$    |                    |   |   |   |   |                          |
| Збільшено $m$    |                    |   |   |   |   |                          |
| Збільшено $R$    |                    |   |   |   |   |                          |
| Збільшено $T$    |                    |   |   |   |   |                          |

3. Збільште кількість молекул  $N$  (для блакитних і червоних молекул) за вашим варіантом у 2 рази, а інші показники залиште незмінними (як у таблиці 6.1). Повторіть увесь експеримент п'ять разів. Одержані результати занесіть до таблиці 6.2 і знайдіть середнє значення часу.

Порівняйте, як змінився середній час дифузії молекул у результаті збільшення їх кількості. Проаналізуйте, які параметри в чисельнику та знаменнику формули 6.4 залежать від кількості молекул, і чи відповідає цій формулі одержаний вами результат. Напишіть висновки.

4. Збільште масу молекул  $m$  (для блакитних і червоних молекул) за вашим варіантом у 2 рази, а інші показники залиште незмінними (як у таблиці 6.1). Повторіть весь експеримент п'ять разів. Одержані результати занесіть до таблиці 6.2 і знайдіть середнє значення часу.

Порівняйте, як змінився середній час дифузії молекул у результаті збільшення їх маси. Проаналізуйте, які параметри

в чисельнику та знаменнику формули 6.4 залежать від маси молекул, і чи відповідає цій формулі одержаний вами результат. Напишіть висновки.

5. Збільште радіус молекул  $R$  (для блакитних і червоних молекул) за вашим варіантом у 1,5 рази, а інші показники залиште незмінними (як у таблиці 6.1). Повторіть весь експеримент п'ять разів. Одержані результати занесіть до таблиці 6.2 і знайдіть середнє значення часу.

Порівняйте, як змінився середній час дифузії молекул у результаті збільшення їх радіусу. Проаналізуйте, які параметри в чисельнику та знаменнику формули 6.4 залежать від радіусу молекул, і чи відповідає цій формулі одержаний вами результат. Напишіть висновки.

6. Збільште температуру газу  $T$  (для блакитних і червоних молекул) за вашим варіантом у 1,5 рази, а інші показники залиште незмінними (як у таблиці 6.1). Повторіть весь експеримент п'ять разів. Одержані результати занесіть до таблиці 6.2 і знайдіть середнє значення часу.

Порівняйте, як змінився середній час дифузії молекул у результаті збільшення температури. Проаналізуйте, які параметри в чисельнику та знаменнику формули 6.4 залежать від температури, і чи відповідає цій формулі одержаний вами результат. Напишіть висновки.

## ВИМОГИ ДО ВМІСТУ ЗВІТУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

За результатами виконання кожної лабораторної роботи має бути складений звіт, що містить наступні компоненти:

1. Повну назву лабораторної роботи із зазначенням її номера.

2. Завдання роботи (надано на початку кожної роботи).

3. Інформацію про тематику частини роботи, результати якої надаються в даному місті звіту (можна вказати назву відповідного підрозділу). Наприклад: *«Дослідження залежності кутової швидкості коливань від величини кута відхилення маятника»*.

4. Повні розрахунки всіх параметрів, які необхідно розрахувати за формулами в роботі та одиниці їх вимірювання.

5. Усі таблиці, які необхідно заповнити за умовою виконання роботи.

6. Усі графічні зображення, які необхідно побудувати за умовою виконання роботи.

7. Усі висновки, які необхідно зробити за умовою виконання роботи.

8. Усі скріншоти, які необхідно зробити за умовою виконання роботи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаркуша І. П., Курінний В. П. Фізика : навч. посіб. у 7 ч. Ч. 1: Механіка. Дніпро : НТУ ДП, 2019. 130 с. URL: [https://physics.nmu.org.ua/ua/personal/Garkusha/Part\\_1\\_ua.pdf](https://physics.nmu.org.ua/ua/personal/Garkusha/Part_1_ua.pdf).
2. Гаркуша І. П., Курінний В. П. Фізика : навч. посіб. у 7 ч. Ч. 2: Молекулярна фізика та термодинаміка. Дніпро : НТУ ДП, 2012. 130 с. URL: [https://physics.nmu.org.ua/ua/Study\\_methodical\\_work/The\\_manual\\_on\\_the\\_physicist/Physics\\_part\\_2.pdf](https://physics.nmu.org.ua/ua/Study_methodical_work/The_manual_on_the_physicist/Physics_part_2.pdf).
3. Крамар О. Збірник контрольних тестових завдань для практичних робіт з фізики (механіка, молекулярна фізика, термодинаміка, основи електрики). Тернопіль : Тайп, 2015. 87 с. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17294/1/metod\\_test\\_p1.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17294/1/metod_test_p1.pdf).
4. Правда М. І. Лекції по курсу загальної фізики для спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Розділ 1. Механіка. Запоріжжя, 2019. 55 с. URL: [http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/4725/1/Pravda\\_Lectures.pdf](http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/4725/1/Pravda_Lectures.pdf).
5. Прокопів В. В. Конспекти лекцій з молекулярної фізики : навч. посіб. Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2017. 76 с. URL: [https://kfhtt.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/48/2019/02/Konspekt-FF\\_Knyga.pdf](https://kfhtt.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/48/2019/02/Konspekt-FF_Knyga.pdf).
6. Чікункова Т. О. Фізичні основи молекулярної фізики та термодинаміки. Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу фізики (вузівський курс). Для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Одеса : Одеська національна академія харчових технологій, 2020. 18 с. URL: <https://vseosvita.ua/library/metodicni-vkazivki-do-samostijnoi-roboti-z-kursu-fiziki-vuzivskij-kurs-fizicni-osnovi-molekularnoi-fiziki-ta-termodynamiki-198612.html>.

Навчальне видання

**ЛІТВІНОВА** Марина Борисівна  
**ШТАНЬКО** Олександр Дмитрович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**для виконання лабораторних робіт**  
**з дисципліни «ФІЗИКА 1»**  
**з використанням інтерактивних симуляцій**

Комп'ютерна правка й коректура *О. Г. Костенко*  
Комп'ютерне верстання *Ю. С. Семенченко*

---

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,33. Вид. № 9. Зам. № 2504-24.  
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007  
E-mail : [publishing@nuos.edu.ua](mailto:publishing@nuos.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.