

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Н.О.Якуніна, О.С Климук

**ФІЗИКА-1. ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА 1  
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти, які навчаються за спеціальністю «Інформаційні системи та технології»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2021



УДК 537.8  
ББК 22.33  
Ф 48

**Рецензент:** В.Й Котовський, завідувач кафедри загальної фізики та фізики твердого тіла КПІ ім. Ігоря Сікорського, доктор т.н., професор.

**Відповідальний редактор:** В.М. Локтев В.М., завідувач кафедри загальної та теоретичної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського, академік, доктор фіз.-мат. наук, професор

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № від . .2021 р.)  
за поданням Вченої ради фізико-математичного факультету  
(протокол № від . 2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Якуніна Наталія Олександрівна, доцент кафедри загальної та теоретичної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.ф.-м. наук, доцент:

Климук Олена Сергійовна, доцент кафедри загальної та теоретичної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.ф.-м. наук, доцент:

**Ф 48** Загальна Фізика. Оптика. Лабораторний практикум . Навч. посібник / Н.О. Якуніна, О.С.Климук , – К. : Вид-во «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. – 10 с.

У лабораторному практикумі представлені теоретичні відомості, опис лабораторної роботи з теми «Дослідження прискорення поступального руху за допомогою машини Атвуда», що викладається для майбутніх фахівців за спеціальністю «Інформаційні системи та технології», наведені методичні вказівки до виконання цієї роботи, містяться контрольні питання для самостійної роботи та підготовки до модульного контролю.

Посібник призначений для студентів, які навчаються у закладах вищої освіти і вивчають нормативну навчальну дисципліну «загальна фізика» з циклу математичної та природничо-наукової підготовки за спеціальністю «Інформаційні системи та технології».

Посібник може бути корисним для науково-педагогічних працівників, які викладають курс фізики, під час планування та підготовки завдань до лабораторних робіт та модульних контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика-1. Загальна Фізика 1».

© Н.О. Якуніна, О.С. Климук, 2021  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

## Дослідження прискорення поступального руху за допомогою машини

### Атвуда

**Мета роботи:** дослідження законів рівноприскореного руху на основі аналізу кінематичних характеристик руху системи тіл, використання законів динаміки для визначення прискорення тіла.

**Короткі теоретичні відомості.** Для вивчення законів рівноприскореного руху зручно розглядати рух тіла в машині Атвуда. Схематично машину Атвуда можна уявити як систему, що складається з блока, через який перекинута тонка нитка з вантажами, що мають маси  $m_1$  і  $m_2$  (рис. 4.1).

При аналізі руху системи будемо вважати, що блок та нитка невагомі, нитка нерозтяжна, а тертя та опір повітря відсутній.

В цьому випадку рух тіл різної маси  $m_1$  і  $m_2$  буде прискорений. Тоді, відповідно до другого закону динаміки, визначається рівнодіючою сил, які прикладені до кожного з тіл:

$$\begin{aligned} m_1 \vec{a}_1 &= m_1 \vec{g} + \vec{T}_1 \\ -m_2 \vec{a}_2 &= m_2 \vec{g} - \vec{T}_2 \end{aligned}$$

Якщо направити вісь  $X$  донизу, як показано на рис. 4.1, то рівняння руху кожного вантажа в проекції на вісь  $X$  мають вигляд:

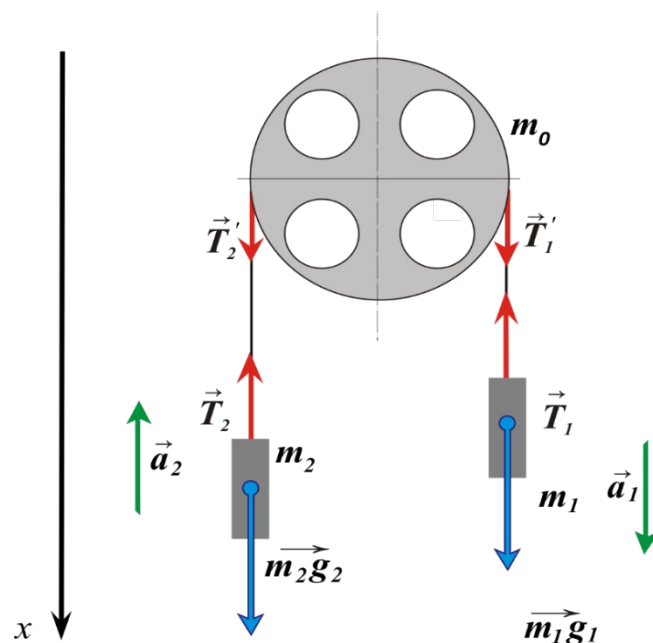


Рис. 4.1

$$m_1 a_1 = m_1 g - T'_1; \quad (4.1)$$

$$-m_2 a_2 = m_2 g - T'_2 \quad (4.2)$$

де  $T_1$  і  $T_2$  – сили натягу ниток,  $a_1$  і  $a_2$  – модулі прискорення відповідних вантажів.

У другому рівнянні прискорення має від'ємну проекцію на вісь  $X$ , якщо маса другого тіла менша за масу першого тіла і друге тіло рухається з прискоренням вгору. При оберненому відношенні мас ми отримаємо в розрахунках від'ємні значення прискорень.

У зв'язку з тим, що довжина нитки постійна в процесі руху, прискорення обох вантажів хоча і протилежні за напрямком, але рівні за величиною, тоді перше рівняння кінематичного зв'язку можна записати у вигляді:

$$a_1 = a_2 = a. \quad (4.3)$$

Враховуючи невагомість і нерозтяжність нитки третій закон динаміки поступального руху тіл дає:  $T'_1 = -T_1$ ,  $T'_2 = -T_2$ , тобто модулі відповідних сил натягу ниток рівні:  $T'_1 = T_1$ ,  $T'_2 = T_2$ . Тоді друге рівняння кінематичного зв'язку буде мати вигляд:

$$T'_1 = T'_2 = T \quad (4.4)$$

Вважатимемо, що  $m_2 = m$ ,  $m_1 = m + \Delta m$ , тоді, розв'язуючи отриману систему рівнянь (4.1)–(4.4), отримаємо значення прискорення:

$$a = g \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \quad \text{або} \quad a = g \frac{\Delta m}{2m + \Delta m}. \quad (4.5)$$

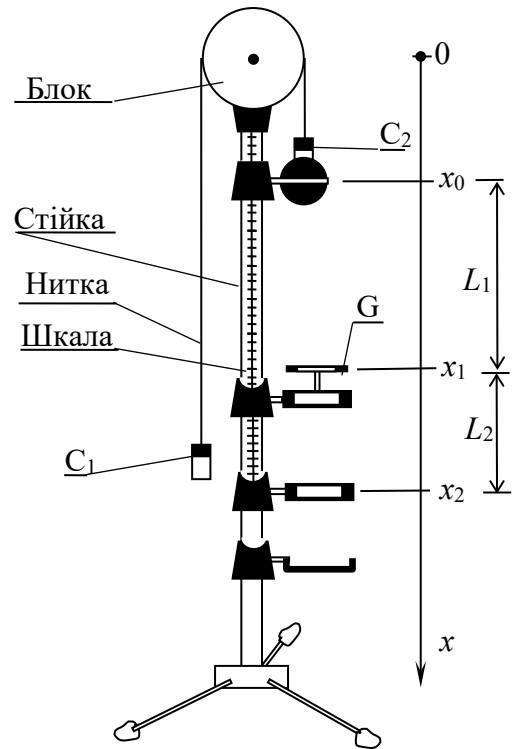
та значення сили натягу нитки:

$$T = 2g \frac{m_1 m_2}{m_2 + m_1} \quad \text{або} \quad T = 2gm \frac{m + \Delta m}{2m + \Delta m}. \quad (4.6)$$

Таким чином, прискорення тіл даної системи завжди менше від прискорення вільного падіння і змінюється при зміні відношення між масами обох вантажів.

**Експериментальна установка.** Машина Атвуда складається із прикріпленої до основи вертикальної *стійки*, на яку нанесено *шкалу* (рис. 4.2).

У верхній частині стійки міститься легкий *блок*, що обертається з малим тертям. Через блок перекинута легка *нитка*, до кінців якої прикріплені два однакові вантажі  $C_1$  і  $C_2$ . До вантажу  $C_2$  можна додавати додаткові вантажі (перегрузки) у вигляді тонких пластин. В результаті такого додавання виникає нерівність мас, і система вантажів починає рухатися з деяким прискоренням(рис.4.3).



Змінюючи масу перегрузка, можна змінити прискорення системи.

Після того, як вантаж  $C_2$  з перегрузком проходить деяку відстань  $L_1$ , перегрузок автоматично знімається за допомогою кронштейна  $G$ . Фотодатчик 1, що знаходиться в точці з координатою  $x_1$  фіксує цей момент часу, включаючи таймер.

Після того як перегрузок знято, вантажі починають рухатися по інерції. Вважається, що відстань  $L_2$  вантаж проходить рівномірно. В точці з координатою  $x_2$ , розташований фотодатчик 2. Він фіксує момент, коли вантаж знаходиться в точці з координатою  $x_2$ , і виключає таймер. Таким часом показники таймера - це час рівномірного прольоту вантажа на проміжку  $L_2$ .

**Методика визначення прискорення поступального руху.** Виходячи з аналізу руху системи тіл, проведеного в теоретичних відомостях, бачимо, що реальний рух тіл на ділянці  $L_1$  рівноприскорений. У цьому випадку його кінематичні закон руху, тобто залежність координати тіла від часу, будуть мати вигляд :

$x = x_0 + \frac{at^2}{2}$ , та  $v = v_0 + at$ , де  $x_0$  – координата, від якої груз  $C_2$  починає свій

рух,  $v_0$  – початкова швидкість. Враховуючи, що початкова швидкість в точці

$x_0$  відсутня, отримана система рівнянь дає:  $L_1 = x_1 - x_0 = \frac{v_1^2}{2a}$ , (4.12)

де  $v_1$  – швидкість вантажу в момент зняття перегрузка й включення таймера;

Якщо в системі відсутні сили тертя, то із цією ж швидкістю  $v_1$  тіло  $C_2$  буде проходити відстань між фотодатчиками після зняття з нього перегрузка.

Рух тіла на цій ділянці буде рівномірним, тобто  $v_1 = \frac{L_2}{t_2}$ , (4.13)

де  $L_2 = x_2 - x_1$  – відстань між двома кронштейнами ( $x_2$  – координата нижнього фотодатчика);  $t_2$  – час руху на цій ділянці шляху.

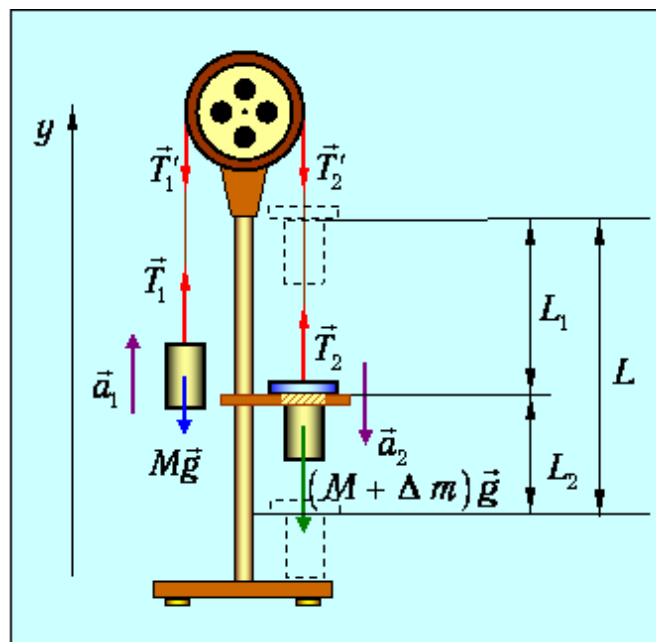


Рис. 4.3

### Порядок виконання роботи

1. Верхній кронштейн  $G$  встановити на позначці  $x_1$ , а нижній кронштейн на позначці  $x_2$  так, щоб відстань між кронштейнами склала 15–20 см.

Записати у табл. 4.1 значення  $L_2 = x_2 - x_1$ .

Вантаж  $C_2$  встановити у верхнє положення з координатою  $x_0$ .

Зверніть увагу: надалі значення  $L_2$  в процесі вимірювання не змінюють.

2. Записати в табл. 4.1 значення мас вантажа  $m$  та перегрузка  $\Delta m$ .

Таблиця 4.1

№ виміру	$L_2,$ м	$m,$ кг	$\Delta m,$ кг	$L_1,$ м	$t_2,$ с	$v_1,$ м/с	$v_1^2,$ (м/с) <sup>2</sup>	$a,$ м/с <sup>2</sup>	$a_p,$ м/с <sup>2</sup>
1	.	.	.	.	.				
2				.	.				
3				.	.				
4				.	.				
5				.	.				

3. Поклавши на вантаж  $C_2$  перегрузок  $\Delta m$  надати руху системі тіл і одночасно включити таймер.

4. По показанню таймера записати час руху  $t_2$  вантажа  $C_2$  між верхнім і нижнім кронштейнами.

Результати вимірювань занести в табл. 4.1.

5. Визначити значення швидкості  $v_1 = \frac{L_2}{t_2}$  та квадрата швидкості  $v_1^2$ .

Результати обчислень занести до табл.4.1.

6. За результатами вимірювань побудувати залежність  $v_1^2(L_1)$ .

7. Визначити кутовий коефіцієнт прямої  $v_1^2(L_1)$ , по якому, згідно з (4.12), знайти значення прискорення  $a$ .

8. Порівняти отримане значення зі знайденим  $a = a_p$ , знайденому за формулою (4.5).

9. Двічі змінюючи масу  $\Delta m$  перегрузка провести вимірювання значень прискорень за п.2 - 9.

Результати вимірювань занести до табл. 4.2 та 4.3, відповідно

10. Побудувати графік залежності  $a(\Delta m)$ .

11. Проаналізувати отримані результати. Записати висновки.



Таблиця 4.2

№ виміру	$L_2$ , м	$m$ , кг	$\Delta m$ , кг	$L_1$ , м	$t_2$ , с	$v_1$ , м/с	$v_1^2$ , (м/с) <sup>2</sup>	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$a_p$ , м/с <sup>2</sup>
1	.	.	.	.	.				
2				.	.				
3				.	.				
4				.	.				
5				.	.				

Таблиця 4.3

№ виміру	$L_2$ , м	$m$ , кг	$\Delta m$ , кг	$L_1$ , м	$t_2$ , с	$v_1$ , м/с	$v_1^2$ , (м/с) <sup>2</sup>	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$a_p$ , м/с <sup>2</sup>
1	.	.	.	.	.				
2				.	.				
3				.	.				
4				.	.				
5				.	.				

### Контрольні запитання

1. Який рух називається рівноприскореним? Запишіть кінематичні рівняння, які описують прямолінійний рівноприскорений рух тіл.
2. Що таке інерціальні та неінерціальні системи відліку? Сформулюйте 1-й закон Ньютона.
3. Що таке маса, як її виміряти?
4. Що таке сила, як її виміряти?
5. Сформулюйте 2-й закон Ньютона.

6. Сформулюйте 3-й закон Ньютона.
7. Сформулюйте умови, за яких отримані основні співвідношення роботи.
8. Які сили діють під час руху на вантажі, які закріплені на кінцях нитки? Запишіть систему рівнянь, що описують рух розглянутої установки без урахування маси блоку і сили тертя в осі.
9. Як зміниться нахил прямої  $v_1^2(L_1)$  при зростанні прискорення тіла?
10. Чим можна пояснити розходження значень прискорення, отриманого в експерименті та розрахованого за теоретичними викладками.
11. При каком условии силы натяжения нити по разные стороны блока можно считать одинаковыми?

### Література

1. Савельев И.В. Курс общей физики. т. 1. — М.: — Наука, 1989.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. 1.Механика. 3-е изб. М.:Наука, 1989, Гл.ІІ.
3. Methodological instructions for laboratory work No. 4(1): «Study of the dynamics of the simplest systems using the Atwood's machine» N.O. Iakunina, O.G. Danylevych, O.S. Klymuk, I.M. Ivanova— Kyiv: I.Sikorsky KPI, 2020. — 8 p.
4. Лабораторный практикум по физике (Под ред. А.С. Ахматова. — М: Высш.шк.) 1980.