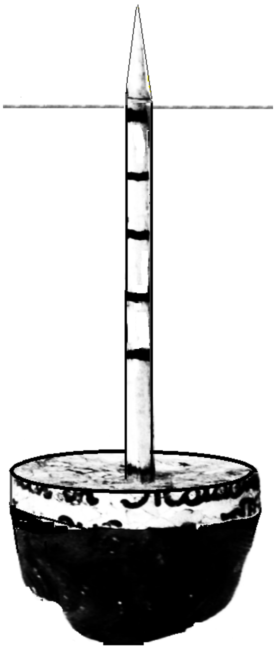
8 клас

Задача №1 Із зубочистки, пробки і пластиліну виготовляємо ареометр (одну з моделей якого можна побачити на малюнку).



Наливаємо в стакан чисту воду. Підбираємо кількість пластиліну такою, щоб рівень води проходив по верхній границі рівної за товщиною частині зубочистки. Так буде визначена перша точка для градуювання виготовленого приладу. Видана соль дозволить нам підготувати розчин відомої концентрації, наприклад, розчинивши 8 г солі в 200 мл води. Кількість води треба вимірювати мензуркою для забезпечення точності. Концентрація такого розчину 8/200 = 0,04. Якщо розчин виявляється занадто густим (рівень розчину проходить нижче рівня пробки), то його можна зробити менш густим додавши відому кількість води.

Поставивши другу мітку можна відградуювати ареометр, використовуючи міліметровий папір, тобто нанести проміжні поділки. Завдяки тому, що переріз зубочистки є однаковим, шкала ареометра буде лінійною:

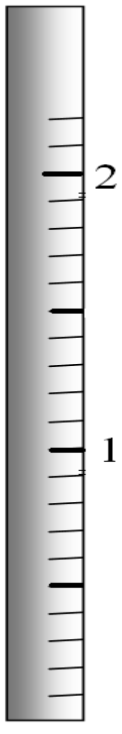
$$\rho_{розч.}\cdot h\cdot S = \rho_{води}\cdot(h + \Delta h)\cdot S$$

$$\Delta h = \frac{\Delta\rho}{\rho_{води}}\cdot h$$

Після цього можна зробити замір невідомого розчину. Опускаємо наш ареометр у невідомий розчин. Відмічаємо поділку, яку вказує рівень розчину, це й буде невідома густина.

Враховуючи те, що досліди проводяться з малою концентрацією солі, можна вважати, що залежність густини від концентрації є лінійною.

Невідома концентрація розчину – 0,02.



Задача №2

Чекаємо, поки температура льоду не досягає 0°С – це відбувається тоді, коли лід починає танути. Бажано прикрити стакан з льодом, щоб він прогрівався повільніше та по можливості рівномірно.

Коли лід почне танути, візьмемо його в руку та будемо тримати приблизно хвилину, якщо потрібно 2-3 хвилини.

Кількість отриманої з льоду води можна заміряти виготовивши з прозорої трубки мензурку. Для чого за допомогою міліметрового паперу нанесемо маркером на неї шкалу в міліметрах. Втягаючи воду, яка утворилася при таненні льоду, в трубочку, за одно чи декілька вимірів визначимо її об'єм.

Об'єм води, яка розтаяла за рахунок тепла долоні:

$$d = 5мм, \quad V = Sh = \frac{\pi d^2 h}{4}.$$

Визначимо теплову потужність долоні:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda m}{t} = \frac{\lambda\rho V}{t}$$

Потрібні $\lambda = 330\cdot10^3$ Дж/кг, $\rho = 1000$ кг/м^3.

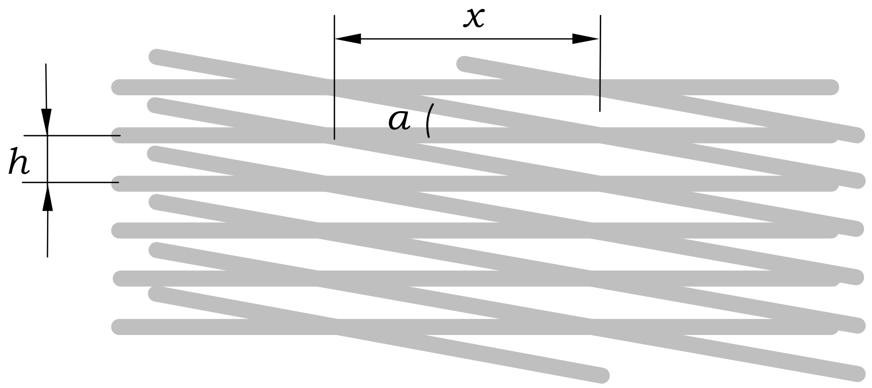
Задания экспериментального тура
IV этапа Всеукраинской олимпиады по физике 2011 года

9 класс

Задание 1 (решение)

При наложении прозрачной разлинеенной полоски на бумажную виден сложный узор из темных и более светлых участков (муар), связанный с тем, что места пересечения линий будут наблюдаться в среднем светлее, чем участки между пересечениями, где плотность линий в два раза больше.

При изменении угла между линиями на бумаге и прозрачной полоске, меняется и расстояние между светлыми (или темными) полосами. Расстояние x между парой соседних светлых (или темных) полос связано с шагом линий h и углом α (в радианах):



$$\frac{h}{x} \approx \sin\alpha \approx tg\alpha \approx \alpha$$

Если на некотором отрезке l умещается N полос:

$$x = \frac{l}{N}; \quad \alpha = \frac{h}{l}N .$$

Угол α оказывается пропорциональным числу N.

Эту зависимость мы и положим в основу работы нашего прибора.

Сначала, с помощью линейки построим на картоне удобный эталонный угол в середине нужного диапазона, например $\alpha' =$ 5°.

Из неиспользованного участка картона вырезаем полоску приблизительно той же ширины, что и бумажная полоска с линиями. С помощью кусочка скотча прикрепляем бумажную полоску на краю картонной, а прозрачную полоску прикрепляем вдоль линейки. При этом нужно следить, чтобы при совпадении кромок линейки и картона (то есть когда угол между ними 0°) муар исчезал (по крайней мере, исчезал упорядоченный рисунок светлых и темных полос) – при этом линии на бумаге и пленке параллельны (угол между ними тоже 0°).

Совместив кромки картона и линейки со сторонами эталонного угла, делаем на линейке нулевую отметку в районе одной из полос, а затем отмечаем положение первых N' полос относительно нулевой (N' кратно углу в градусах: 5, 10, 15, 20, 25, …).

Отметка $N' =$ 5 будет первой, обозначим ее $\alpha_0 = \alpha'/N' =$ 1°/полоса.

Следующую $N' =$ 10 отмечаем как α_1 = 0,5°/полоса.

$N' =$ 15 – α_2 = 1/3 °/полоса.

$N' =$ 20 – α_3 = 0,25 °/полоса.

$N' =$ 25 – α_4 = 0,2 °/полоса.

По полученной шкале любой другой угол измеряется по количеству полос N, умещающихся в промежутке от нулевого деления до любого из отмеченных ранее (чем дальше деление, тем точнее результат).

$$\alpha = N \cdot \alpha_n$$

Теперь оценим относительную погрешность измерения угла. Она включает в себя

1. Погрешность построения эталонного угла $\Delta L/L = 0{,}025$;
2. Погрешность подсчета числа полос при нанесении шкалы $\Delta N'/N' = 0{,}01$;
3. Погрешность подсчета числа полос при измерении $\Delta N/N = 0{,}02$.

Таким образом, результирующая относительная погрешность составляет 5÷6%.

Решение задачи №2 экспериментального тура. (9 кл.)

Для нахождения зависимости высоты уровня воды в шприце от времени ее вытекания *h(t)* можно, например, закрыв пальцем носик шприца, набрать в него воду и после открытия, через равные промежутки времени, отсчитываемые метрономом, нанести фломастером на шприце местоположения уровня воды. После этого с помощью миллиметровой бумаги измерить их расстояния от нижнего края носика шприца. Занести данные в таблицу и построить график, подобный представленному на рис.1.

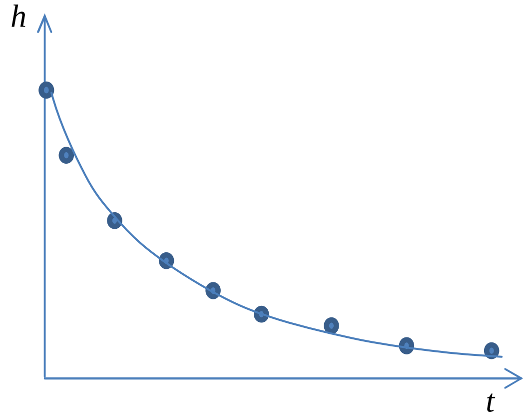


Рис. 1.

Разбив график на достаточно малые участки, найти скорость уровня воды в шприце как отношение модуля приращения высоты $|\Delta h|$ к приращению времени Δt на каждом из участков. Скорость вытекания воды

$$\upsilon_{эксп} = \frac{|\Delta h|}{\Delta t} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

где D – диаметр шприца; d – диаметр его носика, которые измеряются миллиметровкой.

Теоретическая зависимость дается формулой Торричелли $\upsilon_{теор}(h) = \sqrt{2gh}$.

На рис.2 представлены примерные графики искомых зависимостей.

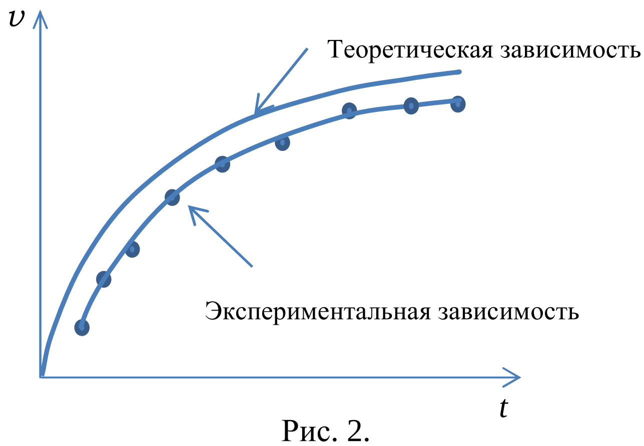


Рис. 2.

Несовпадение кривых в эксперименте объясняется тем, что вода не является идеальной жидкостью и скорость ее истечения меньше вследствие потерь энергии, за счет которой совершается работа против сил трения.

Розв'язок задачі №1 експериментального туру. 10 клас.

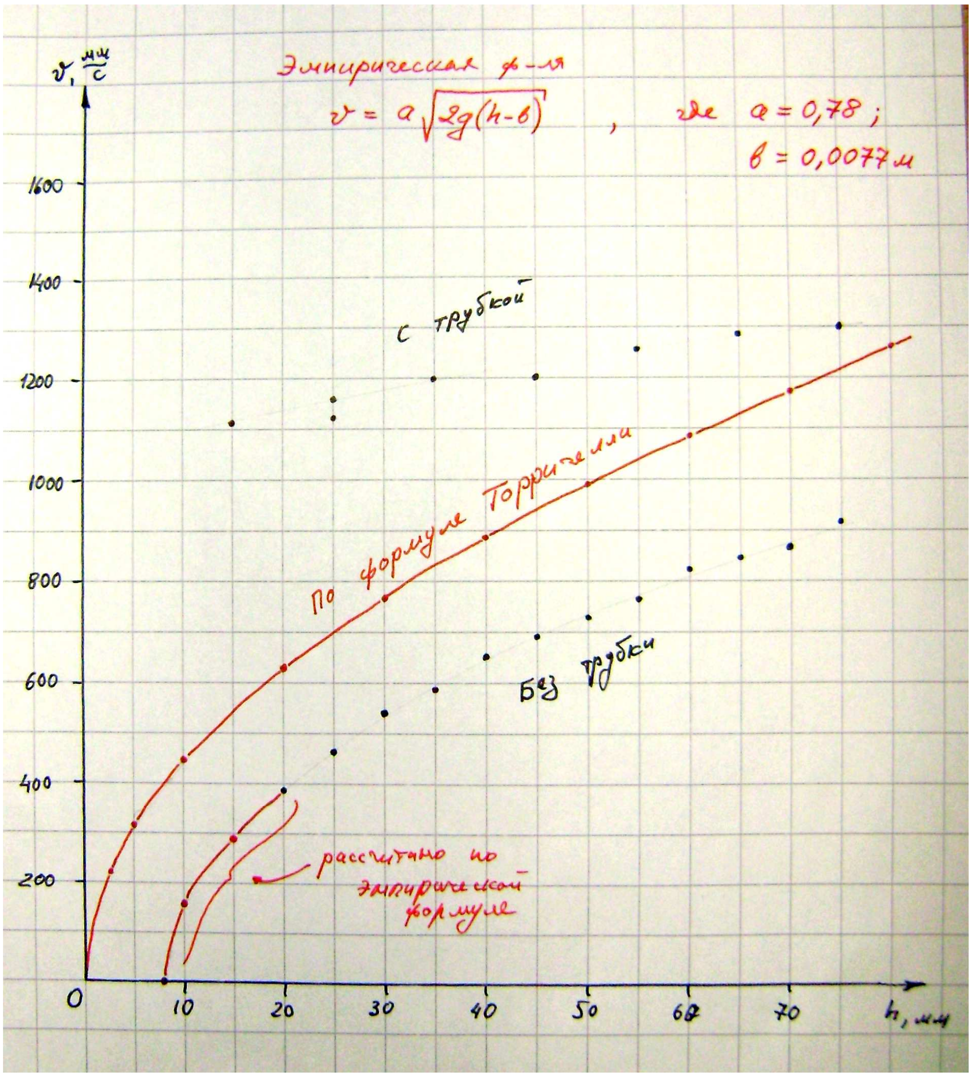
1. Вимірювання часової залежності висоти стовпчика води.

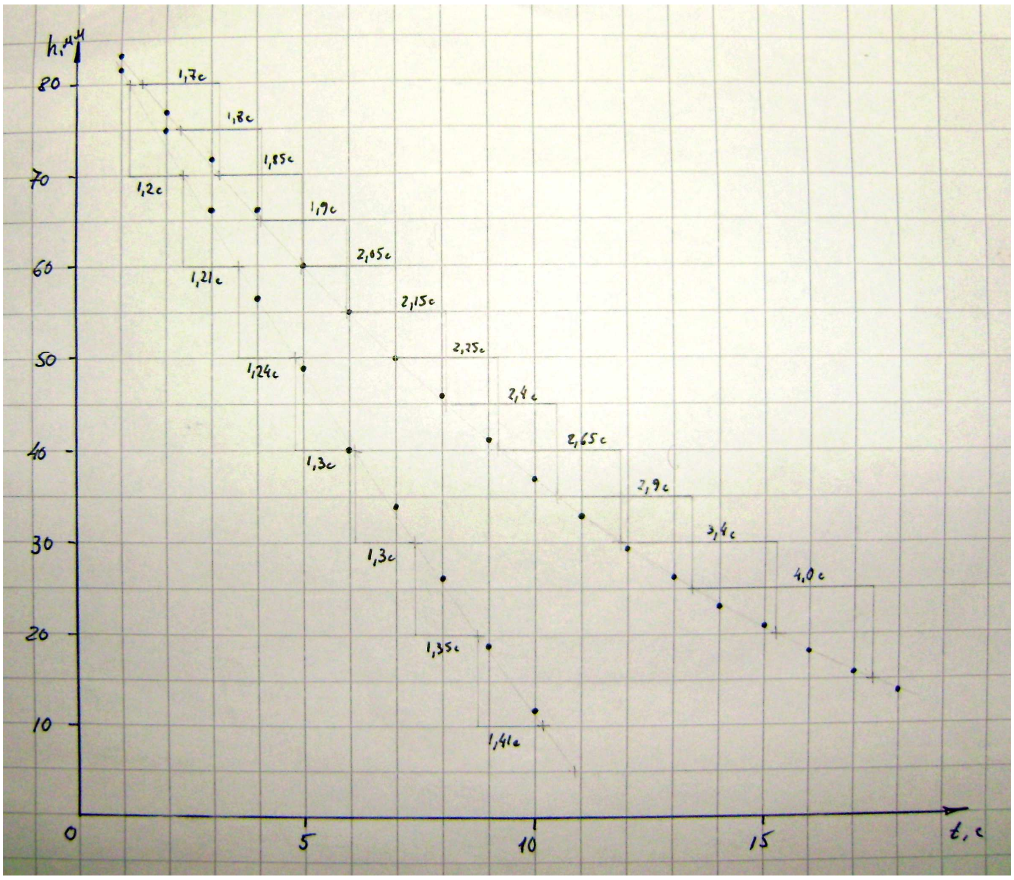
t, с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, мм	7,5	6,6	5,5	4,6	4	3,3	2,7	2,4	2	1,7
V, м/с эксперим.	1,2									
V, м/с теоретичн.										

2. Побудова графіка залежності висоти від часу.

3. Побудова теоретичного та експериментального графіків залежності швидкості від висоти стовпчика води.

4. Визначення емпіричних параметрів *a* та *b* методом: 1) розрахунку по двом точкам отриманих залежностей; 2) побудови лінеаризованих залежностей квадрата швидкості від добутку прискорення та висоти: $V^2 = 2gh$ і визначення *a* як корня з середнього значення кутового коефіцієнта, а *b* - як значення відношення *V* при *h*=0.


v, мм/с
Эмпирическая ф-ла
v = a√(2g(h-b)) , где a = 0,78 ;
b = 0,0077 м
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
с трубкой
По формуле Торричелли
без трубки
рассчитано по эмпирической формуле
10
20
30
40
50
60
70
h, мм


h, мм
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1,7с
1,8с
1,85с
1,9с
2,05с
2,15с
2,25с
2,4с
2,65с
2,9с
3,4с
4,0с
1,2с
1,21с
1,24с
1,3с
1,3с
1,35с
1,41с
5
10
15
t, с

Без трубки

h	v^*	v^*
75 мм	5,9 $\frac{мм}{с}$	918 $\frac{мм}{с}$
70	5,5	867
65	5,4	843
60	5,26	821
55	4,88	761
50	4,65	726
45	4,44	693
40	4,17	650
35	3,77	589
30	3,45	538
25	2,94	459
20	2,50	390

$D = 20$ мм

$d = 1{,}6$ мм

$\left(\frac{D}{d}\right)^2 = 156$

С трубкой

h	v^*	v
75	8,33 $\frac{мм}{с}$	370 $\frac{мм}{с}$ (1300)
65	8,26	367 (1290)
55	8,06	358 (1260)
45	7,69	342 (1200)
35	7,69	342 (1200)
25	7,41	329 (1160)
15	7,09	315 (1110)

$D = 20$ мм

$d = 3{,}0$ мм

44,4

Трубка длиной

92 мм

По ф-ле Торричелли:

h	v $\frac{мм}{с}$
80	1253
70	1172
60	1085
50	991
40	886
30	767
20	626
10	443
5	313
2,5	221

	$h+92$	v $\frac{мм}{с}$
80	172	1840
70	162	1780
60	152	1730
50	142	1670
40	132	1610
30	122	1550
20	112	1480
10	102	1410

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2\cdot 981\,\tfrac{см}{с^2}\cdot h_{см}} = 44{,}3\cdot\sqrt{h_{см}}\left(\tfrac{см}{с}\right)$$

$$= 443\sqrt{h_{см}}\left(\tfrac{мм}{с}\right)$$

Опорные точки: $v_1 = 0{,}39\,\frac{м}{с}$ $h_1 = 0{,}02$ м

$v_2 = 0{,}843\,\frac{м}{с}$ $h_2 = 0{,}065$ м

Эмпир. ф-ла $\boxed{v = a\sqrt{2g(h-b)}}$

Поиск эмпирической формулы

$$\begin{cases} 0{,}39 = a\sqrt{2\cdot 9{,}81\cdot(0{,}02-b)} \\ 0{,}843 = a\sqrt{2\cdot 9{,}81(0{,}065-b)} \end{cases} \quad (*)$$

$$\frac{0{,}843}{0{,}39} = \sqrt{\frac{0{,}065-b}{0{,}02-b}}$$

$$4{,}67 = \frac{0{,}065-b}{0{,}02-b}$$

$$0{,}02\cdot 4{,}67 - 4{,}67\cdot b = 0{,}065 - b$$

$$0{,}02\cdot 4{,}67 - 0{,}065 = 3{,}67\cdot b$$

$$b = \frac{0{,}0284}{3{,}67} \simeq 0{,}00774 \text{ м}$$

Из (*) $a = \dfrac{0{,}39}{\sqrt{2\cdot 9{,}81\cdot(0{,}02-0{,}00774)}} = 0{,}784$

Эмпир. ф-ла:

$$\boxed{v = 0{,}78\sqrt{2\cdot 9{,}81\,(h-0{,}0077)}} \quad (СИ)$$

Измерения

Без трубки:	С трубкой
83	82
77,2	75
71,8	66
66	56,5
60	49
55	40
50	34
46	26
41,2	19
37	12
33	
29,6	
26,4	
23,6	
20,8	
18	
15,6	
13,5	

внутр. диам 1,6 мм

внутр. диам 3,0 мм

Експериментальний тур 10 кл. Задача 2.

1. Щоб здійснити центральне зіткнення або зіткнення з необхідною прицільною відстанню, зручно використати лінійку як напрямну, вздовж якої запускаємо монету. Для розгону монети можна зробити похилу площину з книжок або вдарити монету нігтем. Другу монету в усіх експериментах доцільно використовувати в якості нерухомої мішені.

Коефіцієнт відновлення знайдемо, вимірявши переміщення монет l_1, l_2 після центрального зіткнення. Для більшої точності підкладемо міліметрівку під плівку й будемо вимірювати l_1, l_2 за міліметрівкою.

Обгрунтуємо теоретично обраний метод. Нехай v_1 - швидкість монети, що налітає, а u_1, u_2 - швидкості монет після центрального зіткнення. За законом збереження імпульсу, в проекції на пряму вздовж якої рухаються монети маємо

$$mv_1 = mu_1 + mu_2$$

Вважаємо, що вся кінетична енергія під час руху монет після зіткнення витрачається на роботу проти сили тертя

$$\frac{mu_1^2}{2} = \mu mgl_1 \ , \qquad \frac{mu_2^2}{2} = \mu mgl_2$$

З наведених формул одержуємо вираз для коефіцієнта відновлення

$$k = \left|\frac{u_1 - u_2}{v_1 - v_2}\right| = \frac{u_2 - u_1}{u_1 + u_2} = \frac{\sqrt{l_2} - \sqrt{l_1}}{\sqrt{l_1} + \sqrt{l_2}}$$

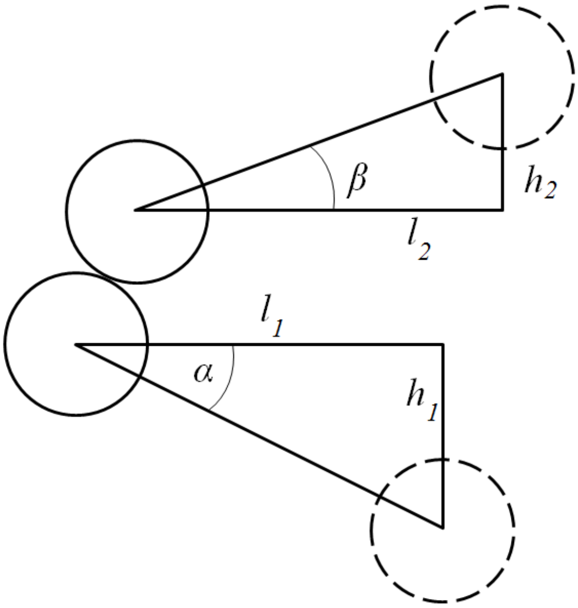
2. Таблиця результатів вимірів за описаною методикою

Центральне зіткн. двох 5 коп. монет			Центральне зіткн. двох 25 коп. монет		
l_1 (мм)	l_2 (мм)	k	l_1 (мм)	l_2 (мм)	k
9	55	0,42	6	99	0,60
2	40	0,63	8	134	0,61
6	52	0,49	10	101	0,52
8	80	0,52	15	136	0,50
усереднене k		0,52	усереднене k		0,56

3. Отже, за серією вимірів l_1, l_2 для двох 5-копійчаних монет отримано значення $k = 0{,}52$. Аналогічно, для двох 25-копійчаних монет $k = 0{,}56$.

4. Розглянемо наступну методику вимірювання кута розлітання при нецентральному зіткненні однакових монет:

а) зареєструємо положення центрів монет після їх зупинки та в момент зіткнення, відмітивши контури монет на плівці (див. рис.);



б) визначимо координати центрів монет на міліметрівці за обведеними їх контурами;

в) обчислимо кути α, β, на які відхилились монети відносно напрямку руху першої монети до зіткнення, за формулами

$$\alpha = arctg\frac{h_1}{l_1}, \qquad \beta = arctg\frac{h_2}{l_2},$$

тоді кут розлітання $\gamma = \alpha + \beta$.

5. Таблиця результатів вимірів l_1, l_2, h_1, h_2 подібна до описаної в пункті 2. Тому наведемо лише кінцеві значення кутів розлітання γ, отримані при різних значеннях прицільної відстані d.

Нецентр. зіткн. двох 5 коп. монет		Нецентр. зіткн. двох 25 коп. монет	
d (мм)	γ	d (мм)	γ
2	67°	2	74°
5	77°	5	88°
7	83°	7	87°

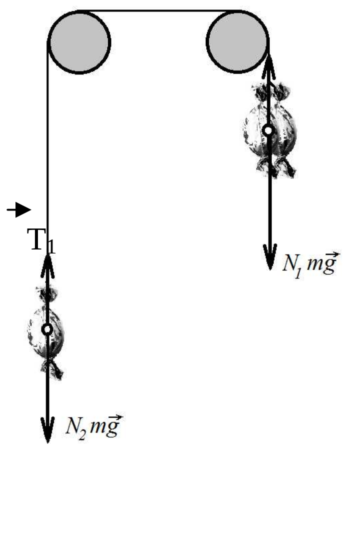
6. З останньої таблиці видно, що кут розлітання зростає зі збільшенням відстані. Така поведінка обумовлена тим, що зіткнення є не абсолютно, а частково пружнім $(k < 1)$, адже при абсолютно пружному зіткненні кут розлітання дорівнював би 90° за будь-якої прицільної відстані. Відмінність отриманих значень кута розлітання від 90° та відмінність їх значень у випадках зіткнень 5-5, 25-25 дозволяють зробити висновок, що кут розлітання залежить також від значення коефіцієнта відновлення. Як було з’ясовано вище, коефіцієнт відновлення для 25-копійчаних монет є дещо більшим, ніж для 5-копійчаних.

11 клас, експеримент, задача 1

Описана в умові задачі установка може здійснювати крутильні коливання відносно вертикальної осі. Щоб уникнути виникнення коливань іншого типу, слід виводити систему з положення рівноваги так, щоб центр олівця залишався на цій осі (тобто саме повертати олівець, тримаючи його за обидва кінці).

Отримаємо теоретичну залежність частоти ν коливань від довжини L підвісу, відстані a між двома точками підвісу, довжини b олівця. Позначимо масу системи m, а її момент інерції відносно вертикальної осі симетрії I. Якщо кут повороту відносно вертикальної осі дорівнює φ є малим, то система піднімається на висоту $h = \frac{a^2}{8L}\varphi^2$ і набуває потенціальної енергії mgh. Кінетичну енергію системи можна записати у вигляді $\frac{I\dot{\varphi}^2}{2}$ (ми нехтуємо швидкістю вертикального переміщення). Скориставшись законом збереження механічної енергії, отримаємо: система здійснює гармонічні коливання, частота яких $\nu = \frac{a}{4\pi}\sqrt{\frac{mg}{IL}}$.

Якщо до центра олівця масою m_1 підвісити на нитці тіло маси m_2, то $m = m_1 + m_2$, $I = m_1 b^2/12$ (ми вважаємо, що момент інерції системи дорівнює моменту інерції олівця). Тоді частота коливань $\nu = \frac{a}{2\pi b}\sqrt{\frac{3g}{L}\left(1+\frac{m_2}{m_1}\right)}$. З цієї формули видно характер залежності частоти від геометричних параметрів системи та співвідношення мас олівця та підвішеного тіла. Щоб отримати масу тіла, слід виміряти частоту ν_0 коливань олівця та частоту ν коливань олівця з підвішеним тілом. Очевидно, $\nu = \nu_0\sqrt{1+\frac{m_2}{m_1}}$. Звідси $m_2 = m_1\left(\frac{\nu^2}{\nu_0^2}-1\right) = m_1\left(\frac{T_0^2}{T^2}-1\right) = m_1\left(\frac{t_0^2}{t^2}-1\right)$. Тут T_0 і T - періоди відповідних коливань, а t_0 і t - тривалість певної (однакової) кількості коливань (наприклад, 20 коливань). Чим більшою буде ця кількість коливань, тим меншою буде похибка отриманого результату. Важливо, що точність вимірювання всіх інших величин не впливає на точність «зважування». Слід лише забезпечити зазначений вище характер коливань.



Задача 2 експериментального тур у 11 клас

Умова задачі однозначно задає конструкцію установки для вимірювання коефіцієнта тертя ковзання линви по дереву (див малюнок). Відповідно методика експерименту може бути такою:

1. Підберемо співвідношення між N_1/N_2 (кількості льодяників) таким чином, щоб досягти стабільного рівноприскореного руху. Таких співвідношень може бути кілька (наприклад, 1:2 , 1:3, 2:5).
2. Запишемо 2-й закон Ньютона для кожного з тіл:

$N_1 mg - T_1 = N_1 ma$ (1)

$-N_2 mg + T_2 = N_2 ma$ (2)

Запишемо зв'язок між T_1 та T_2 (див. коментар до умови)

$$T_2 = T_1 e^{-\mu\pi} \quad (3)$$

3. З (1) –(3) знайдемо

$$\mu = \frac{1}{\pi}\ln\left(\frac{N_1}{N_2} \bullet \frac{1-\frac{a}{g}}{1+\frac{a}{g}}\right)$$

Прискорення отримаємо з формул рівноприскореного руху системи. Для цього виміряємо шлях h, який пройшов вантаж, та час руху.

$$\mu = \frac{1}{\pi}\ln\left(\frac{N_1}{N_2} \bullet \frac{1-\frac{2h}{gt^2}}{1+\frac{2h}{gt^2}}\right)$$

При проведенні дослідів журі на обладнанні, що пропонувалось учасникам, отримано:

$$\mu = 0.16$$
$$\varepsilon = 45\%$$

Слід зауважити, що найбільший внесок у похибку дає вимірювання часу внаслідок реакції людини та люфт кнопки секундоміра.

4. Для більшої точності бажано було закріпити палички на стільці, а сам стілець підняти на стіл.

Важливо було забезпечити слідуючи умови:
а) відсутність початкової швидкості,
б) паралельність паличок,
в) невеликий прогин паличок,
г) вертикальність ниток у момент запуску системи в дію,
д) відповідне співвідношення між кількістю льодяників, що забезпечує відносно невелике прискорення з одного боку та стабільний рух без ривків з іншого боку.
д) <u>проведення серії дослідів для різних співвідношень N_1/N_2 та відповідна обробка результатів кожної серії.</u>

Врахування кожного з цих факторів дуже важливо для отримання достовірних результатів та потребує значної уваги при зборі установки та проведенні вимірювань.
Також бажаною була б оцінка достовірності отриманого значення коефіцієнта тертя.

Розв'язок задачі №2 експериментального туру. (9 кл.)

Для знаходження залежності висоти рівня води у шприці від часу її витікання $h(t)$ можна, наприклад, наповнити шприць водою, закривши пальцем отвір його носика. Відкривши отвір, фломастером відмічаємо на шприці положення рівня води через рівні проміжки часу, які відраховує метрономом. Потім, за допомогою міліметрового паперу виміріти відстані цих відміток від нижнього краю носика шприця. Заносимо дані у таблицю і будуємо графік, подібний приведеному на рис.1.

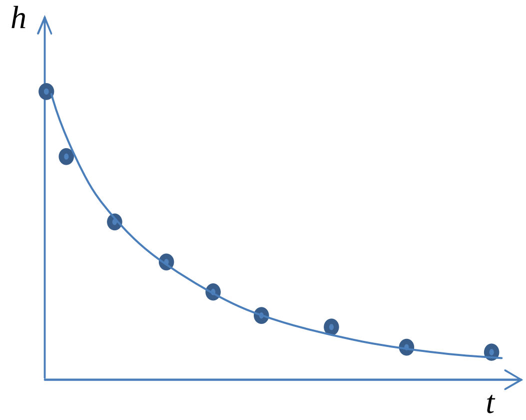


Рис. 1.

Розбиваємо графік на достатньо малі проміжки, знаходимо швидкість руху рівня води у шприці як відношення модуля зміни висоти $|\Delta h|$ до інтервалу часу Δt на кожному з проміжків. Швидкість витікання води дорівнює

$$\upsilon_{эксп} = \frac{|\Delta h|}{\Delta t} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

де D – діаметр шприця; d – діаметр його носика,які вимірюються міліметрівкою.

Теоретична залежність задається формулою Торрічеллі $\upsilon_{теор}(h) = \sqrt{2gh}$.

На рис.2 представлені приблизні графіки шуканих залежностей.

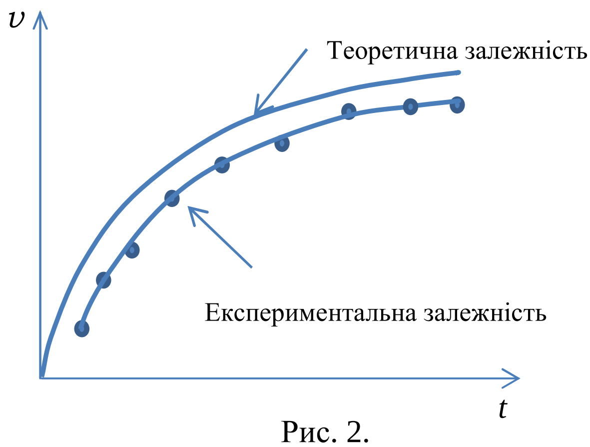


Рис. 2.

Неспівпадіння кривих у експерименті пояснюється тим, що вода не є ідеальною рідиною і швидкість її витікання зменшується відносно розрахункової внаслідок втрати енергії за рахунок роботи проти сил тертя у процесі руху струменю води.