

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Український фізико-математичний ліцей Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

XXIV Всеукраїнська учнівська Інтернет-олімпіада з фізики
2024/2025 навчального року
II (фінальний) етап Експериментальний тур
10 клас.

Задача 1.

Завдання: За допомогою запропонованого обладнання:

- визначте теплоємність алюмінієвої банки;
- якомога точніше знайдіть питому теплоту згорання парафіну, побудуйте на міліметровому папері необхідні графіки та рисунки;
- оцініть точність розробленої Вами методики експерименту

У звіті подати:

- теоретичне обґрунтування обраних методик з усіма необхідними рисунками та виведенням формули для визначення питомої теплоти згорання парафіну, теплоємності алюмінієвої банки;
- порядок виконання вимірювань, таблиці з проміжними і остаточними результатами, необхідні графіки та рисунки;
- оцінку точності отриманих результатів.

Матеріали та обладнання. Індивідуальне: аркуш міліметрового паперу; термометр; штатив шкільний з лапками; парафінова свічка; коробок сірників; алюмінієва банка (питома теплоємність алюмінію $920 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$); секундомір; ваги; пляшка води (питома теплоємність алюмінію $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$).

Групове: ємність для зливу відпрацьованої води, серветки;.

Додаткова інформація:

- термометр вимикається орієнтовно через 7-10 хвилин;
- для зважування теплих предметів, на ваги краще класти підставку у вигляді коробка з сірниками;
- напій в банках, можете випити або вилити.

Увага:

- сплануйте експеримент так, щоб якомога менше гасити\запалювати свічку та використовувати сірники!
- розташовуйте свічку так, щоб не опалювати\псувати обладнання (кільця та лапки від штативу)
- В пляшках 0,5л знаходиться вода, але вона не для пиття! На поточний експеримент розраховуйте не більше 100мл води, решта вам ще може знадобитися.

Задача 2. Визначити показник заломлення прозорої рідини.

Обладнання: пляшка місткістю 0,5 л з прозорою рідиною, штатив з кільцем, картонний одноразовий стакан, маркер/олівець/ручка, лінійка, аркуш білого паперу А4.

Задачі підготували: Пашко М.І., Ткачов О.М., Гельфгат І.М.

Розв'язання

1. Зважуємо порожню алюмінієву банку на вагах. Розраховуємо її теплоємність. В нашому випадку 11,63 Дж/К.

2. Зрозуміло, що для визначення питомої теплоти згорання парафіну нам доведеться підпалити свічку і нагрівати за її допомогою банку з водою. Якщо розмістити банку над самою свічкою, то за рахунок ввігнутого дна банки можна буде зменшити втрату тепла. Щоб визначити масу парафіну, що згорає, потрібно використовувати ваги протягом всього досліду. Свічку розмістити на вагах і записувати зміну маси в процесі проведення експерименту.

Зрозуміло, що втрати енергії через стінки банки в навколишнє середовище будуть суттєвими. Щоб це врахувати: тушимо свічу, якщо вона сама ще не встигла це зробити, і даємо банці охолонути, заміряючи час та температуру. Це робимо, щоб позбавитися невідомої величини втрат крізь стінки.

Отже, під час експерименту доведеться спочатку нагрівати банку, а потім охолоджувати. При нагріванні потрібно буде слідкувати за температурою в банці, масою свічки та часом. При охолодженні, відповідно, за часом охолодження та температурою. Очевидно, що для того, щоб врахувати втрати тепла, то потрібно вимірювати проміжки часу для однакових інтервалів зміни температури. Якщо ще врахувати зміну маси свічки і те, що цей процес буде найповільнішим, то можна прийти до висновку, що потрібно записувати час і температуру при кожній зміні маси свічки. А при охолодженні записувати час для тих самих значень температури.

Складаємо енергетичні рівняння і позбавляємося доданку втрат. Але отримуємо тоді залежність швидкості згорання парафіну від швидкості зміни температури води при нагріванні та охолодженні:

$$q \cdot \Delta m = (c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C) \cdot \Delta t_{\text{н}} + k \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{серед}}) \cdot \tau_{\text{н}} \quad (1)$$

$$(c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C) \cdot \Delta t_{\text{ох}} = k \cdot (t_{\text{ох}} - t_{\text{серед}}) \cdot \tau_{\text{ох}} \quad (2)$$

де Δm - маса парафіну, що згоріла, q - питома теплота згорання парафіну, C - теплоємність.

Розділимо кожне рівняння на відповідний час і враховуючи, що ми вимірюємо час для однакової зміни температури $|\Delta t_{\text{ох}}| = \Delta t_{\text{н}} = \Delta t$, то отримуємо рівняння

$$q \cdot \frac{\Delta m}{\tau_{\text{н}}} = (c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C) \cdot \frac{\Delta t}{\tau_{\text{н}}} + (c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C) \cdot \frac{\Delta t}{\tau_{\text{ох}}} \quad (3)$$

Або

$$\frac{\Delta m}{\tau_{\text{н}}} = \frac{(c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C)}{q} \cdot \left(\frac{\Delta t}{\tau_{\text{н}}} + \frac{\Delta t}{\tau_{\text{ох}}} \right) \quad (4)$$

Експеримент:

Наливаємо воду з пляшки у банку, приблизно 100г. Точну масу знаходимо за допомогою вагів. В нашому випадку 96,42г.

Закріплюємо за допомогою лапок на штативі банку з водою. Під банкою розташовуємо свічку встановлену на вагах. Відстань між дном банки та свічкою повинна бути мінімальною, для зменшення теплових втрат, але достатньою, для того, щоб був приток повітря для нормального горіння свічки. В отвір банки занурюємо термометр.

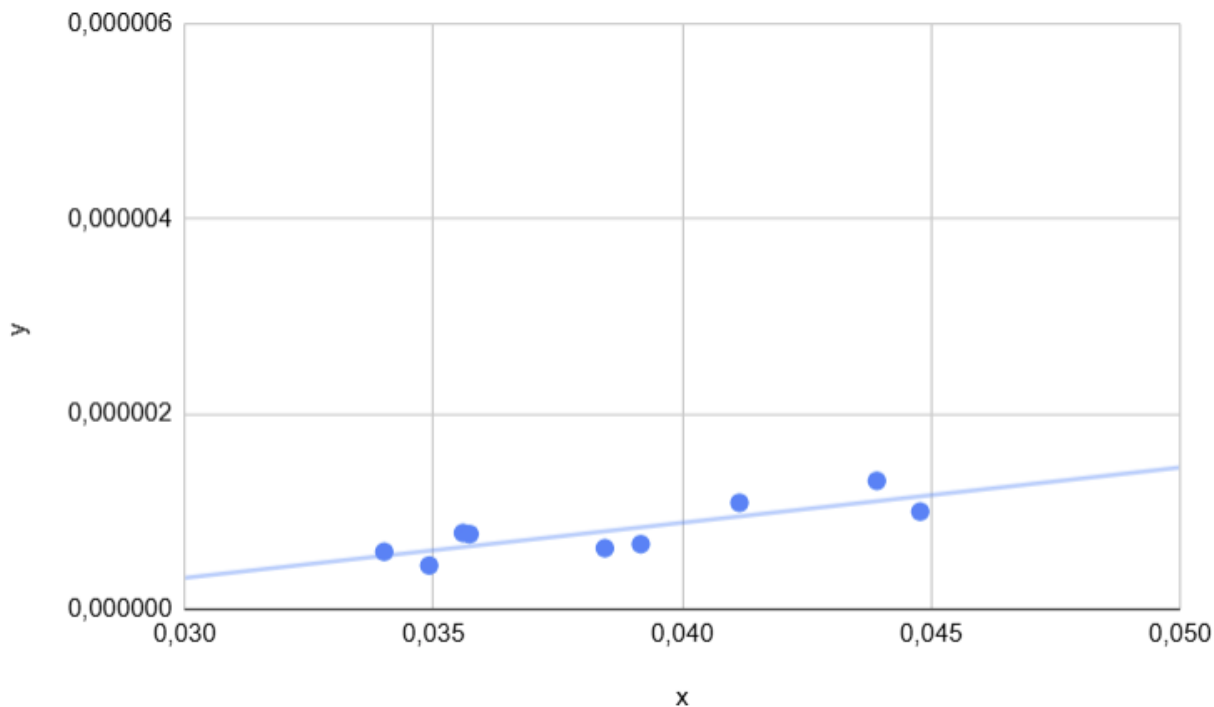
Підпалюємо свічку і вмикаємо секундомір.

$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	Нагрівання $\tau_{\text{загальний час, ХВ:С}}$	Охолодження $\tau_{\text{загальний час, ХВ:С}}$	$m_{\text{свічки, Г}}$
23,6	0		12,04
34,3	5:34		11,82
36,6	6:38	60:00	11,78
38,5	7:46	54:47	11,74
40,0	8:26	51:21	11,70
41,8	9:30	47:20	11,65
43,6	10:35	43:36	11,60
45,3	11:30	40:50	11,54
46,9	12:37	38:25	11,51
48,1	13:22	36:49	11,48
48,9	14:00	36:14	11,43
50,5	15:04	34:15	11,39

Перерахуємо потрібні нам величини в нову таблицю

№	$\Delta m, \text{ кг}$	$\tau_{\text{нагрів, с}}$	$\tau_{\text{нагрів, с}}$	$\Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$
1	0,00004	68	313	1,9
2	0,00004	40	206	1,5
3	0,00005	64	241	1,8
4	0,00005	65	224	1,8
5	0,00006	55	166	1,7
6	0,00003	67	145	1,6
7	0,00003	45	96	1,2
8	0,00005	38	35	0,8
9	0,00004	64	119	1,6

Використовуючи метод найменших квадратів розрахуємо коефіцієнт a з рівняння (4).



Значення a y нашому випадку $5,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{К}}$

$$a = \frac{(c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C)}{q} \quad (5)$$

Отже

$$q = \frac{(c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} + C)}{a} \approx 7,4 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} \quad (6)$$

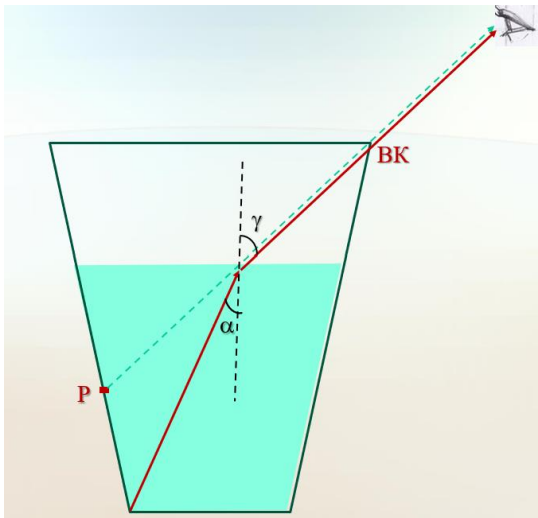
Знайдений результат співпадає по порядку величини з істинним значенням питомої теплоти згорання парафіну $\sim 10 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

Задача 2. Варіант розв'язку.

Треба поставити маркером тоненьку горизонтальну риску на внутрішній стороні стінки картонного стакану (на висоті 2–4 см від дна). Після цього треба розміститися самим і розмістити стакан так, щоб бачити **одним оком**, що ця риска (Р) «збігається» з верхнім краєм стакану (ВК), розташованим ближче до ока. Ключовою умовою успішного вимірювання є забезпечення **нерухомості** голови експериментатора під час усього експерименту. І це за умови, що «вільною» рукою експериментатор у цей час потроху доливає в стакан рідину. Експериментатор бачить, що стінка стакану з ризкою зорово «піднімається». Треба зупинитися, коли стане хоч трохи видимою межа між стінкою та дном стакану.

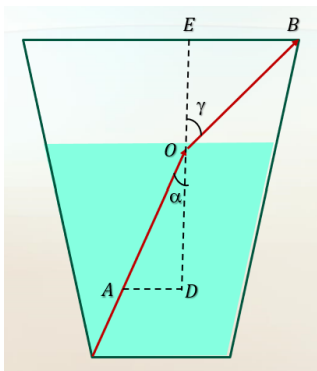
Примітка. Штатив з кільцем потрібний не для закріплення стакану: просто якщо експериментатор спирається підборіддям на кільце, йому легше тримати голову нерухомою протягом певного часу.

Тепер треба виміряти висоту шару рідини, відстань від риски Р до дна стакану, а також усі геометричні параметри стакану (висоту, діаметр дна та верхнього горизонтального перерізу). Це дозволить досить точно зробити на міліметровому папері рисунок на кшталт наведеного нижче. Зручно навіть робити цей рисунок (переріз вертикальною площиною, що проходить через вертикальну вісь симетрії стакану) в масштабі 1 : 1.



Показник заломлення рідини $n = \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha}$. Кути падіння та заломлення можна було б виміряти й транспортиром. Але ще краще (особливо з урахуванням відсутності транспортира) скористатися стандартною геометричною побудовою. Треба відкласти однакові відрізки OA, OB на падаючому та заломленому променях і побудувати «перпендикуляри до перпендикуляра».

Як легко побачити, $n = \frac{BE}{AD}$.



Наші вимірювання давали показник заломлення води в межах від 1,31 до 1,37. Зрозуміло, що повна похибка тут є більшою.