

II ЕТАП ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ УЧНІВСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ
У 2025/2026 НАВЧАЛЬНОМУ РОЦІ
8 клас. Експериментальний тур
Розв'язки та критерії

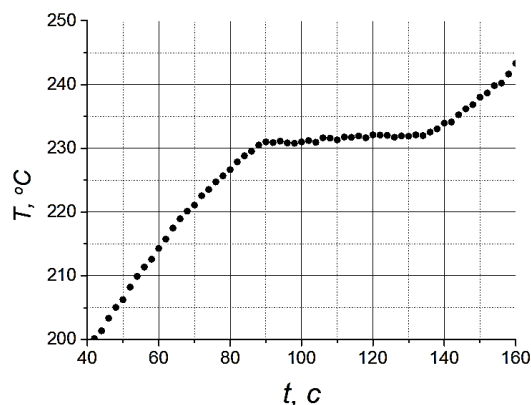
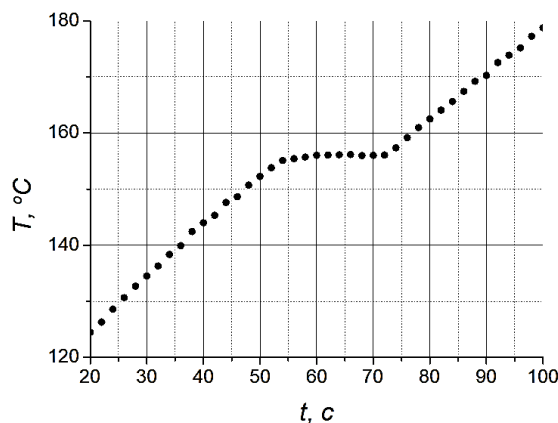
Експериментальна установка для дослідження плавлення металів і сплавів складається з термостійкої посудини, вкритої товстим шаром теплоізоляції. Усередині посудини розміщено досліджуваний зразок, нагрівач сталої потужності та датчик температури. Датчик температури дозволяє отримувати дані через рівні проміжки часу 2 с. Втратами теплоти знехтуйте.

Учень виявив у посудині зразок невідомого металу А. Інформація про те, який це метал і яка маса зразка, була втрачена, тому учень вирішив експериментально визначити ці дані.

Для зразка А отримано графік залежності температури від часу $T(t)$ (див. верхній графік). Проаналізувавши цей графік і використавши довідкові дані про температури плавлення різних металів (дивись таблицю, в якій частина даних була втрачена), учень встановив, який це метал. Однак цих даних виявилось недостатньо, щоб визначити *масу* зразка А.

Щоб її знайти, учень провів аналогічне вимірювання на тій самій установці для зразка Б масою 5,4 г, виготовленого з іншого металу, і отримав відповідну криву $T(t)$ (див. нижній графік).

- 1) (1 бал) Визначте за графіками **температури плавлення** зразків А і Б.
- 2) (1 бал) Вкажіть, **якими могли бути метали**, з яких виготовлено зразки.
- 3) (8 балів) Визначте **масу** зразка А.
- 4) (2 бали) Проаналізуйте **джерела основних похибок** визначення маси зразка А.
- 5) (3 бали) Запропонуйте, як **можна визначити теплоємність** зразку А у твердому стані за даними таблиці і графіками.



Таблиця довідкових даних

Метал	Температура плавлення, °C	Питома теплота плавлення, кДж/кг	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)
Олово	231,9	59	0,23
Цинк	419,5	112	0,38
Алюміній	660,3	393	0,88
Золото	1064	67	0,13
Срібло	961,8	87	0,25
Залізо	1538	270	0,46
Мідь	1084	213	0,38
Вольфрам	3422	180	0,14
Титан	3150	296	0,50
Хром	1907	404	0,45
Платина	1768	113	
Індій	156	28,6	
Свинець	327,5	24,3	
Галій	29,8	80,4	
Ртуть	-38,8	12,0	

Залежність температури від часу для зразку А (графік зверху) і Б (графік знизу).

Розв'язок: 1) При підведенні теплоти до зразків вони деякий час нагріваються, перебуваючи у твердому стані (перші похилі ділянки), потім плавляться (горизонтальні ділянки) і знову нагріваються, тепер вже у рідкому агрегатному стані. Отже, злами пов'язані з переходами між стадіями нагрівання та плавлення. З графіків отримаємо такі наближені значення температури на горизонтальних ділянках:

$$T_A \approx 156^\circ\text{C}, T_B \approx 232^\circ\text{C}.$$

2) Порівнюючи з таблицею, можемо зробити висновок, що зразки ймовірно виготовлені з індію та олова.

3) Оскільки теплота $Q = \lambda m$, необхідна для плавлення, надходить від нагрівача, то прирівнюючи його потужність при плавленні зразків А та В, маємо

$$\frac{\lambda_A m_A}{\tau_A} = \frac{\lambda_B m_B}{\tau_B},$$

де τ_A і τ_B – час плавлення зразків А та В, який ми візьмемо з графіків. Отже, отримаємо для маси зразка А:

$$m_A = m_B \frac{\lambda_B \tau_A}{\lambda_A \tau_B} = 5,4 \frac{59,18}{28,644} = 4,6 \text{ г}.$$

4) В цих розрахунках найбільші похибки – від вимірювання часу плавлення: перехід між стадіями нечіткий. Для покращення методики можна було б провести похилі і горизонтальні лінії, які проходили б між експериментальними точками, і по перетину цих ліній знаходити моменти часу, коли починається і закінчується процес плавлення. Окрім того, в реальності теплові втрати можуть грати суттєву роль (а оскільки температури, при яких відбувається плавлення, різні, то це призведе до різної корисної потужності). Оскільки на практиці ми скоріш за все маємо справу не з чистим металом, а сплавом, що містить деякі домішки, то це дає додаткове джерело похибок.

5) Теплоємність пов'язана з кутом нахилу кривих. Однак напряму тангенс кута нахилу говорить про сумарну теплоємність зразка і посудини (а також термометра і нагрівача)! Це ускладнює методику. Але можна скористатися табличкою, в якій знайдемо теплоємність олова, а знаючи масу зразка Б, ми таким чином по тангенсу кута нахилу можемо знайти теплоємність посудини:

$$C_{\text{посудини}} + c_B m_B = \frac{Q_{\text{нагр}}}{\Delta t_B} = \frac{\lambda_B m_B \tau_{\text{нагр}} / \tau_B}{\Delta t_B},$$

де враховано, що тепло, отримане під час нагрівання, пропорційне до часу нагрівання і визначається такою ж потужністю, що і при плавленні. Далі, вже знаючи теплоємність посудини, ми можемо знайти з такої ж формули, але записаної для зразку індію, його теплоємність.

Критерії оцінювання:

1) Отримання числових результатів з точністю до $\pm 3^\circ\text{C}$ – 1 б.

(якщо точність $\pm 6^\circ\text{C}$, то 0,5 б, ще гірше – 0 б.)

2) Визначення металів – 1 б.

3) Згадування формули $Q = \lambda m$ – 1 б.

Згадування формули зв'язку потужності і кількості теплоти – 1,5 б.

Прирівнювання потужності в двох випадках – 2 б.

Отримання формули для маси зразка А – 2 б.

Розрахунок маси з точністю до $\pm 1 \text{ г}$ – 1,5 б.

(якщо розрахунок $\pm 3 \text{ г}$ то 1 б.)

(таким чином якщо отримана маса по діях, без виведення формули для маси, то втрачається 2 б.)

(якщо розв'язок базується на порівнянні не лише горизонтальних, але і похилих ділянок для визначення маси зразка А і не врахована теплоємність посудини, то за отримання формули втрачає 1 б.)

4) Міркування про точність визначення часу плавлення АБО не миттєвий прогрів посудини (обговорення апроксимації точок НЕ вимагається!) – 1 б.

Обговорення теплових втрат АБО неоднорідний розподіл температури АБО непостійність потужності (залежність потужності від температури) – 0,5 б.

Нечистий метал АБО що не вгадали метал (а просто збіглася температура плавлення випадково) – 0,5 б.

5) Зв'язок з тангенсом кута нахилу АБО формула для загальної теплоємності (навіть якщо не вказано, що є ще теплоємність посудини) – 1 б.

Запис рівняння теплового балансу з врахуванням нагрівання посудини АБО словами вказано, що посудина також нагрівається – 1 б.

Методика спочатку знаходження теплоємності посудини з експерименту зі зразком Б, а вже потім знаходження теплоємності зразка А – 1 б.

Результат округлюється до цілої кількості балів.