

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Криворізький державний педагогічний університет
Фізико-математичний факультет
Кафедра фізики та методики її навчання

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

З КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ.

РОЗДІЛ 2. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА.

УДК 532+536

ББК 22.36+22.317

Лабораторні роботи з курсу загальної фізики. Розділ 2. Молекулярна фізика і термодинаміка : посібник для студентів фізико-математичного факультету / укл. В. П. Ржепецький. – Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2012. – 67 с.

Укладач: Ржепецький В. П. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики КДПУ.

Рецензенти: Мулявко В. І. – доктор технічних наук, професор кафедри фізики Криворізького технічного університету. Кадченко В. М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики Криворізького державного педагогічного університету.

Затверджено на засіданні кафедри фізики
Протокол № 6 від 15. 12. 2011 р.

Затверджено радою фізико-математичного факультету
Криворізького державного педагогічного університету.
Протокол № 4 від 29.12.2011 р.

ББК 22.36+22.317

© КДПУ, 2012

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Фізика – наука, яка вивчає найпростіші та в той же час найбільш загальні закономірності явищ природи, властивостей і будови матерії, закони її руху. Поняття фізики та її закони лежать в основі всього природознавства. Фізика відноситься до точних наук та вивчає кількісні закономірності явищ.

Фізика – наука експериментальна, тому майбутній вчитель фізики повинен не тільки мати фундаментальну підготовку з фізики, вищої математики, основ радіоелектроніки, основ інформатики, психології, педагогіки та методики викладання, а й вміти виконувати дослідницьку роботу, працювати на сучасному фізичному обладнанні. Лабораторний практикум є невід’ємною органічною складовою курсу фізики.

Результати будь-яких вимірювань, як би ретельно і на якому б науковому рівні вони не проводились, завжди містять похибки. Обробляти результати лабораторної роботи студенти повинні з врахуванням похибок вимірювань, орієнтуючись на рекомендації по статистичній обробці результатів експериментальних вимірювань [9].

Метою проведення лабораторних занять є:

- поглиблення теоретичних знань студентів, формування розуміння ролі експерименту у фізичній науці;
- широке і поглиблене знайомство з матеріальними засобами вимірювань у фізиці;
- засвоєння основних принципів і методів вимірювань у фізиці, культури проведення експериментів;
- розвиток спостережливості, конструктивного мислення, активізація самостійності у роботі;
- залучення студентів до самостійної навчально-наукової роботи.

В результаті проведення лабораторних занять студенти повинні:

Знати:

- методи емпіричного пізнання об'єктивної дійсності;
- фізичні величини, їх класифікацію; одиниці вимірювання фізичних величин;
- основні методи вимірювань у фізиці;
- похибки вимірювань і методи їх оцінок;
- основні правила виконання математичних операцій з

- наближеними числами;
- основні правила графічного подання результатів експерименту;
 - вимоги до питань охорони праці і техніки безпеки під час роботи у фізичних лабораторіях.

Вміти:

- провести аналіз виконання лабораторної роботи, написати висновки про її результати;
- оцінити похибки результатів експерименту;
- графічно подати результати експерименту;
- скласти звіт про виконану лабораторну роботу;
- дати характеристику сучасного фізичного обладнання, фізичних приладів;
- користуватися довідковою літературою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИВЧЕННЯ БРОУНІВСЬКОГО РУХУ.

Мета роботи: Спостерігати броунівський рух і експериментально визначити сталу Авогадро.

Прилади і матеріали: Мікроскоп МБІ-1 з освітлювачем, рисувальний апарат, об'єкт – мікрометр з ціною поділки 0,01 мм окулярна шкала, секундомір, предметні та покривні скельця, вода, акварельна фарба чи клей ПВА.

Теоретичні відомості

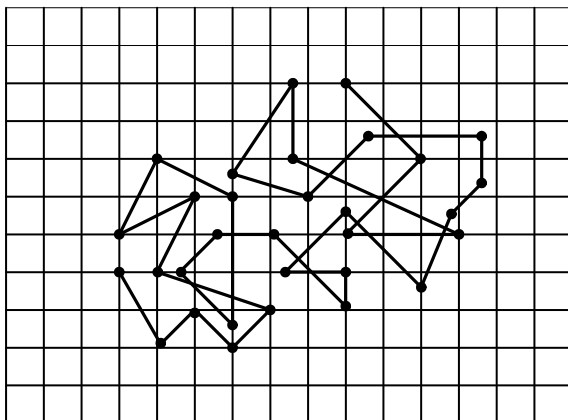


Рис. 1

Моль будь-якої речовини містить однакове число молекул, яке називають числом Авогадро N_A . Один з методів визначення цього числа – метод Перрена, що ґрунтується на спостереженні руху броунівської частинки. Якщо на координатній сітці відмічати положення броунівської частинки через рівні проміжки часу Δt , то можна одержати траєкторії, приклад

яких зображений на рис. 1. Положення броунівської частинки в фіксовані моменти часу показані точками. Відрізки прямих, що з'єднують ці точки, не мають нічого спільного з дійсною траєкторією частинки. Довжина цих відрізків випадкова. Як показали А.Ейнштейн і П.Ланжевен, середній квадрат проєкції цих відрізків на довільний напрямок $\overline{x^2}$ задовольняє співвідношення:

$$\frac{\overline{x^2}}{\Delta t} = \frac{RT}{N_A} \cdot \frac{1}{3\pi r \eta}, \quad (1)$$

де R – універсальна газова стала, T – температура середовища, N_A – стала Авогадро, r – радіус броунівської частинки, η – в'язкість середовища.

Визначаючи експериментально Δt , $\overline{x^2}$, r і знаючи значення інших констант, за законом Ейнштейна (1) можна знайти сталу Авогадро:

$$N_A = \frac{RT\Delta t}{3\pi\eta r \overline{x^2}} \quad (2)$$

Хід роботи

1. Приготуйте препарат для спостереження броунівського руху. Для цього на предметне скло нанесіть краплину води. На листок паперу нанесіть трохи клею ПВА, торкніться гострою паличкою краплини клею і потім краплини води. У воду повинна потрапити дуже мала кількість клею. Накрийте краплину покривним склом. Замість клею ПВА можна скористатись дрібно тертою акварельною фарбою.
2. Обережно, щоб не пошкодити покривне скло, фокусуєте мікроскоп, краще з нижнього положення, рухаючи тубус мікроскопу вгору. Використайте спочатку об'єтив зі збільшенням 8^x , потім – 20^x . При використанні окуляра зі збільшенням 15^x загальне збільшення буде 300^x і вже можна буде помітити рух броунівських частинок. При використанні клею ПВА частинки мають вид дрібненьких кульок.
3. Перейдіть на об'єтив зі збільшенням 40^x . Дзеркалом або освітлювачем встановіть найбільш яскраве поле зору. Спостерігайте рух броунівських частинок. Відрегулюйте рисувальний апарат таким чином, щоб цей рух було видно на фоні міліметрового паперу.
4. Виберіть одну з броунівських частинок і сумістіть кінчик гостро

заstrуганого олівця з її зображенням. Відмічайте крапками положення броунівської частинки через кожні $\Delta t=5$ с, з'єднуючи ці крапки прямими лініями. Положень частинки повинно бути не менше 15.

- Траєкторій руху потрібно зобразити декілька. Потім одержані траєкторії для зручності обробки збільшують в 10 раз і проектують окремі ділянки на довільно вибрану вісь Ох. Проекції відрізків позначають x_1, x_2, x_3 і т.д.
- Обчисліть середній квадрат проекції

$$\overline{x^2} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k^2}{n}, \quad (3)$$

де n – число відрізків.

- Знайдіть середній радіус броунівської частинки. Для цього вставте окулярний мікрометр з відомою ціною поділки і з його допомогою визначте діаметр декількох броунівських частинок.
- За формулою (2) визначте сталу Авогадро. В'язкість води η при температурі досліду візьміть з таблиць.

Контрольні запитання

- В чому причина броунівського руху?
- Як змінюється характер броунівського руху при зміні температури?
- Які існують методи визначення сталої Авогадро?
- Чому дорівнює середня кінетична енергія броунівської частинки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИЗНАЧЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ ГАЗОВОЇ СТАЛОЇ МЕТОДОМ ВІДКАЧКИ

Мета роботи: Використавши рівняння стану ідеального газу визначити універсальну газову сталу.

Прилади і матеріали: Скляна куля для зважування повітря з гумовим патрубком і гвинтовим затискачем, вакуумний насос Комовського, манометр, терези з важками.

Теоретичні відомості

Універсальну газову сталу можна визначити, порівнявши два стани повітря, що міститься в скляній кулі. Якщо в кулі об'ємом V міститься повітря, маса якого m_1 , тиск p_1 і температура T , то цей стан можна описати рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu} RT, \quad (1)$$

де μ – молярна маса повітря, R – універсальна газова стала.

Відкачуючи повітря з кулі (або, навпаки, накачуючи його в кулю) без зміни температури можна одержати другий стан повітря, який характеризується параметрами: m_2 , p_2 , V і T . Рівняння Клапейрона – Менделєєва для цього стану буде таким:

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu} RT, \quad (2)$$

де m_2 – маса повітря в кулі, p_2 – його тиск.

Віднімаючи від рівняння (1) рівняння (2), одержимо:

$$V(p_1 - p_2) = \frac{RT}{\mu} (m_1 - m_2).$$

Звідси універсальна газова стала буде дорівнювати:

$$R = \frac{\mu \cdot V}{T} \cdot \frac{p_1 - p_2}{m_1 - m_2}. \quad (3)$$

В рівнянні (3) $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$, об'єм V зазначено на стінці кулі, температуру повітря в приміщенні вимірюють термометром, тиски повітря в кулі p_1 і p_2 – манометром. Щоб визначити різницю мас $m_2 - m_1$ досить виконати два зважування: визначити масу кулі з повітрям для першого і для другого станів та знайти різницю цих мас.

Зауваження. Щоб уникнути небезпеки, скляну кулю під час роботи слід тримати в мішку з тканини. Мішок повинен бути затягнутий і зав'язаний шнурком.

Хід роботи

1. Зважте кулю разом з гумовим патрубком і затискачем. Це зважування дасть масу кулі з повітрям m_1 при температурі T і тиску

p_1 . Тиск p_1 визначте за барометром.

- Приєднайте кулю гумовим патрубком до манометра і відкачайте повітря з кулі насосом. Схема установки подана на рис. 1: K – куля, M – манометр, H – насос, 1, 2, 3 – крани. При відкачуванні прослідкуйте, щоб крани 1, 2, 3 були відкриті.

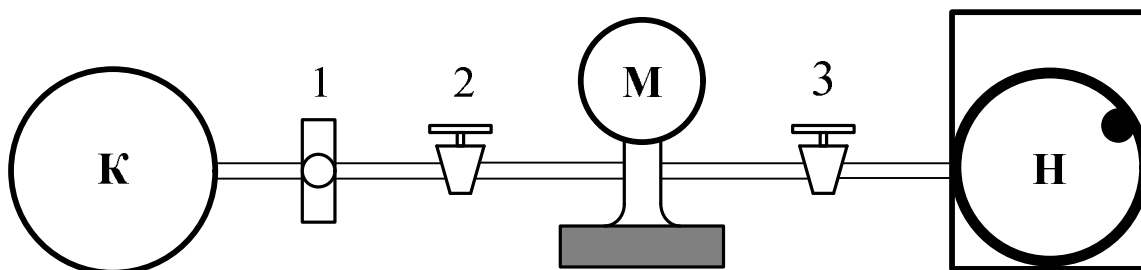


Рис. 1

- Закінчивши відкачування, перекрийте кран 3 і запишіть покази манометра. Врахуйте, що манометр вимірює надлишковий тиск в технічних атмосферах. Тому позначення шкали -1; -0,5; 0; 0,5; 1; 1,5 ат відповідають тискам 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 ат.
- Стисніть гумовий патрубок кулі гвинтовим затискачем 1 і від'єднайте кулю від манометра. негайно відкрийте кран 3.
- Зважте кулю після відкачування. Це зважування дасть масу кулі з повітрям m_2 при температурі T і тиску p_2 . Тиск p_2 ви записали за показами манометра.
- За формулою (3) обчисліть значення універсальної газової сталої. Не забудьте тиск перевести в Па : $1 \text{ ат} = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
- Повторіть дослід ще двічі. В одному з дослідів замість відкачування накачайте повітря в кулю до тиску $p_2' = 2 \text{ ат}$ (1 ат за показами манометра) і порівняйте стани 2 (повітря відкачане) і 2' (повітря накачане).
- Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 1.

Табл. 1

№ n/n	$p_1, \text{ ат}$	$m_1, \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$p_2, \text{ ат}$	$m_2, \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$\Delta m, \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	$\Delta p, \text{ Па}$	$\frac{R, \text{ Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
1							
2							
3							

9. Знайдіть середнє значення універсальної газової сталої $R_{сер}$ і порівняйте його з табличним значенням. Зробіть висновок.

Контрольні запитання

1. Яка з величин, що вимірюється в даній роботі, найбільше впливає на похибку результату?
2. Який фізичний зміст універсальної газової сталої?
3. Охарактеризуйте ізопроееси в ідеальному газі.
4. Які закони називають законами ідеального газу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ДОВЖИНИ ВІЛЬНОГО ПРОБІГУ ТА ЕФЕКТИВНОГО ДІАМЕТРА МОЛЕКУЛ ПОВІТРЯ.

Мета роботи: Використавши зв'язок між коефіцієнтом внутрішнього тертя в газах і середньою довжиною вільного пробігу молекул, визначити середню довжину вільного пробігу та ефективний діаметр молекул повітря.

Прилади і матеріали: Прилад для визначення середньої довжину вільного пробігу молекул повітря, секундомір, мензурка, термометр, барометр.

Теоретичні відомості

Молекулярно-кінетична теорія дає змогу одержати формули, що зв'язують *макроскопічні* (тиск, об'єм, температура) і *мікроскопічні* (розміри і маса молекули, її швидкість, середня довжина вільного пробігу) параметри газу. Користуючись цими формулами, можна на основі вимірювання макроскопічних параметрів газу визначити його мікроскопічні параметри. Для визначення середньої довжини вільного пробігу молекул газу $\bar{\lambda}$ використовують формулу залежності коефіцієнту внутрішнього тертя (в'язкості) η від $\bar{\lambda}$ і \bar{v} :

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{v}, \quad (1)$$

де ρ – густина газу, \bar{v} – середня арифметична швидкість молекул газу.

Густина газу можна визначити за рівнянням Клапейрона-Менделєєва: $pV = \frac{m}{\mu}RT$, звідки $p\mu = \frac{m}{V}RT$ і густина дорівнює:

$$\rho = \frac{p\mu}{RT} \quad (2)$$

Середня арифметична швидкість:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (3)$$

Підставивши (2) і (3) в (1), одержимо:

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{p\mu}{RT} \cdot \bar{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (4)$$

Від коефіцієнту в'язкості η залежить об'єм газу, що проходить через капіляр під дією різниці тисків Δp на кінцях капіляру. Ця залежність визначається формулою Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8Vl} \cdot \Delta p \tau, \quad (5)$$

де V - об'єм газу, що пройшов через капіляр довжиною l і радіусом r за час τ .

Використовуючи (4) і (5), визначаємо середню довжину вільного пробігу молекул повітря:

$$\bar{\lambda} = \frac{3}{16} \cdot \frac{\pi r^4 \sqrt{\pi RT}}{Vl p \sqrt{2\mu}} \cdot \Delta p \tau \quad (6)$$

Знаючи $\bar{\lambda}$, можна визначити ефективний діаметр молекул повітря:

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{\sqrt{2\pi d^2 n}}, \quad (7)$$

де n - число молекул в одиниці об'єму газу; з рівняння $p = nkT$ визначимо $n = \frac{p}{kT}$. Після підстановки цього виразу в (7) і перетворень матимемо:

$$d = \sqrt{\frac{kT}{\sqrt{2\pi\bar{\lambda}p}}} \quad (8)$$

Опис приладу

Прилад для визначення середньої довжини вільного пробігу молекул повітря (див. рис. 1) складається з скляної посудини A , закритої зверху корком, через який пропущено капіляр довжиною l і радіусом r . В нижній частині посудини є випускний кран B . До бічної поверхні посудини прикріплена лінійка для визначення рівня води в посудині.

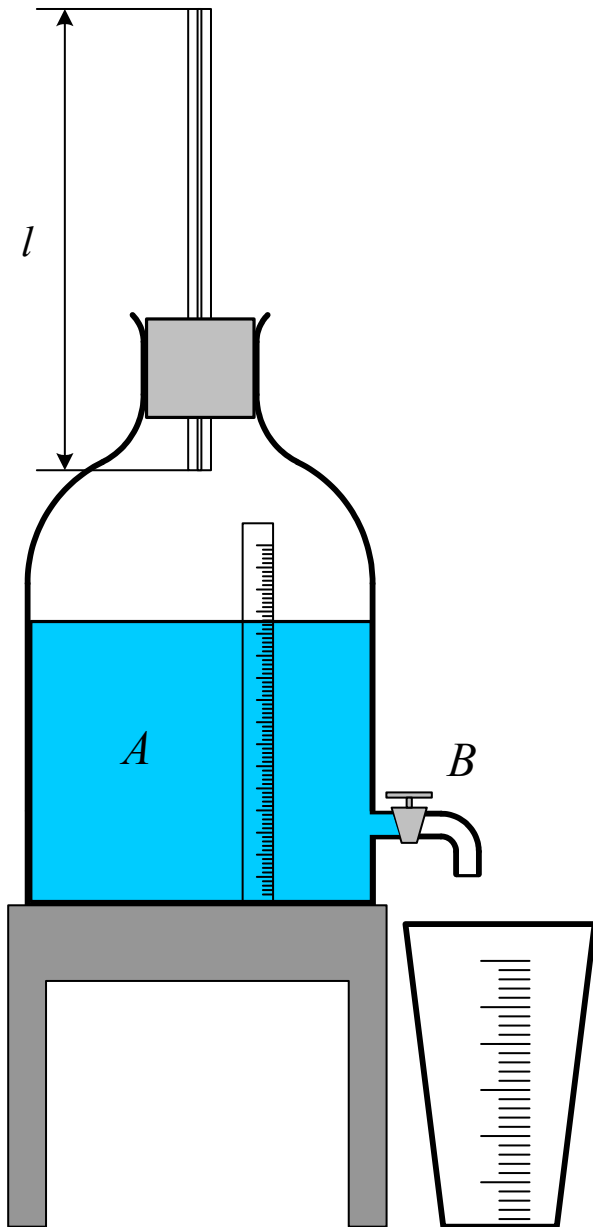


Рис. 1.

Хід роботи

1. Наповніть посудину A на три чверті водою. Під кран B поставте кювету чи іншу посудину для збирання води.

2. Відкривши кран B , переконайтесь, що при відсутності капіляру (якщо корок з капіляром витягнути) швидкість витікання води збільшується. Закрийте кран, корок з капіляром щільно вставте в отвір посудини. Відмітьте рівень води в посудині h_1 .

3. Під кран B поставте суху мензурку або склянку, одночасно відкрийте кран B і увімкніть секундомір.

4. Коли в мензурці буде приблизно $100 - 150 \text{ см}^3$ води, закрийте кран і зупиніть секундомір.

5. Відмітьте новий рівень води в посудині h_2 .

6. Визначте об'єм води, що витекла з посудини. Цей об'єм дорівнює

об'єму повітря V , що увійшов в посудину через капіляр.

7. За формулою (6) обчисліть $\bar{\lambda}$. Різниця тисків $\Delta p = \rho_e g \frac{h_1 - h_2}{2}$,

де ρ_e - густина води при температурі дослідів, g - прискорення

вільного падіння. Формулу (6) зручно подати у виді

$$\bar{\lambda} = const \cdot \frac{\Delta p \tau}{V}, \text{ де } const = \frac{3}{16} \cdot \frac{\pi r^4 \sqrt{\pi RT}}{l p \sqrt{2\mu}}.$$

8. Дослід повторіть не менше трьох раз.
9. За формулою (8) обчисліть ефективний діаметр молекули повітря.
10. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 1.

Табл. 1

№ n/n	τ, c	h_1, m	h_2, m	$\Delta p, Pa$	V, m^3	$\bar{\lambda}, m$	d, m	$\Delta \bar{\lambda}, m$
1								
2								
3								
Сер.	×	×	×	×	×			

11. Обчисліть відносну похибку результату $E = \frac{\Delta \bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} \cdot 100\%$.

Параметри установки та константи.

$$l = 313 \text{ мм}, \quad 2r = 1,35 \text{ мм}, \quad \mu = 0,029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}, \quad R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}},$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Контрольні запитання

1. Які явища називають явищами переносу?
2. Що називають в'язкістю і який її фізичний зміст?
3. Що переноситься у випадку дифузії, теплопровідності, при в'язкому терті?
4. Що називають середньою довжиною вільного пробігу молекули і як вона залежить від температури?
5. Що називають ефективним діаметром молекули газу?
6. Який фізичний зміст універсальної газової сталої?

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ПИТОМИХ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА.

Мета роботи: Використавши процес адіабатного розширення повітря, визначити для нього відношення теплоємностей.

Прилади і матеріали: Прилад Клемана-Дезорма, манометр, насос.

Теоретичні відомості

Молярною теплоємністю C речовини називають фізичну величину, що чисельно дорівнює кількості теплоти, яку потрібно надати одному молю речовини, щоб підвищити його температуру на один кельвін:

$$C = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T}, \quad (1)$$

де ν - число молів даної речовини.

Для газів теплоємність суттєво залежить від того, при яких умовах системі надається теплота. Якщо газ нагрівають при сталому об'ємі, то вся надана йому теплота йде на зміну його внутрішньої енергії і теплоємність газу при сталому об'ємі C_v визначається співвідношенням:

$$C_v = \frac{\Delta U}{\nu \Delta T} \quad (2)$$

Якщо ж газ нагрівають при сталому тиску, то при цьому не тільки змінюється його внутрішня енергія, а ще й виконується робота по розширенню газу, і теплоємність газу при сталому тиску C_p визначається зі співвідношення:

$$C_p = \frac{\Delta U + p \Delta V}{\nu \Delta T} \quad (3)$$

Тому для газу, рівнянням стану якого є рівняння Клапейрона – Менделєєва $pV = \nu RT$, одержимо:

$$C_p = C_v + R, \quad (4)$$

де R – універсальна газова стала. Рівняння (4) називають *рівнянням Майєра*.

Для ідеального газу C_v і C_p можна розрахувати теоретично, виходячи з уявлень класичної молекулярно-кінетичної теорії. Вважаючи, що кожному ступеню свободи відповідає одна і та ж енергія, можна записати, що внутрішня енергія одного моля газу дорівнюватиме:

$$U = \frac{i}{2} RT, \quad (5)$$

де i – число поступальних та обертальних ступенів свободи молекули даного газу. Тоді:

$$C_v = \frac{i}{2} R, \quad C_p = \frac{i+2}{2} R, \quad (6)$$

Відношення молярної (чи питомої) теплоємності при сталому тиску до теплоємності при сталому об'ємі

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} \quad (7)$$

відіграє в термодинаміці важливу роль. Зокрема, ця величина входить в рівняння адіабатного процесу – рівняння Пуассона:

$$pV^\gamma = const, \quad (8)$$

Одним з найпростіших методів визначення γ є метод адіабатичного розширення (метод Клемана – Дезорма), що полягає в наступному. В посудину, з'єднану з відкритим манометром для вимірювання тиску в ній, накачують трохи повітря. Посудина має кран, який може з'єднувати посудину з атмосферою; при накачуванні, зрозуміло, цей кран закритий. Через деякий час температура повітря в посудині стане рівна кімнатній T_{01} , а тиск p_1 буде трохи більшим атмосферного (це перший стан газу).

Якщо після цього відкрити кран і закрити його знову в момент, коли тиск в посудині стане рівним атмосферному (робити це слід досить швидко, щоб можна було знехтувати теплообміном через

стілки посудини за цей час), то відбудеться адіабатне розширення газу, що залишився в посудині. Тиск газу дорівнюватиме атмосферному p_{02} , а температура T_2 внаслідок адіабатного розширення буде нижче кімнатної. Назвемо цей стан газу другим.

Через деякий час температура повітря в посудині стане рівна кімнатній, тиск підвищиться і дорівнюватиме p_3 , а об'єм залишиться сталим (третій стан).

Перехід газу з першого стану в другий відбувається адіабатно і може бути описаний рівнянням Пуассона, яке в цьому випадку зручно записати у формі:

$$T_{01} p_1^\gamma = T_2 p_{02}^\gamma \quad (9)$$

Перехід з другого стану в третій описується законом Шарля:

$$\frac{p_3}{T_{01}} = \frac{p_{02}}{T_2} \quad (10)$$

Виключаючи з рівнянь (9) і (10) температуру, одержимо:

$$\left(\frac{p_3}{p_{02}} \right)^\gamma = \left(\frac{p_1}{p_{02}} \right)^{\gamma-1} \quad (11)$$

Тиски p_3 і p_1 виразимо через атмосферний тиск p_{02} і різницю рівнів рідини в колінах манометра:

$$p_1 = p_{02} + h_1, \quad p_3 = p_{02} + h_2 \quad (12)$$

Підставимо вирази (12) в рівняння (11):

$$\left(1 + \frac{h_2}{p_{02}} \right)^\gamma = \left(1 + \frac{h_1}{p_{02}} \right)^{\gamma-1} \quad (13)$$

Відношення $\frac{h_2}{p_{02}}$ і $\frac{h_1}{p_{02}}$ значно менші одиниці, тому, розкладаючи

ліву і праву частини рівняння (13) як біном Ньютона, обмежимося лише двома першими членами:

$$1 + \gamma \cdot \frac{h_2}{p_{02}} \approx 1 + (\gamma - 1) \cdot \frac{h_1}{p_{02}} \quad (14)$$

З виразу (14) легко одержати розрахункову формулу для обчислення γ :

$$\gamma \approx \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (15)$$

Опис експериментальної установки.

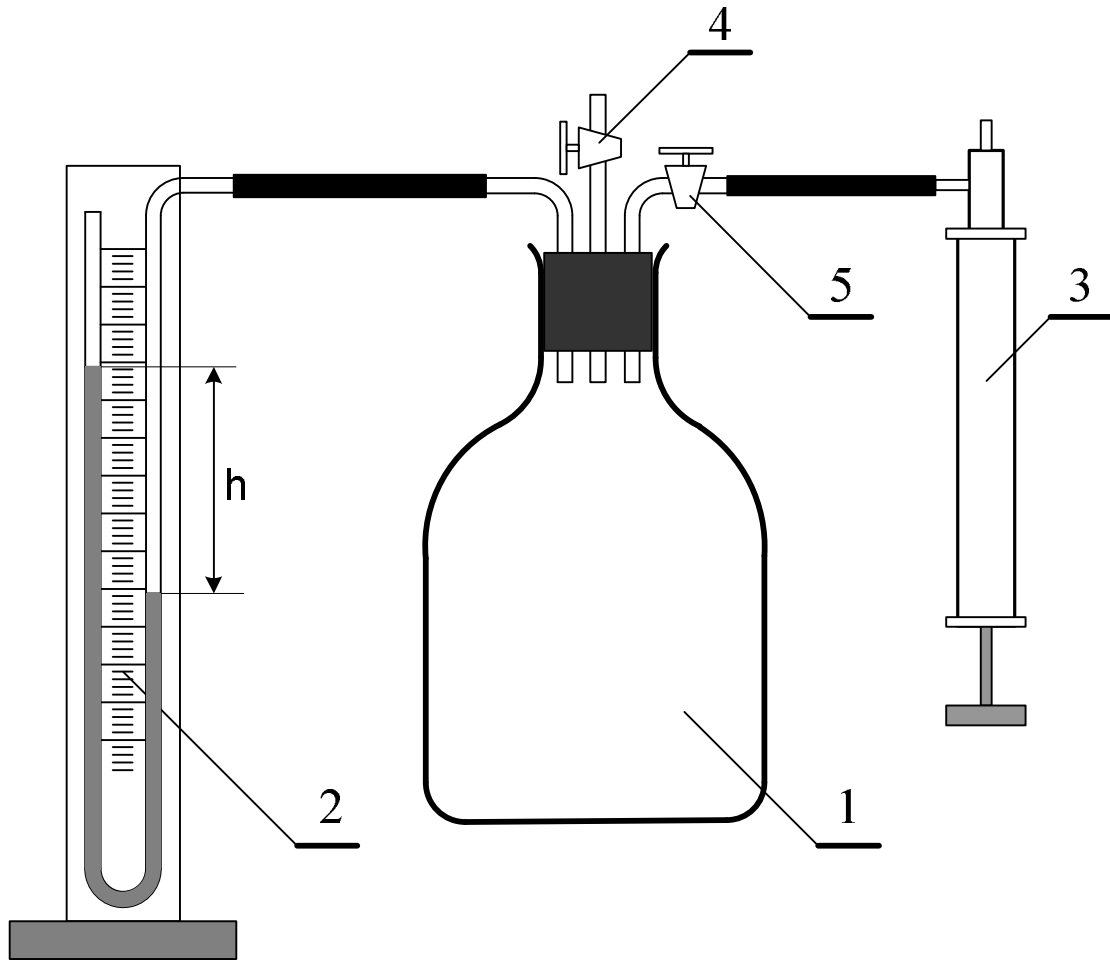


Рис. 1.

Схема експериментальної установки для визначення відношення теплоємностей повітря методом Клемана і Дезорма зображена на рис. 1. Тонкостінна посудина 1, що з'єднана з відкритим манометром 2 і насосом 3, з допомогою крана 4 може з'єднуватись з атмосферою. Кран 5 дозволяє ізолювати насос 3 від посудини 1. Надлишковий порівняно з атмосферним тиск в посудині 1 вимірюється манометром 2.

Хід роботи

1. При закритому крані 4 з допомогою насоса 3 обережно накачайте в посудину трохи повітря. За збільшенням тиску слідкуйте по манометру 2.
2. Закрийте кран 5 і почекайте 2 – 3 хв., поки температура в посудині не стане дорівнювати кімнатній; при цьому стовпчики рідини в манометрі припинять переміщуватись. Запишіть різницю рівнів h_1 .
3. Відкрийте кран 4 і, як тільки рівні рідини в манометрі зрівняються, швидко його закрийте. Знову почекайте 2 – 3 хв., поки газ, що охолов при адіабатному розширенні, нагріється до кімнатної температури. Запишіть різницю рівнів h_2 .
4. Повторіть вимірювання h_1 і h_2 10 – 15 раз. Кожного разу за формулою (15) обчисліть γ , знайдіть середнє значення $\gamma_{сер}$ і похибку вимірювання.

Контрольні запитання

1. Вважаючи повітря двоатомним газом, розрахуйте теоретичне значення γ і порівняйте його з експериментальним. Поясніть розбіжність результатів.
2. Який зв'язок існує між питомою і молярною теплоємностями речовини?
3. В якому випадку виконується більша робота для збільшення тиску ідеального газу в n раз: при адіабатному чи при ізотермічному стисканні?
4. Який вклад в теплоємність дають коливальні ступені свободи?
5. Як пояснити залежність теплоємності газів від температури?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЕФІРУ.

Мета роботи: Спостерігати критичний стан речовини та визначити критичну температуру для ефіру.

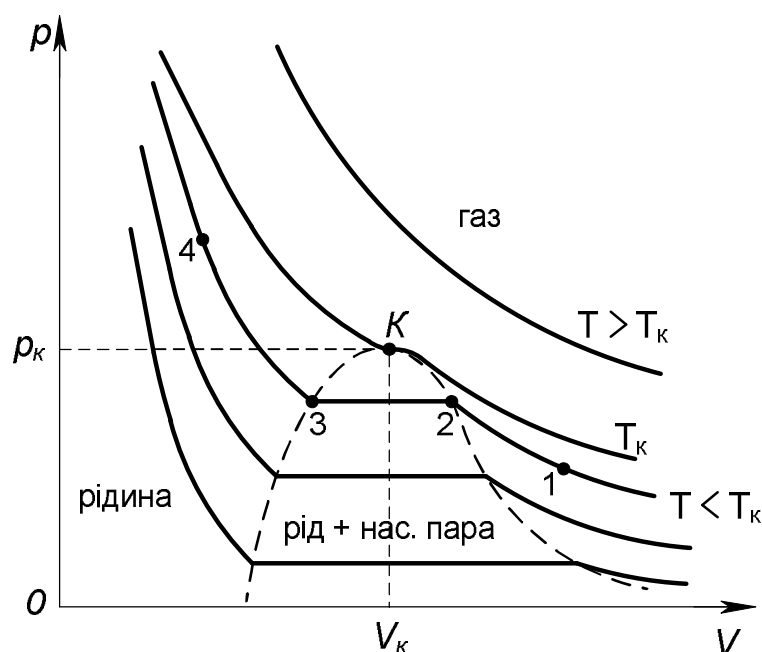
Прилади і матеріали: Прилад Авенаріуса, термометр, електрична плитка.

Теоретичні відомості

Перетворення пари в рідину можна здійснити двома способами: 1) збільшуючи тиск пари її стисканням; 2) знижуючи температуру пари її охолодженням.

Проте не при будь-якій температурі можна перетворити пару в рідину тільки збільшуючи тиск. Дослідним шляхом було встановлено, що для кожної рідини існує певна температура, вище якої ні при якому тиску пара не може бути перетворена в рідину. Цю температуру називають **критичною температурою**.

Рис. 1



На рис. 1 зображено сім'ю ізотерм при різних температурах. При низьких температурах на ізотермі існує горизонтальна ділянка, точки якої відповідають стану рівноваги між рідиною і її паром; така пара називається **насиченою**. При критичній температурі горизонтальна ділянка на ізотермі зникає і при температурах, вищих критичної, ізотерми мають форму, що близька до гіперболи $p \cdot V = const$. При критичній температурі існує стан речовини, при якому густина рідини дорівнює густині її насиченої пари (точка K на рис. 1). Цей стан називають **критичним станом речовини**; йому відповідають цілком певні значення тиску p_k та об'єму V_k , що теж називають критичними. Якщо речовина перебуває в критичному стані, то

меніск, що відділяє рідину і пару, зникає, коефіцієнт поверхневого натягу стає рівний нулю.

Критичний стан речовини можна спостерігати з допомогою приладу Авенаріуса (рис. 2), що складається з металевого контейнера

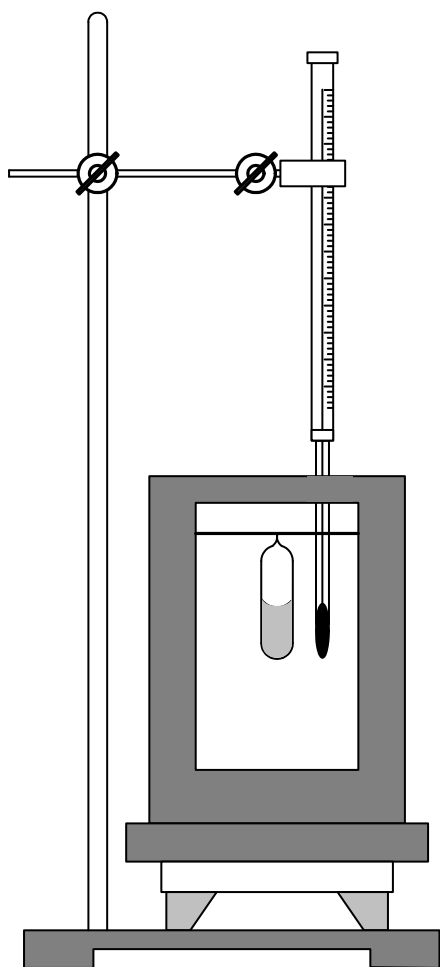


Рис. 2.

з вікнами, всередині якого підвішена скляна ампула з ефіром. Контейнер нагрівають на електричній плитці до температури 200°C і більше, контролюючи температуру всередині контейнера термометром. При нагріванні меніск ефіру в ампулі трохи піднімається, стає все більш плоским і, нарешті, зникає, що свідчить про перехід ефіру через критичний стан. При охолодженні в момент проходження через критичну температуру вміст ампули стає непрозорим (мутніє) і в ту ж мить з'являється меніск. Описана картина матиме місце лише тоді, коли кількість ефіру в ампулі буде точно відповідати умові: при критичній температурі тиск повинен дорівнювати критичному.

Хід роботи

1. Увімкніть електричну плитку в мережу і нагрівайте прилад Авенаріуса, спостерігаючи за меніском ефіру в ампулі.

2. Стежте також за показами термометра.

При критичній температурі меніск в ампулі зникне. Запишіть температуру, при якій це відбудеться.

3. Вимкніть плитку з мережі і стежте за охолодженням контейнера. При критичній температурі вміст ампули мутніє і одразу після цього з'являється меніск. Знову запишіть температуру, при якій спостерігалось помутніння вмісту ампули.

4. Значення одержаних температур трохи не співпадають; в якості критичної температури візьміть їх середнє арифметичне.

5. Дослід повторіть не менше трьох раз. Крім того, замалуйте ампулу з ефіром при температурах 30° , 100° , 150° і 200°C .

6. Кінцевий результат подайте у виді $T_k = T_{k\text{сер}} \pm \Delta T_k$. Вкажіть відносну похибку вимірювань

Зауваження. Під час роботи з приладом Авенаріуса будьте обережні з ампулами, оскільки при нагріванні в них створюється високий тиск. Досліди слід проводити лише при наявності захисного скла у вікнах контейнера.

Контрольні запитання

1. Яку пару називають насиченою?
2. Яку пару називають перегрітою?
3. Наведіть приклади фазових переходів.
4. Який стан речовини називають критичним?
5. В чому полягає фізичний зміст критичної температури?
6. Запишіть рівняння Ван-дер-Ваальса. Який вид має ізотерма Ван-дер-Ваальса при критичній температурі?

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи: Навчитись визначати абсолютну та відносну вологість повітря і точку роси.

Прилади і матеріали: гігрометр Ламбрехта, термометр, насос або гумова груша, скляний екран, психрометр Августа, психрометр Асмана, ефір або спирт, дистильована вода, таблиця залежності тиску та густини насиченої водяної пари від температури, психрометрична таблиця.

Теоретичні відомості

Внаслідок неперервного випаровування води з поверхні водоймищ та рослинами атмосферне повітря завжди в своєму складі містить деяку кількість водяної пари. Вміст водяної пари в повітрі характеризують *абсолютною та відотною вологістю* повітря.

Абсолютною вологістю називають масу водяної пари, що міститься в 1 м³ повітря при даній температурі.

Інколи говорять також про *максимальну вологість*, яка вимірюється масою водяної пари, що насичує 1 м³ повітря при даній температурі.

Відносна вологість дорівнює відношенню маси водяної пари, що міститься в 1 м^3 повітря, до маси водяної пари, яка б насичувала 1 м^3 повітря при даній температурі.

Абсолютну вологість позначатимемо ρ_a ; одиниця її вимірювання:

$$[\rho_a] = \frac{\text{г}}{\text{м}^3};$$

Відносну вологість позначатимемо φ ; її вимірюють в процентах. За означенням:

$$\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_n} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Оскільки парціальний тиск пари до її насичення змінюється прямо пропорційно масі пари, то **абсолютну вологість** можна характеризувати також **парціальним тиском водяної пари**; якщо цей тиск вимірювати в *мм рт.ст.*, то числові значення ρ_a і p_a будуть майже однакові.

Відносна вологість в цьому випадку дорівнює:

$$\varphi = \frac{p_a}{p_n} \cdot 100\% , \quad (2)$$

де p_n – тиск насиченої водяної пари при температурі повітря. Значення ρ_n і p_n для різних температур наведено в табл. 1.

Один із способів визначення вологості повітря – за точкою роси. Якщо повітря охолоджувати, то при деякій температурі водяна пара, що міститься в ньому, стане насиченою.

Температуру, при якій водяна пара, що є в повітрі, стає насиченою, називають точкою роси, оскільки при подальшому охолодженні повітря випаде роса.

Зрозуміло, що ρ_a і p_a будуть дорівнювати ρ_n і p_n при температурі, рівній точці роси t_p^0 :

$$\rho_a = \rho_n(t_p^0); \quad p_a = p_n(t_p^0).$$

Знаючи температуру повітря t^0 , за таблицею 1 знаходимо відносну вологість:

$$\varphi = \frac{\rho_n(t_p^0)}{\rho_n(t^0)} \cdot 100\% , \quad \text{або} \quad \varphi = \frac{p_n(t_p^0)}{p_n(t^0)} \cdot 100\% .$$

Точку роси визначають з допомогою гігрометра Ламбрехта (див.рис.1). Він складається з металевого циліндра 1, передня основа якого відполірована. Циліндр оточено полірованим металевим кільцем 2. Циліндр наполовину заповнюють ефіром чи спиртом 3, вставляють зверху термометр 4 і гумовою грушею 5 чи насосом продувають через циліндр повітря. Інтенсивне випаровування ефіру приводить до зниження його температури і при деякій температурі t_1^0 нижня частина основи циліндра запітніє внаслідок конденсації

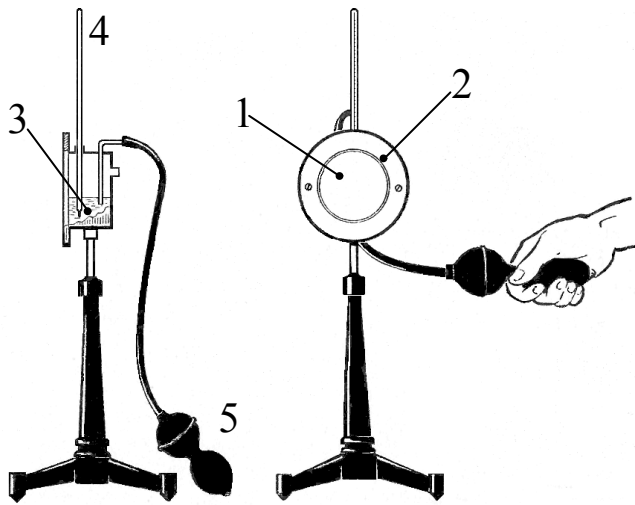


Рис. 1

водяної пари, що міститься в повітрі. Після цього припиняють продувати повітря і чекають, поки при деякій температурі t_2^0 роса не зникне. Внаслідок теплової інерції приладу температури t_1^0 і t_2^0 не однакові, але мало відрізняються одна від одної. Для визначення точки роси обчислюють їх середнє арифметичне:

$$t_p^0 = \frac{t_1^0 + t_2^0}{2}.$$

Щоб повітря, яке видихає спостерігач, не попадало на гігрометр, слід відділяти гігрометр скляним екраном.

Другий спосіб вимірювання вологості – за допомогою **психрометра**.

Найпростіший психрометр (психрометр Августа) складається з двох однакових термометрів А і В (рис.2). Термометр А (сухий) показує температуру повітря в кімнаті t_c^0 . Резервуар термометра В обтягнутий тканиною, кінець якої опущено в посудину з водою. Внаслідок випаровування води з тканини резервуар термометра В охолоджується і він показує температуру нижчу, ніж сухий термометр.

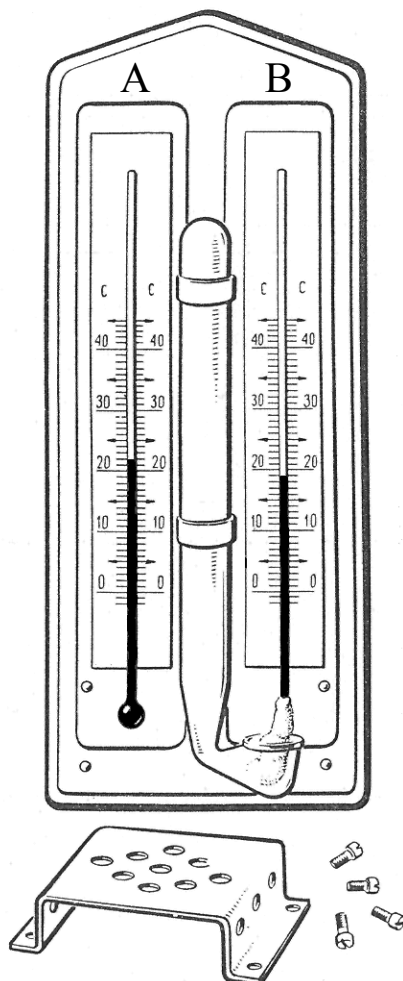


Рис. 2

При деякій температурі t_g^0 покази термометра **В** (вологого) не змінюються, що свідчить про настання динамічної рівноваги.

Різниця між показами сухого і вологого термометрів $t_c^0 - t_g^0$ буде тим більшою, чим менша відносна вологість повітря, і навпаки. При відносній вологості $\varphi = 100\%$ різниця $t_c^0 - t_g^0 = 0$

Знаючи покази сухого і вологого термометрів за психрометричною таблицею (див. табл. 2) можна визначити відносну вологість повітря. Психрометр Августа використовують для вимірювань в приміщенні, оскільки вітер буде вносити похибки при визначенні t_g^0 .

Для більш точних вимірювань і для вимірювань в польових умовах використовують **аспіраційний психрометр** або **психрометр Асмана**. Цей психрометр теж складається з двох однакових

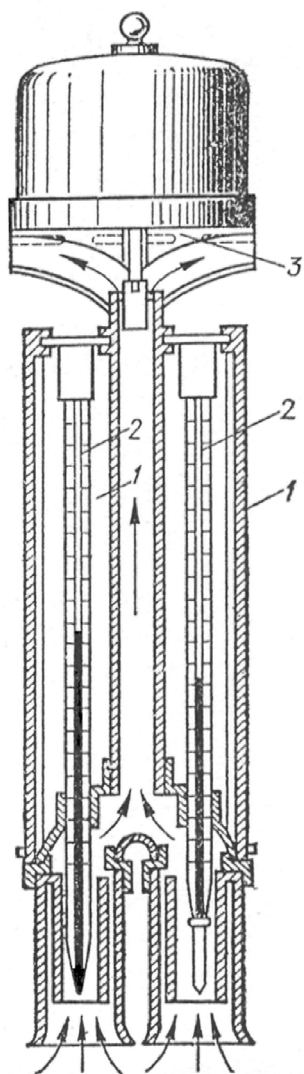


Рис. 3

термометрів, закріплених в спеціальній оправі (рис. 3). У верхній частині приладу міститься вентилятор, що приводиться в рух пружиною, яку закручують вручну ключем. Під час роботи вентилятора повітря проходить через трубки, в яких містяться резервуари термометрів. Резервуар одного з термометрів обгорнутий шаром батисту, який перед початком вимірювань змочують дистильованою, дощовою чи сніговою водою з допомогою спеціальної піпетки.

Вологість повітря визначають за показами сухого і вологого термометра, як і при використанні психрометра Августа.

Записувати покази термометрів слід через 4 хв. після пуску вентилятора. Повністю закручена пружина забезпечує $8 \div 10$ хв. роботи. Крім психрометричної таблиці для визначення вологості можна також скористатись психрометричним графіком (рис. 4).

Хід роботи

Завдання 1. Визначення вологості повітря гігрометром Ламбрехта.

1. Заповніть наполовину резервуар гігрометра ефіром і вставте зверху термометр.

2. Розташуйте гігрометр так, щоб його дзеркальна поверхня була добре освітлена; між гігрометром і спостерігачем поставте скляний екран.
3. Насосом або грушею прокачайте повітря через гігрометр і спостерігайте за станом дзеркальної поверхні і показами термометра.
4. В момент появи роси на дзеркальній поверхні припиніть прокачування повітря і запишіть покази термометра t_1 .
5. Уважно продовжуйте стежити за станом дзеркальної поверхні. В момент зникнення роси запишіть покази термометра t_2 .
6. Визначте точку роси: $t_p = \frac{t_1 + t_2}{2}$.
7. Повторіть дослід ще один раз в іншому місці приміщення. В тих же місцях приміщення визначте температуру повітря.
9. В табл. 1 знайдіть значення тиску p_n і густини ρ_n насиченої водяної пари при температурах повітря і точки роси.
10. Визначте відносну вологість повітря.
11. Результати вимірювань і обчислень запишіть в табл. 3.
12. Оцініть похибку вимірювань і запишіть результат у виді:

$$\varphi = \varphi_{\text{серед}} \pm \Delta\varphi$$

Табл. 3.

№	t_1	t_2	t_p	t	ρ_a	p_a	ρ_n	p_n	$\varphi \%$
1									
2									
Середнє									

Завдання 2. Визначення вологості повітря психрометром Асмана

1. З допомогою спеціальної піпетки змочіть батист на резервуарі "вологого" термометра.
2. Заведіть пружину вентилятора майже до упора. Обережно! Не прикладайте значних зусиль, щоб не зірвати пружину.
3. Підвісьте психрометр на штатив у вертикальному положенні.
4. На четвертій хвилині після пуску вентилятора запишіть покази термометрів.
5. За допомогою психрометричної таблиці (табл. 2) або психрометричного графіку (рис. 4) визначте відносну вологість повітря.

6. З допомогою табл. 1. визначте абсолютну вологість повітря.
7. Повторіть вимірювання ще двічі в інших місцях приміщення.
8. Результати вимірювань і обчислень запишіть в табл. 4.
9. Оцініть похибку вимірювання. Порівняйте одержані результати з результатами завдання 1.

Табл. 4

N_0	t_c^0	t_6^0	Δt	$\varphi, \%$	$\rho_n(t_c)$	ρ_a
1						
2						
3						
Середнє						

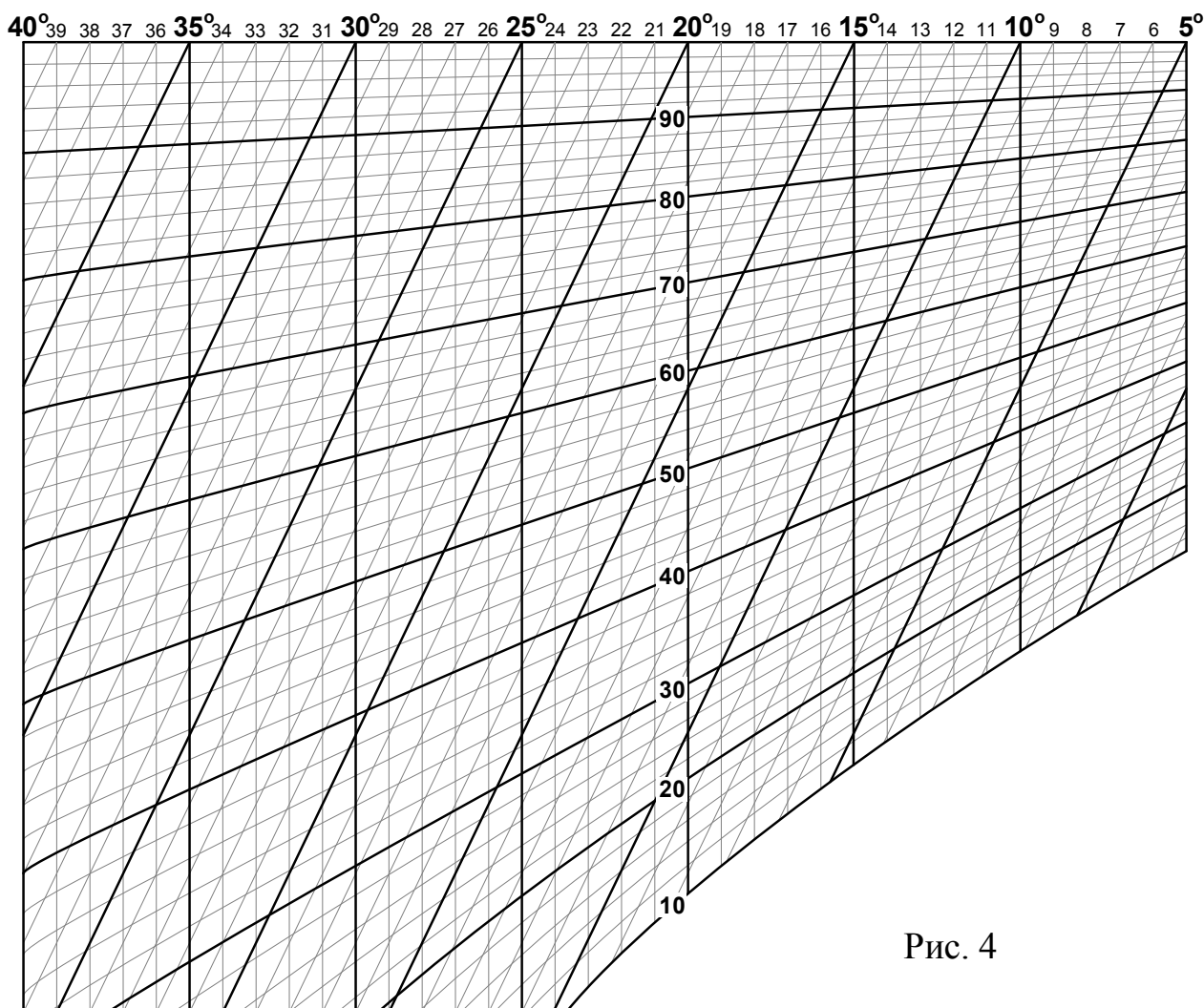


Рис. 4

Контрольні запитання

1. Що називають абсолютною і відносною вологістю повітря?
2. Що називають точкою роси? Як за даними завдання 2 визначити точку роси?
3. Які способи визначення вологості повітря ви знаєте?
4. Який принцип будови психрометра Асмана?
5. Якою буде різниця показів термометрів психрометра при відносній вологості 100%?
6. Навіщо потрібно знати вологість повітря?

Таблиця 1. Тиск і густина насиченої водяної пари при різних температурах (тиск p в Па; m – маса пари в г/м³)

$t, ^\circ\text{C}$	p	m	$t, ^\circ\text{C}$	P	m	$t, ^\circ\text{C}$	P	m
0	611	4,84	18	2064	15,4	36	5941	41,8
1	657	5,22	19	2197	16,3	37	6276	44,0
2	705	5,60	20	2365	17,3	38	6625	46,3
3	759	5,98	21	2487	18,3	39	6991	48,7
4	813	6,40	22	2644	19,4	40	7375	51,2
5	872	6,48	23	2893	20,6	45	9583	65,4
6	935	7,3	24	2984	21,8	50	12332	83,0
7	1001	7,8	25	3168	23,0	55	15732	104,3
8	1073	8,3	26	3361	24,4	60	19918	130
9	1148	8,8	27	3565	25,8	65	24998	161
10	1228	9,4	28	3780	27,2	70	31157	198
11	1312	10,0	29	4005	28,7	75	38543	242
12	1403	10,7	30	4242	30,8	80	47343	293
13	1497	11,4	31	4493	32,1	85	57808	354
14	1599	12,1	32	4754	33,9	90	70100	424
15	1705	12,8	33	5030	35,7	95	84513	506
16	1817	13,6	34	5320	37,6	100	101325	598
17	1937	14,5	35	5624	39,6			

Таблиця 2. Психрометрична таблиця відносної вологості повітря

Покази сухого термометра, $^\circ\text{C}$	Різниця показів сухого і вологого термометрів, $^\circ\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	81	63	45	28	11					
1	100	83	65	48	32	16					
2	100	84	68	51	35	20					
3	100	84	69	54	39	24	10				
4	100	85	70	56	42	28	14				
5	100	86	72	58	45	32	19	6			

6	100	86	73	60	47	35	23	10			
7	100	87	74	61	49	37	26	14			
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7		
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ МАСИ НЕВІДОМОЇ РЕЧОВИНИ ЕБУЛІОСКОПІЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: Визначити молекулярну масу невідомої речовини і за нею встановити, що це за речовина.

Прилади і матеріали: Колба, мензурка, електроплитка, невідома речовина, розчинник (вода), термометр, терези з важками.

Теоретичні відомості.

В більшості випадків рідини являють собою суміш різних речовин. Якщо одна з них в цій суміші міститься в кількості, що значно переважає інші, то суміш називають *розчином*, а речовину, що переважає, називають *розчинником*. Найпростішими є *бінарні розчини*, що складаються з двох речовин – *розчинника* і *розчиненої речовини*.

Кількісно розчини характеризують **концентрацією**, яка визначає вміст розчиненої речовини (або розчинника) в розчині. Концентрацію можна задавати декількома способами:

1. **Масова доля** – відношення маси розчиненої речовини до маси розчину. Якщо виразити її в процентах то одержимо **масову концентрацію**:

$$c = \frac{m}{m + m_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де m – маса розчиненої речовини, m_0 – маса розчинника, $m + m_0$ – маса розчину.

2. **Молярна доля** – відношення числа молів розчиненої речовини до загального числа молів розчину:

$$N = \frac{v}{v + v_0} \quad (2)$$

3. Концентрація розчину, виражена в молях, що міститься в l л розчину (*не в l л розчинника!*), називається **молярністю**. Розчин, що містить 1 моль розчинної речовини в 1 л розчину, називають **одномолярним** чи просто **молярним**.
4. **Моляльними** називають розчини, які одержують розчиненням одного моля (чи його частини) речовини в 1 кг розчинника (Наприклад, для приготування одномоляльного розчину $NaCl$ розчиняють $58,457$ г цієї солі в 1 кг води, приводячи масу води в даних умовах до об'єму).

В деяких випадках речовини можуть розчинятись одна в одній необмежено, тобто концентрація розчину може бути будь-якою (наприклад, спирт у воді). Існують, однак, і такі речовини, які в даному розчиннику здатні розчинятись лише до певної найбільшої концентрації. Ця максимальна рівноважна концентрація називається **розчинністю**. Розчини з максимальною концентрацією називають **насиченими**. Розчинність речовин залежить від температури і тиску.

Будь-яка рідина кипить при такій температурі, при якій тиск насиченої пари рівний зовнішньому тиску. Оскільки тиск насиченої пари розчинника над розчином речовини менше, ніж над чистим розчинником, розчин необхідно нагрівати до більш високої

температури, ніж чистий розчинник, щоб тиск насиченої пари над ним досяг зовнішнього тиску, і тоді розчин закипить.

Завдяки наявності розчиненої речовини число молекул розчинника на його поверхні (і в об'ємі теж) менше, ніж це було б у чистому розчиннику. Відповідно число молекул розчинника, що випаровуються з такої поверхні буде менше, меншим буде і тиск насиченої пари розчинника над розчином, порівняно з тиском насиченої пари над чистим розчинником.

Згідно із законом Рауля, тиск насиченої пари розчинника над розчином:

$$p = N \cdot p_0 = \frac{v_0}{v_0 + v} \cdot p_0, \quad (3)$$

де N – молярна доля розчинника в розчині,

p_0 – тиск насиченої пари чистого розчинника при тій же температурі,

v_0 – число молів розчинника,

v – число молів розчиненої речовини.

Закон Рауля добре виконується лише для слабких розчинів. З виразу (3) можна показати, що відносна зміна тиску насиченої пари розчинника дорівнює концентрації розчиненої речовини:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{v}{v_0 + v} \quad (4)$$

$$p_0 = p \cdot \frac{v_0 + v}{v_0}; \quad p_0 - p = p \cdot \left(\frac{v_0 + v}{v_0} - 1 \right); \quad \frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{p}{p_0} \cdot \left(\frac{v_0 + v - v_0}{v_0} \right)$$

$$\frac{p}{p_0} = \frac{v_0}{v_0 + v} \quad (\text{з рівняння (3)}); \quad \frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{v_0}{v_0 + v} \cdot \frac{v}{v_0}, \text{ звідки після}$$

скорочень матимемо (4).

Якщо розчинена речовина з розчину не випаровується, то над розчином пара складається тільки з молекул розчинника. Оскільки тиск насиченої пари розчинника над розчином менший ніж над чистим розчинником, то це приведе до збільшення температури кипіння розчину порівняно з температурою кипіння чистого розчинника.

Використавши рівняння Клапейрона – Клаузіуса:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_{\mu n} - V_{\mu p})} \quad (5)$$

і закон Рауля (4) одержимо вираз для зміни температури кипіння розчину. В (5) $V_{\mu n}$ і $V_{\mu p}$ – молярні об'єми відповідно пари і рідини, L – молярна теплота пароутворення. Оскільки $V_{\mu n} \gg V_{\mu p}$, то $V_{\mu p}$ можна знехтувати; крім того з рівняння Клапейрона:

$$pV_{\mu n} = RT, \quad V_{\mu n} = \frac{RT}{p}; \quad \text{підставимо вираз для } V_{\mu n} \text{ в (5):}$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T \frac{RT}{p}}, \quad \frac{dp}{dT} = \frac{Lp}{RT^2}, \quad \text{звідки } \frac{dp}{p} = \frac{L}{R} \cdot \frac{dT}{T^2} \text{ або:}$$

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{L}{R} \cdot \frac{\Delta T}{T^2} \quad (6)$$

$$\text{З (4): } \frac{\Delta p}{p} = \frac{v}{v_0 + v}; \quad \text{підставимо в (6):}$$

$$\frac{v}{v_0 + v} = \frac{L}{R} \cdot \frac{\Delta T}{T^2}, \quad \text{звідки: } \frac{1}{\frac{v_0}{v} + 1} = \frac{L\Delta T}{RT^2}, \quad \text{або: } \frac{v_0}{v} + 1 = \frac{RT^2}{L\Delta T}.$$

$$\text{Для слабких розчинів: } \frac{v_0}{v} + 1 \approx \frac{v_0}{v}, \quad \text{тому } \frac{v_0}{v} = \frac{RT^2}{L\Delta T};$$

$$\frac{1}{v} = \frac{RT^2}{L\Delta T} \cdot \frac{1}{v_0}; \quad \text{оскільки } v = \frac{m}{\mu}, \quad \text{то } \frac{\mu}{m} = \frac{RT^2}{L\Delta T} \cdot \frac{\mu_0}{m_0}.$$

Так, як $L = r\mu_0$, де r – питома теплота пароутворення, то:

$$\mu = \frac{RT^2}{r} \cdot \frac{m}{m_0 \cdot \Delta T} \quad (7)$$

В (7) m_0 – це маса розчинника, m – розчиненої речовини, T – температура кипіння чистого розчинника, ΔT – зміна температури кипіння при розчиненні речовини. Вираз $E = \frac{RT^2}{r}$ називають *ебуліоскопічною сталою*; для води вона дорівнює:

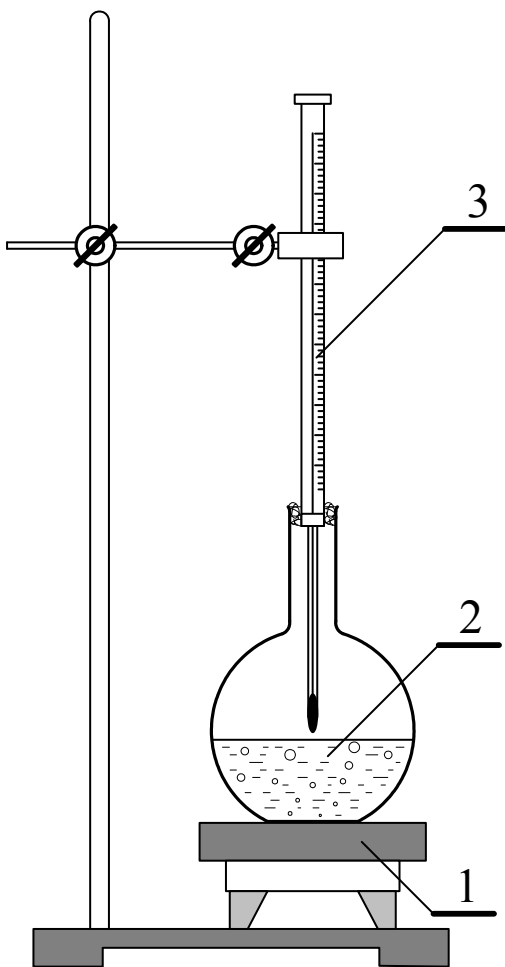
$$E = \frac{8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (373)^2 \text{К}^2}{2,256 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 0,513 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \text{К}.$$

Фізичний зміст ебуліоскопічної сталої впливає з рівняння (7):

$$\Delta T = E \cdot \frac{m}{m_0} = E \cdot \frac{v}{m_0}.$$

Якщо вважати, що $v=1$ моль, $m_0=1$ кг, то $\Delta T=E$, отже ебуліоскопічна стала чисельно дорівнює зміні температури кипіння розчину, якщо в 1 кг розчинника міститься 1 моль розчиненої речовини.

Схема установки для визначення молекулярної маси невідомої речовини зображена на рисунку 1, де 1 – електроплитка, 2 – розчин, 3 – термометр для вимірювання температури кипіння.



Хід роботи.

1. Зважте m кг речовини та m_0 кг розчинника (розчинника $\sim 100 \dots 200$ г, розчиненої речовини 5 – 10 г, оскільки при великій концентрації можуть бути відхилення від теорії).
2. Визначте температуру кипіння чистого розчинника T .
3. Визначте температуру кипіння розчину T_p .
4. Використовуючи рівняння (7) обчисліть значення молекулярної маси невідомої речовини.
5. Отримані результати можна оформити у вигляді таблиці 1:

Рис. 1.

Табл.. 1

№ п/п	m , кг	m_0 , кг	T , К	T_p , К	ΔT , К	μ	$\Delta\mu$	ε
1								
2								
3								
Сер.								

Зауваження. Оскільки кухонна сіль ($NaCl$) електроліт, то при розчиненні вона дисоціює на позитивний іон натрію (Na^+) та негативний іон хлору (Cl^-), тому формулу (7) необхідно переписати у вигляді:

$$\mu = I \frac{RT^2}{r} \cdot \frac{m}{m_0 \cdot \Delta T} = (1 + \alpha) \cdot \frac{RT^2}{r} \cdot \frac{m}{m_0 \cdot \Delta T},$$

де I – ізотонічний коефіцієнт Вант Гоффа: $I = (1 + \alpha)$, де α – коефіцієнт дисоціації. При малих концентраціях для кухонної солі $0,4 < \alpha < 0,6$.

Контрольні питання.

1. Що називають концентрацією і як вона вимірюється?
2. Що називають розчинністю? Який розчин називають насиченим?
3. В чому полягає ебуліоскопічний метод визначення молекулярної маси невідомої речовини?
4. Запишіть закони Рауля.
5. З якою метою визначають молярну масу невідомої речовини?
6. Що називають теплотою розчинення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ПАРОУТВОРЕННЯ РІДИНИ

Мета роботи: Використовуючи калориметричний метод визначити питому теплоту пароутворення води.

Прилади і матеріали: Калориметр, досліджувана рідина (вода), колба для одержання пари, електрична плитка, технічні терези, термометр, барометр.

Теоретичні відомості.

Для перетворення рідини в пару при сталій температурі рідині необхідно надавати кількість теплоти, яка йде на подолання міжмолекулярних сил зчеплення та на виконання роботи проти сил зовнішнього тиску.

Кількість теплоти, яку необхідно надати 1 кг рідини, щоб перетворити її в пару при сталій температурі, називають питомою теплотою пароутворення.

Питома теплота пароутворення залежить від температури рідини. В даній роботі теплоту пароутворення визначають при температурі кипіння рідини. Крім того, оскільки теплота пароутворення дорівнює теплоті, що виділяється при конденсації, то в роботі визначатиметься саме теплота конденсації.

Якщо пропустити пару через калориметр з водою, то в результаті конденсації пари виділятиметься теплота, що піде на нагрівання води і калориметра. При конденсації пари утворюється вода, що має температуру конденсації (100°C), яка теж віддає тепло при охолодженні. Складемо рівняння теплового балансу:

$$r \cdot m + c_1 \cdot m \cdot (t^0 - \theta^0) = (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot (\theta^0 - t_1^0) \quad (1)$$

В рівнянні (1) r - це питома теплота конденсації, m - маса пари, c_1, c_2 - питомі теплоємності відповідно води і матеріалу калориметра, t^0 - температура кипіння досліджуваної рідини, θ^0 - кінцева температура суміші, m_1, m_2 - маса відповідно води в калориметрі і самого калориметра, t_1^0 - початкова температура води в калориметрі.

Розв'яжемо (1) відносно r :

$$r = \frac{(m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot (\theta^0 - t_1^0) - c_1 \cdot m \cdot (t^0 - \theta^0)}{m} \quad (2)$$

Хід роботи.

1. Налийте в колбу досліджувану рідину (воду), щільно закрийте колбу корком з паровідвідною трубкою і поставте колбу на електроплитку. Закріпіть колбу лапкою штативу.
2. Увімкніть електроплитку в мережу і опустіть паровідвідну трубку в допоміжну посудину.
3. З точністю до $0,1$ г зважте внутрішній стаканчик калориметра.

4. Налийте у внутрішній стаканчик калориметра на $3/4$ його об'єму холодної води і зважте стаканчик з водою. Різниця між результатами цього і попереднього зважування дає масу води в калориметрі - m_1 .
5. Поставте внутрішній стаканчик калориметра в зовнішній. Виміряйте температуру води в калориметрі. Бажано, щоб температура води була на $4 \div 5^\circ C$ нижче кімнатної.
6. Після того, як вода в колбі закипить, почекайте, поки добре прогріється паровідвідна трубка, і опустіть її в калориметр (див. рис. 1).
7. Пропускайте пару в калориметр і слідкуйте за підвищенням температури. Термометром обережно помішуйте воду.
8. Коли температура води в калориметрі стане на $4 \div 5^\circ C$ вище кімнатної, припиніть доступ пари, переклавши паровідвідну трубку в допоміжну посудину. Деякий час продовжуйте вимірювання і визначте кінцеву температуру суміші θ° .
9. Зважте внутрішній стаканчик калориметра і за збільшенням його маси визначте масу пари m , що сконденсувалася.
10. Дослід слід повторити не менше трьох раз. Дані вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 1.
11. Оцініть похибку вимірювань.

Значення питомих теплоємностей наведено нижче.

$$\text{Вода: } c_1 = 4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; \quad \text{алюміній: } c_2 = 896 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Табл. 1

№ n/n	m_1 , кг	m_2 , кг	m , кг	t_1°	θ°	t°	r , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
1							
2							
3							
...							
Сер.	X		X	X	X	X	

Контрольні запитання.

1. Що називають фазовим переходом першого роду?

2. Що називають питомою теплотою пароутворення?
3. При яких умовах матиме місце процес кипіння рідини?
4. Як залежить температура кипіння рідини від тиску?
5. Яка частина питомої теплоти пароутворення води при температурі 100°C йде на збільшення внутрішньої енергії системи?

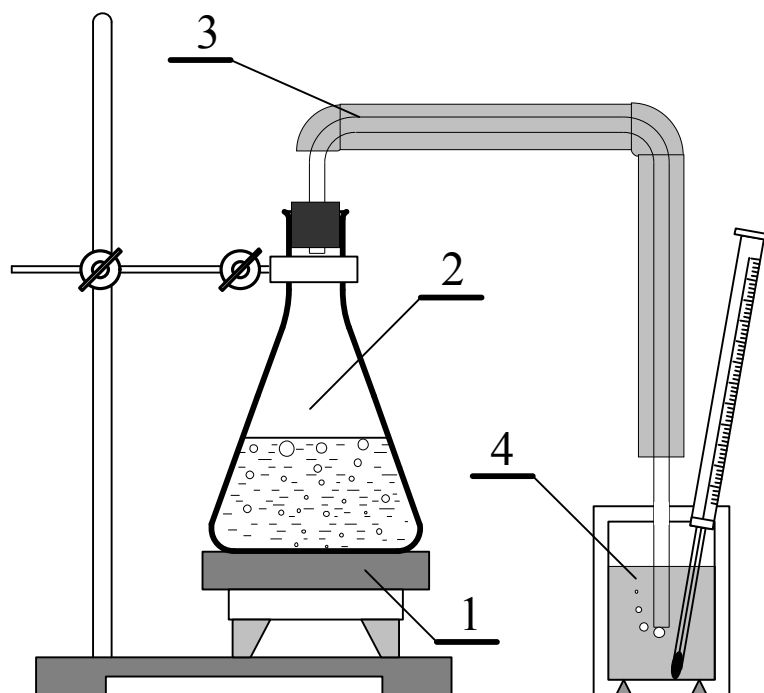


Рис. 1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ

Мета роботи: Визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини методом відриву краплини.

Прилади і матеріали: Бюретка, склянка для рідини, штатив, відліковий мікроскоп, досліджувана рідина, терези з важками.

Теоретичні відомості.

Вільна поверхня будь-якої рідини перебуває в особливому напруженому стані і, до деякої міри, нагадує собою тонку натягнуту плівку. Утворення поверхневої плівки як в рідинах, так і в твердих

тілах, – результат дії молекулярних сил.

Якщо молекула перебуває всередині рідини, то на неї з усіх сторін в рівній мірі діють сусідні молекули і рівнодійна всіх молекулярних сил дорівнює нулю (див. рис. 1а).

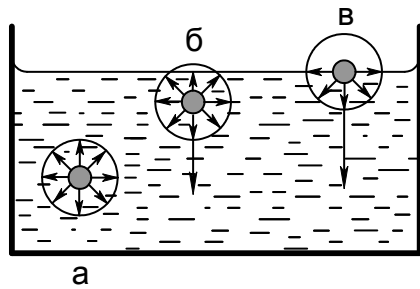


Рис. 1.

Якщо молекула перебуває поблизу поверхні рідини на відстані, меншій радіуса дії молекулярних сил (рис. 1б), то притягання молекул, що лежать нижче, переважає над притяганням молекул, що лежать вище, і рівнодійна всіх молекулярних сил буде направлена вниз – всередину рідини. Чим ближче молекула до поверхні рідини, тим більшою буде ця сила. Якщо молекула перебуває на самій поверхні рідини (рис. 1в), то сили молекулярного притягання направлені тільки по поверхні і всередину рідини. Складові молекулярних сил, що направлені по поверхні, намагаються скоротити площу поверхні рідини і утворюють так званий поверхневий натяг. Уявно розділимо поверхню рідини довільною лінією довжиною l . Тоді сила зчеплення між обома частинами поверхні, що виникає внаслідок взаємного притягання молекул, які перебувають по обидві сторони від лінії, буде тим більшою, чим довшою буде лінія, тобто сила поверхневого натягу буде прямо пропорційна довжині лінії:

$$F = \sigma \cdot l, \quad \text{звідки } \sigma = \frac{F}{l}.$$

Коефіцієнт поверхневого натягу σ чисельно дорівнює силі поверхневого натягу, що діє на одиниці довжини. Ця сила завжди лежить в площині поверхні рідини і направлена перпендикулярно до лінії l . Одиниці вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу:

$$[\sigma] = \frac{H}{m}.$$

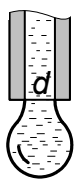


Рис. 2.

Якщо рідина повільно витікає з нижнього отвору вузької вертикальної трубки, то утворюється краплина, яка в момент відриву має форму, зображену на рис. 2. На краплину в момент відриву діє сила тяжіння mg і сила поверхневого натягу $F_{нов} = 2\pi r\sigma$, які зрівноважують одна одну:

$$mg = 2\pi r\sigma, \quad (1)$$

де r – радіус краплини в місці її розриву (це місце називають шийкою). Діаметр шийки $d=2r$ приблизно дорівнює внутрішньому діаметру кінчика трубки, з якої витікає рідина. Знаючи d і m , можна знайти σ :

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi r} = \frac{mg}{\pi d} \quad (2)$$

Хід роботи.

1. Бюретку заповніть водою, поставте під кінчик бюретки склянку і відрегулюйте кран бюретки так, щоб за 1 хв. відривалось 20-30 краплин.
2. Зважте порожній стаканчик і накапайте в нього 50-100 краплин. Знову зважте стаканчик; різниця мас дасть масу всіх краплин M . Маса однієї краплини $m = \frac{M}{N}$, де N – кількість краплин.
3. З допомогою відлікового мікроскопу виміряйте діаметр шийки краплини в момент відриву. Перед початком вимірювань визначте ціну поділки мікроскопу.
4. Порівняйте одержане значення з внутрішнім діаметром кінчика бюретки. Для його вимірювання потрібно вилити воду з бюретки і розвернути її в штативі горизонтально. *Дозвіл на виконання цієї частини роботи необхідно отримати від викладача.*
5. Обчисліть за формулою (2) коефіцієнт поверхневого натягу σ . Повторіть дослід два-три рази.
6. Результати вимірювань і обчислень зручно оформити у вигляді таблиці:

Табл. 1

№ п/п	$M_1, \text{кг}$	$M_2, \text{кг}$	$M, \text{кг}$	N	$m, \text{кг}$	$d, \text{м}$	$\sigma, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$\Delta\sigma, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
1								
2								
3								
...								
Сер.	X	X	X	X				

Додаткове завдання.

Повторіть вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу для теплої води. Контроль за температурою здійснюйте безпосередньо в бюретці двічі – на початку і в кінці вимірювань.

Контрольні запитання.

1. Що називають коефіцієнтом поверхневого натягу?
2. Від чого залежить цей коефіцієнт?
3. Які методи визначення коефіцієнту поверхневого натягу ви знаєте?
4. Як визначити тиск під викривленою поверхнею рідини (формула Лапласа)?
5. Які явища називають капілярними і які прояви цих явищ ви знаєте?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ МЕТОДОМ ПУАЗЕЙЛЯ.

Мета роботи: Використавши промислові віскозиметри, визначити в'язкість гасу та гліцерину.

Прилади і матеріали: Капілярні скляні віскозиметри ВПЖ-2 і ВПЖ-4, заповнені досліджуваними рідинами (гліцерином і гасом), гумова груша, секундомір.

Теоретичні відомості.

В реальних рідинах, крім сил нормального тиску, на межі елементів рідини, що рухаються, діють ще й **дотичні сили внутрішнього тертя** або **в'язкості**. Причинами, що породжують сили внутрішнього тертя, є сили міжмолекулярної взаємодії та явище переносу імпульсу молекул з одного шару в інший.

В ламінарному потоці рідини сила тертя між двома сусідніми шарами, що рухаються зі швидкостями v і $v + dv$ дорівнює:

$$F = \eta \frac{dv}{dn} \cdot S, \quad (1)$$

де S – площа дотику шарів рідини, $\frac{dv}{dn}$ – градієнт швидкості потоку в напрямку, перпендикулярному до самої швидкості, η – **коефіцієнт**

в'язкості (динамічний коефіцієнт в'язкості). Як впливає з (1):

$$[\eta] = \frac{H \cdot m}{\frac{m}{c} \cdot m^2} = \frac{H \cdot c}{m^2} = \text{Па} \cdot \text{с}.$$

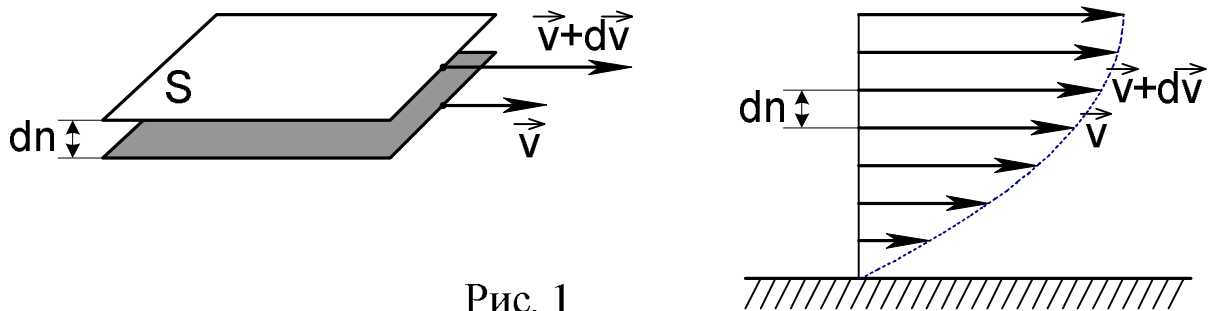


Рис. 1

Формула (1) була одержана І. Ньютоном, тому її називають **формулою Ньютона**. Рисунок 1 ілюструє формулу (1).

Праворуч на малюнку вказано характер зміни швидкості при віддаленні від стінок труби чи каналу; біля самих стінок внаслідок прилипання рідини швидкість течії дорівнює нулю.

Розглянемо течію рідини по прямолінійній циліндричній трубі радіуса R . Лінії течії паралельні вісі труби, рідина не стискується. Виділимо в трубі циліндричний елемент довжиною l (рис. 2).

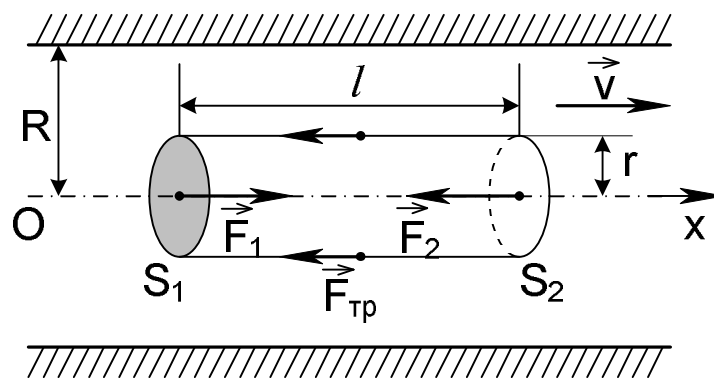


Рис. 2

Під час стаціонарної течії рідини виділений об'єм рухається без прискорення, тому рівнодійна всіх сил, прикладених до нього, дорівнює нулю. В проекції на вісь Ox матимемо:

$$F_1 - F_2 - F_{тр} = 0,$$

де F_1 і F_2 - сили тиску, а $F_{тр}$ - дотична сила в'язкого тертя, що діє на

бічну поверхню циліндра.

$$P_1 \pi r^2 - P_2 \pi r^2 - \eta \frac{dv}{dr} \cdot 2\pi r l = 0.$$

Врахуємо, що зі збільшенням відстані r швидкість v зменшується $\left(\frac{dv}{dr} < 0\right)$ і скоротимо на $\pi \cdot r$:

$$r(P_1 - P_2) + 2\eta l \frac{dv}{dr} = 0$$

Розділимо змінні і проінтегруємо:

$$dv = -\frac{P_1 - P_2}{2\eta l} \cdot r dr.$$

$$v = -\frac{P_1 - P_2}{2\eta l} \cdot \frac{r^2}{2} + C.$$

Сталу інтегрування знайдемо з умови: при $r = R$, $v = 0$:

$$0 = -\frac{P_1 - P_2}{2\eta l} \cdot \frac{R^2}{2} + C, \quad C = \frac{P_1 - P_2}{2\eta l} \cdot \frac{R^2}{2}.$$

Підставивши значення сталої інтегрування, одержимо:

$$v = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} \cdot (R^2 - r^2) \quad (2)$$

Швидкість v максимальна на вісі трубки ($v_{max} = \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} \cdot R^2$) і при віддаленні від вісі змінюється за параболічним законом. Рисунок 3 ілюструє формулу (2).

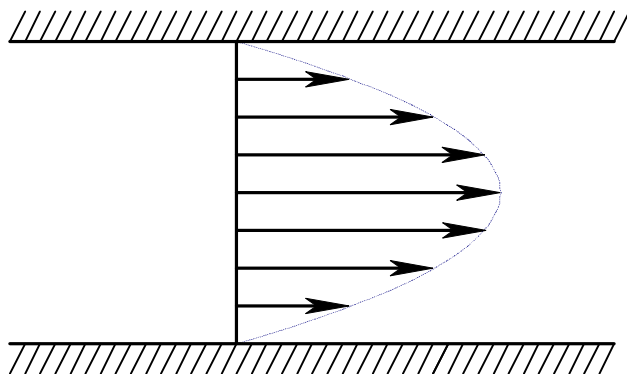


Рис. 3

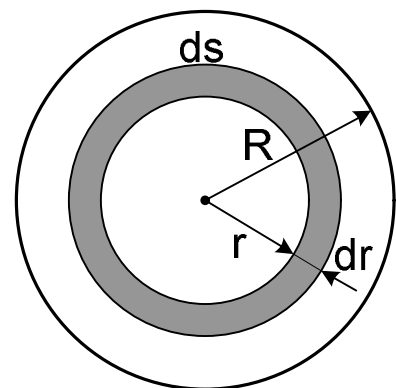


Рис. 4

Знаючи залежність $v(r)$, можна підрахувати об'єм рідини, що

тече по циліндричній трубці радіуса R . Через кільцевий майданчик площею dS (рис. 4) за час t пройде об'єм рідини $dV = dS \cdot v \cdot t$. Зведемо dS :

$$dS = \pi(r + dr)^2 - \pi r^2 = \pi r^2 + 2\pi r dr + dr^2 - \pi r^2 = 2\pi r dr \quad (dr^2 \approx 0).$$

Швидкість v визначається за формулою (2). Для dV одержимо:

$$dV = 2\pi r dr \cdot \frac{P_1 - P_2}{4\eta l} (R^2 - r^2) \cdot t$$

Інтегруючи це рівняння по r від 0 до R , одержимо **формулу Пуазейля**:

$$V = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2) \cdot t}{8\eta l} \quad (3)$$

Зауважимо, що при виведенні (3) течія вважалась ламінарною.

В даній роботі для визначення в'язкості рідин використовують скляні віскозиметри типу ВПЖ-2 та ВПЖ-4, які відрізняються лише діаметром капіляру, через який протікає досліджувана рідина. Віскозиметр (дивись рис. 5) – це U - подібна скляна трубка, в коліно 1 якої впаяний капіляр 4. Рідина з резервуара 3 через капіляр витікає протягом часу t , який залежить лише від в'язкості та густини рідини.

Дійсно, в формулі Пуазейля (3) об'єм рідини $V = \frac{\pi D^3}{6}$, де D – діаметр резервуару, з якого витікає рідина, $p_1 - p_2 = \rho g l$, де l – довжина капіляру. Підставимо ці вирази в (3) і виконаємо перетворення:

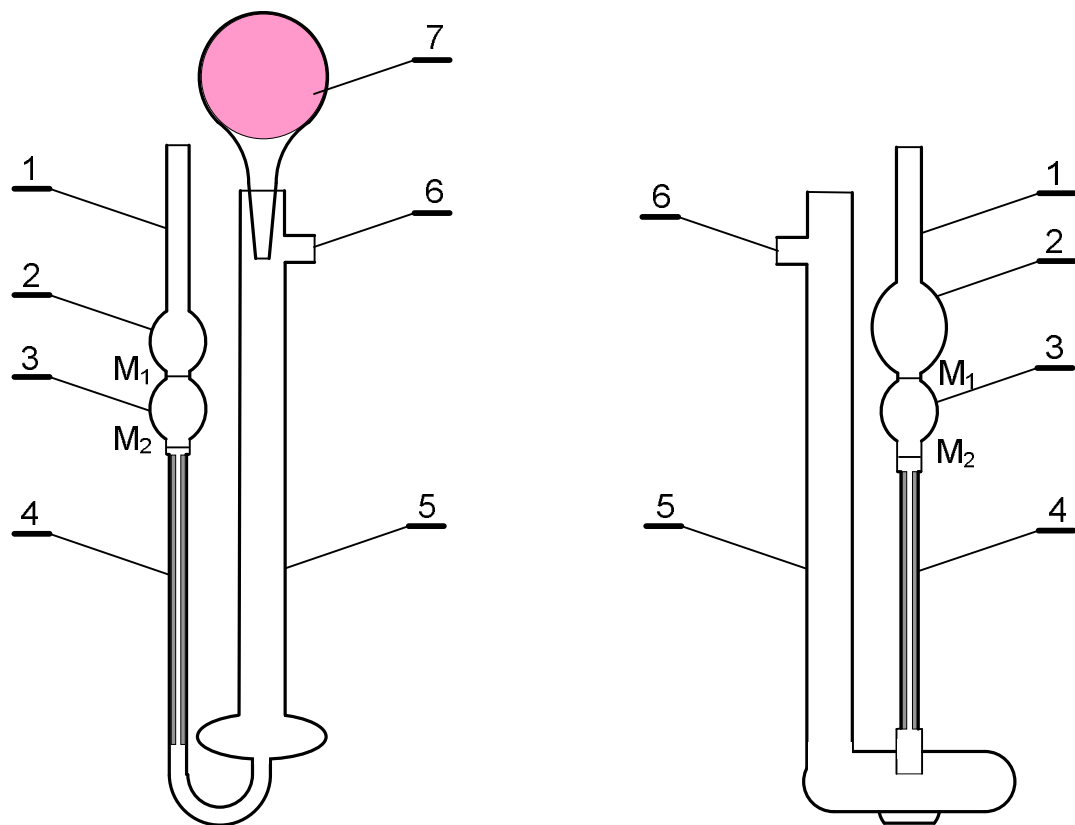
$$\frac{\pi D^3}{6} = \frac{\pi R^4 \rho g l \cdot t}{8\eta l}; \quad \frac{\eta}{l} = \frac{3R^4 g}{4D^3} \cdot t.$$

Відношення $\frac{\eta}{l} = \nu$ називають **кінематичною в'язкістю**. Отже:

$$\nu = K \cdot t, \quad (4)$$

де K – стала віскозиметра. Точне значення сталої віскозиметра визначається при його виготовленні; для ВПЖ-4 $K=0,2987 \text{ мм}^2/\text{с}^2$, для ВПЖ-2 $K=2,789 \text{ мм}^2/\text{с}^2$. Кінематична в'язкість ν одержується при цьому в $\text{мм}^2/\text{с}$; $1 \text{ мм}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Для знаходження динамічної в'язкості одержане значення кінематичної треба помножити на густину рідини:

$$\eta = \rho \cdot \nu \quad (5)$$



Тип віскозиметра – ВПЖ-4
 Внутрішній діаметр капіляру 1,47 мм
 Стала віскозиметра $0,2987 \text{ мм}^2/\text{с}^2$

Тип віскозиметра – ВПЖ-2
 Внутрішній діаметр капіляру 2,37 мм
 Стала віскозиметра $2,789 \text{ мм}^2/\text{с}^2$

Рис. 5

Хід роботи.

1. Виміряйте і запишіть температуру повітря в кімнаті.
2. Вставте кінчик гумової груші в коліно 5 віскозиметра ВПЖ-2, закрийте пальцем відвідну трубку 6 і, натискаючи на грушу, обережно закачайте рідину в коліно 1 приблизно на третину висоти резервуара 2.
3. Відкрийте коліно 5. Рідина починає опускатись, протікаючи через капіляр 4. Визначте час опускання меніска рідини від мітки M_1 до мітки M_2 .
4. Дослід слід повторити декілька раз, обчислити середнє значення t .
5. За формулою (4) визначте кінематичну в'язкість, за формулою (5) – динамічну.
6. Пункти 2 – 5 повторіть для віскозиметра ВПЖ-4.
7. Оцініть похибку вимірювань.

8. Порівняйте одержані значення коефіцієнтів в'язкості з табличними. Зробіть висновок.

Контрольні питання.

1. Яку течію називають ламінарною, яку – турбулентною?
2. Чому ламінарна течія є стаціонарною?
3. Як розподілена швидкість по перерізу капіляра?
4. Виведіть формулу Пуазейля.
5. В яких одиницях вимірюється кінематична в'язкість? динамічна в'язкість?
6. За даними дослідів визначте число Рейнольдса $Re = \frac{\rho v r}{\eta} = \frac{v r}{\nu}$, де r – радіус капіляру. При $Re < 1000$ течія буде ламінарною.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

Мета роботи: експериментально визначити коефіцієнт лінійного розширення заліза, латуні та алюмінію.

Прилади і матеріали: прилад для визначення коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл, індикатор малих переміщень, термометр, набір стержнів з різних матеріалів, пробірки, вода.

Теоретичні відомості

При нагріванні тверді тіла збільшують свої розміри, при охолодженні – зменшують. Отже, зі збільшенням температури збільшуються середні відстані між атомами кристалу. Пояснюється це явище наступним чином. При збільшенні температури збільшується енергія теплового руху атомів, тобто збільшується амплітуда їх коливань. Специфіка взаємодії атомів в твердому тілі приводить до негармонічного характеру цих коливань: атоми віддаляються один від одного на більші відстані, ніж зближуються.

Отже, причиною теплового розширення твердих тіл є ангармонічність коливань атомів кристалічної ґратки.

Кількісно теплове розширення характеризується коефіцієнтами лінійного та об'ємного розширення. **Коефіцієнт лінійного розширення** визначається співвідношенням:

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}, \quad (1)$$

де l – лінійні розміри тіла. Дослідним шляхом α визначають в деякому інтервалі температур ΔT , тобто використовують середнє значення коефіцієнту:

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T}. \quad (2)$$

Δl – зміна довжини тіла при зміні температури на ΔT градусів.

Коефіцієнт лінійного розширення дорівнює відносній зміні довжини при зміні температури на один градус.

Якщо залежність довжини від температури досить лінійна в широкому інтервалі температур, то на практиці середнє значення коефіцієнта лінійного розширення визначають відносно початкової довжини l_0 , взятої при температурі 0°C . В цьому випадку:

$$l = l_0(1 + \alpha t^\circ). \quad (3)$$

Саме для цього випадку в довідниках наводяться коефіцієнти лінійного розширення твердих тіл.

Аналогічно визначається **коефіцієнт об'ємного розширення** :

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (4)$$

і залежність $V(t^\circ)$:

$$V = V_0(1 + \beta t^\circ). \quad (5)$$

Для кристалів з кубічною симетрією і для ізотропних тіл $\beta = 3\alpha$.

Коефіцієнти лінійного і об'ємного розширення практично залишаються сталими, якщо інтервали температур, в яких вони вимірюються, малі а самі температури високі. Взагалі ж коефіцієнти теплового розширення залежать від температури: при низьких температурах вони зменшуються при зниженні температури і прямують до нуля при абсолютному нулі.

Числові значення коефіцієнтів теплового розширення твердих тіл досить малі, тому при розв'язуванні задач доцільно використовувати наближену формулу:

$$l_2 = l_1(1 + \alpha \Delta t^o), \quad (6)$$

де l_1 – довжина при температурі t_1 , а l_2 – довжина при t_2 . Коефіцієнт лінійного розширення в цьому випадку визначається виразом:

$$\alpha = \frac{1}{l_1} \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (7)$$

Схематичне зображення приладу для визначення коефіцієнту лінійного розширення твердих тіл подано на рис. 1.

Цифрами позначено: 1 – індикатор малих переміщень; 2, 3 – гвинти для кріплення індикатора; 4 – досліджуваний стержень; 5 – пробірка з водою; 6 – нагрівник; 7 – вимикач нагрівника; 8 – термометр.

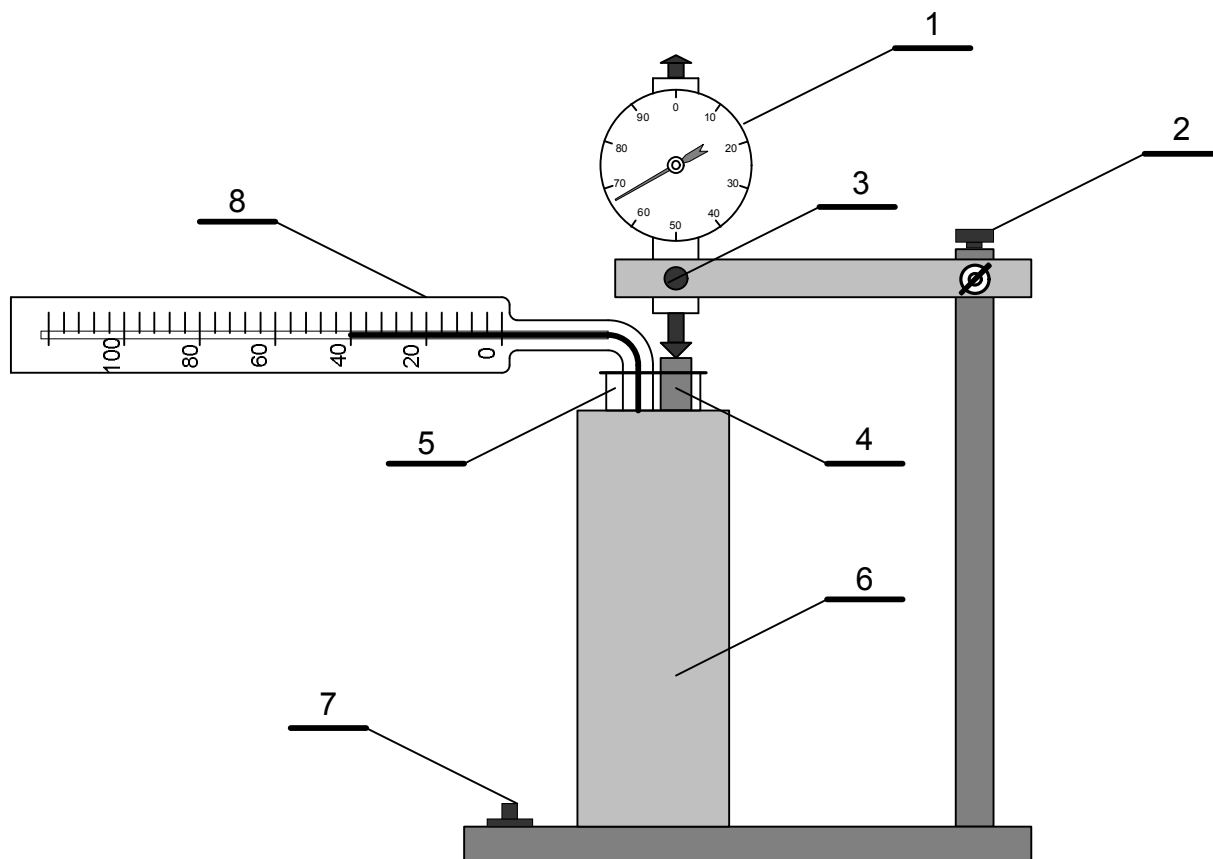


Рис. 1

Хід роботи.

1. Частково відкрутіть гвинт 2 і відведіть планку з індикатором в сторону.
2. Вставте в пробірку досліджуваний стержень і термометр, налейте в пробірку води. Відстань між верхом пробірки і поверхнею води повинна бути *0,5-1 см*.
3. Пробірку вставте в нагрівник, а індикатор встановіть в положення, показане на рис. 1. Затисніть гвинт 2.
4. Запишіть початкову температуру стержня і початкові покази індикатора. Увімкніть прилад в мережу і натисніть вимикач нагрівника 7.
5. Через кожні 5° записуйте покази індикатора і термометра. Максимальна температура не повинна перевищувати 90°C , тому при температурі $75^\circ - 80^\circ\text{C}$ нагрівник слід вимкнути.
6. Знову ослабте гвинт 2 і відведіть планку з індикатором в сторону. Вийміть термометр і нагріту пробірку поставте в штатив для пробірок.
7. В іншу пробірку вставте наступний стержень і повторіть пункти 2 - 6.
8. Для кожного з трьох стержнів побудуйте графіки залежності $\Delta l = f(t^\circ)$. Лінеаризуйте графік "на око" (або з допомогою методу найменших квадратів) і визначте за графіком $\frac{\Delta l}{\Delta t}$. Обчисліть $\alpha = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta t}$. Початкова довжина стержнів $l = 160 \text{ мм}$.
9. Похибку вимірювання оцініть також за графіком $\Delta l = f(t^\circ)$.
10. Порівняйте одержані результати з табличними. Зробіть висновок. Приблизний вид таблиці для записів результатів вимірювань наведено нижче.

Табл.. 1

Стержень №

№	0	1	2	3	4	5
$t^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45
a									
$\Delta l = a_i - a_0$									

Контрольні запитання.

1. Як пояснити теплове розширення з точки зору молекулярно – кінетичної теорії?
2. Що називають коефіцієнтом лінійного розширення?
3. Де необхідно враховувати теплове розширення твердих тіл?
4. Як буде змінюватись діаметр металевого кільця при нагріванні?
5. Як буде змінюватись площа круглого отвору в листі заліза при його нагріванні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛУ.

Мета роботи: Експериментально встановити температуру плавлення металу.

Прилади і матеріали: Муфельна піч або електроплитка, тиглі, олово та сплав свинцю з оловом, термометр, мілівольтметр, штатив, секундомір.

Теоретичні відомості.

При нагріванні твердого тіла його температура підвищується. Коли вона досягає так званої точки плавлення (температури плавлення), тверде тіло починає перетворюватись в рідину. На протязі всього часу плавлення, незважаючи на надходження тепла до тіла, його температура залишається незмінною і такою, що дорівнює

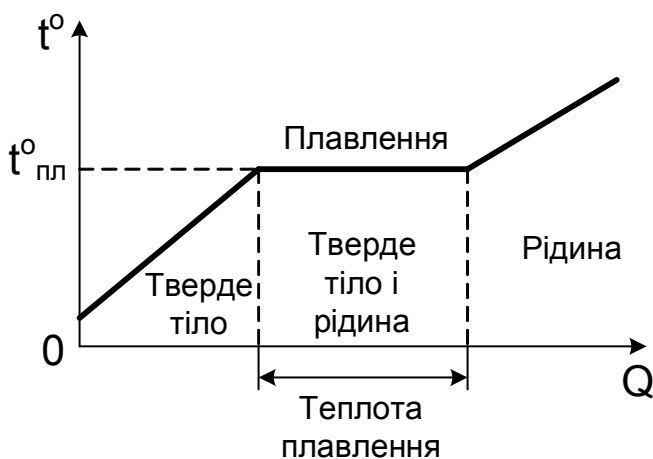


Рис. 1

температурі плавлення (рис. 1). Лише тоді коли все тіло розплавиться, температура рідини, в яку воно перетворилося, буде знову підвищуватися.

Теплота, що надана твердому тілу під час плавлення, йде на збільшення його внутрішньої енергії. Внутрішня енергія тіла складається з кінетичної та

потенціальної енергії всіх молекул, з яких воно складається. Оскільки температура тіла під час плавлення залишається постійною, то середня кінетична енергія його молекул не змінюється. Але при перетворенні твердого тіла у рідину руйнується кристалічна ґратка, тобто збільшується потенціальна енергія системи молекул, з яких складається тіло.

Кількість теплоти, яка затрачена на руйнування кристалічної ґратки твердого тіла, називається його *теплотою плавлення*. Для характеристики речовини вводять поняття *питомої теплоти плавлення*.

Питомою теплою плавлення λ речовини називається кількість теплоти, яку необхідно надати одиниці маси цієї речовини для перетворення з твердого стану в рідкий при незмінній температурі і тиску:

$$\lambda = \frac{Q}{m}, \quad (1)$$

де Q – кількість теплоти, m – маса речовини. Питомі теплота плавлення вимірюється в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Під час *кристалізації* надлишок внутрішньої енергії (тобто потенціальної енергії системи частинок тіла при впорядкуванні їх взаємного розташування) виділяється у вигляді *теплоти кристалізації*. Під час кристалізації, як і під час плавлення, температура речовини залишається сталою і рівною температурі плавлення. Питомі теплота кристалізації речовини дорівнює її питомій теплоті плавлення.

Чисті (без домішок) рідини можна охолодити до температури, більш низької, ніж температура кристалізації. Стан переохолодження рідини нестійкий. Якщо її потрусити або ввести в неї невеликий кристалик тієї ж речовини або просто тверду частинку, то в переохолодженій рідині почнеться кристалізація.

Аморфні тверді тіла (наприклад, смола, скло) не мають певної температури плавлення. Під час нагрівання вони поступово стають все м'якшими і поступово тверднуть при охолодженні. Тому аморфні тіла можна вважати згустілими рідинами.

Хід роботи.

1. На електроплитку 1 (див. рис. 2) поставте тигель з металом 2 (олово, свинець чи їх сплав), увімкніть плитку.
2. Приєднайте термопару 3, закріплену на штативі 4, до мілівольтметра 5.

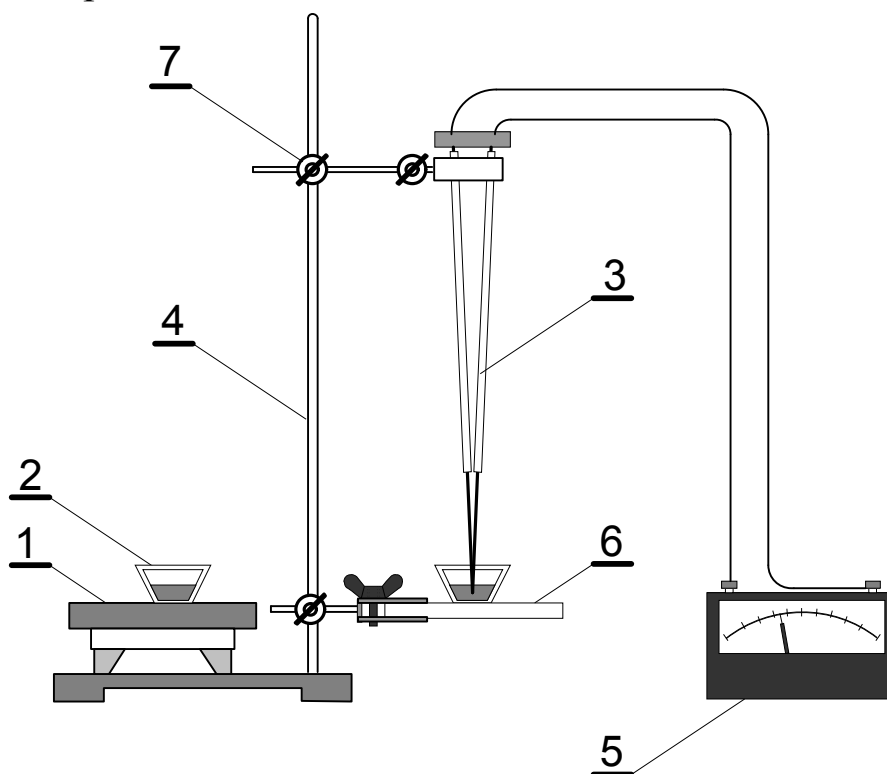


Рис. 2

3. Після того, як метал розплавиться, почекайте 2-3 хв., щоб розплавлений метал нагрівся до температури, що більша від температури плавлення.
4. Обережно щипцями зніміть тигель з плитки і перенесіть його на керамічну підставку 6.
5. Відкрутивши затискач 7, розверніть в штативі термопару так, щоб вона розташувалась над тиглем. Опустіть кінець термопари в розплавлений метал, закрутіть затискач і вимкніть плитку.
6. Увімкніть секундомір і записуйте покази мілівольтметра через кожні 30 с. Коли покази відповідатимуть температурі близько 100°C , дослідження припиніть.
7. Підніміть термопару з тигля. На кінці термопари залишиться досліджуваний метал. Щипцями перенесіть тигель на плитку, розверніть термопару і опустіть її в тигель. Увімкніть плитку і дочекайтесь, поки метал не розплавиться. Вийміть термопару з металу і вимкніть плитку.

8. Виділіть покази мілівольтметра, що не змінюються протягом деякого часу: вони відповідають процесу кристалізації.
9. За допомогою допоміжної шкали мілівольтметра (якщо тип термопари відповідає написаному на шкалі), або з допомогою градуовальної кривої визначте температуру кристалізації. Врахуйте, що покази мілівольтметра відповідають різниці температур – кімнатної і досліджуваного металу.
10. За даними досліду побудуйте графік залежності температури при охолодженні від часу.
11. За погодженням з викладачем повторіть пункти 1 – 10 для інших тиглів.
12. Зробіть висновок.

Контрольні запитання.

1. Що називається питомою теплотою плавлення?
2. Як залежить температура плавлення від тиску?
3. Що називається станом переохолодження рідини?
4. На що витрачається теплота, яка надається твердому тілу під час плавлення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ ОХОЛОДЖЕННЯ.

Мета роботи: експериментально визначити теплоємність заліза та алюмінію.

Прилади і матеріали: Муфельна піч термопара, мілівольтметр, штатив, секундомір.

Теоретичні відомості.

Металевий зразок, що має температуру вищу, ніж оточуюче середовище, буде охолоджуватись. Швидкість охолодження залежить також і від теплоємності металу. Порівнюючи криві охолодження (залежність температури від часу) двох зразків, для одного з яких теплоємність відома, можна визначити теплоємність другого.

Кількість теплоти, яка виділяється елементарним об'ємом метала dV за час dt при температурі T , може бути визначена наступним чином:

$$dQ = c\rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_T dV dt, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність металу, ρ – його густина, T – температура, яку вважають однаковою в усіх точках зразка в зв'язку з його малими лінійними розмірами і великою теплопровідністю металу.

Цю ж кількість теплоти можна розрахувати й так:

$$dQ = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot dt, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт теплопередачі, T_0 – температура оточуючого середовища, dS – елемент поверхні.

Прирівнявши праві частини (1) і (2), одержимо:

$$c\rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_T dV = \alpha(T - T_0) \cdot dS \quad (3)$$

Для всього об'єму зразка:

$$\int c\rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_T dV = \int \alpha(T - T_0) dS.$$

Беручи до уваги, що c , ρ і $\frac{\partial T}{\partial t}$ не залежать від координат точок об'єму, а залежать від координат точок поверхні зразка, можна записати:

$$c\rho \left(\frac{dT}{dt} \right) \int dV = \alpha(T - T_0) \int dS,$$

або:

$$c\rho \left(\frac{dT}{dt} \right) \cdot V = \alpha(T - T_0) \cdot S. \quad (4)$$

Запишемо співвідношення (4) для двох зразків, у яких $\alpha_1 = \alpha_2$, $S_1 = S_2$ і $T_1 = T_2$. Поділивши перше на друге, після перетворень одержимо:

$$c_2 = c_1 \frac{m_2}{m_1} \frac{\left(\frac{\partial T_1}{\partial t}\right)}{\left(\frac{\partial T_2}{\partial t}\right)} \quad (5)$$

В (5) враховано, що $\rho_1 \cdot V = m_1$, $\rho_2 \cdot V = m_2$, де m_1 і m_2 – маси зразків.

Хід роботи.

1. Зважте зразки для досліджень, значення мас запишіть в таблицю.
2. В муфельну піч, нагріту до температури 500°C , покладіть зразки. **Будьте обережні! Користуйтеся спеціальними щипцями.** Зразки однакового розміру виготовлені у формі циліндру, в одній з основ якого зроблений отвір для термопар.
3. Приблизно через 10 хв. вийміть мідний зразок, покладіть його на керамічну підставку і вставте в отвір зразка термопару (див. рис. 1).
4. Через кожні 60 с записуйте температуру зразка. При охолодженні циліндра до температури 100°C запис припиняють.

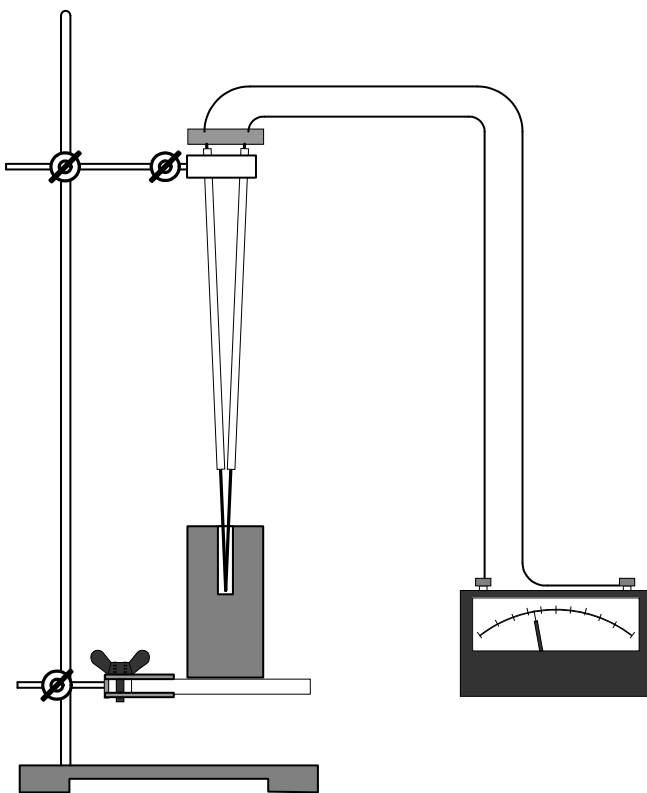


Рис. 1

5. Мідний зразок покладіть знову в муфельну піч, вийміть алюмінієвий зразок і повторіть п.4.

6. Зніміть таку ж залежність для залізного зразка.

7. Зробіть повторні вимірювання залежності $T = f(t)$ для всіх трьох циліндрів.

8. Побудуйте криві залежностей $T = f(t)$ і графічно переведіть їх в криві залежностей $\frac{\partial T}{\partial t} = f(t)$.

9. Використовуючи дані табл. 3, за формулою (5) обчисліть теплосності алюмінію та заліза при декількох температурах. Результати можна оформити у вигляді таблиць 1, 2.

10. Порівняйте одержані значення з табличними та зробіть висновок.

Табл.. 1, 2

№	Температура, °С	m_1 , кг	m_2 , кг	c_1 , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\left(\frac{\partial T_1}{\partial t}\right)$, $\frac{\text{град}}{\text{с}}$	$\left(\frac{\partial T_2}{\partial t}\right)$, $\frac{\text{град}}{\text{с}}$	c_2 , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
1							
2							
...							

Табл.. 3

Температура, °С	0	100	200	300	400	500
Питома теплоємність міді, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	343	396	409	423	434	439

Контрольні запитання.

1. Дайте означення теплоємності.
2. Сформулюйте закон Дюлонга і Пті.
3. Як залежить теплоємність твердих тіл від температури?
4. Охарактеризуйте сутність теорії теплоємності за Ейнштейном і Дебаєм.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЕБОНІТУ.

Мета роботи: експериментально перевірити справедливість рівняння Фур'є і визначити теплопровідність матеріалу з малою теплопровідністю.

Прилади і матеріали: прилад для визначення теплопровідності, диск з досліджуваного матеріалу (ебоніту), два термометра, парогенератор, штангенциркуль, секундомір.

Теоретичні відомості.

Кількість теплоти, що переноситься через майданчик ΔS за час Δt при теплопровідності, визначається *рівнянням теплопровідності* або *законом Фур'є*:

$$Q = -\kappa \cdot \frac{dT}{dx} \cdot \Delta S \cdot \Delta t \quad (1)$$

Коефіцієнт пропорційності k називають **коефіцієнтом теплопровідності**. Знак мінус вказує напрям теплопередачі – в сторону зменшення температури.

Коефіцієнт теплопровідності речовин з малою теплопровідністю можна визначити за допомогою приладу, зображеного на рис. 1. Ебонітова пластинка 1, теплопровідність якої буде визначатись, розташована між масивним латунним диском 2 і латунним циліндром 3 з товстим дном. Диск 2 і циліндр 3 мають отвори 4, в які вставляють термометри 5. Через латунний циліндр з допомогою однієї з бокових трубок 6 пропускають водяну пару до тих пір, поки не припиняться змінюватись покази обох термометрів. Через другу трубку пар виходить назовні.

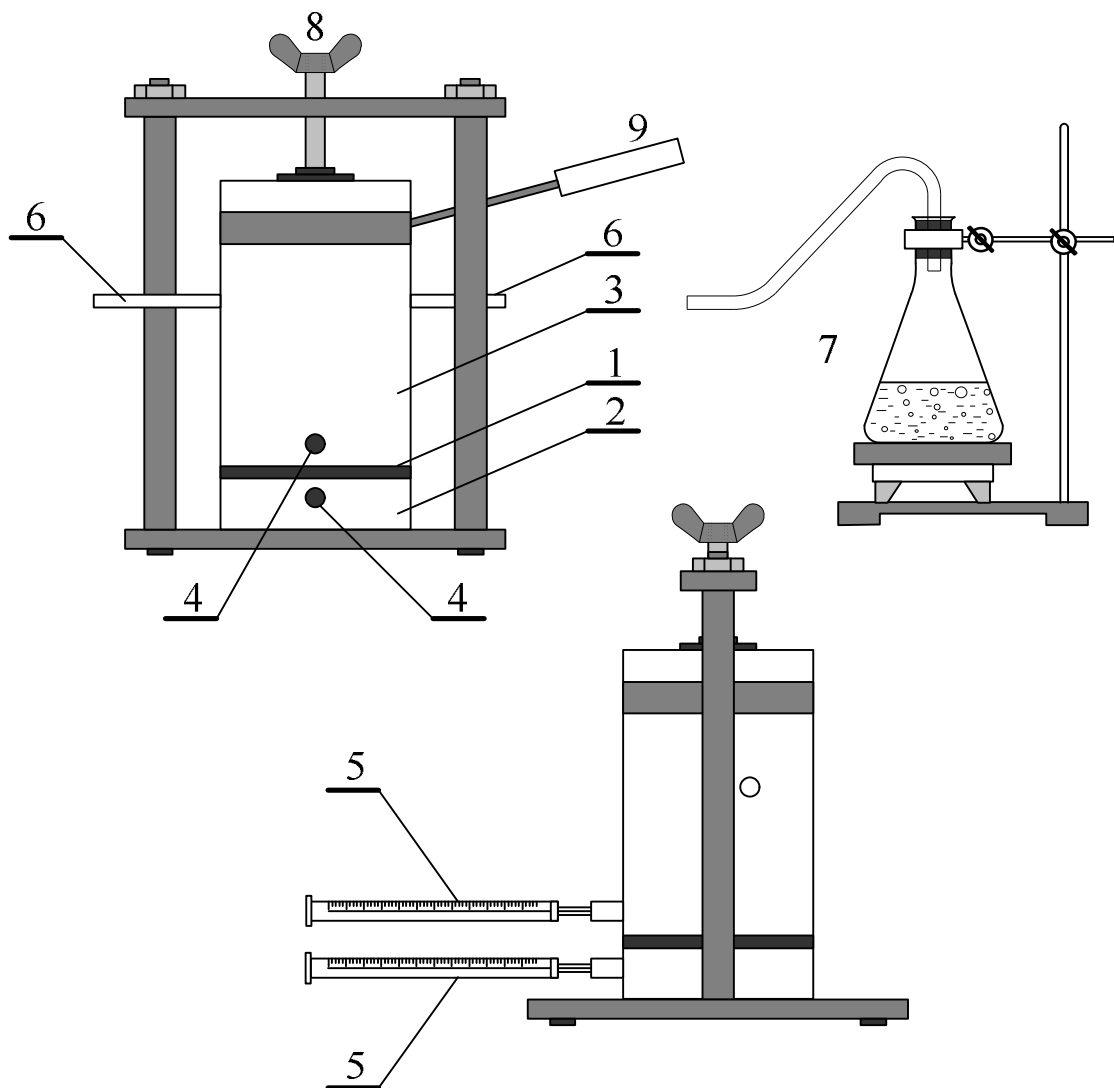


Рис. 1.

Коли температура циліндра і диска стабілізується, настане стаціонарний тепловий стан: певна кількість теплоти проходить за

одиницю часу через ебонітовий диск і така ж кількість теплоти випромінюється нижнім латунним диском в оточуючий простір. Кількість теплоти, що проходить за одну секунду через ебонітовий диск дорівнює:

$$Q_1 = \kappa \cdot \frac{T_1 - T_2}{d_1} \cdot \pi r^2, \quad (2)$$

де κ – теплопровідність ебоніту, T_1 і T_2 – температури відповідно циліндра і диска (покази верхнього і нижнього термометрів), d_1 – товщина ебонітового диска, r – його радіус.

Кількість теплоти, що випромінюється нижнім латунним диском в оточуючий простір:

$$Q_2 = cm \cdot \left(\frac{dT}{dt} \right)_{T_2}, \quad (3)$$

де c – питома теплоємність латуні, m – маса диска, $\left(\frac{dT}{dt} \right)_{T_2} = u$ – швидкість зміни температури латунного диска в момент, коли його температура дорівнює T_2 .

Для визначення швидкості зміни температури латунного диска нагріємо диск на 5°C вище температури T_2 і будемо спостерігати його охолодження, записуючи температуру через кожні 1 – 2 хв. Потім побудуємо графік залежності температури T від часу t (див. рис. 2).

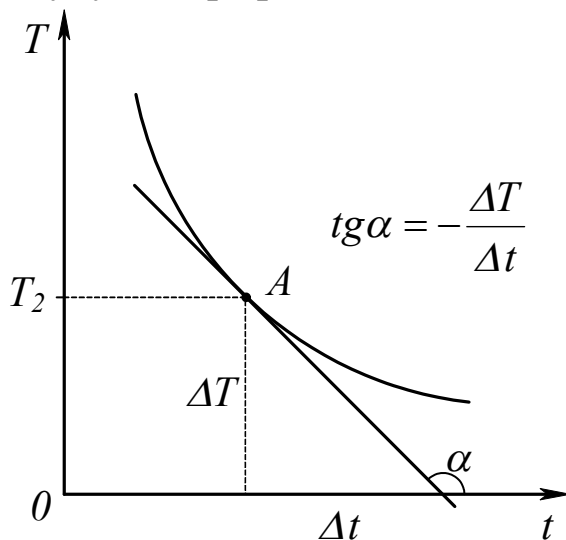


Рис. 2

До точки A на графіку, що відповідає температурі T_2 , проведемо дотичну. Тангенс кута нахилу дотичної, який можна визначити відношенням $\frac{\Delta T}{\Delta t}$, і буде швидкістю зміни температури u' . Але $u' \neq u$, оскільки зміна температури зі швидкістю u відбувається при випромінюванні теплоти з нижньої основи і бокової поверхні диска. Припустимо, що швидкість зміни температури

пропорційна площі поверхні. Якщо S – це площа поверхні випромінювання при швидкості u , а S' – це площа поверхні

випромінювання при швидкості u' , то $u = \frac{u'}{S'} \cdot S$. $S = \pi r^2 + 2\pi r d$,
 $S' = 2\pi r^2 + 2\pi r d$ (верхня і нижня основи; d – товщина латунного диска).

$$u = \frac{u'(\pi r^2 + 2\pi r d)}{2\pi r^2 + 2\pi r d} = \frac{u'(r + 2d)}{2(r + d)}.$$

Отже:

$$Q_2 = c m u' \frac{r + 2d}{2(r + d)}. \quad (4)$$

Оскільки $Q_1 = Q_2$, то $\kappa \frac{T_1 - T_2}{d_1} \pi r^2 = c m u' \frac{r + 2d}{2(r + d)}$.

Після перетворень одержимо розрахункову формулу:

$$\kappa = \frac{c m u' d_1}{\pi r^2 (T_1 - T_2)} \cdot \frac{r + 2d}{2(r + d)}. \quad (5)$$

Хід роботи.

1. Увімкніть в мережу електроплитку парогенератора 7 (див. рис. 1). Гумову трубку парогенератора опустіть в чашку для збирання конденсату. (Щоб зменшити час нагрівання води в колбі, наповнюйте її вже підігрітою водою).
2. Виміряйте штангенциркулем товщину d_1 ебонітового диска, товщину d і радіус r латунного диска ($r = D/2$, де D – діаметр диска).
3. Зберіть прилад згідно рис. 1 і зафіксуйте гвинтом 8.
4. Якщо вода в колбі кипить протягом 3-5 хвилин, то одягніть гумову трубку парогенератора на бокову трубку 6 верхнього циліндра. **Обережно! Гумова трубка нагріта до високої температури, тому її слід брати з допомогою сухої серветки.**
5. Пропускайте пару до тих пір, поки покази термометрів не перестануть змінюватись. Запишіть температури T_1 і T_2 . Верхній термометр можна прибрати у футляр.
6. Трохи викрутіть гвинт 8, підніміть за ручку 9 верхній циліндр і виштовхніть ебонітовий диск.
7. Поставте циліндр на латунний диск і нагрійте його на $4-5^\circ\text{C}$ вище температури T_2 .

8. Виключіть плитку парогенератора, зніміть гумову трубку і приберіть верхній циліндр.
9. Спостерігайте за зміною температури латунного диска, записуючи покази термометра кожні 1-2 хвилини, поки температура не зменшиться на 4-5°C менше значення T_2 .
10. Термометр приберіть в футляр. За даними залежності температури від часу побудуйте криву $T = f(t)$. В точці, що відповідає температурі T_2 , проведіть дотичну та визначте відношення $u' = \frac{\Delta T}{\Delta t}$.
11. Обчисліть за формулою (5) коефіцієнт теплопровідності κ .
12. При наявності достатнього часу повторіть дослід. Оцініть похибку вимірювань, порівняйте одержане значення коефіцієнту теплопровідності з табличним, зробіть висновки.

Приблизний вид таблиць для запису результатів вимірювань і обчислень наведено нижче.

Табл.. 1

№	d_1	d	r	T_1	T_2	u'	κ
1							
2							

Табл.. 2

$T, ^\circ\text{C}$											
t, c	0	60	120	180					

Питома теплоємність латуні $c = 386 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, маса латунного диска $m = 620 \text{ г}$.

Контрольні запитання.

1. Опишіть способи передачі теплоти.
2. Напишіть рівняння Фур'є і поясніть фізичний смисл коефіцієнту теплопровідності.
3. Поясніть теплопровідність твердих тіл з допомогою уявлень про фонони.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВНУТРІШНЬОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ МЕТАЛІВ.

Мета роботи: ознайомитись з калориметричним методом вимірювання коефіцієнта внутрішньої теплопровідності металів і експериментально визначити коефіцієнт теплопровідності міді.

Прилади і матеріали: прилад, що складається з нагрівника, стержня, посудини для води, калориметра; два термометра; секундомір; ваги з важками.

Теоретичні відомості

Явище самовільного переходу тепла від ділянки тіла з більшою температурою до ділянки тіла з меншою температурою називається *внутрішньою теплопровідністю*.

Кількість теплоти ΔQ , що перейшла в результаті теплопровідності від шару з температурою T_2 до шару з температурою T_1 , виражається формулою:

$$\Delta Q = k \frac{\Delta T}{\Delta l} S \Delta t, \quad (1)$$

де $\Delta T = T_2 - T_1$ — різниця температур двох шарів;

Δl — відстань між шарами (відраховується по перпендикуляру до шарів, що мають однакову температуру);

$\frac{\Delta T}{\Delta l}$ — градієнт температури, тобто зміна температури на одиницю довжини у напрямку, перпендикулярному до шарів;

S — площа шарів;

Δt — час переносу тепла;

k — коефіцієнт теплопровідності, що залежить (в заданій системі одиниць) лише від властивостей речовини.

Формула (1) дає можливість з'ясувати фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності. Для цього запишемо її у вигляді:

$$k = \frac{\Delta Q}{\frac{\Delta T}{\Delta l} S \Delta t} \quad (2)$$

Взявши $\frac{\Delta T}{\Delta l} = 1$, $S=1$, $\Delta t = 1$, одержимо: $k = \Delta Q$. Тобто

коефіцієнт теплопровідності чисельно дорівнює кількості теплоти, що переноситься за одиницю часу через одиницю площі при градієнті температури рівному одиниці.

Коефіцієнт теплопровідності відноситься до тих фізичних величин, що не можуть бути виміряні безпосередньо, його вимірюють опосередковано, через вимірювання фізичних величин, що входять у формулу (1).

Одним з методів вимірювання коефіцієнта теплопровідності є

калориметричний метод. Він полягає у наступному: один кінець стержня, коефіцієнт теплопровідності матеріалу якого потрібно виміряти, підтримують при сталій температурі; інший – опускають у калориметр з водою. В результаті теплопровідності тепло від нагрітого кінця перейде до холодного. Знаючи температуру води в калориметрі до досліду і після нього, можна визначити кількість теплоти, перенесеної від нагрітого кінця. Вимірюючи час переходу тепла, температуру кінців стержня і знаючи відстань між ними, можна за формулою (2) обчислити коефіцієнт теплопровідності.

При цьому необхідно по можливості звести до мінімуму перехід тепла від стержня до оточуючого середовища і теплообмін калориметра з оточуючим середовищем.

В даному досліді (див. рис. 1) досліджувану речовину (мідь) беруть у вигляді стержня 5, верхній кінець якого закінчується мідною болванкою 9, зануреною у воду, що кипить (отже, температура болванки практично стала).

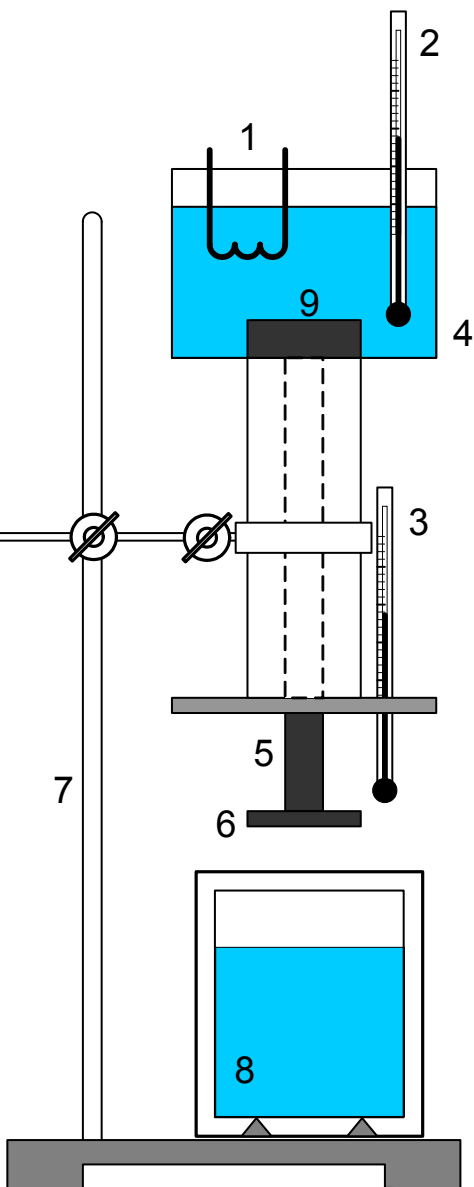


Рис. 1

Зверху в посудині з водою 4 просвердлено отвір для термометра 2. Нижній кінець стержня закінчується диском 6, який занурюють у

воду калориметра 8. Диск беруть для того, щоб збільшити поверхню дотикання стержня з водою. В калориметр вставляють термометр 3. Стержень разом з посудиною 4 можна піднімати і опускати. Нехай температура нагрітого кінця стала незмінною і рівною T_2 . Тоді, опускаючи стержень, зануримо його нижній кінець у калориметр, температура води в якому на $5-7^{\circ}\text{C}$ нижче кімнатної. Почнемо відмічати підвищення температури води в калориметрі через рівні проміжки Δt до тих пір, поки температура води не підвищиться на $5-7^{\circ}\text{C}$ вище кімнатної. По одержаним даним можна обчислити коефіцієнт теплопровідності.

Для цього формулу (2) зручно записати у вигляді:

$$k = \frac{\Delta l}{\Delta T \cdot S} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (3)$$

В (3) Δl – це довжина стержня; $\Delta T = T_2 - T_1$ – різниця температур нагрівника і води в калориметрі в даний момент часу t ; S – площа поперечного перерізу стержня; $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ – кількість теплоти, що поступила в калориметр в інтервал часу Δt , іншими словами – це швидкість переходу тепла по стержню в даному інтервалі часу.

Швидкість переходу тепла можна встановити наступним чином:

ΔQ , а значить і $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ – є результатом 2-х процесів: 1) переходу тепла по стержню і 2) теплообміну між калориметром і оточуючим середовищем (який по можливості треба виключити). Очевидно співвідношення $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ потрібно визначити для того моменту часу, при якому калориметр і оточуюче середовище мають однакову температуру (при цьому теплообмін з оточуючим середовищем відсутній).

Величину ΔQ визначають за формулою:

$$\Delta Q = (ct + c_k m_k) \Delta T_1, \quad (4)$$

де c – теплоємність води;

m – маса води в калориметрі;

c_k – теплоємність калориметра;

m_k – маса калориметра;

ΔT_1 – зміна температури води в калориметрі за час Δt .

Поділивши праву і ліву частини рівності (4) на Δt , одержимо:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (cm + c_k m_k) \frac{\Delta T_l}{\Delta t}, \quad (5)$$

де $(cm + c_k m_k)$ – величина постійна. Тепер знаходження $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ зводиться до знаходження $\frac{\Delta T_l}{\Delta t}$ в момент часу, коли температура води в калориметрі рівна температурі оточуючого середовища (кімнатній).

Щоб визначити $\frac{\Delta T_l}{\Delta t}$, за даними вимірювання температури будують графік залежності температури калориметра T_l від часу, Потім проводять дотичну до одержаної кривої в точці, що відповідає кімнатній температурі, Тангенс кута нахилу дотичної до вісі абсцис (вісі часу) дорівнює шуканій швидкості зміни температури, тобто величині $\frac{\Delta T_l}{\Delta t}$. Помноживши цю величину на $(cm + c_k m_k)$, знайдемо

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$. Підставивши знайдене значення $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ в формулу (3) і взявши в якості ΔT різницю між температурою нагрівника і кімнатною температурою, знаходять k . Розрахункова формула має вид:

$$k = \frac{\Delta l \cdot (cm + c_k m_k) \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}}{\Delta T \cdot S}, \quad S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (6)$$

Хід роботи

1. Виміряйте й запишіть кімнатну температуру.
2. Підніміть стержень з посудиною для нагрівання води так, щоб можна було дістати внутрішній стаканчик калориметра.
3. Налийте в стаканчик калориметра воду (приблизно 150 мл).
4. Виміряйте температуру води в калориметрі. Вона повинна бути на 5-7°C нижче від кімнатної. Якщо це не так, то, вкидаючи шматочки льоду, доведіть температуру води до необхідної.
5. Зважте стаканчик калориметра з водою. Знаючи масу стаканчика (див.табл.2), визначте масу води в калориметрі. Поставте стаканчик в калориметр.
6. Налийте воду в посудину 4 на 2 см нижче верхнього краю. Щоб прискорити виконання роботи, наливайте вже підігріту воду.

7. Через регулятор напруги РНШ включіть в мережу нагрівник 1. Виставте регулятором напругу 220 В.
8. Коли вода закипить, що можна визначити за показами термометра та за характерним звуком, встановіть на регуляторі напругу 120В. Така напруга забезпечить кипіння і не приведе до швидкого випаровування води.
9. Опустіть стержень в калориметр так, щоб вода покрила мідний диск, яким закінчується стержень.
Будьте обережні! Посудина з нагрівником має температуру 100°C. Щоб уникнути опіку паром не можна тримати руку над посудиною.
10. Опустіть в калориметр термометр і записуйте його покази через кожні 30с, поки температура води не стане вищою від кімнатної на 5-7°C. Вимкніть з мережі нагрівник.
11. Результати спостережень оформіть у вигляді табл. 1.
12. За даними табл.1 побудуйте графік залежності температури T від часу t , за яким визначте $\frac{\Delta T_1}{\Delta t}$ в момент часу, коли $T_1 = T_{\text{кімн.}}$.
13. За формулою (6) визначте коефіцієнт теплопровідності k . Різниця температур $\Delta T = T_2 - T_{\text{кімн.}}$; інші дані, необхідні для виконання роботи, візьміть з табл. 2.

Табл. 1.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7		
Час, с	0	30	60	90	120				
Температура калориметра, T_1 , °C									

Табл. 2.

Величина	Позначення у формулах	Значення
Довжина стержня	Δl	27 см
Маса стаканчика калориметра	m_k	44,3 г
Діаметр стержня	d	14 мм
Теплоємність води	c	4200 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Теплоємність матеріалу калориметра	c_k	896 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Контрольні запитання

1. Для чого досліджуваний стержень має теплоізоляцію?
2. Для чого початкову температуру в калориметрі беруть нижче кімнатної, а кінцеву – вище кімнатної?
3. Для чого збільшують поверхню дотику стержня з водою калориметра?
4. Що називається явищем внутрішньої теплопровідності?
5. Який фізичний міст коефіцієнта теплопровідності?

ЛІТЕРАТУРА

1. Дущенко З. П. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка / З. П. Дущенко, І. М. Кучерук. – К. : Вища школа, 1987. – 431 с.
2. Зайдель А. Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель. – Л. : Наука, 1985. – 112 с.
3. Кикоин А. К. Молекулярная физика / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. М. : Наука, 1976. – 480 с.
4. Кучерук І. М. Загальний курс фізики : у 3 т. Т.1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцик. – К. : Техніка, 1999. – 536 с., іл.
5. Лабораторный практикум по общей физике [под ред. Е. М. Гершензона и Н. Н. Малова]. – М. : Просвещение, 1985. – 353 с.
6. Нижник В. Г. Вимірювання фізичних величин та обчислення похибок / В. Г. Нижник. – Київ : Рад. шк., 1979. – 104 с.
7. Рего К. Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений : справ. пособие./ К. Г. Рего. – Киев : Техника, 1987. – 128 с.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика / Д. В. Сивухин. – 2-е изд. – М. : Наука, 1989. – 552 с.
9. Статистична обробка результатів експериментальних вимірювань : методичні рекомендації / укл. В. П. Ржепецький. – Кривий Ріг : Видавничий відділ КДПУ, 2011. – 48 с.
10. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок : пер. с англ. / Дж. Тейлор. – М. : Мир, 1985. – 272 с.
11. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 1990. – 478 с.
12. Яковлев В. Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика / В. Ф. Яковлев. – М. : Просвещение, 1976. – 320 с.

ДОДАТКИ

Таблиця 1. Визначення похибки функції однієї змінної

№ п/п	Вид функції $A = f(x)$	Абсолютна похибка ΔA	Відносна похибка $E = \frac{\Delta A}{A}$
1	$C \cdot x, C = const$	$C \cdot \Delta x$	$\frac{\Delta x}{x}$
2	x^n	$n \cdot x^{-(n-1)} \Delta x$	$n \cdot \frac{\Delta x}{x}$
3	$\sqrt[n]{x}$	$\frac{1}{n} \cdot \frac{\sqrt[n]{x}}{x} \cdot \Delta x$	$\frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta x}{x}$
4	$e^{\frac{x}{C}}, C = const$	$e^{\frac{x}{C}} \cdot \frac{\Delta x}{C} *$	$\frac{\Delta x}{C}$
5	$B^{\frac{x}{C}}, C = const, B = const$	$B^{\frac{x}{C}} \cdot \ln B \cdot \frac{\Delta x}{C}$	$\ln B \cdot \frac{\Delta x}{C}$
6	$\ln x$	$\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\Delta x}{\ln x \cdot x}$
7	$\sin \alpha$	$\cos \alpha \cdot \Delta \alpha **$	$ctg \alpha \cdot \Delta \alpha **$
8	$\cos \alpha$	$\sin \alpha \cdot \Delta \alpha **$	$tg \alpha \cdot \Delta \alpha **$
9	$tg \alpha$	$\frac{\Delta \alpha}{\cos^2 \alpha} **$	$\frac{2 \Delta \alpha}{\sin 2 \alpha} **$
10	$ctg \alpha$	$\frac{\Delta \alpha}{\sin^2 \alpha} **$	$\frac{2 \Delta \alpha}{\sin 2 \alpha} **$

* Для досить великих значень C ($x \ll |C|$).

** $\Delta \alpha$ вимірюється в рад.

Таблиця 2. Визначення похибки функції декількох змінних

№ п/п	Вид функції $A = f(a, b, c)$	Абсолютна похибка ΔA	Відносна похибка $E = \frac{\Delta A}{A}$
1	$Pa \pm Qb$ ($P, Q = const$)	$\sqrt{P^2 \Delta a^2 + Q^2 \Delta b^2}$	$\frac{\sqrt{P^2 \Delta a^2 + Q^2 \Delta b^2}}{Pa \pm Qb}$
2	$a \cdot b$	$\sqrt{\overline{b}^2 \Delta a^2 + \overline{a}^2 \Delta b^2}$	$\sqrt{\frac{\Delta a^2}{\overline{a}^2} + \frac{\Delta b^2}{\overline{b}^2}}$

3	$\frac{a}{b}$	$\frac{\sqrt{\bar{b}^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 \Delta b^2}}{\bar{b}^2}$	$\sqrt{\frac{\Delta a^2}{\bar{a}^2} + \frac{\Delta b^2}{\bar{b}^2}}$
4	$a^\alpha \cdot b^\beta \cdot c^\gamma$ ($\alpha, \beta, \gamma - const$)	–	$\sqrt{\alpha^2 \frac{\Delta a^2}{\bar{a}^2} + \beta^2 \frac{\Delta b^2}{\bar{b}^2} + \gamma^2 \frac{\Delta c^2}{\bar{c}^2}}$
5	$\frac{a}{a \pm b}$	$\frac{\sqrt{\bar{b}^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 \Delta b^2}}{(\bar{a} \pm \bar{b})^2}$	$\frac{\sqrt{\bar{b}^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 \Delta b^2}}{\bar{a} \cdot (\bar{a} \pm \bar{b})}$
6	$a \cdot b + c$	$\sqrt{\bar{b}^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 \Delta b^2 + \Delta c^2}$	$\frac{\sqrt{\bar{b}^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 \Delta b^2 + \Delta c^2}}{\bar{a} \cdot \bar{b} + \bar{c}}$
7	$a \cdot (b + c)$	$\sqrt{(\bar{b} + \bar{c})^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 (\Delta b^2 + \Delta c^2)}$	$\frac{\sqrt{(\bar{b} + \bar{c})^2 \Delta a^2 + \bar{a}^2 (\Delta b^2 + \Delta c^2)}}{\bar{a} \cdot (\bar{b} + \bar{c})}$

Таблиця 3. Коефіцієнти Стюдента

n	Довірча імовірність α			
	0,5	0,7	0,95	0,999
2	1,00	2,0	12,7	636,6
3	0,82	1,3	4,3	31,6
4	0,77	1,3	3,2	12,9
5	0,74	1,2	2,8	8,6
6	0,73	1,2	2,6	6,9
7	0,72	1,1	2,4	6,0
8	0,71	1,1	2,4	5,4
9	0,71	1,1	2,3	5,0
10	0,70	1,1	2,3	4,8
15	0,69	1,1	2,1	4,1
20	0,69	1,1	2,1	3,9
40	0,68	1,1	2,0	3,6
60	0,68	1,0	2,0	3,5
120	0,68	1,0	2,0	3,4
∞	0,67	1,0	2,0	3,3

Зміст

Пояснювальна записка	3
Опис лабораторних робіт	
№ 1. Вивчення броунівського руху	4
№ 2. Визначення універсальної газової сталої методом відкачки	6
№ 3. Визначення середньої довжини вільного пробігу і ефективного діаметра молекул повітря	9
№ 4. Визначення відношення питомих теплоємностей газів методом Клемана-Дезорма	13
№ 5. Визначення критичної температури ефіру	17
№ 6. Визначення вологості повітря	20
№ 7. Визначення молекулярної маси речовини ебуліоскопічним методом.	27
№ 8. Визначення питомої теплоти пароутворення рідини	32
№ 9. Визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідини	35
№ 10. Визначення в'язкості рідини методом Пуазейля	38
№ 11. Визначення температурного коефіцієнту лінійного розширення твердих тіл	43
№ 12. Визначення температури плавлення металу	47
№ 13. Визначення теплоємності металів методом охолодження	50
№ 14. Визначення коефіцієнту теплопровідності ебоніту.	53
№ 15. Визначення коефіцієнту теплопровідності металу калориметричним методом	58
Література	64
Додатки.	65