

Коробова І. В. Робочий зошит з фізики: Робочий зошит з фізики[Текст]: навч. посіб.
[для студентів інституту природознавства ХДУ] / І. В. Коробова, О. А. Барильник-
Куракова. – Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2011. – Ч. 1. – 66 с.

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Херсонський державний університет
Кафедра фізики

І.В. Коробова., О.А.Барильник-Куракова

РОБОЧИЙ ЗОШИТ
З ФІЗИКИ

Навчальний посібник для студентів
інституту природознавства ХДУ
Частина I

Херсон - 2012

Робочий зошит з фізики: Навчальний посібник для студентів інституту природознавства ХДУ. Частина 1. – Херсон: Книжкове видавництво ПП Вишемирський В.С., 2011. - 66 с.

Укладачі:

Коробова І.В. – кандидат педагогічних наук, доцент
Барильник-Куракова О.А. – викладач

Рецензент:

Шарко В.Д. – доктор педагогічних наук, професор

Обговорено на засіданні кафедри фізики
Протокол № 10 від “06” червня 2010 р.

Схвалено науково-методичною радою ХДУ
Протокол № 7 від “14” березня 2012 р.

Рекомендовано до друку Вченою радою ХДУ
Протокол № 9 від “26” березня 2012 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Лабораторна робота №1 ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ ТВЕРДОГО ТІЛА ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ	9
Лабораторна робота №2 ВИВЧЕННЯ РІВНОПРИСКОРЕНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ АТВУДА	16
Лабораторна робота №3 ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРИБОМЕТРА	21
Лабораторна робота №4 ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА	25
Лабораторна робота №5 ПЕРЕВІРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНУ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ОБЕРБЕКА	29
Лабораторна робота №6 ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ	33
Лабораторна робота №7 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КІЛЬЦЯ.....	37
Лабораторна робота № 8 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ПАРООТВОРЕННЯ РІДИНИ	42
Лабораторна робота № 9 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ	47
Лабораторна робота № 10 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ ЗА МЕТОДОМ СТОКСА	51
Лабораторна робота № 11 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ ТВЕРДОГО ТІЛА	56
Лабораторна робота №12 ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ПСИХРОМЕТРОМ АВГУСТА.....	60

ВСТУП

Фізика – наука експериментальна. Усі її висновки і досягнення спираються на правильно поставлений експеримент, спостереження і вимірювання. Тому лабораторний практикум є важливою складовою курсу загальної фізики. При його виконанні студенти знайомляться з основними принципами проведення фізичного експерименту, навчаються вимірювати фізичні величини та обчислювати похибки цих вимірювань.

Вимірювання – це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою **засобів вимірювання**.

Розрізняють два види вимірювальних засобів – **міри** і власне **вимірювальні прилади**.

Мірою називають такий вимірювальний засіб, який може тільки відтворювати одне або кілька значень величини.

До мір належать лінійка, мензурка, гиря.

Вимірювальним приладом називають такий вимірювальний засіб, який має частини, що сприймають вимірювану величину і перетворюють її у відповідне показання.

Це – термометр, секундомір, амперметр, вольтметр та інші.

Вимірювання можуть бути **прямі** і **посередні**.

Прямі – це вимірювання безпосередньо засобами вимірювання (довжини – лінійкою, температури – термометром, напруги – вольтметром та інш.).

Посередні вимірювання – це визначення значення фізичної величини за допомогою формул, які зв'язують цю величину з іншими фізичними величинами, які вимірюються безпосередньо засобами вимірювання, тобто, одержуються шляхом прямих вимірювань (вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра та інш.).

Будь-яке вимірювання неможливо виконати абсолютно точно; під час вимірювань завжди одержуються наближені значення фізичних величин.

Помилки, які виникають під час вимірювання фізичних величин, називають **похибками вимірювань**.

Чим вони обумовлені?

По-перше, у кожному засобі вимірювання вже при його виготовленні виникають похибки, які називають **абсолютними інструментальними похибками**. Границі таких похибок встановлює Державний стандарт.

Знаходять такі похибки за паспортом засобу вимірювання або за допомогою таблиць, в яких наводяться характеристики таких засобів.

По-друге, похибки виникають під час виконання самого вимірювання; їх називають **абсолютними похибками відліку**, або **абсолютними похибками відлічування**.

Похибка відліку у більшості випадків вважається рівною половині ціни поділки засобу вимірювання, але може бути і меншою.

Сума інструментальної похибки і похибки відліку дає повну похибку вимірювання, яку називають **абсолютною похибкою вимірювання**:

$$\Delta a = \Delta a_i + \Delta a_e$$

Абсолютна похибка вимірювання завжди округлюється до однієї значущої цифри, причому завжди з надлишком:

$$\Delta a = 0,17 \approx 0,2;$$

$$\Delta a = 0,22 \approx 0,3.$$

Чисельне значення результату вимірювання теж округлюють так, щоб його остання цифра була б у тому ж розряді, що і цифра похибки (якщо $a = 10,332$ і $\Delta a = 0,3$, то треба записувати $a = 10,3$).

Результат прямого вимірювання записують так:

$$A = a \pm \Delta a, \text{ де}$$

A – дійсне значення величини, a – наближене значення, одержане при вимірюванні, Δa – абсолютна похибка вимірювання, яка складається з інструментальної похибки і похибки відліку.

Знання абсолютних похибок вимірювання є важливим, але недостатнім, тому що при однакових абсолютних похибках точність вимірювань може бути різною. Для характеристики точності вимірювань вводиться поняття **відносної похибки**.

Відотною похибкою називають **відношення абсолютної похибки вимірювання до наближеного значення величини, що вимірювалась:**

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a} 100\% .$$

У випадку **прямого** вимірювання абсолютна похибка вимірювання визначається ціною поділки вимірювального засобу і дорівнює половині ціни поділки.

У випадку **посереднього** вимірювання абсолютна похибка Δa визначається за відотною похибкою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{a} ; \quad \Delta a = a\varepsilon$$

В кожній роботі лабораторного практикуму наведені теоретичні відомості стосовно явищ, які в ній вивчаються, докладно описані установки та порядок проведення досліджень. Це дозволяє студентам свідомо виконувати лабораторну роботу. Наведені таблиці для запису результатів вимірювань, а також рекомендації по їх обробці, оцінці похибок, записі кінцевого результату. Відповіді на контрольні запитання, які наведені в кожній роботі, дозволяють студентам самостійно перевірити ступінь засвоєння теоретичного матеріалу відповідної теми.

Виконання лабораторних робіт з фізики потребує великої попередньої підготовки. Напередодні лабораторних занять студент повинен уважно прочитати та опрацювати інструкцію по виконанню запланованої лабораторної роботи, розібратися у тому, які фізичні явища та процеси він буде вивчати, чітко з'ясувати мету роботи та шляхи її досягнення. Перед початком роботи викладач перевіряє готовність студента та дає йому допуск до роботи.

Під час допуску студент повинен пояснити:

- які фізичні явища спостерігаються при проведенні експерименту;
- принцип роботи установки;
- порядок виконання роботи.

Отримавши допуск, студент повинен виконати вимірювання, занести їх результати в таблицю. В процесі самостійної роботи необхідно провести відповідні обчислення.

Після виконання роботи, проведення обчислень студент повинен захистити роботу.

Техніка безпеки під час виконання лабораторних робіт з механіки

Загальні положення

1. До роботи допускаються лише посадові особи, ознайомлені з інструкцією з охорони праці, техніки безпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії на робочих місцях.
2. Особи, які порушили вимоги техніки безпеки, несуть відповідальність згідно з чинним законодавством України.
3. Студенти допускаються до виконання лабораторних та практичних робіт лише після отримання інструктажу щодо безпечного виконання лабораторних або практичних робіт.
4. Забороняється працювати у лабораторії одному.
5. Забороняється знаходитись у лабораторії у верхньому одязі.
6. Забороняється заносити до лабораторії їжу та напої.

Правила безпеки перед початком роботи

1. Переконайтесь у достатній наявності і справному стані необхідних для роботи приладів та обладнання і зручно розмістіть їх на робочому місці. Приберіть з робочих місць прилади, інструмент, матеріали, які не передбачені планом проведення лабораторної чи практичної роботи.
2. Упевніться у відсутності пошкоджень і несправностей у підготовлених до роботи приладів, схем, механізмів, а також цілісності струмоведучих кабелів та механізмів з електричними приводами.
3. Огляньте робоче місце: аудиторію, лабораторію. Упевніться у відсутності пожежонебезпечних факторів у приміщенні, у тому числі на вашому робочому місці.
4. При виявленні пошкоджень терміново повідомте викладача. При пошкодженню обладнання до роботи приступати не можна!
4. Перевірте стан робочих столів, обладнання, електричних схем, їх заземлення тощо.
5. Перевірте стан первинних засобів пожежегасіння, впевніться у вільному стані аварійно-евакуаційних проходів, дверей, сходових маршів.
6. Перевірте справність електричних вимикачів, розеток. Всі електророзподільні щитки повинні бути надійно закритими.

Вимоги безпеки під час роботи

У навчальних лабораторіях є джерела, особливо небезпечні для здоров'я та життя людини. До них відносяться: джерела високої напруги (більше 36 В);

джерела високої температури (електричні нагрівачі); радіоактивні матеріали; різноманітні випромінювання; ефір, луги та кислоти; скляні прилади; обертові та рухомі деталі механізмів.

Під час роботи категорично забороняється:

- доторкатися до частин приладів, які знаходяться під напругою;
- збирати і здійснювати різні перемикання приладів у досліджуваних електричних схемах під напругою;
- вмикати в джерела струму електричні кола без попередньої перевірки викладачем або лаборантом;
- працювати з радіоактивними матеріалами без використання засобів біологічного захисту;
- користуватися балістичним пістолетом не за призначенням.

При виконанні робіт дотримуйтесь наступних вимог:

- оберігайте очі від прямого влучення лазерного або ультрафіолетового випромінювання;
- оберігайтеся порізів при роботі з скляними приладами (пробірками, мензурками, термометрами);
- роботу з лугами та кислотами виконуйте тільки у витягувальній шафі;
- не торкайтесь руками до об'єктів лінз, скляних і кварцових деталей оптичних приладів;
- під час роботи з електродвигунами, що живляться безпосередньо від мережі змінного струму, перевірте заземлення корпусу двигуна перед його ввімкненням у мережу;
- при роботі з обертовими механізмами переконайтеся в надійності їх кріплення і остерігайтеся ударів;
- при роботі з нагрівальними приладами остерігайтеся опіків, не допускайте дотику до нагрітих матеріалів;
- при роботі з кип'ятильниками перевірте наявність достатньої кількості води (не менше третини висоти кип'ятильника) та справність запобіжного клапану.

Не паліть і не користуйтеся відкритим вогнем самі і не дозволяйте означеного іншим на вашому робочому місці. Паління дозволяється тільки в спеціально відведених і позначених написами місцях, за межами будівель і споруд. Постійно спостерігайте за технічним станом обладнання, систем їх живлення, паливних і опалювальних систем тощо. При виявленні ознак пожежної небезпеки – припиніть роботу, сповістіть про ситуацію лаборанта або викладача і здійсніть заходи щодо захисту оточуючих вас людей.

Правила безпеки по закінченню роботи

1. Вимкніть джерело живлення приладів та установок, вийміть вилки шнурів живлення з мережі змінного струму.

2. Загасіть усі газові і твердопаливні опалювальні прилади: плити, водогрійні колонки, опалювальні котли, печі, труби тощо. Упевніться у відсутності процесу горіння (або тління) в них.
3. Розберіть схеми і приведіть у порядок робоче місце.
4. Здайте прилади і обладнання лаборанту.
5. Уважно огляньте приміщення, упевніться у відсутності тліючих або догораючих матеріалів, заготовок, ганчірок і т. д.

Небезпечні ситуації, які можуть виникнути в ході виконання лабораторних робіт

Які небезпечні ситуації можуть виникнути	Як треба діяти викладачу або лаборанту
Враження електричним струмом внаслідок неуважного поводження з електроприладами	Негайно відключіть електроприлад від мережі. Якщо потерпілий втратив свідомість і не подає ознак життя, негайно приступіть до непрямого масажу серцевої м'язи та штучного дихання. Одночасно сповістіть керівництво кафедри та деканату.
Термічний опік при роботі з нагрівальними приладами	Якщо є ознаки опіку II або III ступеня, відправте потерпілого в медпункт. Обпечене місце якомога довше промивайте холодною водою, можна накласти на нього сніг, лід.
Падіння приладу на ноги внаслідок не обережного поводження з ним	Якщо виник перелом кінцівки або пальця, треба зафіксувати кінцівку або палець шиною та викликати швидку медичну допомогу.
Механічні ушкодження пальців або інших частин тіла при необережному поводженні з обертовими (рухомими) механізмами	Зупиніть кровотечу тугою пов'язкою і проведіть потерпілого в медпункт.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ ТВЕРДОГО ТІЛА ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Мета роботи: виміряти густину речовини 3-х твердих тіл правильної геометричної форми.

Обладнання: штангенциркуль, мікрометр, технічні терези Т-200, набір тягарців, тіла правильної геометричної форми.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Густина однорідної речовини твердого тіла чисельно дорівнює відношенню маси тіла m до його об'єму V :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Для неоднорідної речовини за формулою (1) визначають **середню густину речовини**.

Об'єм тіла правильної геометричної форми визначають за відомими з геометрії формулами. Так, об'єм прямокутного паралелепіпеда визначається за формулою:

$$V = abc \quad (2),$$

де a , b , c – лінійні розміри паралелепіпеда.

Об'єм циліндра визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (3),$$

де d – діаметр циліндра, h – його висота.

Об'єм кулі визначається за формулою:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3 \quad (4),$$

де r – радіус кулі, d – діаметр кулі.

Підставляючи формули (2) – (4) в (1), дістанемо:

– для прямокутного паралелепіпеда:

$$\rho = \frac{m}{abc} \quad (5);$$

– для циліндра:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h} \quad (6);$$

– для кулі:

$$\rho = \frac{6m}{\pi d^3} \quad (7).$$

Це і будуть наші **робочі формули**: (5), (6), (7).

Для вимірювання лінійних розмірів у роботі пропонується використати штангенциркуль та мікрометр, для вимірювання маси – технічні терези Т-200.

Штангенциркуль (рис. 1.1) – прилад для вимірювання лінійних розмірів з точністю до 0,1мм. Штангенциркуль складається із сталюї лінійки (штанги) 5 з міліметровими поділками, відносно якої переміщується рамка 4 з ноніусом, і двох пар губок (ніжок) – нерухомих 1 і рухомих 2. При зімкнутих губках відлік за ноніусом дорівнює нулю. Між губками затискають вимірювану

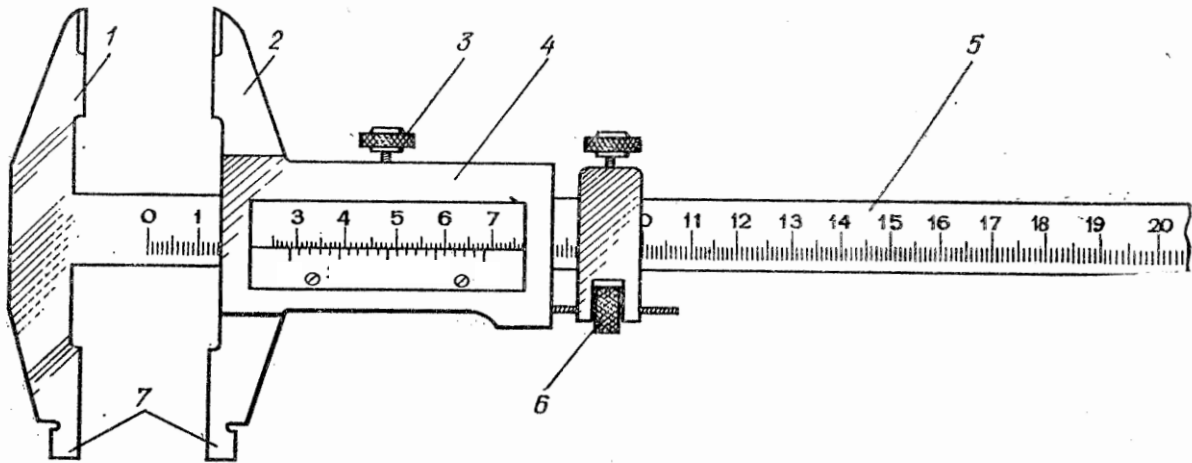


Рис. 1.1

деталь. Щоб точно визначити розмір деталі, рухому губку штангенциркуля переміщують у момент дотику її до деталі за допомогою мікрометричного пристрою 6, щоб запобігти надмірному натисканню губок на деталь. Закріплюють рухому губку на штанзі стопорним гвинтом 3 (при відповідних навичках роботи зі штангенциркулем гвинт 3 можна не закріплювати) і роблять відлік за ноніусом.

Ноніус – це додаткова шкала до звичайного масштабу, яка дає змогу підвищити точність вимірювання в 10 разів.

Вимірювання проводять таким чином. **Нульова поділка ноніуса відлічує на основній шкалі ціле число міліметрів** (наприклад, 28 мм – див. рис. 1.1). **Ноніус дозволяє виміряти десяті долі міліметрів.** Для цього **шукать першу поділку ноніуса, яка збігається з будь-якою поділкою основної шкали** (наприклад, це буде 3-тя поділка ноніуса). Тоді виміряний лінійний розмір буде рівний 28,3 мм. Якщо нульова поділка ноніуса збігається з поділкою на основній шкалі, то, в нашому прикладі, довжина буде рівна 28,0 мм, якщо остання поділка ноніуса збігається з поділкою на основній шкалі, то, в нашому прикладі, довжина буде рівна 29,0 мм.

Для вимірювання внутрішніх розмірів деталі користуються каліброваними губками 7. Загальна ширина їх при зведених губках найчастіше дорівнює 10 мм; цей розмір треба додавати до відліку за шкалою. Деякі штангенциркулі мають також висувні лінійки для вимірювання глибини не наскрізних отворів.

Мікрометр (рис. 1.2) – це інструмент для вимірювання лінійних розмірів з точністю до 0,01мм. Він складається із сталюї скоби 8, що має нерухому опорну п'яту 1, стебла 3, мікрометричного гвинта 2 і стопорного

гвинта 7. Мікрометричний гвинт переміщується всередині спеціальної гільзи з різьбою, закріпленою в стеблі 3. На зовнішній поверхні стебла нанесено дві поздовжні шкали, зсунуті одна відносно одної на 0,5мм. Зовні стебло охоплює барабан 4, з'єднаний з мікрометричним гвинтом. Таким чином, при обертанні барабана обертається і гвинт; при цьому переміщується його вимірювальна поверхня 2. Дія мікрометра ґрунтується на властивості гвинта здійснювати при повороті його поступальне переміщення, пропорційне куту повороту. Скошений обід 6 барабана поділено на 50 однакових поділок. На

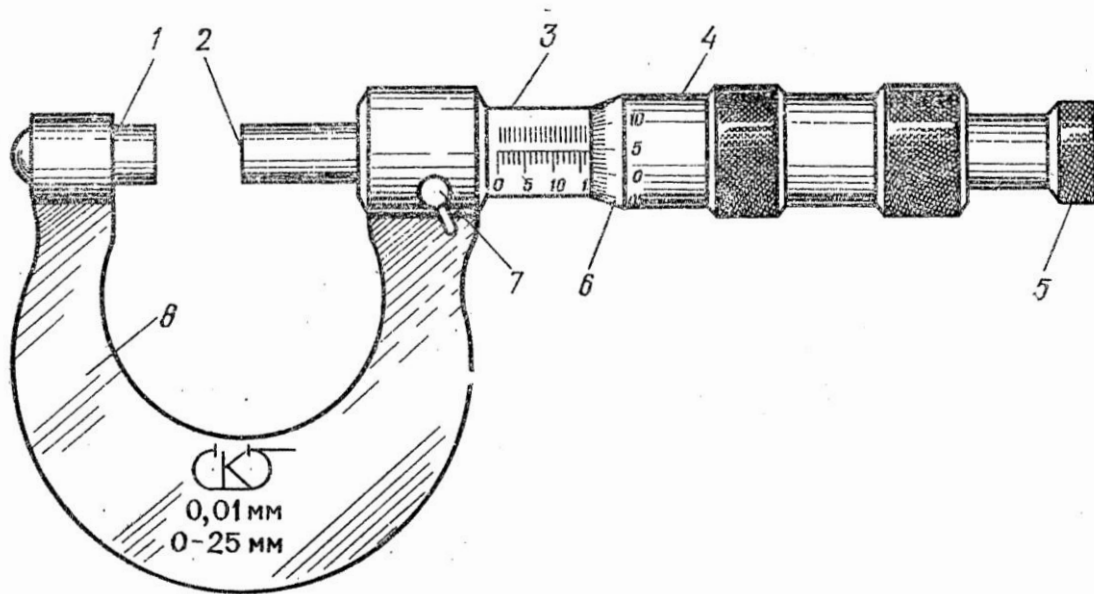


Рис. 1.2

правому кінці барабана є особливий фрикційний пристрій – тріскачка 5. **При вимірюванні слід обертати барабан тільки за голівку тріскачки!** Деталь при вимірюванні затискається між п'ятою і мікрометричним гвинтом. Після того, як досягнуто певного ступеня натиску на деталь (5-6 Н), фрикційна голівка починає проковзувати, даючи характерний тріск. Завдяки цьому затиснута деталь деформується порівняно мало (її розміри не спотворюються) і, крім того, це запобігає псуванню мікрометричного гвинта. Для відлічування показів мікрометра за шкалою стебла визначають ціле число (нижня шкала) і половини (верхня шкала) міліметрів. Для відлічування сотих часток міліметра користуються поділками на барабані.

Наприклад, на нижній шкалі барабан відлічує 15мм, на верхній шкалі барабан **не перетнув** половинку, а лінія на стеблі мікрометра відлічує на барабані 37-му позначку. Тоді вимірювана довжина рівна 15,37

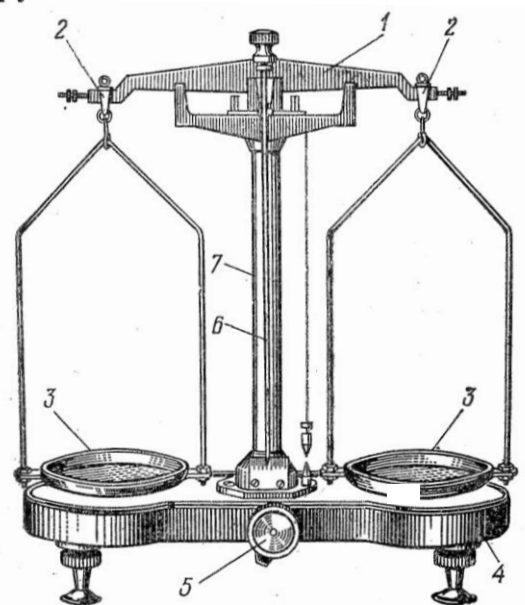


Рис. 1.3

мм. Якщо на верхній шкалі барабан ще й **перетнув** половинку (після 15мм на нижній шкалі), то до вимірюваного значення треба додати 0,5 мм (у нашому прикладі довжина буде рівною 15,87 мм).

Основною робочою частиною **технічних терезів Т-200** (рис. 1.3) є сталіне рівноплече коромисло 1, на кінці якого за допомогою двох серг 2 і стремен підвішені шальки терезів 3. Посередині коромисла закріплена довга стрілка б. Коромисло має три тригранні призми: центральною призмою воно спирається на подушку в штоці аретира, який міститься всередині колонки 7, встановленої на станині 4, 5 – рукоятка аретира. **Аретир** – пристрій, який зупиняє коливання терезів, а також звільняє призми від навантаження, щоб запобігти пошкодженням відповідальних частин під час транспортування та тоді, коли на терезах не виконують зважування. Щоб привести терези в робочий стан, рукояткою 5 відкривають аретир.

Терези – точний вимірювальний прилад. Вони потребують особливо суворого дотримання правил експлуатації. Перед початком зважування терези встановлюють за відвісом і перевіряють правильність їхньої роботи (однаковість відхилення вправо і вліво стрілки вільних, не навантажених терезів).

Гарячі, сильно охолоджені і мокрі предмети зважувати не рекомендується.

Класти тягарці на шальки терезів і знімати їх потрібно пінцетом при закритому аретирі. Спочатку кладуть тягарець, маса якого вважається найбільш близькою до маси предмета, який зважують, потім послідовно, замінюючи або додаючи менші тягарці, досягають рівноваги терезів. Аретир повертають рівномірно і повільно.

Кожні терези розраховані на певне, гранично допустиме навантаження, яке зазначається на терезах.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряти масу m кожного тіла (у відповідності до таблиці індивідуальних завдань 5) за допомогою технічних терезів. Вимірювання виконати не менше 3 разів. Результати занести до таблиць 1, 2 і 3, відповідно до форми тіла.

2. Зробити вимірювання величин, необхідних для визначення густини даних тіл за допомогою штангенциркуля або мікрометра. Результати занести до таблиць 1, 2 і 3, відповідно до форми тіла.

3. Розрахувати густину речовини ρ для кожного твердого тіла за формулами (5), (6), (7), відповідно до форми тіла. Результати розрахунків занести до таблиці 4.

4. Розрахувати відносні похибки вимірювання густини за формулами (8) – (10). Результати розрахунків занести до таблиці 4.

$$\varepsilon_{\rho_{\text{пар}}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \quad (8),$$

$$\varepsilon_{\rho_{\text{цил}}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta d}{d} + \frac{\Delta h}{h} \quad (9),$$

$$\varepsilon_{\rho_{\text{кул}}} = \frac{\Delta m}{m} + 3\frac{\Delta d}{d} \quad (10).$$

5. Розрахувати абсолютні похибки вимірювання густини за формулою $\Delta\rho = \rho\varepsilon_{\rho}$. Результати розрахунків занести до таблиці 4.

6. Порівняти отримані результати з табличними даними. Для цього перевірити, чи виконується нерівність $\rho - \Delta\rho \leq \rho_{\text{табл}} \leq \rho + \Delta\rho$, та зробити висновок про коректний результат та правильність виконання досліду.

Таблиця 1. Результати вимірювання для прямокутного паралелепіпеда

№ п/п	m, \dots	$\Delta m, \dots$	a, \dots	$\Delta a, \dots$	b, \dots	$\Delta b, \dots$	c, \dots	$\Delta c, \dots$
1								
2								
3								
Серед.								

Таблиця 2. Результати вимірювання для циліндра

№ п/п	m, \dots	$\Delta m, \dots$	d, \dots	$\Delta d, \dots$	h, \dots	$\Delta h, \dots$
1						
2						
3						
Серед.						

Таблиця 3. Результати вимірювання для кулі.

№ п/п	m, \dots	$\Delta m, \dots$	d, \dots	$\Delta d, \dots$
1				
2				
3				
Серед.				

Таблиця 4. Результати розрахунків

$\rho_{\text{пар}}$,	$\varepsilon_{\rho_{\text{пар}}}$,	$\Delta\rho_{\text{пар}}$,	$\rho_{\text{партабл}}$,	$\rho_{\text{цил}}$,	$\varepsilon_{\rho_{\text{цил}}}$,	$\Delta\rho_{\text{цил}}$,	$\rho_{\text{цилтабл}}$,	$\rho_{\text{кул}}$,	$\varepsilon_{\rho_{\text{кул}}}$,	$\Delta\rho_{\text{кул}}$,	$\rho_{\text{култабл}}$,
...

Таблиця 5. Індивідуальні завдання

№ бригади	Перше тіло	Друге тіло	Третє тіло
1	Паралелепіпед №1	Циліндр №1	Куля №1
2	Паралелепіпед №2	Циліндр №2	Куля №2
3	Паралелепіпед №3	Циліндр №3	Куля №3
4	Паралелепіпед №4	Циліндр №4	Куля №4
5	Паралелепіпед №1	Циліндр №4	Куля №2
6	Паралелепіпед №2	Циліндр №3	Куля №3

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке густина речовини? Яка розмірність даної фізичної величини в системі СІ?
2. Від чого залежить густина речовини?
3. Поясніть метод ноніусу.
4. Поясніть метод мікрометричного гвинта.
5. Який порядок зважування на технічних терезах Т-200?
6. Які є методи визначення об'єму тіла довільної форми?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ВИВЧЕННЯ РІВНОПРИСКОРЕНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ АТВУДА

Мета роботи: перевірити залежність прискорення тіла від переміщення при рівноприскореному русі.

Обладнання: установка ФРМ-02 (прилад Атвуда).

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

Основні кінематичні характеристики рівноприскореного руху мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \text{const}; \\ \vec{v} &= \vec{v}_0 + \vec{a}t; \\ \vec{s} &= \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \end{aligned}$$

де: \vec{a} – прискорення тіла, \vec{v}_0 – початкова швидкість тіла, \vec{s} – переміщення тіла, \vec{v} – кінцева швидкість тіла, t – час руху тіла. Перевірити ці співвідношення можна за допомогою приладу Атвуда, принципова схема якого зображена на рис. 2.1.

Через ролик, закріплений на підшипнику так, щоб він міг обертатись з найменшим опором, проходить нитка із двома однаковими циліндрами на кінцях (тягарцями масою M кожний). При цьому система знаходиться в стані рівноваги.

Якщо на один з циліндрів покласти невеликий додатковий тягар масою m , то вся система масою $2M + m$ одержить під дією прикладених сил сталі прискорення a і, рухаючись з цим прискоренням із стану спокою, здійснить за час τ переміщення:

$$h = \frac{a\tau^2}{2} \quad (1)$$

та набуде швидкості:

$$v = a\tau \quad (2)$$

На деякій висоті H закріплене кільце, через яке проходить циліндр, але не проходить додатковий тягар. Коли додатковий тягар буде знятий за допомогою кільця, то циліндр почне рухатись вже рівномірно і за час t здійснить переміщення:

$$H = vt \quad (3)$$

Таким чином, задаючи значення h і H , та вимірюючи час рівномірного руху t , можна знайти за допомогою рівнянь (1) – (3) прискорення циліндра:

$$a = \frac{H^2}{2ht^2} \quad (4).$$

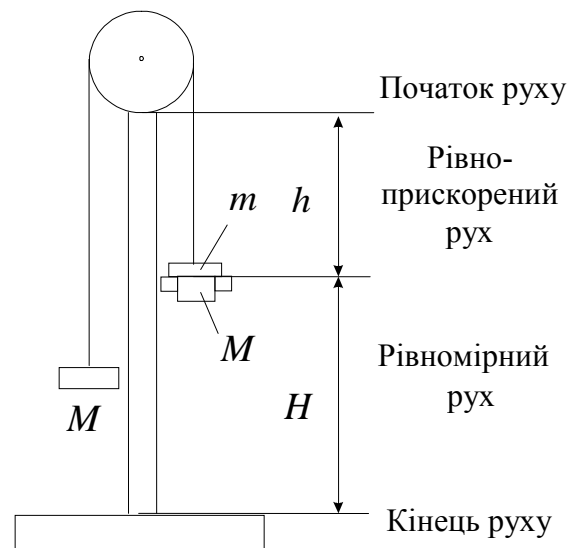


Рис. 2.1

Це і буде наша **робоча формула** (4).

Оскільки рух циліндра є рівноприскореним, то, змінюючи переміщення циліндра, можна переконатися в тому, що його прискорення не змінюється.

Загальний вигляд приладу Атвуда зображено на рис. 2.2. На вертикальному штативі, закріпленому на основі, містяться три кронштейни: нерухомий нижній кронштейн 7; рухомий середній кронштейн 6 та рухомий верхній кронштейн 5. За допомогою гвинтів на основі приладу можна встановити її горизонтально.

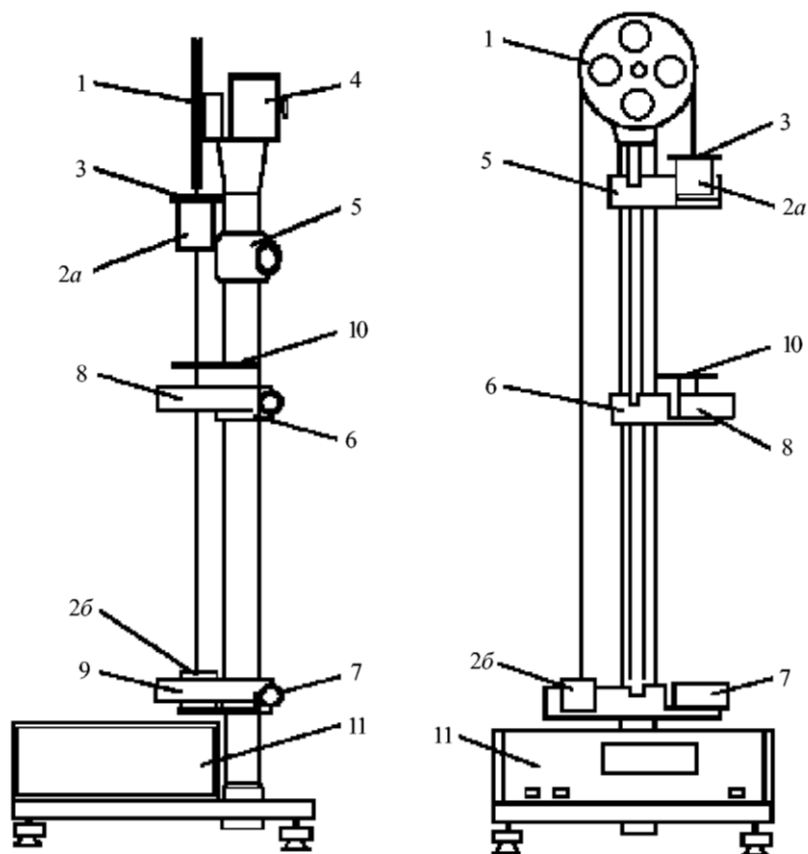


Рис. 2.2

На втулці закріплено блок 1 та електромагніт 4. Через блок проходить нитка із закріпленими на її кінцях однаковими циліндрами 2а та 2б. За допомогою електромагніта система утримується в стані спокою. Верхній та середній кронштейни можна перемішувати та фіксувати в довільному положенні, змінюючи, таким чином, ділянки рівноприскореного та рівномірного рухів. Для визначення переміщення на цих ділянках існує міліметрова шкала, всі кронштейни мають покажчик положення, а верхній кронштейн має додаткову поділку, яка полегшує точне узгодження нижньої грані верхнього тягаря з початком шляху руху. На середньому кронштейні кріпиться кільце 10 та фотоелектричний датчик 8. З циліндра, що падає, зазначене кільце знімає додатковий тягар 3, а фотоелектричний датчик у цей момент утворює електричний імпульс, який сигналізує про початок рівномірного руху циліндрів. Нижній кронштейн містить другий фотоелектричний датчик 9. Після перетинання осі цього датчика нижньою поверхнею циліндра утворюється електричний імпульс, який сигналізує про проходження тягарцями шляху H . Проміжок часу t між імпульсами фотоелектричних датчиків вимірюється за допомогою секундоміра на блоці 11.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За допомогою регулюючих ніжок встановити основу приладу горизонтально; заземлити прилад; ввімкнути прилад в електричну мережу;

натиснути кнопку “СЕТЬ” та перевірити, чи показують нуль індикатори секундоміра, а також чи світяться лампочки фотоелектричного датчика.

2. Встановити середній кронштейн 8 (рис. 2.2) на задане у таблиці індивідуальних завдань (таблиця 3) значення H_1 . Визначити значення h_1 та занести його до таблиці 1.

3. Покласти на правий циліндр додатковий тягар 3 (рис. 2.2) масою m у відповідності до таблиці 3.

4. Перемістити правий циліндр у верхнє положення та сумістити його нижню грань з рисою на верхньому кронштейні.

5. Виміряти час t_1 руху правого циліндра на ділянці рівномірного руху. Результати вимірювань занести до таблиці 1.

6. Виконати пункти 2 – 5 для заданого у таблиці 3 значення H_2 та виміряти час t_2 . Результати вимірювань занести до таблиці 1.

7. Розрахувати прискорення a_1 при першому значенні переміщення h_1 правого циліндра з тягарцем та прискорення a_2 при другому значенні переміщення h_2 за формулою (4). Результати розрахунків занести до таблиці 2.

8. Розрахувати відносні похибки ε_{a1} та ε_{a2} вимірювання прискорення за формулою (7). Результати розрахунків занести до таблиці 2.

$$\varepsilon_a = 2 \frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta h}{h} + 2 \frac{\Delta t}{t}, \quad (7)$$

9. Розрахувати абсолютні похибки Δa_1 і Δa_2 вимірювання прискорень за формулою $\Delta a = a \varepsilon_a$. Результати розрахунків занести до таблиці 2.

10. Порівняти виміряні прискорення a_1 та a_2 . Для цього перевірити, чи виконується нерівність $|a_1 - a_2| \leq (\Delta a_1 + \Delta a_2)$, та зробити висновок про справедливість основних кінематичних співвідношень для рівноприскореного руху.

Таблиця 1. Результати вимірювань

$t_1,$	$\Delta t_1,$	$t_2,$	$\Delta t_2,$	$H_1,$	$\Delta H_1,$	$h_1,$	$\Delta h_1,$	$H_2,$	$\Delta H_2,$	$h_2,$	$\Delta h_2,$
...

Таблиця 2. Результати розрахунків

$a_1,$	$\Delta a_1,$	$\varepsilon_{a1},$	$a_2,$	$\Delta a_2,$	$\varepsilon_{a2},$	$ a_1 - a_2 ,$	$(\Delta a_1 + \Delta a_2),$
...

Таблиця 3. Індивідуальні завдання

№ бригади	m , г	H_1 , см	H_2 , см
1	6	26	20
2	16	26	20
3	8	26	20
4	14	30	24
5	6	30	24
6	8	30	24

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення прямолінійного рівномірного руху.
2. Як залежать переміщення, швидкість та прискорення від часу при рівномірному русі?
3. Дайте означення прямолінійного рівноприскореного руху.
4. Як залежать переміщення, швидкість та прискорення від часу при рівноприскореному русі?
5. Дайте означення миттєвої швидкості.
6. Від чого залежить прискорення тіла?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРИБОМЕТРА

Мета роботи: виміряти коефіцієнт тертя ковзання за допомогою трибометра.

Обладнання: плоский трибометр, брусок, технічні терези Т-200, набір тягарців.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Тертя ковзання виникає при русі одна відносно одної двох твердих поверхонь, що дотикаються. Відповідно до закону Амонтона-Кулона, сила тертя ковзання пропорційна силі нормального тиску і не залежить ні від площі поверхонь, що дотикаються, ні від швидкості відносного руху:

$$F_{\text{тр}} = \mu N \quad (1)$$

Коефіцієнт тертя μ залежить від матеріалу тіл, що взаємодіють, від якості обробки поверхонь, їх забруднення і змащення. Закон Амонтона-Кулона можна застосовувати для наближеного розрахунку сил тертя при не досить великих швидкостях і тисках.

Досить часто тертя між деталями машин і механізмів є небажаним. Силу тертя ковзання можна зменшити, вносячи між поверхнями, що дотикаються, шар мастила. В цьому випадку сили тертя ковзання замінюються силами внутрішнього тертя, які можуть бути в сотні разів меншими. При наявності змащення також можна застосовувати закон Амонтона-Кулона, але з використанням коефіцієнта в'язкого тертя. Ще одним способом зменшення сили тертя є заміна тертя ковзання тертям кочення.

Для вимірювання сил тертя можна використовувати плоский трибометр (рис. 3.1), що являє собою площину, кут нахилу α якої може змінюватися. На площині встановлено ролик для нитки, до якої з одного кінця приєднується брусок масою m_6 , що рухається по площині, а з іншого – чашка масою $m_ч$ з тягарцями масою $m_т$.

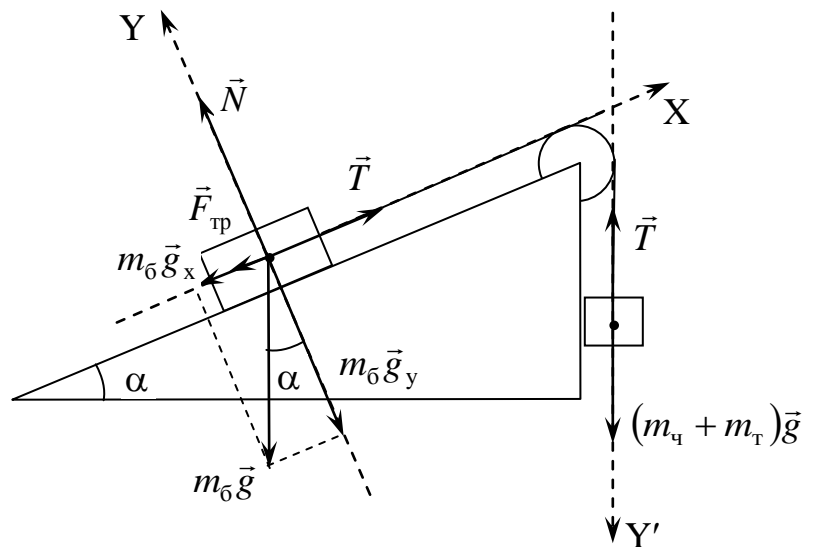


Рис. 3.1

Розглянувши сили, які діють на брусок та тягарець (рис. 3.1) при рівномірному русі бруска вгору, а тягарця вниз, можна записати другий закон Ньютона для цих двох тіл:

$$\begin{cases} m_6 \vec{g} + \vec{N} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0 \\ (m_ч + m_т) \vec{g} + \vec{T} = 0 \end{cases} \quad (2).$$

Запишемо (2) в проекціях на осі:

$$\begin{cases} N = m_6 g \cos \alpha \\ T = m_6 g \sin \alpha + \mu N \\ T = (m_ч + m_т) g \end{cases} \quad (3).$$

Розв'язавши систему рівнянь (3), отримаємо

$$\mu = \frac{m_ч + m_т}{m_6 \cos \alpha_1} - \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (4).$$

Аналогічно виводиться формула для визначення μ під час рівномірного руху бруска вниз, а чашки з тягарцями вгору:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha_2 - \frac{m_ч + m_т}{m_6 \cos \alpha_2} \quad (5).$$

Формули (4), (5), (6) – **робочі формули**.

Якщо брусок рухатиметься рівномірно вниз без чашки з тягарцями, то (5) набуде вигляду:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha_3 \quad (6).$$

Кут нахилу, що визначається рівністю (6), називається кутом тертя, а умовою збереження системи тіл в спокої за рахунок сил тертя є нахил площини під кутом менше кута тертя. Цією умовою широко користуються в техніці. Так, різьба на болтах і гайках, в домкратах і пресах повинна бути меншою кута тертя (з урахуванням змащення), щоб гвинти і гайки самі не розкручувалися, домкрати утримували піднятий вантаж, а прес зберігав наданий при закручуванні гвинта тиск.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряти маси бруска m_6 та чашки $m_ч$. Результати вимірювань занести до таблиці 1.

2. Відпустити затискач трибометра, підняти площину у верхнє положення і затиснути. Покласти брусок на площину, причепивши до нього через нитку чашку з тягарцями масою менше $\frac{1}{2}$ маси бруска. Відпустити затискач і повільно зменшувати кут нахилу площини до тих пір, поки брусок не почне рівномірно ковзати. Для подолання явища застою постукувати молоточком по площині. Виміряти α_1 та записати результати вимірювання до таблиці 1. Розрахувати за формулою (4) коефіцієнт тертя ковзання μ_1 .

3. Встановити площину в горизонтальне положення. Підібрати тягарці масою менше $\frac{1}{4}$ маси бруска. Повільно підіймаючи площину і, постукуючи молоточком по ній, знайти кут α_2 , при якому брусок починає ковзати

рівномірно вниз по площині. Виміряти α_2 та записати результати вимірювання до таблиці 1. Розрахувати за формулою (5) коефіцієнт тертя ковзання μ_2 .

4. Покласти брусок без чашки на середину площини, повільно підіймаючи її та постукуючи по ній, знайти кут нахилу α_3 , при якому брусок починає ковзати вниз. Виміряти α_3 та записати результати вимірювання до таблиці 1. За формулою (6) знайти μ_3 .

5. Розрахувати середнє значення $\mu_{\text{сер}}$ коефіцієнта тертя ковзання. Розрахувати похибки як для прямого вимірювання, нехтуючи інструментальними, за формулами

$$\Delta\mu \approx \Delta\mu_{\text{вип}} = 1,76\sqrt{(\mu_{\text{сер}} - \mu_1)^2 + (\mu_{\text{сер}} - \mu_2)^2 + (\mu_{\text{сер}} - \mu_3)^2}$$

$$\varepsilon_{\mu} = \frac{\Delta\mu}{\mu} \quad (7).$$

Результати розрахунків занести до таблиці 1.

6. Порівняти отриманий результат з табличними даними. Для цього перевірити, чи виконується нерівність $\mu - \Delta\mu \leq \mu_{\text{табл}} \leq \mu + \Delta\mu$, та зробити висновок про коректний результат та правильність виконання досліду.

Таблиця 1. Результати вимірювань та розрахунків

№	m_b, \dots	$m_{\text{ч}}, \dots$	m_T, \dots	α, \dots	$\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots$	$\Delta\mu, \dots$	$\varepsilon_{\mu}, \%$	$\mu_{\text{табл}}, \dots$
1								
2								
3								
сер								

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які види тертя ви знаєте?
2. Поясніть виникнення тертя ковзання.
3. Від чого залежить коефіцієнт тертя ковзання?
4. Де використовується і де шкодить явище тертя?
5. Які існують способи зменшення сили тертя?
6. Як сила тертя ковзання залежить від якості обробки поверхонь?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА

Мета роботи: виміряти прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника з уніфілярним підвісом.

Обладнання: математичний маятник з уніфілярним підвісом, вертикальна дзеркальна шкала, секундомір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Математичний маятник являє собою матеріальну точку, підвішену на нескінченно довгій невагомій нерозтяжній нитці. Деяким наближенням до математичного маятника буде пристрій, який складається з невеликої важкої кульки, підвішеної на довгій, тонкій, легкій, малорозтяжній нитці. Практично маса кульки повинна бути набагато більша за масу нитки, а розміри кульки набагато менші за довжину нитки (рис. 4.1).

Якщо кут φ відхилення маятника буде малим (до 10°), то коливання будуть близькими до гармонічних, а період коливань можна розрахувати за такою формулою:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (1),$$

де T – період коливань, ℓ – довжина маятника, g – прискорення вільного падіння.

З формули (1) випливає, що, якщо виміряти довжину маятника та період його коливань, то можна визначити прискорення вільного падіння:

$$g = 4\pi^2 \frac{\ell}{T^2}.$$

Але безпосереднє вимірювання довжини підвісу являє досить складне завдання, тому що доводиться визначати центр мас кульки та положення точки підвісу. Тому роблять так: беруть маятник довільної довжини ℓ_1 і визначають його період коливань T_1 :

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_1}{g}}.$$

Потім зменшують його довжину до довільного значення ℓ_2 і знову визначають період коливань T_2 :

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell_2}{g}}.$$

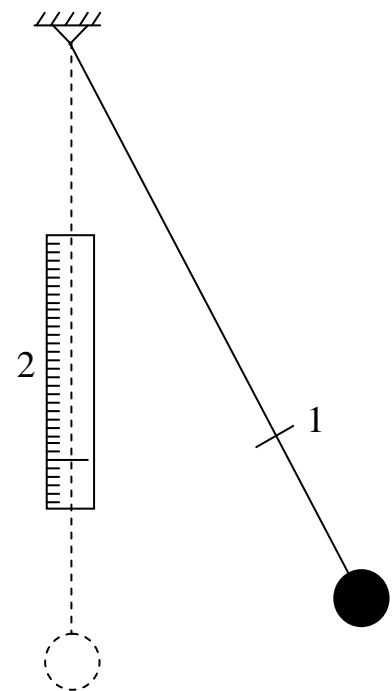


Рис. 4.1

Розв'язуючи систему цих двох рівнянь, визначають прискорення вільного падіння g в місці проведення експерименту:

$$g = 4\pi^2 \frac{\ell_1 - \ell_2}{T_1^2 - T_2^2}$$

Таким чином, немає потреби вимірювати довжину маятника. Досить виміряти різницю довжин $\ell = (\ell_1 - \ell_2)$ за допомогою дзеркальної шкали. Тоді

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T_1^2 - T_2^2} \quad (2).$$

Для вимірювання різниці довжин маятника ℓ використовують повзунок 1, розташований на нитці, та дзеркальну шкалу 2 (рис. 4.1). Перш за все, необхідно визначити поділку шкали біля якої знаходиться повзунок при першій довжині нитки і поділку, біля якої знаходиться повзунок після зменшення довжини нитки, а потім відняти значення цих поділок. Таким чином, різниця довжин ℓ буде рівною різниці значень двох поділок.

Враховуючи, що $T = t/n$, де t – час, за який маятник здійснив n коливань, отримаємо остаточно:

$$g = \frac{4\pi^2 n^2 \ell}{t_1^2 - t_2^2} \quad (3).$$

Це і є наша **робоча формула** (3).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Опустити кульку якомога нижче, відхилити на малий кут ($\varphi \leq 10^\circ$) і визначити час t_1 для n коливань (кількість коливань n задано у таблиці 3). Визначити значення першої поділки, біля якої знаходиться повзунок. Результати занести до таблиці 1.

2. Звільнити точку підвісу маятника та укоротити нитку на задане у таблиці 3 значення довжини ℓ і, повторюючи завдання, зазначене у попередньому пункті, визначити час t_2 для такої ж кількості коливань. Результати занести до таблиці 1.

3. Розрахувати значення прискорення вільного падіння за формулою (3). Результати розрахунків занести до таблиці 2.

4. Розрахувати похибки вимірювання прискорення вільного падіння за формулою (4). Результати розрахунків занести до таблиці 2.

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{2(t_1 \Delta t_1 + t_2 \Delta t_2)}{t_1^2 + t_2^2}; \quad \Delta g = g \varepsilon_g. \quad (4)$$

5. Порівняти отримані результати з табличними. Для цього перевірити, чи виконується нерівність $g - \Delta g \leq g_{\text{табл}} \leq g + \Delta g$, та зробити висновок про коректний результат та правильність виконання досліду.

Таблиця 1. Результати вимірювань

№ п/п	l, \dots	$\Delta l, \dots$	t_1, \dots	$\Delta t_1, \dots$	t_2, \dots	$\Delta t_2, \dots$	n
1							
2							
3							
Серед.							

Таблиця 2. Результати розрахунків

g, \dots	$\Delta g, \dots$	ε_g, \dots	$g_{\text{табл}}, \dots$

Таблиця 3. Індивідуальні завдання

№ бригади	$l, \text{ см}$	n
1	20	40
2	25	45
3	30	50
4	20	55
5	25	60

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який рух називається коливальним, періодичним коливальним, гармонічним коливальним?
2. Запишіть рівняння гармонічних коливань.
3. Дайте означення таких величин: амплітуда, частота, період, фаза, початкова фаза коливань.
4. Опишіть перетворення енергії при коливаннях математичного маятника.
5. Що таке прискорення вільного падіння і як воно пов'язане з напруженістю гравітаційного поля?
6. Від чого залежить прискорення вільного падіння?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ПЕРЕВІРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНУ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ОБЕРБЕКА

Мета роботи: перевірити пропорційність кутового прискорення моменту сили при сталому моменту інерції тіла.

Обладнання: установка FPM-06 (прилад Обербека).

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

Згідно основного закону динаміки обертального руху:

$$\varepsilon = \frac{M}{I_Z}, \quad (1)$$

де I_Z – момент інерції тіла відносно осі обертання, ε – кутове прискорення тіла відносно тієї ж осі, M – сума моментів прикладених сил відносно тієї ж осі.

Прилад Обербека являє собою маховик, який має хрестоподібну форму (рис. 5.1). На вертикальній колоні закріплені два кронштейни 5: нерухомий нижній та рухомий верхній. За допомогою регулюючих гвинтів прилад можна встановити горизонтально. На колоні закріплено диск. Через цей диск перекинуто нитку 1, один кінець якої закріплено на диску маховика 2, а на другому кінці закріплені тягарі з масою m_0 . Маховик являє собою 4 металевих стержні 3, на яких нанесені через 1 см поділки. На кожному стержні можуть переміщуватися та фіксуватися циліндри 4, масою m , що дає можливість змінювати момент інерції приладу.

Рухомий кронштейн можна переміщувати вздовж колони, та фіксувати у будь-якому положенні, встановлюючи, таким чином, висоту падіння тягарців. Цю висоту можна вимірювати за допомогою міліметрової шкали 6. Час руху тягарців вимірюється за допомогою двох фотоелектричних датчиків 5, встановлених на кронштейнах, та мілісекундоміра, який вмонтовано в основу приладу.

Момент інерції маховика змінюють переміщенням металевих циліндрів 4. Під дією тягарця, нитка, розмотуючись, приводить маховик в обертальний рух. На тягар, що падає, діють дві сили: сила тяжіння $m_0 \vec{g}$, та сила пружності з боку нитки \vec{F} . Запишемо другий закон Ньютона для тягаря:

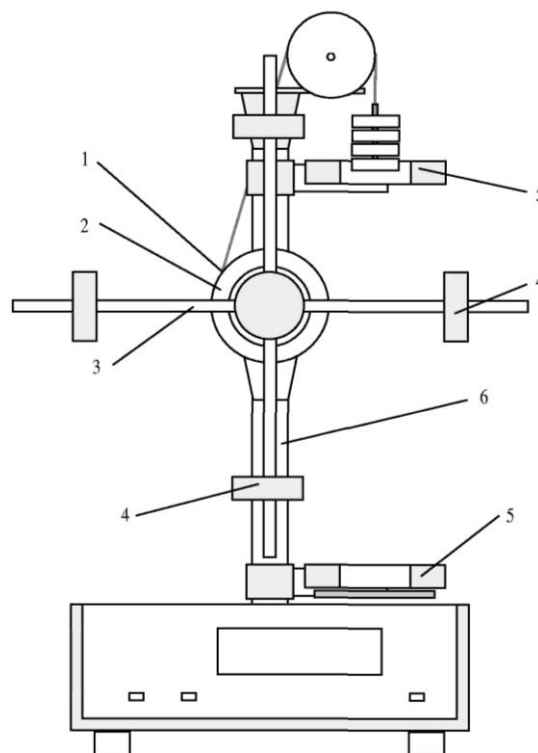


Рис. 5.1

$$m_0 g - F = m_0 a. \quad (2)$$

Звідси:

$$F = m_0 (g - a)$$

Сила \vec{F} діє також на вал маховика. Її момент відносно осі обертання буде:

$$M = Fr = m_0 (g - a)r = I_Z \varepsilon, \quad (3)$$

де r – радіус вала, I_Z – момент інерції маховика, ε – його кутове прискорення.

Якщо вважати, що намотана на диск нитка нерозтяжна і розмотується без тертя ковзання з його поверхні, то прискорення точок вала, як і точок нитки, дорівнює a (для точок поверхні вала це дотичне прискорення). Якщо тягар m_0 за час t падає з висоти h , то прискорення:

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (4)$$

Треба мати на увазі, що ми при цьому нехтували опором повітря, тобто вважали, що тягарець рухається рівноприскорено. Це прискорення пов'язано з кутовим прискоренням вала ε формулою:

$$\varepsilon = \frac{a}{r}, \quad (5)$$

Підставляючи (4) в (5), а (5) в формулу (3), одержимо вираз для визначення моменту інерції маховика:

$$I_Z = \frac{m_0 r^2 (gt^2 - 2h)}{2h}. \quad (6)$$

З формул (3), (4), (5) та (6) одержуємо значення моменту сил:

$$M = \frac{m_0 r (gt^2 - 2h)}{t^2}. \quad (7)$$

Таким чином, встановивши певне значення висоти h , і вимірявши час падіння t тягаря m_0 з цієї висоти можна обчислити момент інерції маховика, а також момент прикладених до нього сил.

При сталому моменті інерції

$$\frac{M_1}{\varepsilon_1} = \frac{M_2}{\varepsilon_2} = I_Z = \text{const}. \quad (8)$$

Підставляючи в (8) вираз для M та ε , одержимо:

$$m_{01} (gt_1^2 - 2h) = m_{02} (gt_2^2 - 2h). \quad (9)$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За допомогою регулюючих ніжок встановити колону вертикально. Перевірити заземлення приладу та ввімкнути шнур в електричну мережу. Натиснути кнопку “СЕТЬ”, перевіряючи, чи показують всі індикатори нуль, та чи світять лампочки фотоелектричних датчиків.

2. Встановити циліндри на відстані ℓ (таблиця 2) від осі обертання маховика (врахувати, що відстань між позначками на стержнях – 1 см).

3. Прикріпити тягарець масою m_{01} відповідно до таблиці 2.
4. Пересунути верхній кронштейн на висоту h , задану в таблиці 2.
5. Натиснути кнопку “СБРОС”. Перемістити тягарець в верхнє положення (над верхнім кронштейном), натиснути кнопку “ПУСК” та виміряти час руху тягарця t_1 . Записати результати вимірювань до таблиці 1.

6. Виконати пункти 3 – 6 для маси тягарців m_{02} та виміряти час руху тягарця t_2 . Записати результати вимірювань до таблиці 1.

7. Розрахувати величини $A = m_{01}(gt_1^2 - 2h)$ та $B = m_{02}(gt_2^2 - 2h)$ відповідно до формули (9) для кожного з трьох дослідів окремо і знайти їх середнє арифметичнє значення. Результати розрахунків занести до таблиці 1.

8. Розрахувати похибки вимірювань величин ΔA , ΔB , ε_A та ε_B як для прямого вимірювання:

$$\Delta A = 1,76\sqrt{(A_{\text{сер}} - A_1)^2 + (A_{\text{сер}} - A_2)^2 + (A_{\text{сер}} - A_3)^2}$$

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta A}{A}$$

$$\Delta B = 1,76\sqrt{(B_{\text{сер}} - B_1)^2 + (B_{\text{сер}} - B_2)^2 + (B_{\text{сер}} - B_3)^2}$$

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta B}{B}$$

9. Перевірити чи пропорційнє кутове прискорення моменту сили. Для цього перевірити, чи виконується нерівність $|A - B| \leq (\Delta A + \Delta B)$.

Таблиця 1. Результати вимірювань та розрахунків

№	h ,	ℓ ,	m_{01} ,	t_1 ,	A ,	ΔA ,	ε_A ,	m_{02} ,	t_2 ,	B ,	ΔB ,	ε_B ,	$ A - B $,	$(\Delta A + \Delta B)$,

1														
2														
3														
сер	-	-	-	-				-	-					

Таблиця 2. Індивідуальні завдання

№ бригади	h , см	m_{01} , Г	m_{02} , Г	ℓ , см
1	45	54+86	54+43	12
2	40	54+43	54+86	15
3	35	54+43	54+86	13
4	30	54+86	54+43	14
5	45	54+43	54+86	16
6	40	54+43	54+86	17

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке момент інерції матеріальної точки та тіла відносно осі обертання?
2. Що таке кутова швидкість? Як вона пов'язана з лінійною швидкістю тіла, що обертається?
3. Записати основнє рівняння динаміки обертального руху.
4. Як визначається момент інерції відносно осей, які не проходять крізь центр мас тіла?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ

Мета роботи: перевірити закон збереження імпульсу.

Обладнання: пристрій для вивчення закону збереження імпульсу, технічні терези Т-200, набір тягарців, лінійка, письмовий та копіювальний папір.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для перевірки закону збереження імпульсу використовується пристрій, зображений на рис. 6.1.

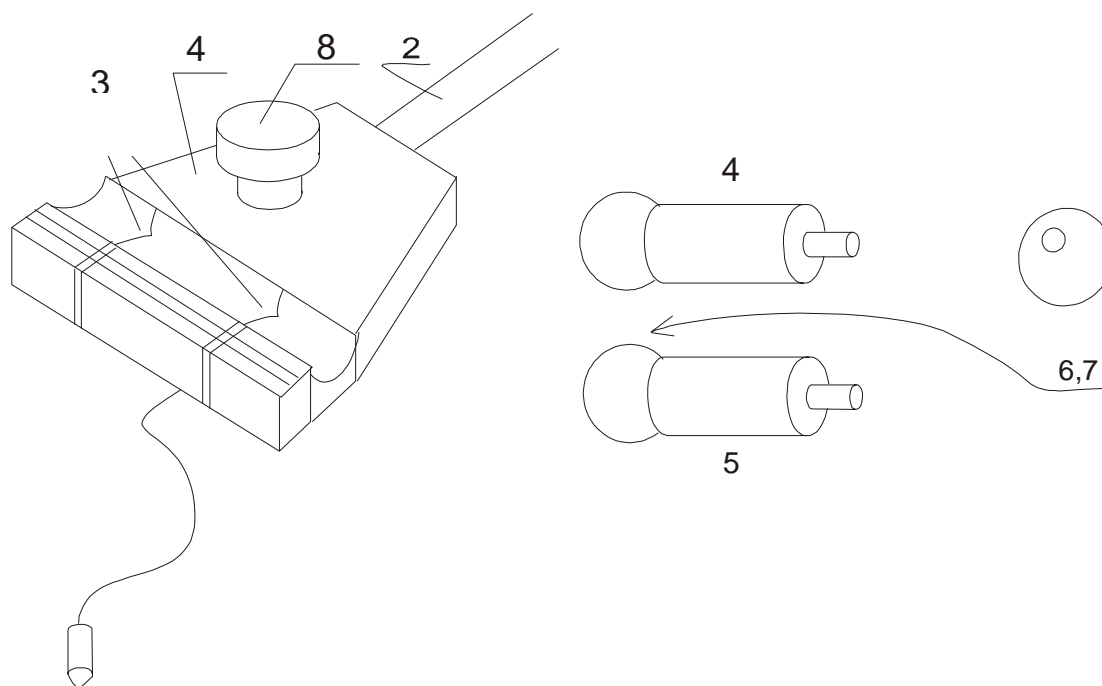


Рис. 6.1.

Корпус 1 пристрою закріплюється у муфті лабораторного штатива за допомогою ручки 2. Поперек корпуса є жолоб, в який укладаються снаряди. Всередині корпусу вміщена плоска пружина 3, яка служить для встановлення та закріплення снарядів. Снаряди 4, 5 являють собою пластмасові циліндри однакових діаметрів та мас, але різного кольору. В один із снарядів 5 встановлена пружина. Другий снаряд 4 має виступ, який при з'єднанні снарядів стискує пружину. На протилежних кінцях снарядів є стержні з різьбою, на яких закріплюються змінні тягарці 6, 7. При натискуванні на кнопку 8 відбувається одночасний пуск снарядів. На корпусі приладу є рухомий покажчик 9 із відвісом, який призначений для фіксації середньої лінії під час дослідів. Середня лінія проходить через центр стиснутої пружини, яка співпадає із кінцевою виточкою снаряда із пружиною.

На початку досліду снаряди знаходяться в стані спокою, потім під час пострілу вони одержують імпульси в горизонтальному напрямі (рис. 6.2).

Згідно закону збереження імпульсу, загальний імпульс системи тіл до і після пострілу залишається незмінним:

$$0 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2. \quad (1)$$

В проекції на горизонтальну вісь отримуємо:

$$m_1 v_1 = m_2 v_2, \quad (2)$$

де v_1 та v_2 – модулі швидкостей в горизонтальному напрямі, одержаних тілами в результаті взаємодії.

Нехтуючи опором повітря, та вважаючи рух тіл в горизонтальному напрямі рівномірним, отримуємо:

$$s_1 = v_1 t_1, \quad s_2 = v_2 t_2, \quad (3)$$

де s_1 та s_2 – відстані до точок падіння снарядів, виміряні від середньої лінії ліворуч та праворуч. Снаряди падають з однакової висоти, форми їх однакові. Тому час падіння однаковий ($t_1 = t_2$). На підставі цього з (3) маємо:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_1}{s_2}. \quad (4)$$

З (2) та (4) отримаємо:

$$m_1 s_1 = m_2 s_2. \quad (5)$$

Це і буде наша **робоча формула**.

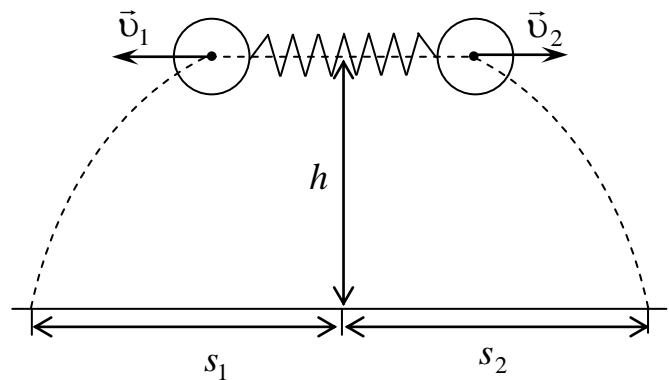


Рис. 6.2.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити маси снарядів m_1 та m_2 за допомогою терезів. Результати занести до таблиці 1.

2. Встановити снаряди в зарядний пристрій і провести три постріли. Визначити за допомогою копійчального паперу s_1 та s_2 . Результати занести до таблиці 1. Результати розрахунків занести до таблиці 2.

3. Розрахувати значення величин $A_1 = m_1 s_1$ та $A_2 = m_2 s_2$.

4. Розрахувати відносну похибку за формулою (6). Результати розрахунків занести до таблиці 15.2.

$$\varepsilon_A = \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta s_1}{s_1}. \quad (6)$$

5. Розрахувати абсолютну похибку за формулою $\Delta A = A \varepsilon_A$. Результати розрахунків занести до таблиці 2.

6. Перевірити, чи виконується нерівність $|A_1 - A_2| \leq (\Delta A_1 + \Delta A_2)$, та зробити висновок про виконання закону збереження імпульсу.

Таблиця 1. Результати вимірювань

№ п/п	m_1, \dots	$\Delta m_1, \dots$	m_2, \dots	$\Delta m_2, \dots$	s_1, \dots	$\Delta s_1, \dots$	s_2, \dots	$\Delta s_2, \dots$
1								
2								
3								
Сер.								

Таблиця 2. Результати розрахунків

$A_1,$...	$\Delta A_1,$...	$\varepsilon_{A1},$...	$A_2,$...	$\Delta A_2,$...	$\varepsilon_{B2},$...	$ A_1 - A_2 ,$...	$(\Delta A_1 + \Delta A_2),$...

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається імпульсом тіла, імпульсом сили, як вони пов'язані між собою?
2. Сформулюйте закон збереження імпульсу системи тіл.
3. Вкажіть умови, при яких виконується закон збереження імпульсу системи тіл.
4. Сформулюйте закон про зміну імпульсу системи тіл.
5. Наведіть приклади прояву та використання закону про зміну та збереження імпульсу.

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КІЛЬЦЯ

Мета роботи: визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини методом відриву кільця.

Обладнання: спеціальні пружинні терези або гідростатичні терези з комплектом тягарців і пінцетом, штангенциркуль, мікрометр, посуд для рідини, кільце, досліджувана рідина.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

Вільна поверхня будь-якої рідини заходиться в особливому напруженому стані і в деякій мірі нагадує собою тонку розтягнуту плівку. Утворення поверхневого натягу в рідинах є результат прояву молекулярних сил.

Якщо молекула знаходиться **в середині рідини**, то на неї з усіх сторін діють сусідні молекули (в сфері радіуса дії молекулярних сил) в однаковій мірі, і рівнодійна всіх молекулярних сил дорівнює 0 (рис.7.1-А).

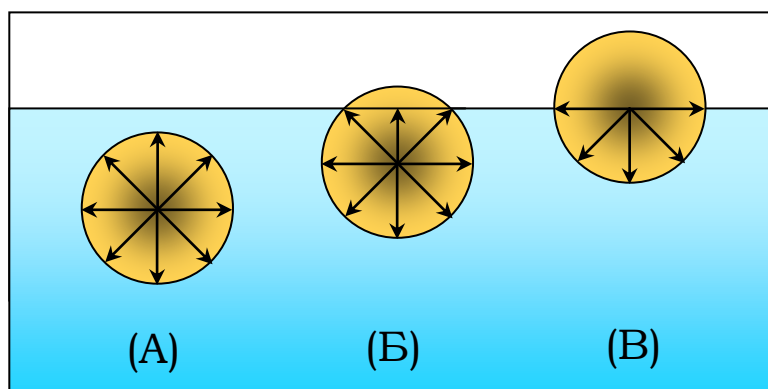


Рис.7.1.

Якщо ж молекула знаходиться **біля поверхні рідини** на відстані, меншій, ніж радіус сфери дії молекулярних сил (рис.7.1-Б), то в цьому випадку притягання молекул, які знаходяться в нижній частині сфери молекулярної дії, перевищує притягання молекул, які знаходяться вище, і **рівнодійна всіх молекулярних сил буде направлена вниз – в середину рідни** (не дорівнює 0).

Чим ближче молекула до поверхні рідини, тим більше буде рівнодійна сила. Тому молекули під дією рівнодійної сили намагаються проникнути всередину рідини; верхній шар рідини стає збіднілим молекулами – у ньому міститься менше молекул, ніж у нижчих шарах. Це призводить до того, що молекули верхнього шару розподіляються в ньому на відстанях, більших, ніж міжмолекулярні відстані в нижніх шарах.

При збільшенні відстаней між молекулами, зростають сили притягання

між ними: **верхній шар рідини ніби натягується – знаходиться у напруженому стані**. Макроскопічним проявом такої підсиленої молекулярної взаємодії у верхньому шарі рідини є **сила поверхневого натягу**. Сили поверхневого натягу намагаються скоротити вільну поверхню рідини до мінімального значення (відомо, що найменшу площу поверхні має сфера!)

Наявність цієї сили приводить до того, що **для збільшення поверхні рідини треба виконати певну роботу**, і тому поверхня рідини намагається зменшити свою площу. Це можна описати за допомогою уявлення про сили поверхневого натягу.

Сили поверхневого натягу напрямлені по дотичній до поверхні рідини і діють нормально до будь-якої прямої, проведеної на цій поверхні. Якщо уявно розрізати поверхню рідини деякою лінією довжиною l , тоді сила поверхневого натягу між обома частинами поверхні, які знаходяться по обидві сторони лінії, буде тим більше, чим більше довжина лінії, тобто сила поверхневого натягу буде прямо пропорційна довжині лінії:

$$F = \sigma l, \quad \sigma = \frac{F}{l} \quad (1)$$

Коефіцієнт пропорційності σ називається **коефіцієнтом поверхневого натягу** і чисельно дорівнює силі поверхневого натягу, прикладеної до одиниці довжини.

Коефіцієнт пропорційності σ вимірюють в $\frac{H}{m}$. Для води при $0^\circ C$ $\sigma = 0,075 \frac{H}{m}$. Зміна температури впливає на величину поверхневого натягу. При підвищенні температури коефіцієнт поверхневого натягу зменшується. Існує декілька експериментальних методів визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідини.

Метод відриву кільця полягає в визначенні величини сили, яку необхідно прикласти, щоб відірвати тонке металеве кільце від поверхні рідини. Відрив кільця відбувається по двох колах, діаметри яких d_1 і d_2 : d_1 – внутрішній, d_2 – зовнішній. Сила відриву, що діє як на внутрішнє, так і на зовнішнє кільце, згідно (1), дорівнює:

$$F = \sigma \pi d_1 + \sigma \pi d_2 \text{ або } F = \sigma \pi (d_1 + d_2).$$

Якщо товщина стінки кільця – d , то $d_1 = d_2 - 2d$. Підставляючи це значення d_1 в рівність (1), одержимо: $F = \sigma \pi (d_2 - d)$ (2).

Виразивши із (2) коефіцієнт σ , і враховуючи, що за умови рівноваги кільця $F = mg$, знаходимо: $\sigma = \frac{mg}{2\pi(d_2 - d)}$; (3)

Це і буде наша **робоча формула**.

Прилад для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом відриву кільця (рис.2) являє собою спеціальний стояк-штатив А, на якому закріплена дзеркальна шкала В (щоб уникнути помилки на паралакс) з міліметровими поділками. Перед шкалою підвішена пружина, до якої прикріплені покажчик С, невелика площадка для тягарців, кільце Е. В нижній частині штатива є маленький столик К, який вільно переміщується вгору і вниз.

На цьому столику ставлять маленьку циліндричну ємкість для досліджуваної рідини.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Установити прилад так, щоб площина кільця була горизонтальною, тобто щоб дотик із рідиною відбувався одночасно по всьому ободу кільця. Налити в ємкість L досліджувану рідину і **піднімати столик** до тих пір, поки нижній край кільця не опуститься в рідину.

2. **Повільно опускаючи столик** з ємкістю L, слідкувати по дзеркальній шкалі за положенням покажчика С (кільце, зв'язане з рідиною силами зчеплення, буде опускатися, розтягуючи пружину) і в момент відриву кільця від рідини зафіксувати на шкалі положення покажчика.

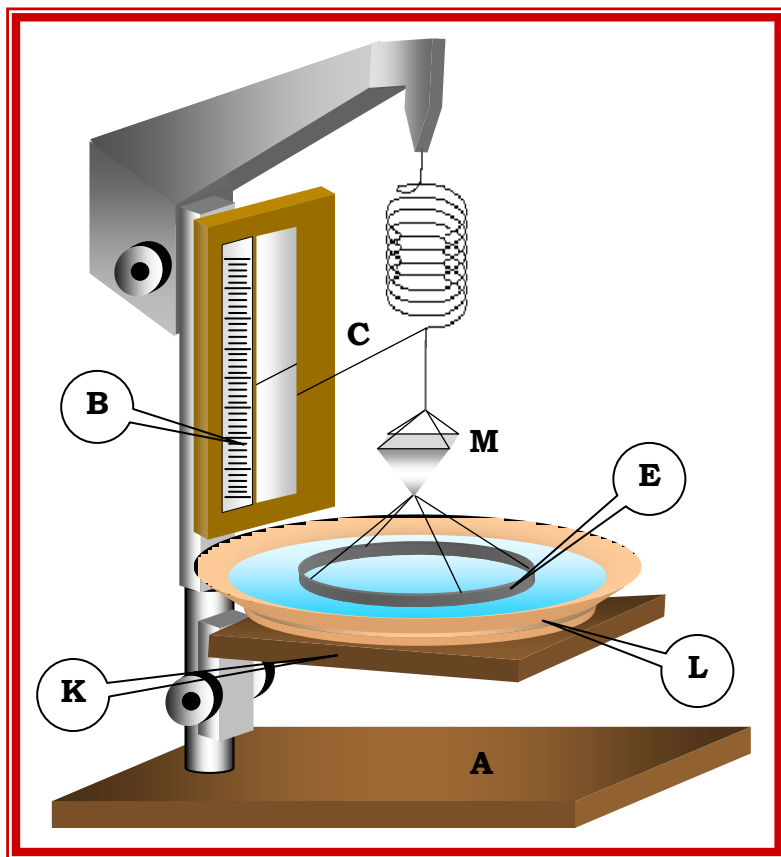


Рис. 7.2.

3. Після відриву покажчик повертається в початкове положення. Для визначення значення сили в момент відриву, в чашку М вміщують тягарці, доки покажчик не займе положення, зафіксоване в момент відриву кільця. Очевидно, що вага тягарців і дає величину сили відриву F. Виміряти **штангенциркулем** діаметр d_2 кільця з точністю, яку дає прилад. Виміряти **мікрометром**, товщину кільця d .

3. Результати вимірювань занести до таблиці 1.

4. Обчислити значення $\sigma_{вим}$, а також абсолютну $\Delta\sigma$ і відносну ε_σ похибки.

5. Записати кінцевий результат у вигляді: $\sigma = \sigma_{\text{вим}} \pm \Delta\sigma$; $\varepsilon_{\sigma} = \dots\%$.

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_{\text{вим}}} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta d_2 + \Delta d}{d_2 - d}; \quad \Delta\sigma = \varepsilon_{\sigma} \cdot \sigma_{\text{вим}}.$$

Увага! При обчисленні похибок прямих вимірювань, врахувати абсолютні похибки прямих вимірювань: Δm взяти в таблиці інструментальних похибок для кожного тягарця, що брав участь у вимірюванні; абсолютні похибки Δd_2 і Δd взяти рівними половині ціни поділки приладів, якими вони вимірювались.

Таблиця 1. Результати вимірювань

№	m , мг	Δm , мг	d_2 , мм	Δd_2 , мм	d , мм	Δd , мм
1.						

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому виникає явище поверхневого натягу рідини?
2. Яка природа сил поверхневого натягу?
3. Як напрямлена сила поверхневого натягу?
4. Що називається коефіцієнтом поверхневого натягу? В яких одиницях він вимірюється?
5. Як визначається величина коефіцієнту поверхневого натягу при виконанні роботи?
6. Намалюйте сили, які діють на кільце в момент відриву.

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ПАРООУТВОРЕННЯ РІДИНИ

Мета роботи: визначити питому теплоту пароутворення (кипіння води).

Обладнання: калориметр, кип'ятильник, електрична плитка, технічні терези, барометр-анероїд, ртутний термометр з ціною поділки $0,1^{\circ}\text{C}$.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИБАДУ

Перехід рідини в пар називають **пароутворенням**. Пароутворення має місце при випаровуванні та кипінні.

Випаровування відбувається при будь-якій температурі і тільки з поверхні рідини. При випаровуванні рідина втрачає найбільш швидкі свої молекули. Середня кінетична енергія молекул рідини при цьому зменшується і рідина починає охолоджуватись. При нагріванні рідини збільшується швидкість її випаровування. Збільшується швидкість молекул, вони досить швидко рухаються і здатні вириватись зі сфери притягання сусідніх молекул і вилітати з поверхні рідини в атмосферу.

Кипіння – це процес інтенсивного пароутворення, який відбувається при певній температурі і характеризується випаровуванням не тільки з поверхні рідини, а й з її внутрішніх частин. Загальною прикметою кипіння є створення пари всередині бульбашок повітря, розчиненого в рідині. Збільшуючись в об'ємі, ці бульбашки піднімаються вгору і на поверхні рідини лопаються, звільняючи пару, яка знаходиться в них.

Якщо рідину нагріти до температури кипіння і продовжувати нагрівати далі, то ми не зафіксуємо підвищення температури рідини, тому що під час кипіння теплота, що підводиться, йде на перетворення рідини в пару, тобто на подолання молекулярних сил зчеплення і на роботу розширення рідини (1г води при 100°C займає об'єм трохи більший ніж 1см^3 , а 1г насиченої пари при 100°C – 1674см^3 !!!).

Питомою теплотою пароутворення називають ту кількість теплоти, яку треба витратити, щоб одиницю маси рідини перетворити в пару тієї ж температури. Кількість теплоти, затрачена на пароутворення одного кілограма рідини (питома теплота пароутворення), залежить від температури рідини. Чим більша температура рідини, тим питома теплота пароутворення менша і при критичній температурі дорівнює нулю.

У нашій роботі ми будемо визначати **питому теплоту пароутворення при температурі кипіння рідини**, тобто визначати кількість теплоти, яку треба затратити щоб 1кг рідини, доведеної до температури кипіння, перетворити в пару тієї ж температури.

Оскільки теплота пароутворення дорівнює теплоті конденсації, то для розв'язання нашої задачі ми користуємось цим положенням.

Якщо пропускати через калориметр з водою водяну пару, яка утворюється під час кипіння, то теплота, яка виділяється при конденсації пари й охолодженні утвореної з нього води, піде на нагрівання води в калориметрі і самого калориметра:

кількість теплоти, що виділяється при конденсації пари: $Q_n = -rm_n$;

кількість теплоти, що виділяється при охолодженні води, отриманої після конденсації пари: $Q_{охол} = c_в m_n (t_{заг} - t_1)$;

де t_1 – початкова температура пари (безпосередньо перед зануренням у калориметр); $t_{заг}$ – загальна температура суміші в калориметрі після того, як закінчився теплообмін (температура теплової рівноваги); m_n – маса води, отриманої із пари (маса сконденсованої пари); $c_в$ – питома теплоємність води.

За законом збереження енергії, який у даному випадку записується як **рівняння теплового балансу**, ця кількість теплоти, що виділилась $|Q_n + Q_{охол}|$ пішла на нагрівання води в калориметрі та самого калориметру:

$|Q_{відд}| = Q_{отрим}$, або:

$$|Q_n + Q_{охол}| = Q_в + Q_{кал} \quad (1),$$

де: $Q_в = c_в m_в (t_{заг} - t_2)$ – кількість теплоти, яку отримала вода в калориметрі від пари; t_2 – початкова температура води і калориметра (до пропускання пари);

$Q_{кал} = c_к m_к (t_{заг} - t_2)$ – кількість теплоти, яку отримав калориметр від пари; $c_к$ і $m_к$ – питома теплоємність і маса калориметра.

Якщо всі наведені вирази підставити у рівняння теплового балансу (1), то з нього можна знайти питому теплоту пароутворення (кипіння) води:

$$|-rm_n + c_в m_n (t_{заг} - t_1)| = c_в m_в (t_{заг} - t_2) + c_к m_к (t_{заг} - t_2), \quad (2)$$

$$r = \frac{(t_{заг} - t_2) \cdot (c_в m_в + c_к m_к) - c_в m_n (t_1 - t_{заг})}{m_n}. \quad (3)$$

Перетворюючи формулу (3), отримаємо **робочу формулу (4)**:

$$r = \frac{t_{заг} - t_2}{m_3 - m_1} [c_в (m_1 - m_2) + c_к m_2] - c_в (t_1 - t_{заг}), \quad (4)$$

де r – питома теплота пароутворення,

m_3 – маса пари, води та калориметра (після досліду),

t_1 – температура кипіння води,

$t_{заг}$ – кінцева температура в калориметрі (після встановлення теплової рівноваги),

m_1 – маса води та калориметра до досліду,

m_2 – маса калориметра,

$c_в$ – питома теплоємність води,

c_k – питома теплоємність калориметра,

t_2 – початкова температура води в калориметрі.

Температура кипіння води в залежності від атмосферного тиску визначається за таблицею або по формулі:

$$t_1 = 100^\circ + 0,0375(H - 760), \quad (5)$$

де H – атмосферний тиск в мм.рт.ст.

Увага! Щоб похибку на витрати тепла звести до мінімуму, треба взяти воду в калориметрі при температурі, холоднішій за кімнатну настільки, наскільки вона стане тепліше кімнатної після досліду. Тоді за час першої половини досліду калориметр з водою отримують з навколишнього середовища приблизно стільки ж теплоти, скільки віддадуть йому в другій половині досліду.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Налити воду в кип'ятильник (трохи більше половини) і поставити на електроплитку.
2. Поки вода нагрівається, визначити по барометру тиск з точністю до 1мм.рт.ст. і по таблиці або за формулою (5) знайти температуру кипіння води з точністю до $0,5^\circ\text{C}$ (t_1).
3. Зважити з точністю до 0,1г суху внутрішню посудину калориметра (m_2).
4. Налити в калориметр задану кількість (дивись таблицю індивідуальних завдань) холодної води і зважити калориметр з водою. Визначити масу води та калориметра (m_1).
5. Визначити з точністю до $0,1^\circ\text{C}$ температуру води в калориметрі (t_2).
6. Після того, як вода в кип'ятильнику закипить і добре прогріється гумова трубка, пропустити пар в калориметр, перемішуючи воду в калориметрі, слідкувати за підвищенням температури.
7. Коли вода в калориметрі стане на $4-5^\circ\text{C}$ вище кімнатної, припинити доступ пари і визначити кінцеву температуру води з точністю до $0,1^\circ\text{C}$ ($t_{\text{заг}}$).
8. Вийнявши термометр, стряхнути в калориметр краплі води, і зважити калориметр з водою з точністю до 0,1г. Визначити масу сконденсованої пари, води та калориметра після досліду (m_3).
9. Дослід проробити тричі, результати занести в таблицю.
10. Після знаходження середнього значення питомої теплоти пароутворення r і абсолютної похибки Δr (Δr знаходимо як для результату прямого вимірювання) треба знайти середню відносну похибку і записати кінцевий результат:

$$\Delta r_{\text{сер}} \approx \Delta r_{\text{вип}} = 1,76 \sqrt{(r_{\text{сер}} - r_1)^2 + (r_{\text{сер}} - r_2)^2 + (r_{\text{сер}} - r_3)^2}$$
$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r_{\text{сер}}}{r_{\text{сер}}} \cdot 100\%; \rightarrow r = r_{\text{сер}} \pm \Delta r_{\text{сер}}$$

c_v – питома теплоємність води $4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$,
 c_k – питома теплоємність калориметра $897 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$.

Таблиця 1. Результати вимірювань

№ п/п	m_1	m_2	t_1	H	t_2	m_3	r	Δr	$t_{заг}$
1									
2									
3									
Серед.									

Таблиця 2. Індивідуальні завдання

№ бригади	Об'єм холодної води в калориметрі, см^3
1	70
2	80
3	90
4	100
5	110

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте два способи пароутворення.
2. Поясніть залежність температури кипіння від тиску.
3. Що таке питома теплота пароутворення?
4. Як обчислити кількість теплоти, необхідну для пароутворення?
5. Як обчислити кількість теплоти, необхідну для нагрівання тіла на декілька градусів?
6. Теплообмін між якими тілами у даному дослідженні описує рівняння теплового балансу?

Увага!

1. Перевірити справність шнура та вилки електричної плитки.
2. Користуватися електричними плитками з закритою спіраллю.
3. Забороняється переносити електронагрівні прилади у включеному стані.
4. Не торкатися до розігрітої поверхні електричної плитки.

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

Мета роботи: визначити коефіцієнт лінійного розширення трьох тіл.

Обладнання: прилад для визначення коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл, термометр, вимірювальна лінійка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

Збільшення розмірів твердих тіл при нагріванні називається **лінійним розширенням**. Лінійне розширення твердого тіла характеризується середнім коефіцієнтом лінійного розширення, чисельно рівним видовженню одиниці довжини (1 м) даного тіла при нагріванні його на 1⁰С. Якщо визначити початкову довжину тіла при 0⁰С через l_0 , а коефіцієнт лінійного розширення через α то, як звісно, довжина тіла при температурі t буде дорівнювати:

$$l_t = l_0(1 + \alpha \cdot t). \quad (1)$$

Звідки коефіцієнт лінійного розширення:

$$\alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 t} \quad (2)$$

На практиці замість l_0 довжини тіла при 0⁰С, беруть початкову довжину l_1 при кімнатній температурі t_1 . Розрахунок показує, що похибка внаслідок такого припущення мала та лежить за границями точності наших вимірювань. Тому для технічних розрахунків можна завжди користуватися формулою:

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

де $(l_2 - l_1)$ – видовження стержня внаслідок нагрівання.

Це і буде наша **робоча формула**. Коефіцієнт об'ємного розширення твердих тіл визначають за формулою:

$$\beta = 3\alpha \quad (4)$$

Так як коефіцієнт лінійного розширення залежить від температури, то формула (1) справедлива в межах невеликих різниць температури. При більших різницях температури розширення не точно пропорційне підвищенню температури. Кінцева довжина виразиться в цьому випадку формулою:

$$l_t = l_0(1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2) \quad (5).$$

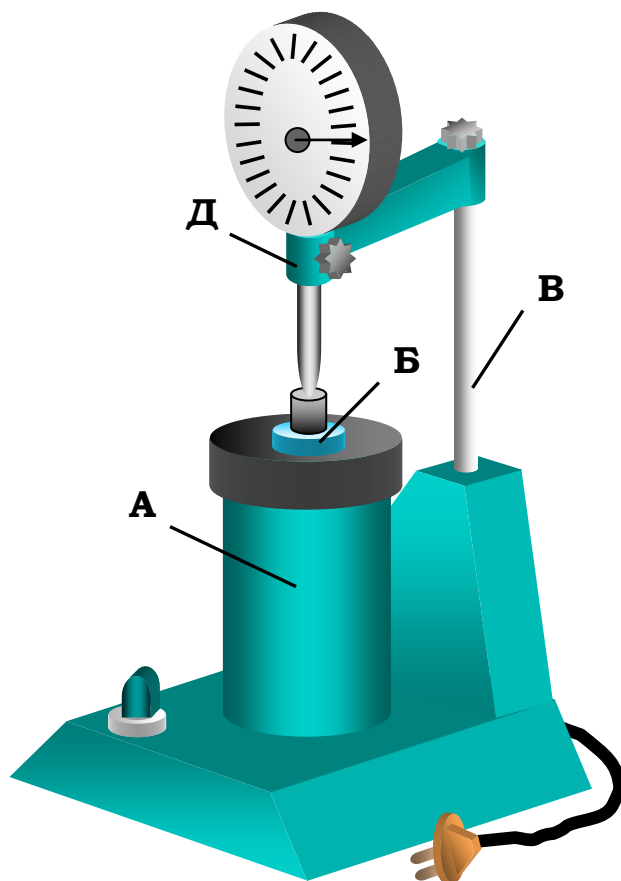
Для низьких температур формула (5) несправедлива. При низьких температурах для більшості речовин, наприклад, для чистих металів, справедлива формула:

$$l_2 - l_1 = A(T_2^k - T_1^k) \quad (6)$$

де l_2 та l_1 – довжини при абсолютних температурах T_2 та T_1 , A і k – постійні.

Опис приладу

Прилад для визначення коефіцієнта лінійного розширення складається з: нагрівника **А** з циліндричним отвором **Б** для пробірки, в яку розміщують дослідний стержень, поворотного кронштейна **В**, куди встановлено індикатор лінійних переміщень **Д**.



ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для проведення дослідів по визначенню коефіцієнта лінійного розширення необхідно:

1. Пробірки з комплекту приладдя на 0,5 об'єму наповнити водою кімнатної температури, опустити в кожен дослідний стержень та помістити в штатив.
2. **Звернути увагу** на те, що сферичний кінець стержня повинен впиратись у дно пробірки.
3. У поворотний кронштейн вставити індикатор і відвести його, на чверть обернувши в сторону до упору.
4. Лабораторним термометром виміряти температуру води в одній з пробірок.
5. Пробірки з дослідним стержнем через гумову прокладку і отвір у кронштейні ввести в нагрівач.
6. Відтягнути шток індикатора вгору, встановити індикатор над пробіркою та опустити шток у заглибину на торці стержня.
7. Зафіксувати положення стрілки по шкалі індикатора, $n_{поч}$.
8. Заземлити прилад та підключити його до електромережі.
9. Включити живлення приладу кнопочним вмикачем. При цьому повинна горіти індикаторна лампочка.
10. При закипанні води в пробірці дослідний зразок приймає температуру, рівну температурі кипіння води. Збільшення довжини зразка визначається по відхиленню стрілки індикатора від початкового положення. Відлік ведуть по половині поділки шкали індикатора, тобто з точністю до 5 мікрон: $(l_2 - l_1) = (n_{кінц} - n_{поч}) \cdot 10^{-5}$ м.
11. Для продовження роботи і проведення дослідів з іншими зразками необхідно кнопочним вмикачем відключати живлення.

12. Індикатор на поворотному кронштейні відвести в сторону до упору.
13. Вийняти з приладу нагріту пробірку та розмістити її в штативі.
14. Повторити дослід пунктів 1–10 для другого зразка.
15. Так як робота далі проводиться при розігрітому приладі, то, щоб збігати відхилень у вимірюванні, час з моменту поміщення пробірки в зону нагрівання до фіксації початкового положення стрілки індикатора не повинен перевищувати 30–40 секунд.
16. Для кожного дослідного стержня результат записати в таблицю 1.
17. Визначити абсолютну ($\Delta\alpha$) та відносну (ε_α) похибки за формулами:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\Delta(l_2 - l_1)}{l_2 - l_1} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta t_1}{t_2 - t_1}; \quad \Delta\alpha = \varepsilon_\alpha \cdot \alpha.$$

Увага! Абсолютні похибки прямих вимірювань $\Delta(l_2 - l_1)$, Δl_1 та Δt_1 брати рівними половині ціни поділки вимірювальних приладів.

18. Зробити висновок та записати кінцевий результат у вигляді:

$$\alpha = \alpha \pm \Delta\alpha; \quad \varepsilon_\alpha = \dots\% \quad \text{для кожного зразка.}$$

Таблиця 1. Результати вимірювань

Зразок	l_1 , м	t_1 , °C	$n_{\text{поч}}$	$n_{\text{кінц}}$	$(l_2 - l_1)$, м	α , $\frac{1}{^\circ\text{C}}$	β , $\frac{1}{^\circ\text{C}}$
I							
II							
III							

Таблиця 2. Індивідуальні завдання

№ бригади	Набір тіл
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яка природа лінійного розширення?
2. Що називається коефіцієнтом лінійного розширення?
3. В яких одиницях вимірюється коефіцієнт лінійного розширення?
4. Яким приладом вимірюється видовження стержня в даній роботі?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ

МЕТОДОМ СТОКСА

Мета роботи: визначити коефіцієнт в'язкості гліцерину.

Обладнання: скляний циліндр висотою 100–50 см, секундомір, рідина з великою в'язкістю (гліцерин), свинцеві кульки, мікромметр, лінійка.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИЛАДУ

На тверду кульку, що падає у в'язкій рідині, діють три сили: сила тяжіння ($m\vec{g}$), виштовхувальна сила ($\vec{F}_{\text{Арх}}$) - сила Архімеда - і сила опору ($\vec{F}_{\text{он}}$), обумовлена силами внутрішнього тертя рідини (див. малюнок).

Якщо кулька падає в рідині, що займає безмежний простір у всіх напрямках, не залишаючи за собою ніяких завихрень (мала швидкість падіння, маленька кулька), то, як показав Стокс, сила опору дорівнює:

$$F_{\text{он}} = 6\pi \cdot \eta \cdot v \cdot r \quad (1)$$

де η – коефіцієнт внутрішнього тертя рідини (ню);

v – швидкість рівномірного руху кульки;

r – радіус кульки.

Спочатку кулька рухається прискорено. Але, оскільки сила опору із збільшенням швидкості руху кульки зростає, то прискорення зменшується, і нарешті кулька досягне такої швидкості, при якій прискорення стане рівним 0, тобто кулька почне рухатись рівномірно.

Тоді рівняння руху буде мати такий вигляд:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{Арх}} + \vec{F}_{\text{он}} = 0;$$

У проекціях на вісь ОХ:

$$mg - F_{\text{Арх}} - F_{\text{он}} = 0; \quad (2)$$

Масу кульки можна визначити за формулою:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3, \quad (3)$$

де ρ - густина кульки;

r - радіус кульки.

Виштовхувальну силу можна визначити за формулою:

$$F_{\text{Арх}} = \rho_1 \cdot g \cdot V = \rho_1 \cdot g \cdot \frac{4}{3}\pi r^3, \quad (4)$$

де ρ_1 - густина рідини (гліцерину);

r - радіус кульки.

Підставивши вирази (1), (3), (4) у вираз (2), отримаємо:

$$\rho \frac{4}{3} \pi r^3 g - \rho_1 \frac{4}{3} \pi r^3 g - 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = 0$$

$$\text{або: } \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho - \rho_1) - 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = 0, \quad (5)$$

де ρ_1 – густина рідини;
 ρ – густина матеріалу кульки;
 g – прискорення вільного падіння;
 r – радіус кульки.

Розв'язуючи рівняння (5) відносно коефіцієнта внутрішнього тертя (в'язкості), маємо:

$$\eta = \frac{2}{9} \left(\frac{\rho - \rho_1}{v} \right) g r^2 \quad (6)$$

Швидкість рівномірного руху кульки можна знайти, поділивши довжину шляху кульки L на час, за який він пройдений t : $v = \frac{L}{t}$. Підставивши цей вираз до виразу (6), отримаємо вираз для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини:

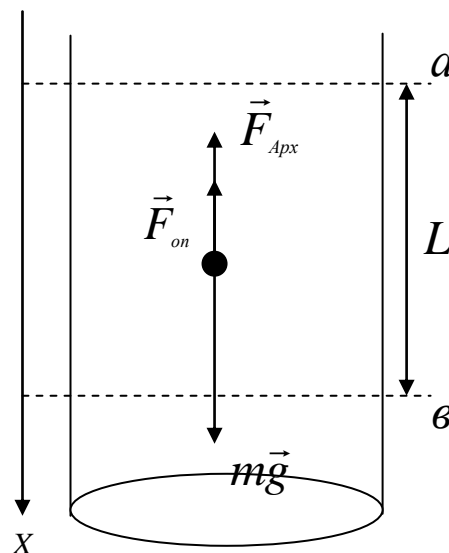
$$\eta = \frac{2}{9} \left(\frac{\rho - \rho_1}{L} \right) g \cdot t \cdot r^2 \quad (7)$$

Враховуючи, що $r = \frac{d}{2}$ (d – діаметр кульки), отримаємо кінцеву робочу формулу для визначення коефіцієнту в'язкості:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_1) \cdot g \cdot t \cdot d^2}{18L} \quad (8).$$

ОПИС ПРИЛАДУ

Посудина висотою 100см наповнюється досліджуваною рідиною (мал.). Опущена в рідину кулька спочатку рухається прискорено, але прискорений рух швидко переходить в рівномірний. Це відбудеться на глибині 5–8см. На цій глибині на посудину нанесена риска a . Коли кулька проходить цю риску, вмикаємо секундомір.



У нижній частині теж є риска β . Коли кулька проходить повз неї, секундомір вимикаємо. Шлях L , пройдений за час t дорівнює довжині траєкторії кульки між рисками a і β .

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виміряйте відстань L між рисками a і β .
2. Виміряйте діаметри кульок, d .
3. Виміряйте час руху кожної кульки між рисками a і β по секундоміру, t .
4. Обчисліть коефіцієнт в'язкості η для кожного досліду окремо.
5. Розрахуйте середнє значення коефіцієнта в'язкості гліцерину.
6. Результати вимірювань і обчислень занесіть до таблиці 1.
7. Визначте абсолютну і відносну похибки за формулами:

$$\Delta\eta_1 = |\eta_{\text{сер}} - \eta_1|; \Delta\eta_2 = |\eta_{\text{сер}} - \eta_2|; \Delta\eta_3 = |\eta_{\text{сер}} - \eta_3|;$$

$$\Delta\eta_{\text{сер}} = 1,76\sqrt{\Delta\eta_1^2 + \Delta\eta_2^2 + \Delta\eta_3^2}$$

8. Результат запишіть у вигляді: $\eta = \eta_{\text{сер}} \pm \Delta\eta_{\text{сер}}$.

Увага! Густина гліцерину $1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, густина свинцю $11300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Таблиця 1. Результати вимірювань

№ п/п	d	t	L	η	$\Delta\eta$
1					
2					
3					
Серед.					

Таблиця 2. Індивідуальні завдання

№ бригади	№ набору кульок
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке ідеальна рідина? Реальна рідина?
2. Запишіть формулу Стокса для внутрішнього тертя.
3. Яка природа сил внутрішнього тертя (в'язкості)?
4. Який фізичний зміст коефіцієнта внутрішнього тертя (в'язкості)?
5. У чому сутність метода Стокса?
6. Між якими шарами рідини відбувається тертя при русі кульки в цій роботі?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ ТВЕРДОГО ТІЛА

Мета роботи: визначити питому теплоємність твердого тіла.

Обладнання: калориметр, термометр, тверде тіло, вода, металева посудина, нагрівник, терези, важки.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИБАДУ

Питомою теплоємністю речовини називається кількість теплоти, необхідна для нагрівання одиниці маси речовини (1 кг) на 1°C .

Для рідких та твердих тіл як правило визначають теплоємність при постійному тиску, вважаючи, що $C_p = C_v = C$.

Для визначення питомої теплоємності користуються **методом змішування**. Метод змішування полягає в тому, що два тіла, нагріті до різних температур, приводяться в дотик. При цьому в ізольованій системі кількість теплоти, віддана нагрітим тілом, дорівнює кількості теплоти, яку отримає холодне тіло.

Тепловий процес триває до тих пір, поки в системі не встановиться **теплова рівновага**: у всіх точках системи температура стане однаковою ($t_{заг}$). Теплообмін в ізольованій системі описується **рівнянням теплового балансу**:

$$Q_{від} + Q_{отр} = 0 \quad \text{або} \quad |Q_{від}| = Q_{отр} \quad (1)$$

Кількість теплоти, отримана тілом при нагріванні або віддана при охолодженні, пропорційна його масі та зміні температури (в кінці та на початку спостереження), тобто

$$Q = cm \cdot (t_{кінь} - t_{поч}) \quad (2)$$

де Q - кількість теплоти,
 m - маса тіла,
 c - питома теплоємність речовини.

Нехай ми маємо тверде тіло масою m , нагріте до температури $t_1^{\circ}\text{C}$ (це буде початкова температура твердого тіла). Покладемо це тіло в калориметр з водою при температурі $t_2^{\circ}\text{C}$ (початкова температура води й калориметра). У результаті теплообміну в калориметрі встановиться температура теплової рівноваги - $t_{заг}^{\circ}\text{C}$.

Кількість теплоти, віддана нагрітим тілом, буде дорівнювати:

$$Q_{від} = mc(t_{заг} - t_1) \quad \text{або} \quad |Q_{від}| = mc(t_1 - t_{заг}) \quad (3)$$

Кількість теплоти, отримана холодною водою, дорівнює:

$$Q_{отр_1} = m_e c_e (t_{заг} - t_2) \quad (4)$$

Кількість теплоти, отримана калориметром:

$$Q_{отр2} = m_k c_k (t_{заг} - t_2), \quad (5)$$

де $m_в$ і m_k - маса води в калориметрі та маса самого калориметра,

$c_в$ і c_k - питома теплоємність води і матеріалу калориметра.

Підставивши вирази (3), (4) і (5) в (1), отримаємо **рівняння теплового балансу**, яке буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} |Q_{від}| &= Q_{отр1} + Q_{отр2}, \text{ або:} \\ m c (t_1 - t_{заг}) &= m_в c_в (t_{заг} - t_2) + m_k c_k (t_{заг} - t_2) \quad (6) \end{aligned}$$

З рівняння (6) легко визначити невідому **питому теплоємність твердого тіла**:

$$c = \frac{(m_в c_в + m_k c_k) (t_{заг} - t_2)}{m (t_1 - t_{заг})}. \quad (7)$$

При більш точному визначенні питомої теплоємності необхідно врахувати теплоту, затрачену на нагрівання термометра та випромінювання в зовнішнє середовище.

Увага!

Щоб зменшити втрату тепла у зовнішній простір, рекомендується брати початкову температуру води на стільки градусів нижче кімнатної, наскільки приблизно вона буде вищою після змішування.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За допомогою терезів визначте масу досліджуваного тіла m .
2. Помістіть це тіло в нагрівник (металеву посудину з водою) і нагрійте до температури t_1 °С = 70 °С.
3. За допомогою терезів визначте масу внутрішньої посудини калориметра - m_k .
4. Налийте в калориметр холодну воду приблизно на 2/3 його об'єму і визначте загальну масу води й калориметра.
5. Визначте масу води в калориметрі - $m_в$.
6. Визначте початкову температуру води в калориметрі t_2 °С. Температура води, наливої в калориметр, повинна бути нижче кімнатної на 4-5 °С.
7. Визначте температуру t_1 °С досліджуваного тіла всередині нагрівника.
8. Швидко, але обережно, щоб не розбризкати воду, занурте нагріте тіло в калориметр і відсуньте калориметр від нагрівника.

9. Слідкуйте за підвищенням температури. Коли покази термометра перестануть змінюватися, відррахуйте температуру $t_{заг}$ з точністю до $0,5^{\circ}\text{C}$.
10. Визначте питому теплоємність твердого тіла за формулою (7).
11. Обчисліть абсолютну (Δc) та відносну (ε_c) похибки теплоємності за наближеними формулами:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta t}{t_1 - t_{заг}} + \frac{2\Delta t}{t_{заг} - t_2} + \frac{\Delta m_{\beta} c_{\beta} + \Delta m_{\kappa} c_{\kappa}}{m_{\beta} c_{\beta} + m_{\kappa} c_{\kappa}}; \Delta c = \varepsilon_c c.$$

Увага! Абсолютні похибки прямих вимірювань брати рівними половині ціни поділки вимірювальних приладів.

12. Результати вимірювань занесіть до таблиці.

13. Отриманий результат запишіть з абсолютною похибкою у вигляді:
 $C = C \pm \Delta C$; та відносною похибкою: $\varepsilon = \dots\%$.

Таблиця 1. Результати вимірювань

m	Δm	m_{κ}	Δm_{κ}	m_{β}	Δm_{β}	t_1	Δt_1	t_2	Δt_2	$t_{заг}$	$\Delta t_{заг}$

Таблиця 2. Індивідуальні завдання

№ бригади	№ тіла
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається питомою теплоємністю речовини? В яких одиницях вона вимірюється?
2. Що являє собою рівняння теплового балансу? Виведіть з нього робочу формулу.
3. Що таке калориметр? Як він побудований та для чого призначений?
4. Чому температура води в калориметрі до дослідження повинна бути на декілька градусів нижче кімнатної температури?
5. Як у досліді можна зменшити похибку вимірювання?

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

ПСИХРОМЕТРОМ АВГУСТА

Мета роботи: визначити абсолютну та відносну вологість повітря.

Обладнання: психрометр Августа, барометр-анероїд.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИБЛАДУ

У атмосферному повітрі міститься деяка кількість водяної пари. Кількість цієї пари може змінюватись як за абсолютною величиною, так і за ступенем насичення, що характеризується абсолютною і відотною вологістю.

Абсолютна вологість – пружність пари (тиск), яка знаходиться у повітрі.

Відносна вологість характеризує ступінь насичення повітря водяною парою і визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

де: P – пружність водяної пари, яка знаходиться у повітрі при температурі $t^{\circ}\text{C}$ (абсолютна вологість); P_0 – пружність пари, яка насичує простір при температурі $t^{\circ}\text{C}$.

Вологість повітря визначається за допомогою психрометра або за температурою точки роси.

Психрометр Августа, за допомогою якого можна визначити відносну вологість повітря, складається з двох термометрів – одного, змоченого водою, а другого – сухого. Визначення вологості за допомогою такого приладу базується на різниці показів термометрів, яка залежить від швидкості випаровування води в оточуючий простір.

Нехай температура вологого термометра буде $t_1^{\circ}\text{C}$, а сухого, який вимірює температуру повітря – $t_2^{\circ}\text{C}$. Зниження температури зволоженого термометра внаслідок випаровування буде продовжуватись до тих пір, поки не встановиться теплова рівновага, при якій при випаровуванні буде витрачатись стільки тепла, скільки буде його отримано з оточуючого середовища.

Для невеликої різниці температур кількість тепла, отриманого кулькою зволоженого термометра, пропорційна його поверхні S , різниці температур між ним і оточуючим простором $(t_2^{\circ} - t_1^{\circ})$ та часом τ , за який отримано тепло, тобто:

$$Q_1 = cS(t_2^{\circ} - t_1^{\circ})\tau \quad (2)$$

де t_2^0 і t_1^0 – температури сухого та вологого термометрів.

Кількість тепла Q_2 , яка віддається зволоженим термометром, пропорційна швидкості випаровування U і часу τ :

$$Q_2 = kU\tau \quad (3).$$

Швидкість випаровування U залежить від дефіциту вологості оточуючого повітря і його динамічного стану.

Дальтоном була виведена формула, за якою знаходять швидкість випаровування у вільне середовище, яке рівномірно рухається:

$$U = \frac{c_1 S}{H} \cdot (p' - p) \quad (4)$$

де S – площа поверхні, з якої іде випаровування, H – атмосферний тиск в **мм ртутного стовпчика**, p' – пружність насиченої пари при температурі випаровуючої рідини t_1^0 (знаходять у таблиці), p – тиск пари, яка дійсно знаходиться у повітрі (абсолютна вологість), c_1 – коефіцієнт пропорційності, залежний від динамічного стану повітря.

Коли зниження температури змоченого термометра припиняється, кількість тепла, яку віддає кулька термометра, дорівнює кількості тепла, отриманого нею за той же час, тобто:

$$cS(t_2^0 - t_1^0)\tau = \frac{kc_1 S}{H}(p' - p)\tau \quad (5).$$

Звідси:

$$p = p' - \frac{c}{c_1 k} H(t_2^0 - t_1^0) \quad (6)$$

$\frac{c}{c_1 k} = A$ – називається постійною психрометра. Для звичайного типу психрометра Августа:

$$A = 0,0008, \text{ якщо } t_1^0 > 0 \text{ і } A = 0,00069, \text{ якщо } t_1^0 < 0.$$

Таким чином, маємо:

$$p = p' - 0,0008H(t_2^0 - t_1^0), \text{ якщо } t_1^0 > 0 \quad (7)$$

$$p = p' - 0,00069H(t_2^0 - t_1^0), \text{ якщо } t_1^0 < 0$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Змочити марлю, якою обгорнута кулька термометра, водою і поставити під термометр чашечку з водою.
2. Коли рівень ртуті змоченого термометра перестане опускатись, зняти покази термометра t_1^0 і покази сухого термометра t_2^0 ;
3. Знайти по барометру тиск повітря H .
4. Отримані дані підставити у формулу (7) і знайти абсолютну вологість p .
5. Відношення $\frac{p}{p_0}$ є відносна вологість повітря φ . Знайти її та виразити у %.
6. Результати занести до таблиці 1.

Таблиця 1. Результати вимірювань

№ п/п	Температура змоченого термометра t_1^0	Температура сухого термометра t_2^0	p_0	p'	H	p	$\varphi, \%$	$\Delta\varphi$
1.								
2.								
3.								
Сер.								

(p_0 - тиск насиченої пари при температурі сухого термометра t_2^0 ;

p' - тиск насиченої пари при температурі вологого термометра t_1^0).

7. Виконати пункти 1-6 три рази, розрахувати абсолютну похибку вимірювання відносної вологості ($\Delta\varphi$) за формулами:

$$\Delta\varphi_{сер} = \Delta\varphi_{вун} = 1.76\sqrt{\Delta\varphi_1^2 + \Delta\varphi_2^2 + \Delta\varphi_3^2}; \quad \Delta\varphi_i = |\varphi_{сер} - \varphi_i|.$$

Результат записати у вигляді: $\varphi = \varphi_{сер} \pm \Delta\varphi_{сер}$.

8. Знайти значення відносної вологості повітря за психрометричною таблицею ($\varphi_{табл}$) та порівняти з обчисленим значенням. Зробити висновок.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чим характеризується абсолютна вологість?
2. Яка пара називається насиченою?
3. Що називається відносною вологістю?
4. Відобразити залежність тиску насиченої пари від температури.
5. Що називається точкою роси?
6. Чому при 100%–ній відносній вологості покази вологого та сухого термометра не відрізняються?

Таблиця 2. Психрометрична таблиця відносної вологості повітря в %

Покази сухого термометра	Різниця показів сухого і вологого термометрів										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	81	63	45	28	11					
2	100	84	68	51	35	20					
4	100	85	70	56	42	28	14				
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
8	100	87	75	63	51	40	38	18	7		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	
12	100	89	78	68	57	44	38	29	20	11	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	73	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

**Таблиця 3. Тиск насиченої водяної пари при різних температурах,
мм рт. ст.**

$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P
-15	1,24	-8	2,32	-1	4,22	6	7,01	13	11,23	20	17,54
-14	1,36	-7	2,53	0	4,58	7	7,51	14	11,99	21	18,65
-13	1,49	-6	2,76	1	4,93	8	8,05	15	12,79	22	19,83
-12	1,63	-5	3,01	2	5,29	9	8,61	16	13,63	23	21,97
-11	1,78	-4	3,28	3	5,69	10	9,21	17	14,53	24	22,38
-10	1,95	-3	3,57	4	6,10	11	9,84	18	15,48	25	23,76
-9	2,13	-2	3,82	5	6,54	12	10,52	19	16,48	26	25,21

**Місце для розрахунків,
відповідей на контрольні запитання та висновків**

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бушок Г.Ф. , Венгер Є.Ф. Курс фізики: У 3 кн. Кн. 1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика та термодинаміка: Навч. посіб. – К.: Вища школа, 2002. – 375 с.
2. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.: Вища школа, 1987. – 431 с.
3. Савельев И. В. Курс общей физики. Том 1. Механика, колебания и волны, молекулярная фізика. – М.: Наука, 1970. – 511 с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. Пособие: Для вузов. В 5 т. Т.І. Механика. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005. – 560 с.

Книжкове видавництво ПП Вишемирський В.С.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи: серія ХС № 48 від 14.04.2005 р.
видано Управлінням у справах преси та інформації
73000, Україна, м. Херсон, вул. 40 років Жовтня, 138,
тел. (0552) 44-16-37, 8(050) 514-67-88, e-mail: vvs2001@inbox.ru