

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

БІОФІЗИКА

методичні рекомендації

для виконання лабораторних робіт здобувачами першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Технологія виробництва і
переробки продукції тваринництва» спеціальності 204 «Технологія
виробництва і переробки продукції тваринництва», денної та заочної
форм здобуття вищої освіти

Миколаїв

2023

УДК 577.38

Б63

Рекомендовано до друку методичною радою Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету (протокол № 3 від 13.11.2023 р.)

Укладач:

Бацуровська І. В. – д-р. пед. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Ставинський А. А. – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Лимар О. О. – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації та технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2023

ЗМІСТ

Зміст.....	3
ВСТУП	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 Вимірювання фізичних величин та обробка результатів	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника.....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 Визначення модуля Юнга при згині стержня.....	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 Визначення моменту інерції маятника Обербека	23
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 Визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса	29
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 Визначення коефіцієнта поверхневого натягу методом відриву краплі	36
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10 Визначення вологості атмосферного повітря.....	43
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11 Визначення відношення молярних теплоємностей повітря методом адіабатичного розширення.....	49
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12 Вимірювання коефіцієнта лінійного розширення металу.....	56
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13 Визначення опору методом мостової схеми.....	61
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 Визначення магнітного поля колового струму і визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі.	65
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 Внутрішній фотоефект у напівпровідниках	69
ЛІТЕРАТУРА.....	73

ВСТУП

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «БІОФІЗИКА» допоможуть здобувачам вищої освіти у виконанні лабораторних робіт і більш глибокому засвоєнню основних фізичних методів і законів.

Методичні рекомендації поліпшують засвоєння здобувачами вищої освіти навчального матеріалу, сприяють вмінню чітко обробляти данні експериментів, в найбільш доцільній формі представляти отримані результати. Дуже важливо проводити аналіз отриманих результатів, так як, з одного боку це підвищує інформативність вимірювань, а з іншого боку це дозволяє здобувачеві співставити отримані ним дані із табличними, і тим самим оцінити якість своєї роботи, як експериментатора.

Підготовка і виконання лабораторних робіт вимагає від здобувача вищої освіти самостійно опрацювати відповідний лекційний матеріал та довідкову і навчальну літературу. Це сприяє розвитку самостійного мислення і навичок самостійної роботи.

Навички, отримані при виконанні лабораторних робіт, знання та розуміння основних принципів проведення робіт, оцінка отриманих результатів та їх уявлення, будуть корисними, як в засвоєнні інших технічних дисциплін, так і в подальшій трудовій діяльності після закінчення закладу вищої освіти.

Підготовка до виконання робіт. Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен:

- опрацювати інструкцію до роботи, законспектувати її;
- знати мету виконання роботи та основні її завдання;

- усвідомити основні теоретичні положення і закони, на яких базується виконання роботи;
- якщо самостійне опрацювання матеріалу за літературою, вказаною в інструкції виявилось недостатнім для розуміння суті явищ чи процесів, слід звернутися за консультацією до викладача;
- ознайомитись з робочим місцем та обладнанням, яке використовується в процесі виконання роботи;
- якщо спосіб використання окремого обладнання студенту невідомий, то йому потрібно взяти у лаборанта технічну інструкцію до цього обладнання і опрацювати її;
- рівень роботи студента з обладнанням оцінює лаборант;
- чітко розмежувати величини, які слід виміряти в ході виконання роботи і величини, які будуть обчислені;
- знати порядок виконання роботи та послідовність операцій;
- підготувати таблиці для запису результатів вимірювань і обрахунків, а також папір для побудови графіків.

Виконання лабораторних робіт та вимоги техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт слід дотримуватись таких правил:

Дотримуватись розпорядку роботи в лабораторії і правил техніки безпеки, з якими студенти ознайомлені на вступному занятті та при допуску до виконання роботи.

Без перевірки викладачем або лаборантом готовності до дії установки і електричної схеми не можна починати вимірювання, щоб не зіпсувати прилади.

Не можна брати без дозволу прилади з інших робочих місць.

Якщо в процесі виконання роботи виникають неполадки в роботі приладів або обладнання, про це слід негайно повідомити керівника

заняття і лаборанта. Самостійно налагоджувати роботу приладів не дозволяється.

Будьте обережні, в роботах використовується висока напруга.

Результати вимірювань занести до таблиці, заздалегідь продумавши їх форму, якщо вона не вказана в інструкції.

Вимірювання кожної величини проводити не менше трьох разів, щоб звести до мінімуму похибки.

Після закінчення експерименту, не розбираючи пристрою, слід обчислити кінцеві результати; якщо вони не задовільні, треба заново провести вимірювання.

Обговорити з керівником занять чи лаборантом отримані результати. Вони підписуються викладачем або лаборантом.

При захисті лабораторних робіт студент подає короткий письмовий звіт з результатами вимірювань, обчисленими величинами та побудованими графіками, висновками. В процесі захисту він повинен відповісти на поставлені керівником занять питання стосовно лабораторної роботи чи окремих її частин.

Рекомендується в кінці заняття звітувати за попередньо виконані лабораторні роботи.

Якщо студент не захистив більше трьох виконаних лабораторних робіт, він може бути не допущений до виконання наступних.

Вимоги до оформлення графіків. При побудові графіків слід дотримуватись таких правил:

- Графік повинен мати назву – залежність між якими величинами він показує.
- Позначити осі координат і одиниці вимірювання величин.

- Вибрати раціональний масштаб осей (прямий однаковий, прямий різний, обернений, логарифмічний, напівлогарифмічний, квадратичний тощо). Вибраний масштаб повинен на графіку зобразити залежність досліджуваних величин прямою лінією. Якщо в роботі вибір масштабу не вказано, зробіть це самі.

- Вказати мічені (оцифровані) та глухі (неоцифровані) поділки шкал.

- Графік повинен займати всю площу малюнка.

- Лінія графіка повинна усереднювати визначені величини в межах похибок.

Обробка результатів експерименту. Обробка результатів експерименту (лабораторна робота) зводиться до обчислень фізичних величин за допомогою робочих формул, визначенню похибок, оформленню отриманих результатів у вигляді графіків або таблиць та аналізу експериментальних даних.

Мета фізичного експерименту заключається в більшості випадків в тому, щоб отримати дану числову величину, і тому точність при обчисленнях також важлива, як і при вимірюваннях.

Визначення похибки при прямих вимірюваннях. Якщо величина X виміряна n разів в однакових умовах, то при цьому ми отримаємо ряд близьких значень величини X_i . Різні значення величини X_i пояснюються тим, що при її вимірюваннях були допущені випадкові похибки. Так як випадкові похибки, як це вказувалось, носять статистичний характер (тобто відхилення в більшу і меншу сторону рівновірогідні), тобто найбільш близьким до

істинного значення вимірюваної величини, буде середнє арифметичне результатів всіх вимірювань, виключаючи грубі похибки:

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_i^n X_i}{n}.$$

Очевидно, що чим більше буде виконано вимірювань, тим точніше буде співпадати середнє арифметичне значення з істинним значенням даної величини. Так як істинне значення X_i вимірюваної величини в багатьох випадках невідомо, то за цю величину приймається середнє арифметичне результатів окремих вимірювань. За абсолютну похибку окремих вимірювань приймається різниця між середнім арифметичним значенням і виміряним значенням величини

$$X_{ист} = X_{cp} \quad \Delta X_i = |X_{cp} - X_i|$$

Вирахувана таким чином сума похибок, рівна нулю з точністю до округлення середнього арифметичного. Тому за середню абсолютну похибку вимірювання приймається величина, яка рівна середньому арифметичному значенню із абсолютних величин всіх похибок вимірювань, тобто:

$$\Delta X_{cp} = \frac{|\Delta X_1| + |\Delta X_2| + \dots + |\Delta X_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_i^n |\Delta X_i|$$

Згідно теорії вірогідності, дійсне значення величини X_i буде лежати в межах $X_{cp} \pm \Delta X_{cp}$ з вірогідністю 64%, при числі вимірювань менше 4. Якщо число вимірювань $n=4$, то вірогідність співпадання $X_{cp} \pm \Delta X_{cp}$ з істинним значенням дорівнює 90%, а при $n=9$ ця вірогідність зростає до 98%.

Значення абсолютної похибки дозволяє вказати границі, в яких з визначеною вірогідністю лежить шукана величина.

Кінцевий результат прямого вимірювання фізичної величини записується у вигляді $X = X_{cp} \pm \Delta X_{cp}$.

Відношення середньої абсолютної похибки вимірювань до значення дійсної величини називається відносною похибкою

вимірювання E , яка виражається у відсотках $E = \frac{\Delta X_{cp}}{X_{cp}} \cdot 100\%$.

Відносна похибка дозволяє оцінити ступінь точності отриманого результату і показує величину похибки (у відсотках), допущеної при вимірюванні.

Очевидно, що середнє арифметичне значення шуканої величини X_{cp} , потрібно округляти до того розряду, що і абсолютну похибку, а відносна похибка завжди вираховується не менше ніж з двома означаючими цифрами.

В деяких випадках неможливо повторити пряме вимірювання дійсної величини декілька раз. Тоді вимірювання проводять тільки один раз, а абсолютну похибку визначають або по класу точності приладу, або приймаючи за абсолютну похибку половину ціни найменшої поділки шкали приладу, так як при вимірюваннях не можна помилитися більш, ніж на половину поділки.

На кінець відмітимо, що якщо похибка, визначена по середньому значенню, менша, ніж похибка визначена по класу точності, або ціни найменшої поділки, то за абсолютну похибку в цьому випадку приймається похибка, рівна найбільшій із цих трьох величин.

Оформлення результатів. Результати експерименту (лабораторної роботи) показується у вигляді таблиці або графіка, або дається кінцевий результат значення шуканої фізичної величини із зазначенням абсолютної та відносної похибки вимірювання. Найбільш інформативним способом показу результатів є графічний спосіб.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вимірювання фізичних величин та обробка результатів

Теоретичні відомості та необхідні матеріали:

Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з фізики
“Вимірювання фізичних величин та обробка результатів”.

Порядок виконання роботи

Самостійно пропрацювати матеріал методичних рекомендацій
засвоївши основні поняття:

1. Вимірювання фізичних величин
2. Визначення помилки вимірювань
 - 2.1. Визначення помилки при прямих вимірюваннях
 - 2.2. Визначення помилки при непрямих вимірюваннях
3. Обробка результатів експерименту
 - 3.1. Обчислення
 - 3.2. Оформлення результатів.

На аркушах формату А4 оформити лабораторну роботу давши відповіді на наступні контрольні питання.

Контрольні питання

1. *Фізична величина*
2. *Розмір фізичної величини*
3. *Значенням фізичної величини.*
4. *Одиниця фізичної величини*
5. *Істинне значення фізичної величини*
6. *Дійсне значення фізичної величини*
7. *Системні одиниці*
8. *Позасистемні одиниці*

9. Прямі вимірювання
10. Непрямі вимірювання
11. Формули обчислення середнього значення
12. Формули обчислення абсолютної похибки
13. Формули обчислення середньої абсолютної похибки
14. Формули обчислення відносної похибки
15. Побудувати графік з відображенням на горизонтальній осі незалежної змінної яку задає сам експериментатор, а по вертикальній осі – ту величину, яку він при цьому вимірює, тобто наслідок досліду.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника

Необхідні прилади та матеріали:

1. Математичний маятник
2. Секундомір
3. Штангенциркуль

I. Теоретичні відомості

Тіло, розмірами якого можна знехтувати і вважати його матеріальною точкою, підвішене на гнучкій невагомій нитці, що не розтягується, називається *математичним маятником*.

В рівновазі нитка маятника розташована вертикально. Якщо маятник відхилити від положення рівноваги на малий кут α , то складова ваги $P_n = P \cos \alpha$, що спрямована вздовж нитки врівноважується силою реакції нитки. Складова ж $P_t = P \sin \alpha$ перпендикулярна нитці, буде намагатися повернути

маятник в положення рівноваги вона називається вертаючою силою (рис.1).

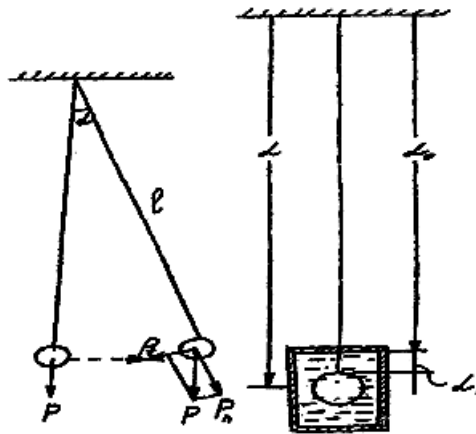


Рисунок 1. Геометричні параметри математичного маятника

При відсутності тертя, а також опору повітря ця сила буде єдиною, що викликає прискорення. Згідно другого закону Ньютона:

$$ma = P \sin \alpha \quad (1)$$

при малих відхиленнях не більше $5^\circ - 10^\circ$

$$\sin \alpha = \alpha = \frac{S}{l}.$$

Тоді замінивши P на mg отримаємо $ma = -mg\alpha$ звідки

$$a = -g \frac{S}{l} \quad (2)$$

Отже при невеликих зміщеннях сила $P_t = mg \sin \alpha$ є квазіупругою. Рух тіла під дією квазіупругої сили представляє собою гармонічні коливання

З теорії гармонічних коливань відомо, що прискорення

$$a = -\omega^2 S ; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu , \quad (3)$$

де ω - *циклічна частота*- яка визначає число коливань за 2π с, S – зміщення, T – час за який процес коливання повторюється, називається *періодом*, ν – *частота* – кількість коливань за одиницю часу.

З (2) та (3) визначаємо

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (4)$$

звідки

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (5)$$

Співвідношення (4) може бути використане для визначення прискорення вільного падіння g . Прискорення вільного падіння g постійне для кожної точки і не залежить від маси тіла, але змінюється зі зміною географічних координат та висоти над рівнем моря. Найбільше значення g має на полюсі ($9,83216 \text{ м/с}^2$), найменше на екваторі ($9,78030 \text{ м/с}^2$).

У зв'язку з тим, що практично не можна створити математичний маятник, для визначення прискорення вільного падіння використовують фізичний маятник.

Фізичним маятником називають тверде тіло, що виконує коливання навколо горизонтальної осі, що не проходить через центр тяжіння тіла.

Якщо знехтувати опором повітря, то у випадку малих значень формула (4) може бути застосована і до фізичного маятника з умовою, що під величиною l слід розуміти так звану приведену довжину фізичного маятника. Приведеною довжиною фізичного маятника називається довжина такого математичного маятника, що коливається синхронно з даним фізичним маятником.

II. Дослідна установка

Дослідна установка являє собою металеву кулю, підвішену на довгій тонкій нитці, що зверху нерухомо закріплена. Нехтуючи вагою нитки та її деформацією, можна вважати, що центр тяжіння такого маятника співпадає з центром тяжіння кулі, а відстань від точки де закріплена нитка до центру кулі дорівнює приведеній довжині маятника.

Для збудження коливань маятник відхиляють від положення рівноваги приблизно на $5^\circ - 10^\circ$, при цьому нитка повинна бути паралельна стінці і відпускають кулю.

III. Порядок проведення роботи

Для визначення прискорення сили тяжіння необхідно виміряти відстань l від центра кулі до місця кріплення та визначити період коливань T маятника.

1. Штангенциркулем вимірюють діаметр D кульки та довжину маятника. Довжина маятника

$$l = l_0 + l_1 + \frac{D}{2}, \quad (6)$$

де l_0 – відстань від точки кріплення на стінці до місця кріплення нитки на кульці;

l_1 – відстань від місця кріплення нитки на кульці до поверхні кульки;

Вимірювання l та D необхідно робити не менше ніж три рази і взяти середні значення.

2. Для зменшення похибки при вимірюванні періоду коливання маятника секундоміром вимірюють час, під час якого маятник робить (20, 30, 40, 50) повних коливань, які робить маятник.

Після кількох повних коливань, коли кулька досягне крайнього правого положення, пускають секундомір і одночасно вимовляють голосно слово "нуль". Коли кулька знову повернеться в крайнє праве положення рахують "раз" і т.д. доки маятник не зробить потрібну (задану) кількість повних коливань, секундомір зупиняють.

Відрахунок по секундоміру, поділений на число коливань дозволяє отримати величину періоду коливання маятника з точністю в сто разів більшою ніж точність його безпосереднього вимірювання.

Визначення тривалості кількості коливань маятника необхідно виконати щонайменше три рази.

Дані усіх вимірювань записують у таблицю:

T – період коливань маятника знаходиться за формулою

$$T = \frac{t}{N}, \quad (7)$$

де t – час за який відбувається N – повних коливань

Прискорення вільного падіння знаходиться із формули періоду математичного маятника (4)

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot l, \quad (8)$$

№	$l(\text{м})$	N	$t(\text{с})$	$T(\text{с})$	$g \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right]$	$g_{\text{ср}} \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right]$	$\Delta g \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right]$	$\Delta g_{\text{ср}} \left[\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right]$
1								
2								
3								
4								
5								

Розраховують відносну та абсолютну похибку і записують кінцевий результат у вигляді:

$$g = (g_{\text{ср}} \pm \Delta g_{\text{ср}}) \text{ м/с}^2$$

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон Всесвітнього тяжіння та поясніть фізичний зміст гравітаційної сталої.
2. Поясніть різницю між вагою і силою тяжіння.
3. Запишіть залежність прискорення вільного падіння від висоти над поверхнею Землі та географічної широти місця.

4. Дати визначення прискорення вільного падіння.
5. Дати визначення періоду та частоті коливань.
6. Від яких величин залежить повна енергія гармонічних коливань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Визначення модуля Юнга при згині стержня

Необхідні прилади та матеріали:

1. Прилад для визначення модуль пружності
2. Індикатор
3. Мікрометр
4. Масштабна лінійка

I. Теоретичні відомості

Аморфними називаються тіла, фізичні якості яких однакові по всіх напрямках. Прикладами аморфних тіл виступають шматки твердої смоли, бурштин (янтар), вироби із скла. Аморфні тіла є *ізотропними* тілами. Ізотропність фізичних якостей аморфних тіл пояснюється хаотичністю розташування їх атомів та молекул.

Тверді тіла, в яких атоми чи молекули розташовані упорядковано і створюють структуру, яка періодично повторюється називаються *кристалами*. Фізичні властивості кристалічних тіл не однакові в різних напрямках, але співпадають в паралельних напрямках. Ця властивість кристалів називається *анізотропністю*. Кристал повареної солі при роздробленні дробиться на частини, що обмежені плоскими поверхнями, що перетинаються під прямими кутами. Ці площини перпендикулярні особливим напрямкам зразка, по цим напрямкам його міцність мінімальна.

Модуль пружності можна визначити також згинаючи тверде тіло. Якщо стержень прямокутного або круглого перерізу покласти горизонтально на ребра двох опорних призм і навантажити його посередині, то стержень прогнеться, причому його середня точка буде мати найбільше зміщення f (див. рис.4). Це зміщення характеризує деформацію згину і називається стрілою прогину.

Згин стержня викликає деформацію стиску в верхньому і деформацію розтягу в нижньому шарі стержня (рис.4).

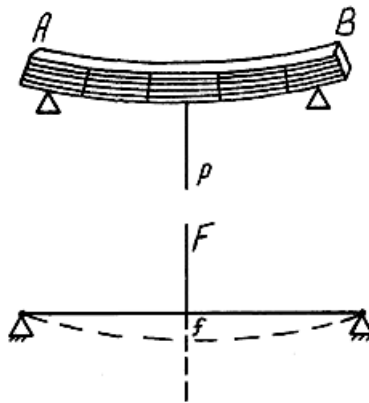


Рисунок 2. Демонстраційний стержень для згину

В зв'язку з тим, що розтяг і стиснення характеризується модулем Юнга, згин також залежить від цієї величин. Теорія дає наступну формулу для стріли прогину стержня з прямокутним поперечним перерізом.

$$f = \frac{FL^3}{Ebh^3}, \quad (1)$$

де F – сила, що прикладена до середини стержня;

L – відстань між опорними призмами;

b – ширина поперечного перерізу стержня;

h – висота поперечного перерізу стержня;

E – модуль Юнга.

З (1) отримаємо

$$E = \frac{FL^3}{fbh^3} \quad (2)$$

Перевага цього метода визначення модуля Юнга перед попереднім полягає в тому, що порівняно малі вантажі викликають помітний прогин, завдяки чому величина деформації може бути виміряна з великою точністю.

II. Будова приладу

Прилад (рис.5) складається з призматичних опор O та O_1 , що закріплені на металевій станині та індикатора з допомогою якого вимірюють стрілу прогину. Ребра призм обернені до верху і паралельні одна одній.

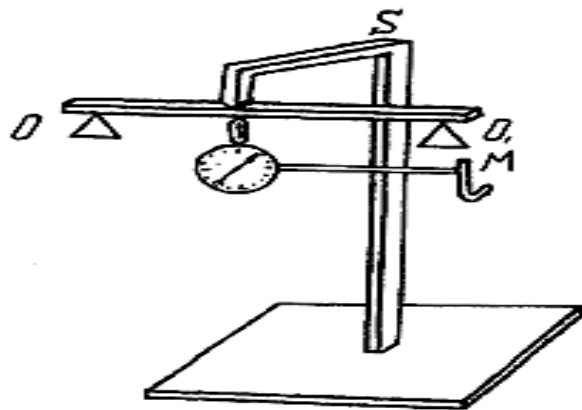


Рисунок 3. Прилад для вимірювання

На них кладуть досліджуваній стержень. Посередині стержня підвішують скобу S , що має призму з гострим опорним ребром і пристосуванням для накладання тягарців (чашка). Штифт індикатора торкається досліджуваного стержня в точці під опорним ребром призми.

III. Порядок виконання роботи

1. З допомогою масштабної лінійки вимірюють відстань L між ребрами опорних призм 0 та 0_1 .

2. За допомогою мікрометра вимірюють ширину b та висоту h стержня.

3. Кладуть досліджуваний стержень на опорні призми так, щоб він був перпендикулярний їх ребрам. Підвішують скобу посередині між опорними призмами 0 та 0_1 .

4. Переміщуючи муфту M , встановлюють індикатор так, щоб його штифт уперся в стержень під ребром призми скоби. При цьому стрілка індикатора повернеться на кілька поділок, що засвідчує про відсутність щілини між штифтом індикатора і досліджуваним стержнем. Перед дослідом встановлюють індикатор на 0 .

5. Покласти на чашку скоби тягарці кожний з яких 5Н і визначити величину деформації $f_{нав}$ за допомогою індикатора. Навантаження довести до 25Н , а потім в зворотному порядку проводити розвантаження, кожен раз знімаючи тягарці і визначаючи величину деформації індикатора $f_{розв}$. Визначити середню величину деформації прогину $f_{сер}$, при навантаженні і розвантаженні за формулою:
$$f_{сер} = \frac{f_{нав} + f_{розв}}{2}$$

6. Побудувати графік залежності F від f при навантаженні і розвантаженні (вони практично зливаються в одну пряму лінію, що проходить через початок координат, оскільки при вказаних навантаженнях, деформація згину є пружною).

7. Обчислити значення модуля Юнга за формулою:

$$E = \frac{F}{f_{сер}} \frac{l^3}{bh^3}$$

8. Отриманні данні записують в таблицю

Таблиця

№ п.п	F, Н	$f_{нав}$, м	$f_{розв}$, м	$f_{сер}$, м	E, Н/м ²	$E_{сер}$, Н/м ²	ΔE , Н/м ²	$\Delta E_{сер}$, Н/м ²	L, м	b, м	h, м
1											
2											
3											
4											
5											

9. Знайти середнє значення модуля пружності $E_{сер}$ з усіх дослідів і обчислити абсолютні похибки ΔE .

Кінцевий результат записати у вигляді:

$$E = (E_{сер} \pm \Delta E_{сер}) \frac{H}{M^2}$$

Контрольні питання

1. Дати визначення сили пружності.
2. Перелічити відомі види деформації та дати їх визначення.
3. Записати формули для визначення абсолютної та відносної деформацій.
4. Записати та сформулювати закон Гука.
5. Розкрити фізичний зміст модуля Юнга.
6. Накреслити діаграму розтягу і вказати точки, що відповідають границям пружності і міцності. Вказати границі виконання закону Гука і границі пластичних деформацій.
7. Дати визначення абсолютної, відносної, пружної і не пружної та залишкової деформації.

8. Пояснити відмінності в пружних властивостях пластичних і крихких, а також аморфних і кристалічних тіл.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Визначення моменту інерції маятника Обербека

Необхідні прилади та матеріали:

1. Маятник Обербека
2. Масштабна лінійка
3. Секундомір
4. Штангенциркуль

I. Теоретичні відомості

Моментом інерції матеріальної точки відносно деякої осі є добуток маси цієї точки на квадрат відстані від її осі обертання.

$$\vec{I}_i = m_i \vec{r}_i^2$$

Момент інерції – величина адитивна: *момент інерції тіла* відносно деякої осі дорівнює сумі моментів інерції усіх точок цього тіла відносно даної осі, тобто:

$$\vec{I}_n = \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i^2 \quad (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$$

Рівняння динаміки обертального руху твердого тіла дає змогу стверджувати що результуючий момент сил прикладених до твердого тіла дорівнює добутку моменту інерції твердого тіла на кутове прискорення, яке отримує тверде тіло під дією результуючого моменту сил.

$$\vec{M} = \vec{I} \cdot \vec{\varepsilon} .$$

Так як $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$, то цей закон може мати вигляд:

$$\vec{M} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

В обертовому русі твердого тіла момент інерції відіграє таку ж саму роль, як маса в поступальному русі.

Наприклад: *кінетична енергія* для поступального руху $E = \frac{m \cdot v^2}{2}$,

для обертового руху $E = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$,

де ω – кутова швидкість.

Кутова швидкість ω -це фізична величина, яка показує як змінився кут повороту радіус вектора за одиницю часу: $\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}$ [рад/с], а

кутове прискорення ε – це фізична величина, яка показує як змінилась кутова швидкість матеріальної точки за одиницю часу: $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$ [рад/с²].

Момент кількості руху твердого тіла – добуток моменту інерції твердого тіла на кутову швидкість:

$$\vec{L} = I \vec{\omega} \quad [\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{рад/с}]$$

Закон збереження моменту кількості руху твердого тіла: сума моментів кількості руху тіл до взаємодії дорівнює сумі моментів кількості руху – після взаємодії.

$$\vec{L}_1 + \vec{L}_2 + \vec{L}_3 + \dots = \vec{L}'_1 + \vec{L}'_2 + \vec{L}'_3 + \dots = \text{const}$$

Момент інерції тіла відносно різних осей має різні значення. Згідно теореми Штейнера, момент інерції тіла відносно довільної осі AA^1 дорівнює сумі моменту інерції I_c відносно OO^1 паралельній осі AA^1 і яка

проходить через центр тяжіння тіла, та добутку маси тіла m на квадрат відстані l між осями (рис.4).

$$I_a = I_c + ml^2 \quad (1)$$

II. Конструкція маятника Обербека та методи вимірювання

Маятник Обербека (рис.4) має хрестовину зі шківом, що може обертатися навколо горизонтальної осі O . На стержнях, що створюють хрестовину насаджено чотири однакових тягарця, кожний з яких має масу m .

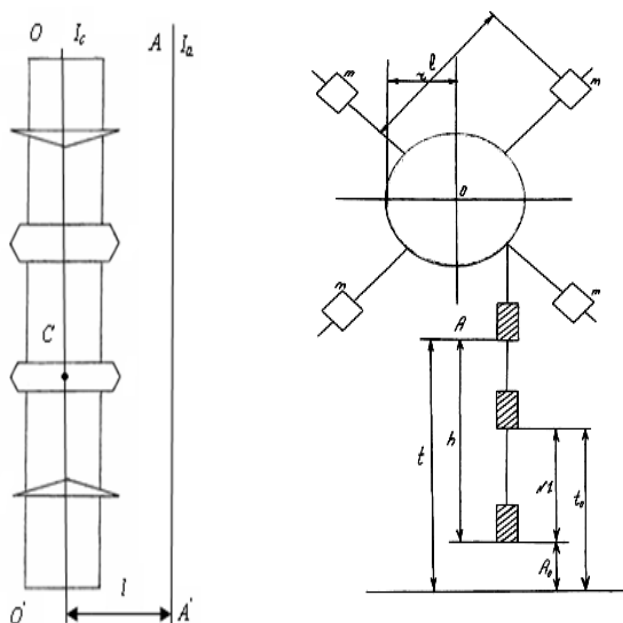


Рисунок 4. Маятник Обербека

Відстань від центра тяжіння кожного тягарця до осі обертання O дорівнює l .

На шків намотана нитка з закріпленим на її кінці вантажем $P = mg$, падіння якого викликає обертання хрестовини з тягарцями.

Момент інерції цілої системи відносно осі обертання O дорівнює:

$$I = I_1 + I_2, \quad (2)$$

де I_1 – момент інерції хрестовини відносно осі обертання.

I_2 – момент інерції тягарців відносно цієї осі.

Тому що розміри тягарців m значно менше l , то величиною I_c (тобто моментом інерції тягарців m відносно осі, що проходить через його власний центр тяжіння) можна знехтувати в порівнянні з величиною ml^2 . В такому наближенні $I_2 = 4ml^2$. Якщо не враховувати роботу витрачену на переборення сил тертя, і виходити з того, що спочатку маятник Обербека знаходився в спокої, то з закону збереження енергії маємо що:

$$mgh = \frac{I_0 \omega^2}{2} + \frac{mV^2}{2},$$

де ω – кутова швидкість, h – висота підйому вантажу P

Вантаж P падає рівноприскорено, тому $h = \frac{at^2}{2}$,

де a – величина прискорення, t – час падіння вантажу

$$\text{Кутова швидкість } \omega = \frac{V}{r} = \frac{at}{r},$$

де V – лінійна швидкість точок на колі шківа радіусом r звідси

$$\omega = \frac{2h}{rt}. \text{ Отримуємо з формули (2)}$$

$$I_0 = mr^2 \left(\frac{gt}{2h} - 1 \right) \quad (3)$$

Отже, момент інерції I_0 усієї системи визначається шляхом вимірювання радіуса шківа r , висоти h і часу падіння вантажу t .

Тому що важливу роль при обертанні маятника Обербека відіграє тертя, то необхідно урахувати роботу сил тертя.

Закон збереження енергії з урахуванням роботи сили тертя $F_{\text{тр}}$

$$mgh = \frac{I_0 \omega^2}{2} + \frac{mV^2}{2} + F_{mp} \cdot h \quad (4)$$

Після того, як вантаж P знизиться на відстань h і потенціальна енергія вантажу перейде в кінетичну енергію обертання маятника, вантаж знову почне підніматися завдяки намотуванню нитки на шків за рахунок енергії обертання маятника. Таким чином, згідно закону збереження енергії з урахуванням роботи сили тертя, вантаж P підніметься тільки до висоти h , $(h_1 + h)$.

Враховуючи, що частина енергії витрачається на роботу сили тертя і переходить в тепло, то при підйомі вантажу P :

$$\frac{mV^2}{2} + \frac{I_0 \omega^2}{2} = mgh + F_{mp} \cdot h \quad (5)$$

З формули (4) та формули (5) отримаємо:

$$F_{mp} = mg \frac{h - h_1}{h + h_1} \quad (6)$$

Використовуючи формули (6) та формулу (4) отримаємо формулу для моменту інерції маятника Обербека з урахуванням роботи сили тертя:

$$I_0 = mr^2 \left[\frac{gt^2 \cdot h_1}{h(h + h_1)} - 1 \right] \quad (7)$$

Якщо знехтувати тертям, то $h = h_1$ і формула (7) перетворюється в формулу (3).

II. Порядок виконання роботи.

1. Штангенциркулем вимірюють d шківа.
- 2.3 допомогою масштабної лінійки вимірюють відстань. h_0 між нижньою поверхнею вантажу і підлогою при повністю розкрученій нитці. Потім, обертаючи хрестовину, піднімають вантаж P на висоту

h і знову роблять відлік з допомогою масштабної лінійки з точністю до 1мм.

3. Вимірюють час падіння вантажу P з висоти h , вмикаючи секундомір одночасно з початком обертання хрестовини і вимикаючи його при максимальному зниженні вантажу.

Після вимикання секундоміра слідкують за підйомом вантажу P і відмічають з допомогою масштабної лінійки максимальну висоту підйому h_0 . Ці вимірювання роблять 3 рази і записують результати у таблицю:

№ п/п	Табличні і задані данні			Результати прямих вимірювань			
	$g, \text{ м/с}^2$	$m, \text{ кг}$	$4m_1, \text{ кг}$	$h, \text{ м}$	$t, \text{ с}$	$d, \text{ м}$	$r, \text{ м}$
Результати у непрямих вимірювань							
№ п/п.	$a, \text{ м/с}^2$	$\varepsilon, \text{ рад/с}^2$	$I_0, \text{ кг м}^2$	$I, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$	$I_{\text{сер}}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$	$\Delta I, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$	$\Delta I_{\text{сер}}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$

4. Оформити звіт, провести обчислення моменту інерції та обчислити абсолютну та відносну похибки, кінцевий результат записати у вигляді:

$$I = (I_{\text{сп}} \pm \Delta I_{\text{сп}}) \text{ кг/м}^2$$

Контрольні питання

1. Сформулювати визначення моментів інерції матеріальної точки та тіла довільної форми; пояснити фізичний зміст моменту інерції.

2. Сформулювати і записати рівняння динаміки обертального руху твердого тіла.
3. Дати визначення кутових швидкості та прискорення.
4. Записати формулу кінетичної енергії тіла, що обертається.
5. Що називається моментом кількості руху твердого тіла?
6. Сформулювати закон збереження моменту кількості руху.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса

Мета роботи:

1. Вивчити механізм виникнення сил внутрішнього тертя.
2. Визначити коефіцієнт внутрішнього тертя за швидкістю падіння кульки.

Обладнання:

1. Скляний циліндр заповнений рідиною.
2. Секундомір.
3. Мікрометр.
4. Міліметрова лінійка.
5. Свинцеві кульки.

Теоретичні дані

Ідеальна рідина це рідина без тертя. Всім реальним рідинам і газам в більшій чи меншій мірі властива в'язкість або внутрішнє тертя. В'язкість проявляється в тому, що після припинення причин виникнення руху в рідині або газі, що його викликали, поступово припиняється.

Рух рідини, при якому шари рідини ковзають один відносно одною без виникнення завихрень називається *ламінарним*. Властивість

рідини створювати опір переміщенню одного, шару відносно другого називається *в'язкістю*, або *внутрішнім тертям*.

Механізм виникнення сил внутрішнього тертя: в'язкість виникає тому, що на границі розподілу двох шарів рідини, що рухаються в одному напрямку, але з різними швидкостями, діє сила, яка намагається зрівняти швидкість обох шарів. Ця сила, обумовлена переносом кількості руху з одного шару в інший, завдяки тепловому руху молекул, і називається силою в'язкості.

Згідно закону Ньютона сила в'язкості (внутрішнього тертя), що зумовлює рух шарів рідини один відносно другого, пропорційна коефіцієнтові в'язкості, площі шарів, по якому відбувається рух, та градієнту швидкості течії.

Формула Ньютона для сили в'язкості (внутрішнього тертя) у випадку одномірного руху ($V = V(x)$) дорівнює

$$F = \pm \eta S \frac{dv}{dx}, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт в'язкості, або динамічна в'язкість,

S – площа взаємодії шарів рідини, що рухаються,

$\frac{dv}{dx}$ – градієнт швидкості руху молекул вздовж вісі Ox , який

перпендикулярний границі розподілу шарів рідини.

Відношення $\frac{dv}{dx} = \frac{\Delta V}{\Delta x}$ показує зміну швидкості при переході від шару до шару в напрямі x , перпендикулярному до напрямку руху шарів, називається градієнтом швидкості.

$$\Delta V = V_2 - V_1,$$

де V_2, V_1 – швидкості шарів, Δx – відстань між шарами,

знак \pm у формулі (1) відповідає гальмуючій і прискорюючій силам.

Коефіцієнт пропорційності, який залежить від природи і стану рідини називається коефіцієнтом в'язкості або внутрішнього тертя.

В'язкість виражається в паскаль-секундах (Па·с): один паскаль-секунда дорівнює коефіцієнту динамічної в'язкості середовища, в якому при ламінарній течії і градієнті швидкості з модулем, що дорівнює 1м/с на 1м, виникає сила внутрішнього тертя в один ньютон на 1м² поверхні дотику шарів. (Па·с=1Н·с/м²).

Фізичний зміст коефіцієнта в'язкості η : коефіцієнт в'язкості чисельно дорівнює силі внутрішнього тертя, що виникає на межі двох шарів одиничної площі при градієнті швидкості рівному одиниці.

Коефіцієнт в'язкості залежить від роду рідини і від температури. З підвищенням температури рідини він зменшується, так як при цьому збільшується середня відстань між молекулами, і відповідно зменшується зв'язок між ними.

При русі тіла у в'язкому середовищі з малими швидкостями на нього діє сила в'язкості тому, що тіло яке рухається в рідині захоплює прилеглі до нього шари і тому зазнає опір з боку рідини

$$F = -\mu V , \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт опору середовища, зв'язаний з коефіцієнтом в'язкості.
 V – швидкість відносного руху.

При малих швидкостях руху тіла, рух рідини відносно нього можна рахувати ламінарним і коефіцієнт опору в цьому випадку залежить від розмірів тіла та коефіцієнта в'язкості закон Стокса.

Коли кулька рухається в рідині на неї діють три сили: це сила тяжіння F_T , сила тертя $F_{тр}$ і архімедова сила F_A (виштовхувальна) рис.5.

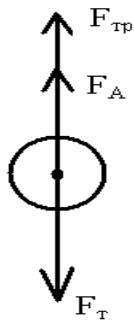


Рисунок 5. Прикладені до тіла сили

Згідно другого закону Ньютона векторна сума всіх прикладених до тіла сил чисельно дорівнює добутку маси тіла на його прискорення:

$$\overline{ma} = \overline{F}_T + \overline{F}_{TP} + \overline{F}_A, \text{ при рівномірному русі } a=0,$$

відповідно $0 = \overline{F}_T + \overline{F}_{TP} + \overline{F}_A$. Спроектуємо

вектори сили на вісь ОУ:

$$0 = -F_T + F_{TP} + F_A.$$

Отже умова для рівномірного руху кульки в рідині:

$$F_T = F_{TP} + F_A$$

Закон Стокса: для тіл шароподібної форми, які рухаються з невеликими швидкостями, сила опору рідини F пропорційна швидкості, радіусу кулі і коефіцієнту в'язкості.

$$F = 6\pi\eta Vr$$

Метод вимірювання та опис установки.

В даній роботі для визначення коефіцієнта в'язкості рідини використовують метод Стокса. Він базується на вимірюванні швидкості падіння кульки малого розміру в досліджуваній рідині.

Стокс вирахував коефіцієнт опору середовища, що входить в формулу (2):

$$\mu = 6 \cdot \pi r \eta, \tag{3}$$

де r – радіус кульки,

η – коефіцієнт в'язкості середовища (динамічна в'язкість).

Підставивши μ в формулу (2), отримаємо значення сили опору середовища, що діє на кульку радіусом r , яка рухається з швидкістю V в рідині з коефіцієнтом в'язкості η :

$$F = 6\pi r \eta V \quad (4)$$

Таким чином, можна визначити коефіцієнт в'язкості

$$\eta = \frac{F}{6\pi r V} \quad (5)$$

якщо відомі F , r , V .

Силу F знаходимо наступним способом.

При падінні кульки в рідині на неї діють три сили: сила тяжіння, сила в'язкості F і виштовхувальна сила (згідно закону Архімеда). Ці сили направлені по вертикалі: сила тяжіння – до низу, архімедова сила і сила в'язкості – догори. Кулька, що падає в рідині, спочатку рухається прискорено, тому що сила тяжіння більша за рівнодіючу сил, що направлені догори. З збільшенням швидкості падіння зростає величина сили в'язкості F , тому настає такий момент, коли рівнодіюча всіх сил стає рівною нулю, і кулька починає рухатися рівномірно.

В цьому випадку: $F_T = F_A + F_{\text{вяз}}$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_2 g - 6\pi \eta V r = 0, \quad (6)$$

де ρ_1 – густина речовини кульки,

ρ_2 – густина досліджуваної рідини,

g – прискорення сили тяжіння.

На рис. 6 зображена установка, що представляє собою високий скляний циліндр, на поверхні якого є дві горизонтальні риски m і n . Циліндр наповнено досліджуваною рідиною. Рівень рідини в циліндрі повинен бути вище риски m .

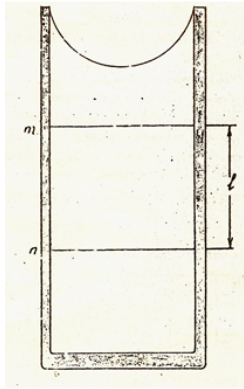


Рисунок 6. Циліндр, що наповнено досліджуваною рідиною

Якщо виконується умова (6), то швидкість руху кульки

$$V = \frac{l}{t}, \quad (7)$$

де l – відстань між рисками m і n на циліндрі (див. рис.6) , t – час, за який кулька проходить цю відстань.

Виходячи з (5), (6) і (7) отримуємо:

$$\eta = \frac{F}{6\pi r v} = \frac{2}{9} r^2 \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{l} g t \quad (8)$$

$$\eta = \frac{1}{18} g \frac{d^2 t}{l} (\rho_1 - \rho_2), \quad (9)$$

де $d = 2r$, $\rho_2 = 11,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\rho_1 = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Хід роботи

1. Виміряти відстань l між мітками „m” та „n” циліндричній посудини, що наповнена рідиною (гліцерин, касторове масло).
2. Мікрометром виміряти діаметр d трьох кульок (приблизно однакових).
3. Кидати кульку в рідину таким чином, щоб вона рухалась вздовж центральної частини циліндра; зафіксувати час падіння кульки t між мітками „m” та „n”

4. Результати прямих вимірювань d , l , t та табличні дані ρ_1, ρ_2, g занести у таблицю.

5. Обчислити значення η за формулою (9) для кожного вимірювання, а потім знайти $\eta_{сер}$, $\Delta\eta$, $\Delta\eta_{сер}$.

6. Кінцевий результат подати у вигляді:

$$\eta = (\eta_{сер} \pm \Delta\eta_{сер}) [Па \cdot с]$$

№п/п	Табличні дані			Результати прямих вимірювань			Результати непрямих вимірювань			
	$\rho_1, [кг/м^3]$	$\rho_2, [кг/м^3]$	$g, [м/с^2]$	$l, м$	$d, м$	$t, с$	$\eta, Па \cdot с$	$\eta_{сер}, Па \cdot с$	$\Delta\eta, Па \cdot с$	$\Delta\eta_{сер}, Па \cdot с$

Контрольні питання

1. Поясніть механізм виникнення сил внутрішнього тертя.
2. Сформулюйте і запишіть закон внутрішнього тертя (закон Ньютона).
3. Що називається градієнтом швидкості?
4. Що називається коефіцієнтом внутрішнього тертя? В яких одиницях він вимірюється? Який його фізичний зміст?
5. При яких умовах кулька рухається в рідині рівномірно?
6. Сформулюйте і запишіть закон Стокса.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Визначення коефіцієнта поверхневого натягу методом відриву краплі

Мета роботи: вивчити явище поверхневого натягу та визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідині.

Прилади та обладнання :

1. Скляна бюретка з краном.
2. Колбочка.
3. Технічні терези з різновагами .
4. Мікрометр.

Теоретичні дані

Поверхневі явища спостерігаються на межі розподілу двох фаз, наприклад, рідини і її насиченої пари, рідини, і твердого тіла, двох рідин, що не змішуються. Поверхневі явища відіграють важливу роль в таких процесах, як збагачення руд з допомогою флотації, поглинання шкідливих газів і пари, отримання стійких емульсій та ін.

Поверхня межі різко відрізняється своїми фізико-хімічними властивостями від обох граничних фаз.

Розглянемо поверхню межі газ – рідина. Молекули в рідинах розташовані на відстані, що відповідають мінімальному значенню енергії взаємодії. На таких відстанях молекули інтенсивно взаємодіють. Сили взаємодії залежать від природи молекул і значно відрізняються по величині для різних рідин. Тепловий рух молекул рідини суттєво відрізняється від теплового руху молекул газу. Середні відстані між молекулами близькі до рівноважних. Це означає, що молекули коливаються біля положення рівноваги, але в зв'язку з хаотичністю теплового руху, амплітуда коливань сусідніх молекул

різна і час від часу настільки, що деякі молекули перескакують в нове положення рівноваги і починають здійснювати коливання навколо нового положення рівноваги. Таким чином молекула мандрує по всьому об'єму рідини.

На молекулу, що знаходиться всередині рідини (рис.7, положення I), діють сили взаємного тяжіння з боку всіх оточуючих її молекул. Рівнодіюча цих сил в положенні I:

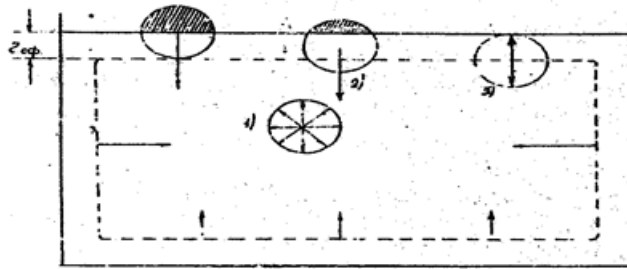


Рисунок 7. Сили, що діють на молекулу в рідині

дорівнює нулю і для переміщення молекули всередині рідини не потрібно виконувати роботу. Сили міжмолекулярного зв'язку діють тільки на дуже близьких відстанях, тому на молекулу діє сила тільки з боку її найближчих сусідів.

Для молекул, розташованих по поверхні (рис 7. положення II, III) не всі сили молекулярного притягнення будуть скомпенсовані. Це пояснюється тим, що в газовій фазі (пар над рідиною) молекули розташовані одна від одної на великих відстанях, діючі між ними сили міжмолекулярної взаємодії надзвичайно малі і на молекули на поверхні діють сили тільки з боку молекул рідини. Отже, всі молекули, що знаходяться на відстані від поверхні, що розділяє фази, менше радіуса дії молекулярних сил, відчувають притягнення з боку молекул своєї фази. Для них рівнодіюча молекулярних сил не дорівнює нулю і направлена всередину рідини.

Результуюча всіх сил молекулярного притягання діючих на одиницю поверхні, називається молекулярним або внутрішнім тиском. Це саме той тиск, який потрібно було б додати ззовні, для того щоб зберегти об'єм рідини незмінним, якщо б зникло взаємне притягнення молекул. Внутрішній тиск у води – 15000 атм., у бінзола – 4000 атм.

Під дією не скомпенсованих молекулярних сил молекули з поверхневого шару намагаються перейти до середини рідкої фази. Перехід молекул з поверхні в об'єм означає скорочення вільної поверхні рідини. Таким чином, рідина під дією внутрішніх сил намагається зменшити вільну поверхню, якщо цьому не заважають інші сили. Так, наприклад, невеликі краплі туману мають форму сфери, тому що сфера має найменшу поверхню при заданому об'ємі.

Для того, щоб збільшити вільну поверхню рідини, потрібно виконати роботу тим більшу, чим більше приріст поверхні. Тобто

$$\Delta A = \sigma \cdot \Delta S, \quad (1)$$

де σ – коефіцієнт пропорційності, що називається коефіцієнтом поверхневого натягу, чи просто поверхневим натягом.

Очевидно, що

$$\sigma = \frac{\Delta A}{\Delta S} \quad (2)$$

Фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу. При $\Delta S = 1$, $\sigma \approx \Delta A$ коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює роботі, яку потрібно виконати для збільшення поверхні рідини на одиницю. В системі СІ поверхневий натяг вимірюється в Дж/м² чи Н/м.

Коли під дією сил молекулярного притягання молекули переходять у середину рідини, поверхня скорочується. При цьому

мікроскопічна картина сил, що діють на кожну окрему молекулу, буде досить складною. *Результуюча дії сил, що направлені до середини рідини, еквівалентна дії деякої сили, перпендикулярної до контура, що обмежує поверхню рідини і направлена по дотичній до поверхні рідини називається силою поверхневого натягу.* Якщо при скороченні поверхні ребро контуру зміщується на величину dx , то при цьому силою поверхневого натягу здійснюється робота

$$dA = F \cdot dx \quad (3)$$

Сили молекулярного притягання здійснюють за той час роботу

$$dA = \sigma \cdot dS, \quad (4)$$

де dS – зміна поверхні, яку можна представити як добуток $l \cdot dx$,

де l – довжина контуру, що обмежує поверхню. Порівнявши ці вирази отримаємо $\sigma l \cdot dx = F \cdot dx$

Звідси

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (5)$$

при $l = 1$, $\sigma = F$. Отже, можливо дати і друге визначення коефіцієнта поверхневого натягу: *коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює силі поверхневого натягу, що діє на одиницю довжини контуру, яка обмежує поверхню.*

Величина поверхневого натягу σ залежить від природи рідини та умов в яких вона знаходиться, зокрема від температури. Тому, щоб визначити σ , необхідно зафіксувати температуру при якій були зроблені вимірювання.

Напружений стан поверхневого шару рідини називається *поверхневим натягом*; цей стан визвано силами щеплення між молекулами цього шару.

Під *силою поверхневого натягу* F розуміють суму сил притягання, що діють на контур, який обмежує поверхню рідини.

$$F = \sigma \cdot l$$

Капілярні явища в процесах обробітку ґрунту:

На безструктурних, розпилених ґрунтах ранньовесняне боронування необхідне, оскільки капілярні щілини в них зберігаються до повного висихання ґрунту.

2. Метод вимірювання

При відриві краплі, що витікає з трубки, на неї діють дві сили: вага краплі P і рівнодіюча всіх сил поверхневого натягу F , що прикладені до лінії розриву 1 (рис 8).

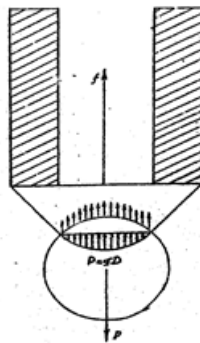


Рисунок 8. Процес відриву краплі, що витікає з трубки

Якщо сила поверхневого натягу більша, ваги краплі, крапля не відірветься. При збільшенні розмірів краплі її вага збільшується і тоді, коли вага краплі стає рівною результуючій сил поверхневого натягу, тобто при $P = F$, крапля відірветься. Таким чином, для визначення сили поверхневого натягу досить визначити вагу краплі, що відірвалася. Для

цього визначають масу великого числа краплин і розраховують масу однієї краплі по формулі

$$m = \frac{M}{n},$$

де m – маса краплі, n – число крапель, M – маса, n кількості крапель.

Вага однієї краплі $P = mg$ дорівнює силі поверхневого натягу F .

У відповідності з формулою (5) коефіцієнт поверхневого натягу знаходять за формулою

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{mg}{\pi d}, \quad (6)$$

де d – діаметр краплі в момент відриву,

m - маса цієї краплі.

3. Опис обладнання

Скляний посуд, закріплений на штативі, що має кран для зміни швидкості витікання рідини. В нижній частині посуду знаходиться капіляр.

4. Хід роботи

1. На технічних терезах з точністю до 1,0 мг зважити порожню колбочку для визначення маси M_0 .

2. Підставити під капілярну трубку порожню колбочку і при відкритому крані наливають воду в воронку. Промити обладнання, слідкуючи за тим, щоб в трубці не утворювалися бульбашки повітря.

3. Закрити кран скляної бюретки заповненої водою. Користуючись краном змінити швидкість витікання води, намагаючись, щоб за хвилину відривалось не більше 8 – 10 крапель. Коли режим

витікання буде встановлено, підставити колбочку, вага якої M_0 , і відрахувати кількість крапель задану викладачем.

4. Визначити масу M колбочки з краплями води.
5. Визначити з допомогою мікрометра діаметр капілярної трубки d .
6. Дослід повторити 3 рази.
7. Результати вимірювань занести в таблицю:

N_0 n/n	n , шт	M_0 , кг	M_1 , кг	$M=M_1-M_0$, кг	d , м	σ , Н/м	$\sigma_{ср}$, Н/м	$\Delta\sigma$, Н/м	$\Delta\sigma_{ср}$, Н/м
1.									
2.									
3.									

8. Поверхневий натяг обчислити за формулою:

$$\sigma = \frac{Mg}{n\pi d}$$

9. Обчислити абсолютну та відносну похибки, кінцевий результат записують у вигляді:

$$\sigma = (\sigma_{ср} \pm \Delta\sigma_{ср}) Н/м$$

Контрольні питання

1. Які особливості відрізняють поверхневу плівку рідини від усїєї іншої маси рідини?
2. Що таке внутрішній тиск рідини? Чим від обумовлений ?
3. Що називають силою поверхневого натягу?
4. Який фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу? В яких одиницях він вимірюється?
5. Вказати сили, що діють на краплю?
6. Як використовують капілярні явища в процесах обробітку ґрунту?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Визначення вологості атмосферного повітря

Мета роботи: Визначити абсолютну і відносну вологість повітря психрометром Августа.

Обладнання: психрометр Августа, колба з дистильованою водою, таблиця тиску насиченої водяної пари при різних температурах.

Теоретичні дані

Завдяки випаровуванню води з відкритих поверхонь та з листків рослинності в повітрі атмосфери завжди знаходиться деяка кількість водяних парів. В залежності від їх кількості повітря, в тій чи іншій мірі є вологим.

Вологість одна з важливих характеристик погоди та клімату. Вона має велике значення при багатьох технологічних процесах, в будівництві, зберіганні творів мистецтва, літератури, сільському господарстві.

Вологість поділяється на абсолютну та відносну.

Абсолютна вологість «e» визначається кількістю водяних парів (в грамах), що містяться в 1 м^3 повітря або пружністю (парціальний тиском) водяної пари.

Відотною вологістю повітря «r» є відношення абсолютної вологості до кількості водяної пари, яка насичує 1 м^3 повітря при даній температурі.

Водяну пару, яка знаходиться в динамічній рівновазі з рідиною називають насиченою. Стан при якому число молекул, які покидають рідину, дорівнює числу молекул, які повертаються до неї називається динамічною рівновагою.

Водяну пару, яка не знаходиться в динамічній рівновазі з рідиною називають ненасиченою.

Густина та пружність насиченої пари збільшується при підвищенні температури.

В метеорології відносною вологістю називають величину, яка вимірюється відношенням парціального тиску водяної пари, яка знаходиться в повітрі, до тиску водяної пари, яка насичує повітря при тій же температурі.

Парціальний тиск – це тиск який мав би газ, якщо всі інші гази були б витіснені з цього об'єму.

Відносна вологість повітря залежить не тільки від температури, а і від абсолютної вологості.

Якщо кількість водяної пари в повітрі не змінюється, то з пониженням температури відносна вологість підвищується, так як, чим нижче температура, тим ближче водяна пара до насичення.

Відносна вологість повітря визначається за формулою

$$r = \frac{e}{E} \times 100\% \quad (1)$$

Вологість повітря вимірюється психрометрами та гігрометрами.

Рівняння Больцмана: $p=nkT$ показує на пряму залежність тиску від температури $p \sim T$. Зі збільшенням температури збільшується амплітуда коливання молекул, міжмолекулярна відстань і відповідно сумарна кількість ударів на стінки посудини (тиск). Отже зі збільшенням температури збільшується і тиск.

Будова та принцип дії приладу

Психрометр Августа, що використовується в даній роботі, складається з двох однакових ртутних термометрів 1 і 2, закріплених з

спеціальній оправі 9. Резервуар кожного термометра захищено двома трубками 3 і 4 з повітряним проміжком між ними. Цей захист разом з повітряним шаром захищає резервуари від нагрівання сонцем, для чого зовнішню поверхню трубок зроблено блискучими. Трубки 3 і 4 з'єднані з головним повітря проводом 5, що знаходиться між термометрами і з'єднується верхнім кінцем з аспіратором С. В аспіраторі є вентилятор, для обертання якого використовується механізм, пружина якого заводиться ключем 8. Цей механізм закритий ковпаком.

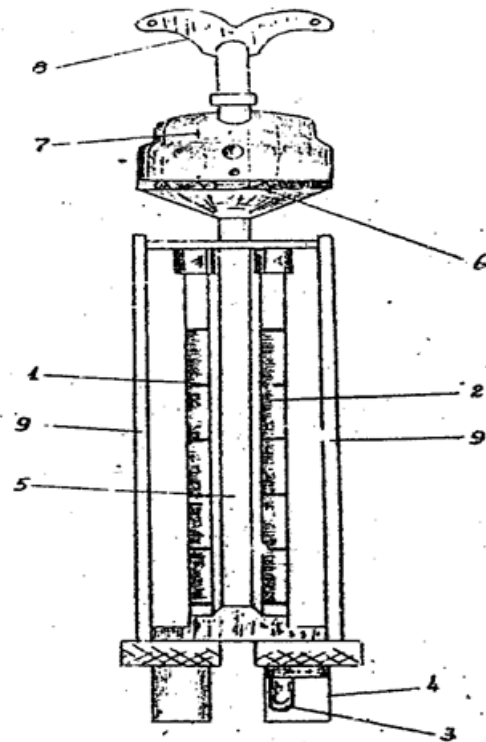


Рисунок 9. психрометр Августа

Резервуар правого термометра загорнено клаптиком тканини в один шар. Перед роботою тканина змочується дистильованою водою. Потім за допомогою ключа 8 приводиться в дію вентилятор, який втягує в прилад повітря, що обтікає резервуари обох термометрів. Це робиться для того, щоб забезпечити вимірювання вологості як найбільшого об'єму повітря.

Завдяки затратам тепла на випаровування води з тканини, в яку загорнено резервуар термометра 2, цей термометр показує температуру t_2 , більш низьку, ніж температура t_1 , сухого термометра 1, що показує температуру навколишнього повітря. Чим менша вологість тим інтенсивніше випаровування і нижче показники "вологого" термометра. Таким чином, різниця температур "сухого" і "вологого" термометрів характеризує вологість повітря. Температура "вологого" термометра перестає знижуватись, коли кількість тепла Q_1 що іде на випаровування води з поверхні тканини за деякий час, дорівнює притоку тепла Q_2 , з зовні за цей час. Згідно закону Ньютона

$$Q_1 = \lambda \times (t_1^0 - t_2^0)ST, \quad (2)$$

де S – поверхня резервуара "вологого" термометра;

λ – коефіцієнт пропорційності, що залежить від властивості поверхні. Кількість тепла Q_2 пропорційна швидкості V та часу T випаровування

$$Q_2 = bVT,$$

де b – коефіцієнт пропорційності.

Дальтон вивів формулу для швидкості випаровування

$$V = \frac{bk}{H}S(E' - e)$$

де E' – пружність насиченого пару при температурі навколишнього середовища;

e – пружність пару, що міститься в повітрі;

H – атмосферний тиск;

k – коефіцієнт пропорційності.

$$Q_2 = \frac{bk}{H} \times S(E' - e)T \quad (3)$$

Прирівнюючи Q_1 і Q_2 отримуємо:

$$e = E' - A \cdot H(t_1^0 - t_2^0) \quad (4)$$

Величина A називається психрометричною сталою, і залежить від швидкості руху повітря, що протікає навколо "вологого" резервуару термометра. Для психрометра Августа $A = 0,0008$ $^1/\text{град}$.

3. ХІД РОБОТИ

1. Змочити тканину на резервуарі 2. для цього правий термометр занурити в колбочку з водою на 20 с.
2. Обережно, щоб не зірвати пружину, завести вентилятор.
3. На четвертій хвилині, після пуску вентилятора, зафіксувати температуру на правому термометрі.
4. Пружині вентилятора дати повністю розкритися, після чого дослід повторити.
5. Вимірювання t_2 необхідно зробити не менше 3-х разів, і результати занести в таблицю:

№	t_1^0 С	t_2 °С	$t_1 - t_2$ °С	E' , Па	H , Па	E , Па	e , Па	$e_{\text{сер}}$ Па	Δe , Па	$\Delta e_{\text{сер}}$ Па	r , %	$r_{\text{сер}}$, %	Δr , %	$\Delta r_{\text{сер}}$, %
1.														
2.														
3.														

Значення E і E' беруть із таблиці в кінці роботи. (E відповідає температурі t_2 , а E' температурі навколишнього повітря t_1). При користуванні таблицею значення E та E' перерахувати в системі СІ, тобто в Па.

Щоб перевести величини E' і E з мм.рт.ст. у Па необхідно скористатись пропорцією, врахувавши що 1 мм.рт.ст. = 133,3 Па та таблицею 1.

Таблиця 1

Тиск і густина насиченого пару при різних температурах. Тиск вимірюється в мм. рт. ст. Густина вимірюється в г/м³

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>e</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>e</i>
-30	0,28	0,33	0	4,63	4,84	30	31,82	30,3
-29	0,31	0,37	1	4,93	5,22	31	33,70	32,1
-28	0,35	0,41	2	5,29	5,60	32	35,66	33,9
-27	0,38	0,46	3	5,69	5,98	33	37,73	35,7
-26	0,43	0,51	4	6,10	6,40	34	39,90	39,6
-25	0,47	0,55	5	6,54	6,84	35	42,18	40,6
-24	0,52	0,60	6	7,01	7,3	36	44,56	41,8
-23	0,58	0,66	7	7,51	7,3	37	47,07	44,0
-22	0,64	0,78	8	8,05	8,3	38	49,69	46,3
-21	0,7	0,80	9	80,61	8,8	39	52,44	48,7
-20	0,77	0,88	10	9,21	9,1	40	55,32	51,2
-19	0,85	0,96	11	9,84	10,0	45	71,88	65,4
-18	0,94	1,05	12	10,52	10,7	50	92,5	88,0
-17	0,03	1,15	13	11,23	11,4	55	118,0	104,3
-16	1,13	1,27	14	11,98	12,1	60	149,4	130
-15	1,24	1,38	15	12,79	12,8	65	187,5	161
-14	1,30	1,51	16	13,63	13,6	70	233,7	198
-13	1,49	1,65	17	14,53	14,5	75	289,1	242
-12	1,63	1,80	18	15,48	15,4	80	366,1	293
-11	1,78	1,96	19	16,48	16,3	85	433,6	354
-10	1,95	2,14	20	17,54	17,3	90	525,8	424
-9	2,13	2,33	21	18,65	18,3	95	633,9	505
-8	2,32	2,54	22	19,83	19,4	100	760,0	598
-7	2,53	2,76	23	21,07	20,6	-	-	-
-6	2,76	2,99	24	22,38	21,8	-	-	-
-5	3,01	3,24	25	23,76	23,0	-	-	-
-4	3,28	3,51	26	25,21	24,4	-	-	-
-3	3,57	3,84	27	26,74	25,8	-	-	-
-2	3,88	4,13	28	28,35	27,2	-	-	-
-1	4,22	4,47	29	30,04	28,7	-	-	-

6. Величину e визначити за формулою (4). Кінцевий результат для пружності водяних парів записати у вигляді:

$$e = (e_{сер} \pm \Delta e_{сер}) \text{ Па}$$

7. Відносну вологість визначити за формулою (1). Кінцевий результат записати у вигляді:

$$r = (r_{сер} \pm \Delta r_{сер}), (\%)$$

Контрольні питання

1. Дати визначення абсолютної вологості. Записати формулу для її визначення.

2. Дати визначення відносної вологості. Записати формулу для її визначення.

3. Як залежить тиск водяної пари від температури? Записати формулу Больцмана.

4. Який пар називається насиченим, ненасиченим?

5. Який тиск називають парціальним тиском водяної пари? В яких одиницях він вимірюється?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

Визначення відношення молярних теплоємностей повітря методом адіабатичного розширення

Мета роботи: визначити відношення молярних теплоємностей повітря методом адіабатичного розширення.

Обладнання: установка для визначення коефіцієнта Пуассона газу методом адіабатичного розширення c_p / c_v .

Теоретичні дані

Властивості реальних газів, в тому числі повітря, при невеликому тиску і не дуже низьких температурах, близькі до ідеального газу.

З точки зору молекулярно - кінетичної теорії *ідеальним газом* називається газ, що складається з молекул, які можна вважати матеріальними точками, потенціальною енергією взаємодії таких молекул можна знехтувати і взаємодію молекул можна розглядати як зіткнення пружних куль.

Ідеального газу в природі не існує. Існують тільки реальні гази. Реальний газ можна вважати ідеальним при низьких тисках і невеликих температурах.

Стан ідеального газу описується рівнянням Менделєєва-Клапейрона

$$PV = \frac{m}{M} RT, \quad (1)$$

де P – тиск газу, V – його об'єм, T – температура газу, m – маса газу, M – молярна маса, яка дорівнює масі одного моля речовини і в СІ вимірюється у кілограмах на моль у мінус першому степені.

Об'єм одного моля ідеального газу при норм, умовах ($p = 760$ мм рт. ст. = $101,325$ кПа, $t=0^{\circ}\text{C}$) дорівнює $0,0224\text{м}^3$ /Моль; $R = 8,314510$ Дж/(моль К). R – універсальна газова стала.

Фізичний зміст універсальної газової сталої: універсальна газова стала R чисельно дорівнює роботі розширення 1 моля ідеального газу при ізобарному нагріванні його на 1К.

Процес, що відбувається при сталій величині одного з параметрів газу називають *ізопроцесом*.

Процес, що відбувається при постійному тиску називають *ізобарним* (Закон Гей-Люссака)

$$P = \text{const} , m = \text{const} , \frac{V}{T} = \text{const} \quad (2)$$

Процес, що відбувається при постійному об'ємі – *ізохорним* (Закон Шарля)

$$V = \text{const} , m = \text{const} , \frac{P}{T} = \text{const} \quad (3)$$

Процес, що відбувається при постійній температурі називається *ізотермічним* і описується рівнянням Бойля – Маріотта.

$$T = \text{const} , m = \text{const} , PV = \text{const} \quad (4)$$

Процес, що відбувається без теплообміну між газом і навколишнім середовищем, називається *адіабатичним* і описується рівнянням Пуассона

$$PV^\gamma = \text{const} , \quad (5)$$

де постійна для кожного стану газу величина $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, *коефіцієнт*

Пуассона, є відношення молярної теплоємності газу при ізобарному процесі, до молярної теплоємності газу при ізохорному процесі.

Молярна теплоємність газу вимірюється кількістю теплоти, що необхідна для нагрівання одного моля газу на один Кельвін і залежить від умов нагрівання.

$C_p > C_v$ тому, що кількість тепла яка надається при ізобарному процесі іде не тільки на збільшення внутрішньої енергії газу, а і на виконання роботи проти зовнішніх сил в процесі розширення. При цьому

$$C_p = C_v + R , \quad (6)$$

де R – універсальна газова стала.

Цей вираз називають формулою Майєра.

З молекулярно – кінетичної теорії відома формула для визначення C_V і C_P для ідеального газу.

$$C_V = \frac{i}{2}R, \quad C_P = \frac{i+2}{2}R, \quad (7)$$

де i – число ступенів вільності молекули ідеального газу.

Числом ступенів вільності молекули є число мінімальної кількості координат, що повністю визначають положення молекули в просторі.

Для одноатомного газу $i = 3$; для двоатомного $i = 5$; для трьохатомного і багатоатомного $i=6$.

Якщо відомо відношення $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{2}$, то необхідність в експериментальному визначенні C_V відпадає і тоді C_V знаходиться по формулі 7.

В даній лабораторній роботі визначається коефіцієнт Пуассона γ для повітря.

Фізичний зміст методу адіабатного розширення полягає в тому, що при адіабатному розширенні зменшення тиску зумовлене не тільки збільшенням його об'єму, а й зменшенням температури.

Метод вимірювання і опис установки

На рис.10 зображена установка визначення коефіцієнта Пуассона γ . При закритому крані А повітря в сифоні займає його об'єм V при атмосферному тиску H . За допомогою компресора нагнітають деяку кількість повітря у сифон. Тиск у сифоні підвищується, збільшується його температура. Відкривають кран А, при цьому рідина у манометрі змінює свій рівень. Після закриття крану А знаходять різницю рівнів

рідини h в манометрі. Відкривши кран A , випускають частину повітря поки тиск в сифоні не зрівняється з атмосферним, після чого кран закривають.

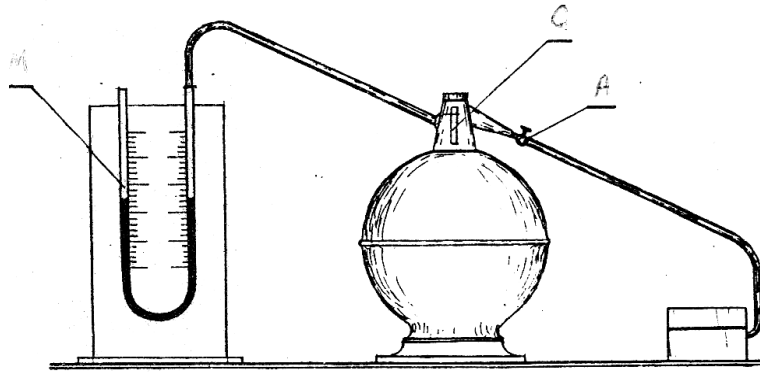


Рисунок 10. Установка для визначення відношення

Так як вирівнювання тиску проходить досить швидко, теплообміном з навколишнім середовищем можливо знехтувати і рахувати процес адіабатичним.

Газ масою m_m , що залишився в сифоні, займає об'єм сифона V_2 при атмосферному тиску H і температурі $t_2^0 \leq t_1^0$

До відкриття крану A в сифоні знаходилось більше повітря, тому повітря масою m займало об'єм $V_1 < V_2$ при тиску $H+h$, і кімнатній температурі t_1 .

Параметри газу масою m до відкриття крану A зв'язані з параметрами газу при відкритому крані A рівнянням Пуассона

$$(H + h_1) \cdot v_1^\gamma = H \cdot v_1^\gamma \quad (8)$$

Після деякого часу температура повітря в сифоні внаслідок теплообміну знову стане рівною t_1 і тиск з підвищенням температури зросте до $H+h_2$ - різниця рівнів в манометрі. По закону Бойля – Маріота ($t_1=t_2$)

$$(H + h_1) \cdot V_1 = (H + h_2) \cdot V_2 \quad (9)$$

$$(H + h_1)^\gamma \cdot V_1^\gamma = (H + h_2)^\gamma \cdot V_2^\gamma \quad (10)$$

Поділимо почлено (10) на (9)

$$\frac{(H + h_1)^\gamma \cdot V_1^\gamma}{(H + h_1) \cdot V_1^\gamma} = \frac{(H + h_2)^\gamma \cdot V_2^\gamma}{H \cdot V_2^\gamma}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Прологарифмуємо обидві частини одержаного рівняння

$$\gamma \cdot \ln(H + h_1) - \ln(H + h_1) \cdot V_1^\gamma = \gamma \cdot \ln(H + h_2) - \ln(H) \quad (11)$$

Якщо тиски H , $H + h_1$ і $H + h_2$ ненабагато відрізняються один від одного, то різниці їх логарифмів приблизно пропорційні різницям тисків:

$$\gamma = \frac{(H + h_1) - H}{(H + h_1) - (H + h_2)} = \frac{h_1}{(h_1 - h_2)} \quad (12)$$

$$\gamma = \frac{h_1}{(h_1 - h_2)} \quad (13)$$

Хід роботи

1. Для подачі повітря у сифон необхідно включити компресор і через деякий час, приблизно через 20 с, відкрити клапан, натиснувши ручку сифона.
2. Зафіксувати різницю рівнів рідини в манометрі відпустивши ручку сифона і зняти покази h_1 яке відповідає цій різниці.
3. Для сполучення сифона з атмосферою необхідно роз'єднавши трубку яка підведена до компресора, натиснути на ручку сифона на 1-2 секунди і знову відпустити.
4. Під'єднати трубку до сифона і після встановлення рівня рідини в манометрі, зняти показники h_2 яке відповідає цій різниці.
5. Дослід-повторити 3 рази. Дані внести до робочої таблиці:

№ п/п	h_1	h_2	γ	$\gamma_{сер.}$	$\Delta\gamma$	$\Delta\gamma_{сер.}$
1						
2						
3						

6. Значення γ знаходиться за формулою (13) для кожного досліду окремо.

7. Знайти похибку для кожного досліду, кінцевий результат записати у вигляді: $\gamma = \gamma_{сер.} \pm \Delta\gamma_{сер.}$

Контрольні питання

1. Який газ називається ідеальним? При яких умовах реальний газ можна вважати ідеальним?
2. Записати і пояснити рівняння Менделєєва – Клапейрона.
3. Який фізичний зміст універсальної газової сталої?
4. Який процес називається адіабатичним? Який вид має рівняння Пуассона?
5. Який процес називається ізобарним, ізохорним, ізотермічним? Рівняння що їх характеризують.
6. Що називається молярною теплоємністю газу?
7. Записати формулу Майера. Пояснити, чому $C_p > C_v$?
8. Пояснити фізичний зміст методу адіабатичного розширення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

Вимірювання коефіцієнта лінійного розширення металу

Мета роботи: визначити опір не нагрітого і нагрітого металевого дроту, та його видовження при нагріванні та коефіцієнт лінійного видовження.

Прилади і обладнання: ніхромовий дріт (Nх 90 %, Сг 10 %), джерело постійного струму, вольтметр, амперметр, пружина, шкала для вимірювання довжини дроту.

Теоретичні дані

Дослід показує, що з підвищенням температури відбувається розширення твердих тіл, і це явище має назву теплового розширення або видовження. Для характеристики цього явища використовуються коефіцієнти лінійного та об'ємного розширення. Нехай l_0 – довжина тіла при температурі 0°C . Видовження цього тіла Δl при нагріванні, його до температури $t^\circ\text{C}$ пропорційне початковій довжині l_0 і $t^\circ\text{C}$ температурі.

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot t^\circ\text{C},$$

де α – коефіцієнт лінійного видовження, що характеризує відносне видовження Δl , яке відбувається при нагріванні тіла на 1 К. Звідки довжина тіла при температурі $t^\circ\text{C}$.

$$l = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \alpha t^\circ\text{C})$$

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0 t} \quad (1)$$

Теплове видовження більшості твердих тіл дуже незначне, тому довжина l_0 при 0°C майже не відрізняється від довжини l при іншій температурі, наприклад кімнатній. Тому в формулі коефіцієнта

лінійного розширенні (1) величину l_0 можна замінити на l_1 , а величину l на довжину l_2 при температурі, яка значно більша ніж t_1 .

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

Причиною видовження твердих тіл при нагріванні є збільшення амплітуди теплових коливань атомів. До поняття про коливання атомів твердого тіла можна дійти шляхом аналізу природи міжатомних сил. Положення рівноваги атомів визначається з умови рівності сил притягання і відштовхування, діючих на атом.

В рівновазі потенціальна енергія твердого тіла повинна бути мінімальна. На рис. 11 показана залежність потенціальної енергії взаємодії сусідніх атомів.

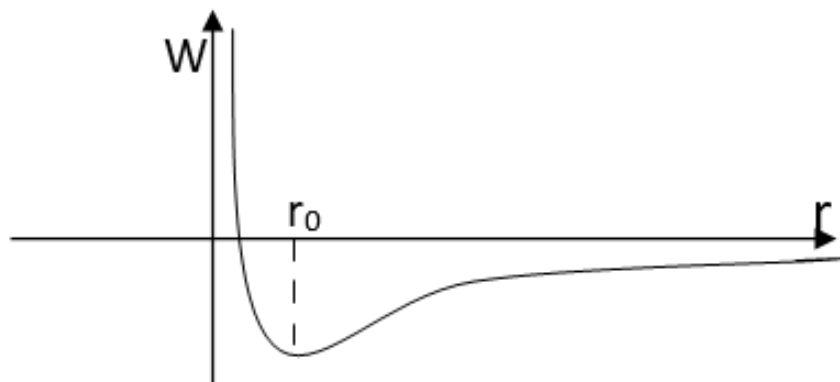


Рисунок 11. Залежність потенціальної енергії атома від відстані між атомами (У стані рівноваги в твердому тілі відстані між атомами відповідають мінімальній енергії).

При більших міжатомних відстанях (тобто при більшому об'ємі, в якому знаходяться атоми) потенціальна енергія умовно приймається рівною нулю, оскільки за цих умов атоми не взаємодіють один з одним. В міру зменшення відстані між атомами потенціальна енергія зменшується. Таке зменшення цілком очевидне, так як тверді тіла існують і за відсутності зовнішніх стискаючих сил, і такому стану

повинен відповідати мінімум потенціальної енергії. При досягненні деякої відстані r_0 потенціальна енергія швидко зростає із зменшенням r , що пов'язано з наявністю короткодійчих сил відштовхування.

Зміна розмірів твердих тіл пов'язана з відмінністю в законі сил притягання і відштовхування при зміщенні атомів з положення рівноваги. Крива потенціальної енергії має асиметричний вигляд, відносно вертикальної лінії, що проходить через положення рівноваги. При зближенні атомів енергія сил відштовхування звичайно зростає швидше, ніж енергія сил притягання за відповідного зміщення атомів. Із збільшенням амплітуди теплових коливань атомів в кристалі мінімальна відстань змінюється мало, а максимальна може досить сильно збільшитися. Таким чином при нагріванні відбувається збільшення середньої відстані між атомами, тобто розширення тіла.

Метод вимірювання і опис установки

Схема лабораторної установки наведена на рис. 6.

Ніхромовий дріт 1 закріплено між клемми 2,3, причому клемма 3 з'єднана з розтягуючою пружиною 4. По дроту проходить постійний струм. Сила струму I вимірюється амперметром А, а напруга U – вольтметром.

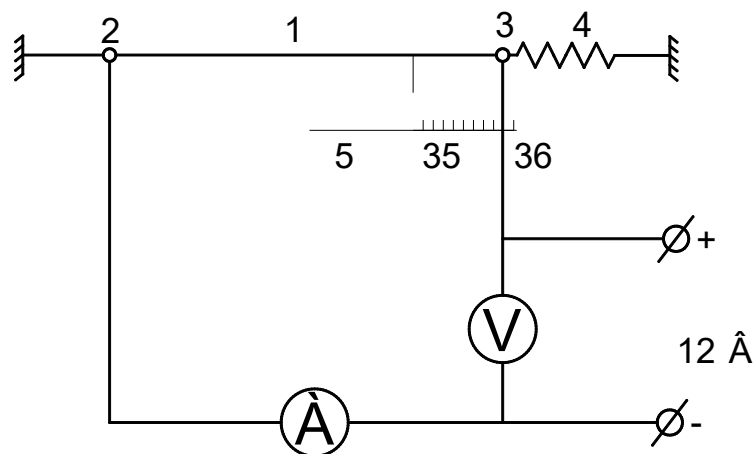


Рисунок 12. Схема лабораторної установки

Лабораторна установка та методика вимірювання.

Проходження струму через провідник, якщо він не перебуває в стані надпровідності, супроводжується його нагріванням. Це пояснюється тим, що електричні заряди, рухаючись напрямлено, зазнають опору в середовищі провідника. Цей висновок називається *законом Джоуля-Ленца* кількість теплоти Q , що виділяється на певній ділянці провідника, прямо пропорційна силі струму I , що проходить через провідник, напрузі на його кінцях U і часу t проходження струму:

$$Q = UIt = I^2 R t, \quad (3)$$

де t – час проходження струму, I – сила струму, U – напруга, R – опір.

Якщо силу струму взято в амперах, напругу у вольтах, а час в секундах, то кількість теплоти, що виділяється, виражається у джоулях. Дріт нагрівається, опір металу збільшується зі збільшенням температури за законом

$$R_2 = R_1 [1 + \beta(t_2 - t_1)], \quad (4)$$

де R_1 – опір дроту при кімнатній температурі t_1 °С,

R_2 – опір дроту при нагріванні його до температури t_2 °С

$\beta = 4 \cdot 10^{-2}$ 1/К – температурний коефіцієнт, опору ніхромового проводу.

З співвідношення (4) можна визначити різницю температур

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \beta} \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \beta} + t_1$$

якщо відомі величини опорів R_1 та R_2 .

Опір R_1 визначається по формулі

$$R_1 = \rho \frac{1}{S} = \rho \frac{l_1}{\pi d^2 / 4}, \quad (6)$$

де $l_1 = 0,35$ м – довжина проводу при кімнатній температурі.

$\rho_0 = 10^{-6}$ Ом·м – питомий опір ніхрому при $t^0 = 20^\circ \text{C}$

$d = 0,4$ мм – її діаметр.

Опір проводу R_2 при температурі t_2 визначається згідно закону Ома для ділянки кола

$$R_2 = \frac{U}{I} \quad (7)$$

Видовження проводу $\Delta l = l_2 - l_1$, при нагріванні вимірюється по шкалі 5.

Виконання роботи

1. Ввімкнути джерело струму. Зачекати 20 – 30 с. Поки дріт нагрівається до максимальної температури і настане стан теплової рівноваги. Виміряти силу струму, напругу і видовження проводу Δl .

2. Виміряти температуру повітря t_1 в лабораторії.

3. По формулі (6) обчислити опір проводу R_1 при температурі t_1 .

4. Для значень I та U визначити опір проводу R_2 при температурі t_2 , використовуючи закон Ома (7).

5. Використовуючи співвідношення (5), обчислити різницю температур $t_2 - t_1$. Знайти температуру нагрітого дроту t_2 .

6. За формулою визначити коефіцієнт лінійного розширення α для ніхромового дроту

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_1(t_2 - t_1)}$$

7. Порівняти кінцевий результат α з табличним значенням.

8. Оформити звіт, обчислення занести у таблицю:

I , А	U , В	l_1 , мм	l_2 , мм	Δl , мм	R_1 , Ом	R_2 , Ом	Δt , С ⁰	α , град ⁻¹

Контрольні питання

1. Дайте визначення коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл?
2. Поясніть причину теплового розширення твердих тіл.
3. Як визначається опір проводу R_1 при кімнатній температурі t_1 та опір нагрітого проводу R_2 ?
4. Чому при проходженні струму по металевому провіднику він нагрівається?
5. Як змінюється опір провідника при зміні температури ?
6. Як визначається в роботі температура нагрітого проводу ?
7. Як можна визначити кількість теплоти, що виділяється в провіднику при проходженні струму?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

Визначення опору методом мостової схеми

Мета роботи. Вивчити метод мостової схеми і визначити невідомі опори цим методом.

Прилади і принадлежности. відомий опір ($R=470$ Ом), невідомі опори (R_{x1} , R_{x2} , R_{x3}); реохорд і гальванометр (нуль-індикатор); джерело постійної напруги.

Теоретичні відомості

Одним з найбільш точних методів вимірювання опорів є метод моста Уїтстона. Схема моста Уїтстона зображена на рисунку 13. Між клемми А і В закріплено калібровий дріт-реохорд, що має рухомий

контакт D; I – постійний струм від джерела постійного струму; R – відомий еталонний опір; R_x – невідомий опір; Γ – гальванометр; l_1 і l_2 – плечі реохорда (довжина дроту).

Метод вимірювання опору при допомозі моста Уїтстона засновано на порівнянні невідомого опору з відомим опором. Нехай струм в «плечах» моста і в діагоналі CD спрямовані так, як показано на рис.1, тоді, згідно правилам Кірхгофа для розгалуженого кола, можна скласти такі 5 рівнянь з п'ятьма невідомими:

$$\text{Для вузла C: } I_x - I_1 - I_2 = 0 \quad (1)$$

$$\text{Для вузла D: } I_1 - I_2 - I_r = 0 \quad (2)$$

$$\text{Для контуру ACDA: } I_x R_x + I_r R_r = I_1 R_1 \quad (3)$$

$$\text{Для контуру ABEA: } I_1 R_1 + I_2 R_2 = U \quad (4)$$

$$\text{Для контуру CBDC: } I R - I_2 R_2 - I_r R_r = 0 \quad (5)$$

Де R_r – опір гальванометра; R_2 і R_1 – опір «плечей» l_1 і l_2 – реохорда.

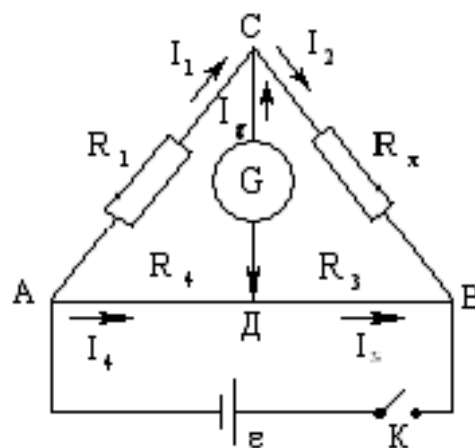


Рисунок 13. Схема моста Уїтстона

Змінюючи положення рухомого контакту D реохорда (і таким чином змінюючи співвідношення між l_1 і l_2), можливо домогтися того, щоб потенціал точки D дорівнював би потенціалу точки C ($\varphi_D = \varphi_C$)

В цьому випадку струм через гальванометр не іде (міст збалансовано). Враховуючи це ($I_r=0$), рівняння (1-5) можна спростити:

$$I_x=I_r \quad (6)$$

$$I_1=I_2 \quad (7)$$

$$I_x R_x=I_x R_x \quad (8)$$

$$I R=I_2 R_2 \quad (9)$$

Поділивши два основні рівняння одне на одне отримаємо:

$$\frac{I_x R_x}{I R} = \frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} \quad (10)$$

Враховуючи співвідношення (6) і (7) вираз (10) можна простити:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S} \quad (11)$$

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{S} \quad (12)$$

де ρ - питомий опір дроту реохорда; S – площа поперечного перерізу дроту.

Підставляючи значення R_2 і R_1 в співвідношення (11), отримаємо формулу для визначення питомого опору:

$$R_x = R \frac{l_1}{l_2}$$

Таким чином, підібравши відповідну довжину «плечей» реохорда l_1 і l_2 і знаючи еталонний опір R , можна знайти R_x .

Виконання роботи

1. Скласти схему відповідно рис. 1 з резистором R_x .
2. Після перевірки схеми викладачем включити електроживлення. Переміщуючи повзунок (рухомий контакт) реохорда l_1 і l_2 , записати результати в таблицю вимірів.

Контрольні питання.

1. Сформулювати і записати правило Кірхгофа.
2. Запишіть формулу опору довгого провідника.
3. Що таке питомий опір?
4. Як визначити повний опір при послідовному та паралельному з'єднанні провідників?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Визначення магнітного поля колового струму і визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі.

Мета роботи: Визначити залежність магнітного поля колового струму від сили струму, радіуса кільцевого провідника і числа витків, а також визначити горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі.

Прилади та обладнання: амперметр, тангенс-гальванометр, джерело регульованого постійного струму, перемикач напрямку струму, набір монтажних провідників.

Опис лабораторної установки.

Визначення горизонтальної складової H напруженості поля Землі, виконується при допомозі приладу, який називають тангенс-гальванометром. Цей прилад являє собою коловий провідник з n вертикальних витків, які достатньо близько прилягають один до одного. В центрі витків розміщений компас, стрілка якого, повертаючись навколо вертикальної осі, встановлюється під дією магнітного поля Землі вздовж горизонтальної складової напруженості H . Це дозволяє розмістити витки тангенс-гальванометра в площині магнітного меридіану. Струм, який протікає по виткам тангенс-

гальванометра створює магнітне поле, діюче на стрілку компаса. Стрілка встановлюється по напрямку рівнодіючої напруженості обох магнітних полів (рис.14).

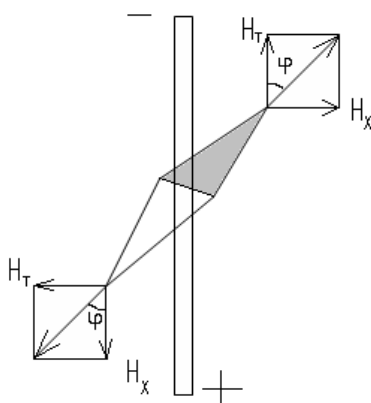


Рисунок 14. Стрілка, що встановлюється по напрямку рівнодіючої напруженості обох магнітних полів

Так як вектор напруженості магнітних полів колового струму H , і вектор H_x Землі взаємно перпендикулярні, то їх рівнодіюча є діагоналлю паралелограма зі сторонами H , і H_x . Тому,

$$H_x = \frac{H}{\operatorname{tg}\varphi}, \quad (1)$$

де $H = \frac{n \cdot I}{2 \cdot r}$ – напруженість колового струму, n – кількість витків, I

- величина струму, r – радіус витків.

Таким чином, для визначення напруженості H_x одержуємо формулу:

$$H_x = \frac{n \cdot I}{2 \cdot r \cdot \operatorname{tg}\varphi} \quad (2)$$

Для даної місцевості на Землі і для даного приладу величина

$$C = \frac{I}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{2 \cdot r \cdot H_x}{n}, \quad (3)$$

де C – величина стала і називається сталою тангенс-гальванометра. При відхиленні магнітної стрілки на $\varphi = 45^\circ$, вона чисельно дорівнює величині струму, який протікає по витках, тобто коли $H_x = H$.

Порядок виконання роботи

1. В електричне поле, яке зібране на панелі, підключити тангенс-гальванометр згідно схеми на рис.2. Визначити кількість витків та їх радіус.

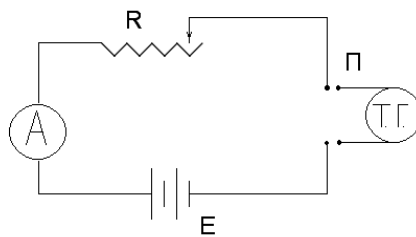


Рисунок 15. Робоча схема

2. Повертаючи основу тангенс-гальванометра, встановити площину колового струму по напрямку магнітної стрілки, тобто в напрямку магнітного меридіана.

3. Ввімкнути тумблером електричний струм, визначити кут відхилення магнітної стрілки.

4. Перемкнувши тумблер на панелі, змінити напрям колового струму і визначити кут відхилення.

5. Із одержаних значень знайти середню величину кута відхилення:

$$\varphi_{\text{ср.}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

Виміри провести для 5 різних значень струму.

6. Підрахувати значення магнітної складової Землі H_x для кожного значення струму згідно формули (2). Кінцевий результат представити у вигляді:

$$H_x = H_{xcp} \pm \Delta H_{xcp}$$

7. Визначити постійну тангенс-гальванометра C , згідно формули (3) і представити у вигляді:

$$C = C_{cp.} \pm \Delta C_{cp.}$$

Результати занести до таблиці:

№, пп	I (ma)	φ_1	φ_2	φ_{cp}	$tg\varphi$	H_{xi}	ΔH_{xi}	C	ΔC	B
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										

1. До електричного поля на панелі підключити один виток тангенс-гальванометра.

2. Тумблером ввімкнути джерело струму, при цьому регулятором встановити мінімальну величину струму.

3. Змінюючи величину струму підрахувати значення B згідно формули:

$$B = \mu_0 \frac{n \cdot I}{2 \cdot r} \quad (4)$$

де $n=5$, $r = 9$ радіус витка, μ_0 - магнітна сила.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н\М}$$

Результати занести до таблиці, побудувати графік залежності $B=f(I)$.

Контрольні питання.

1. Сформулювати закон Біо-Савара-Лапласа.

2. Як встановлюється стрілка в магнітному полі?
3. Чому необхідно орієнтувати площину колового струму в напрямку магнітного меридіану?
4. Записати розмірність вектора магнітної індукції B .
5. Пояснити елементи земного магнетизму.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Внутрішній фотоефект у напівпровідниках

Мета роботи: експериментально встановити залежність опору напівпровідника від величини падаючого на нього потоку електромагнітного випромінювання та визначити чутливість фоторезистора.

Прилади та обладнання: напівпровідниковий фото резистор ФСД-Г2, джерело світла (лампа), мікроамперметр та вольтметр постійного струму, джерело, що регулюється, постійної напруги (0-15В), джерело напруги (6,3В).

Методика експерименту.

Схема лабораторної установки показана на рис.1.

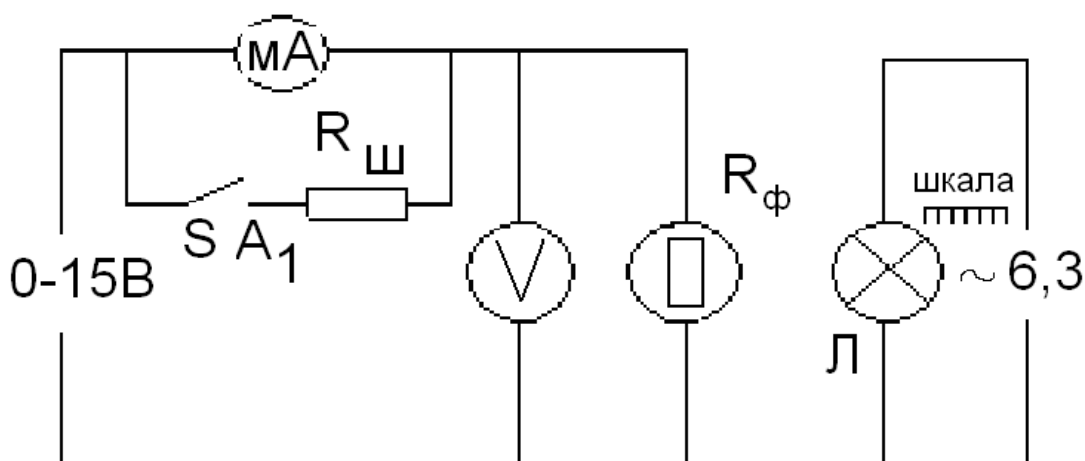


Рисунок 16. Схема лабораторної установки

Світло від лампочки накаливання Л падає на фото резистор, змінюючи його опір. За допомогою вольтметра вимірюється напруга на фоторезисторі, яка може змінюватись від 0 до 15В. Мікроамперметр вимірює силу струму, що проходить через фоторезистор. При збільшенні падаючого світлового потоку опір шунта $R_{ш}$ підключається тумблером SA1 і максимальний струм, що вимірюється, становить $I_{max}=5$ мА. При відключенні $I_{max}=I$ мА. Падаючий світловий потік Фп можна зменшувати, збільшуючи відстань від лампи до фото резистора. Його величина розраховується

$$\Phi_n = \frac{I \cdot S}{r^2} \cos \alpha,$$

де I- сила світла лампи, $S=28$ mm²–площа світлочутливого шару фото резистору, $\alpha=0$ – кут між напрямком світлового потоку та нормальною до світлочутливої поверхні, r – відстань між лампами до фото резистора визначається по шкалі.

Можна визначити величину падаючого світлового потоку

$$\Phi_n = \frac{I \cdot S}{r^2} \cdot \cos \alpha = \frac{0,43 \cdot 28 \cdot 10^{-6}}{r^2} = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{r^2}$$

Отже, падаючий світловий потік змінюється обернено пропорційно квадрату відстані к від фоторезистора до лампи накаливання.

Порядок виконання роботи

Встановити вимірювання сили струму $I_{max}=5$ мА. Включити живлення фото резистора та лампи, встановити напругу 10 В. Визначити силу струму при мінімальній відстані r. Збільшуючи r через 1 см зняти залежність I (Фп) (при U =const) та побудувати графіки залежності $I=f(\Phi_{п})$.

№	r(m)	I(A)	U(B)	R ϕ	Φ п
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

1. Обчислити опір фоторезистора R ϕ ($R\phi = U/I\phi$) для всіх значень сили струму та побудувати графік залежності $R\phi = f(\Phi)$.

2. Установити лампу біля фоторезистора (r=1 см). Змінюючи вхідну напругу через I В, зняти залежність I (U) при $\Phi = \text{const}$ (табл. 2) та побудувати графік залежності $I = f(U)$.

№	r(m)	U(B)	I(A)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Контрольні питання

1. Що називається фотоефектом?
2. Рівняння Планка та Енштейна
3. Як залежить опір від світлового потоку?
4. Від чого залежить сила струму фоторезистора?
5. Де застосовуються фоторезистори?

ЛІТЕРАТУРА

1. Біофізика : методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт здобувачами ступеня вищої освіти "бакалавр" спеціальностей: 162 "Біотехнології та біоінженерія", 212 "Ветеринарна гігієна, санітарія і експертиза" денної форми навчання / уклад. І. В. Бацуровська. Миколаїв : МНАУ, 2019. 51 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/5810>.
2. Біофізика і фізичні методи аналізу : навчальний посібник / Е. І. Сливко та ін. Запоріжжя, 2018. 234 с. URL: <http://dspace.zsmu.edu.ua/handle/123456789/7796>
3. Біофізика. Фізичні методи аналізу та метрологія : підручник / Е. І. Личковський та ін. ; за ред. Е. І. Личковського, В. О. Тіманюк. - Вінниця : Нова книга, 2014. 464 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Lichkovskiy_2014_464.pdf
4. Павло В. Фізика. Основи і механічний рух : підручник. Київ : BookChef, 2020. 384 с.
5. Посудін Ю. І. Біофізика : підручник. Київ : Ліра-К, 2017. 472 с.
6. Терещенко М. Ф., Тимчик Г. С., Яковенко І. О. Біофізика : підручник. Київ : КПІ ім. І. Сікорського ; Політехніка, 2019. 444 с.
7. Фізика : методичні рекомендації до модуля 1 "Механіка матеріальної точки", модуля 2 "Механіка твердого тіла" для виконання лабораторних робіт здобувачами ступеня вищої освіти «бакалавр» спеціальностей: 208 «Агроінженерія», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 015 "Професійна освіта. Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства", 201 «Агрономія», 193 «Геодезія та землеустрій», 162

«Біотехнологія та біоінженерія» денної та заочної форм навчання. уклад. І. В. Бацуровська, Л. В. Вахоніна Миколаїв : МНАУ, 2017. 54 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/2550>.

8. Фізика з основами біофізики : методичні рекомендації в слайдах для теоретичного вивчення матеріалу здобувачами вищої освіти ступеня «Бакалавр» спеціальності 201 «Агрономія» / уклад. І. В. Бацуровська. Миколаїв : МНАУ, 2018. 221 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/4343>.

9. Фізика: модуль 3. "Молекулярна фізика. Термодинаміка" : методичні рекомендації для виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти ступеня "Бакалавр" спеціальностей 208 "Агроінженерія", 015 "Професійна освіта (Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства)", / уклад. Л. В. Вахоніна, І. В. Бацуровська. - Миколаїв : МНАУ, 2020. - 74 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/7657>.

10. Янг Г., Фрідмон Р. Фізика для університетів з розділами сучасної фізики : підручник. Львів, Наутілус. 2018. 1516 с.

11. Jack C., Relativity Lite: A Pictorial Translation of Einstein's Theories of Motion and Gravity. Portland : State University Library, 2020.

12. Julio Gea-Banacloche, University Physics I: Classical Mechanics. University of Arkansas, 2019.

13. Lawrence Davis, Body Physics: Motion to Metabolism. Open Oregon Educational Resources, 2018.

14. Murphy Thomas W, Jr. Energy and Human Ambitions on a Finite Planet, 2021. <https://doi.org/10.21221/S2978-0-578-86717-5>

15. Sander Konijnenberg, Aurèle J.L. Adam, H. Paul Urbach. BSc Optics., 2021. DOI: <https://doi.org/10.5074/T.2021.003>.

16. William Smyth, All Things Flow: Fluid Mechanics for the Natural Sciences. Oregon State University, 2019. URL: <https://blogs.oregonstate.edu/salty/all-things-flow-fluid-mechanics-for-the-natural-sciences>.

Навчальне видання

БІОФІЗИКА

методичні рекомендації

Укладач: Бацуровська Ілона

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 5,75.
Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.10.2013 р.