



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра фізики та математики

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ ТВАРИН

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт дисципліни
«Фізика з основами біофізики тварин»**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми здобуття освіти зі спеціальності 204 «Технологія
виробництва і переробки продукції тваринництва»**

**Харків
2022**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра фізики та математики

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ ТВАРИН

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт дисципліни
«Фізика з основами біофізики тварин»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми здобуття освіти зі спеціальності 204 «Технологія
виробництва і переробки продукції тваринництва»

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
факультету технологій
тваринництва
Протокол №
від _____ 2022 р.

Харків

2022

УДК 577.35

Схвалено
на засіданні кафедри фізики та математики
Протокол № 8 від 14 квітня 2022 р.

Рецензенти:

Загорулько О.Є., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету

Чеканов М. А., канд. техн. наук, доц., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій факультету енергетики, цифрових та комп'ютерних технологій Державного біотехнологічного університету

Фізика з основами біофізики тварин: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фізика з основами біофізики тварин» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. форми здобуття освіти зі спец. 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва» / Держ. біотехнологічний ун-т ; авт.-уклад.: А.О. Пак, М.В. Сліпченко, Л.В. Купріянова. – Харків : [б. в.], 2022. – 48 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Фізика з основами біофізики тварин». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми здобуття освіти зі спеціальності 204 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва».

УДК 577.35

Відповідальний за випуск : А. О. Пак

© Пак А. О., Сліпченко М.В., Купріянова Л. В.
2022
© ДБТУ, 2022

Зміст

Вступ	5
1. Лабораторна робота № 1. Розрахунок похибок вимірювань	6
2. Лабораторна робота № 2. Моделювання опорно-рухового апарату людей та тварин: умова рівноваги важелів	16
3. Лабораторна робота № 3. Моделювання системи кровообігу: визначення поверхневого натягу рідини методом відриву кільця	22
4. Лабораторна робота № 4. Моделювання системи кровообігу: визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини методом Стокса	28
5. Лабораторна робота № 5. Визначення повітропроникності капілярно-пористих матеріалів рослинного та тваринного походження	34
6. Лабораторна робота №6. Моделювання оптичної системи ока: метод графічної візуалізації оптичних променів	37

Вступ

Дисципліна «Біофізика тварин» призначений для загальноосвітньої, теоретичної і практичної підготовки студентів в галузі фізики і біофізики.

Фізика – універсальна наука про основні явища природи, які цією наукою відокремлюються та описуються за допомогою уявлень, моделей та законів у вигляді математичних формул та рівнянь. Фізика вивчає фундаментальні "структури всесвіту", досліджує гармонічний зв'язок між ними, тому фізичні уявлення можуть бути абстрактними й не завжди наочними. Фізичні уявлення – кількісні, тому невід'ємним є математичне формулювання зв'язків між ними.

Фізична наука є базою для розвитку інших наук у тому числі й для інженерних (прикладних).

Основа методів пізнання опирається на три основні положення у сучасній науці:

1. Усе в світі є матерією поза залежністю від почуттів та розуміння людини.
2. Основна властивість матерії – рух.
3. Матерія і форми її руху пізнані людиною.

У природі існує багато форм прояву руху матерії: механічний, електричний, електромагнітний, хімічний, біологічний та інші.

Будь-який фізичний процес відбувається у просторі та часі. Простір і час мають певну властивість, яку називають симетрією: одне й теж явище за збіжних умов може бути повторене з однаковим результатом. Цей, на перший погляд, зрозумілий принцип є одним з основних проявів природи, що відомі людині. Саме це надало можливості проводити експериментальні дослідження з подальшим їх узагальненням для всієї природи.

Біофізика вивчає фізичні та фізико-хімічні явища в біологічних об'єктах та досліджує фундаментальні процеси, що складають основу живої природи. У біофізиці використовують фізичні принципи, методи та інструменти для вивчення живих систем.

Дисципліною розглядаються закони фізики, які лежать в основі явищ і процесів, що характеризують функціонування, фізичні характеристики та властивості організму, механізми впливу різноманітних зовнішніх фізичних факторів на нього.

Лабораторна робота № 1

РОЗРАХУНОК ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

Мета роботи:

1. Розглянути основні види похибок вимірювань, а також їх розрахунок.
2. Розглянути способи підрахунку похибок вимірювань при прямих та непрямих вимірюваннях. Визначити відносні та абсолютні похибки вимірювань.

Теоретичні відомості

Фізика – наука експериментальна. Метою фізичного практикуму є вивчення за допомогою дослідів основних фізичних явищ, аналіз та самостійне їх відтворення. Фізика є наукою кількісною, тому результат вимірювань зображують у вигляді цифр.

Виконання будь-якої лабораторної роботи завжди супроводжується вимірюваннями. Вимірювання фізичної величини – процес порівняння її з однорідною величиною, яку взято за одиницю вимірювання. Можна виділити дві групи вимірювань: прямі та непрямі.

У випадку прямих вимірювань результат визначається безпосередньо за показниками приладів. Наприклад, час – за годинником, струм – за амперметром. У випадку непрямих вимірювань значення фізичної величини визначається за допомогою обчислення за формулою, яка встановлює функціональну залежність цієї величини від інших величин, що вимірюються безпосередньо. Наприклад, густина циліндра

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h}, \quad (1)$$

де m – маса циліндра, r – радіус циліндра, h – висота циліндра.

Відомо, що за достатньо точних вимірювань однієї і тієї ж величини одержувані значення відрізняються одне від одного, тому що містять помилки (похибки). Це зумовлено недосконалістю вимірювальної апаратури, похибками методу вимірювання, недосконалістю органів почуттів спостерігача та іншими причинами.

Абсолютною похибкою вимірювання називають різницю $x - x_0$ між результатом вимірювання x та дійсним значенням x_0 вимірюваної величини. Похибка вимірювань звичайно є невідомою, тому що невідомим є дійсне значення вимірюваної величини.

Тому до завдання вимірювань входить визначення самої величини та оцінювання допущеної під час вимірювання похибки. Визначається наближене значення вимірюваної величини та інтервал значень, до якого з визначеною ймовірністю належить дійсне значення вимірюваної величини. В залежності від причини виникнення похибки вимірювань розподіляють на промахи, випадкові та систематичні помилки.

Прوماхи, або грубі помилки, виникають унаслідок порушення основних умов вимірювання або у результаті недогляду експериментатора. У разі виявлення промаху результат вимірювання треба відразу ж відкинути, а вимірювання повторити, якщо це можливо. Зовнішньою ознакою результату, що містить у собі промах, є його різка відміна по величині від результатів інших вимірювань.

Випадкові помилки – це похибки, причини виникнення яких або невідомі, або їх так багато, що неможливо передбачити результат їх спільної дії. Випадкові похибки спричинені великою кількістю таких факторів, ефекти дії яких настільки незначні, що їх неможливо виділити й урахувати поодиночі. Випадкові помилки неможливо усунути із результатів вимірювань, але за допомогою методів теорії ймовірності можливо урахувати їх вплив на оцінку дійсного значення вимірюваної величини, що дозволяє дефініювати значення вимірюваної величини зі значно меншою помилкою як помилки окремих вимірювань. Випадкові помилки характеризуються певним законом їх розподілення.

За вимірювання макроскопічних величин, як правило, справедливий закон розподілення Гауса, зображений у вигляді графіка на рис.1. (Існують і інші закони розподілення випадкових величин).



Рис.1. Закон розподілення Гауса

Як видно з графіка, для більшості вимірювань є характерним відхилення від дійсного значення вимірюваної величини.

Проведемо вертикальні лінії ліворуч та праворуч на однаковій відстані від нуля таким чином, щоб площа між ними складала 68% від загальної площі під кривою.

Помилки, відповідні до цих ліній, позначимо через σ . Величину σ назвемо стандартною помилкою, або стандартним відхиленням. Як бачимо з рисунка, у 68 випадках із 100 фактична помилка знаходиться у межах $\pm\sigma$. Помилка дослідів у 95% випадків знаходиться в інтервалі $\pm 2\sigma$ та у 99,7% випадків не перевищує

$\pm 3\sigma$. Можна прийняти, що випадкові помилки вимірювання обмежені за абсолютною величиною значенням 3σ (правило трьох сигм). Тому при обробці результатів вважаємо, що вимірювання, які відрізняються від середнього більше як на 3σ , є промахами, і такі вимірювання будемо відкидати.

Квадрат величини σ називають дисперсією помилки.

В теорії ймовірності дисперсію можна обчислити за формулою:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2, \quad (2)$$

де x_i – значення вимірюваної величини в i -му досліді;

n – кількість дослідів;

x_0 – дійсне значення вимірюваної величини.

Проте дійсне значення вимірюваної величини x_0 , як правило, заздалегідь невідоме. Тому, на основі експериментальних даних, визначається середнє квадратичне відхилення величин $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ від їх середнього значення $\langle x \rangle$.

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \langle x \rangle)^2 + \dots + (x_n - \langle x \rangle)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Квадрат величини S можна вважати приблизно рівним дисперсії

$$\sigma^2 \approx S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2. \quad (4)$$

Середнє значення вимірюваної величини x визначається співвідношенням

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (5)$$

За великої кількості вимірювань шукане значення вимірюваної величини можна визначити з більш великою точністю. Це пов'язано з тим, що позитивні та негативні помилки частково компенсуються при усереднюванні результатів усіх дослідів. За такого усереднення середнє квадратичне відхилення σ зменшується і дорівнюватиме

$$\sigma_C = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \langle x \rangle)^2 + \dots + (x_n - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (6)$$

де σ_C – оцінка середнього квадратичного відхилення результату вимірювань.

Тоді дійсне значення шуканої величини знаходиться в межах:

$$\langle x \rangle - \sigma_C < x_0 < \langle x \rangle + \sigma_C. \quad (7)$$

Інтервал, у межах якого знаходиться дійсне значення шуканої величини, називають надійним. За великої кількості вимірювань можна одержати вузький надійний інтервал із великою надійністю (тобто ймовірність попадання шуканої величини у надійний інтервал буде великою).

За великої кількості вимірювань середнє значення $\langle x \rangle$ шуканої величини близьке до дійсного, і величину дисперсії можна визначити зазначеним

способом. Однак під час виконання лабораторних робіт кількість вимірювань, як правило, є невеликою – 3...5 разів.

У теорії ймовірності розроблено метод визначення надійного інтервалу в залежності від надійності результату за будь-якої, у тому числі й малої, кількості вимірювань (починаючи з двох) на основі розподілення випадкової величини за допомогою коефіцієнта Стюдента:

$$t = \frac{\langle x \rangle - x_0}{\sigma_C} \approx \frac{\langle x \rangle - x_0}{S/\sqrt{n}}, \quad (8)$$

де t – коефіцієнт Стюдента. Він є функцією надійності P та кількості вимірювань.

Тоді дійсне значення вимірюваної величини знаходитиметься в надійному інтервалі

$$\langle x \rangle - t\sigma_C < x_0 < \langle x \rangle + t\sigma_C. \quad (9)$$

Задаючи потрібну надійність P (тобто ймовірність потрапляння шуканої величини у надійний інтервал) визначаємо за таблицею значення t для існуючої кількості вимірювань n та знаходимо величину надійного інтервалу для дійсного значення x_0 вимірюваної; величини x (табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів Стюдента					
$P \backslash n$	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
2	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	2,9	4,3	7,0	9,9	31,6
4	2,4	3,2	4,3	5,8	12,9
5	2,1	2,8	3,7	4,6	3,6
6	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
12	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
13	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
14	1,8	2,1	2,6	2,9	4,1
15	1,8	2,1	2,6	2,9	4,0

Визначивши надійний інтервал, записуємо кінцевий результат у вигляді $x = \langle x \rangle \pm \Delta x$, де $\Delta x = t \cdot \sigma_C$. Відношення

$$\delta = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \cdot 100\% \quad (10)$$

називають відносною похибкою. Вона вимірюється у відсотках і показує, яку долю від значення фізичної величини складає похибка Δx . Абсолютна похибка Δx та відносна δ характеризують точність вимірювань. З урахуванням відносної похибки кінцевий результат записується у вигляді

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x, \delta = \dots \% . \quad (11)$$

Крім випадкової похибки є ще систематичні помилки. До систематичних помилок відносять постійні та змінювані за певним законом помилки. Вони можуть бути наслідком зіпсованості приладів, неправильного регулювання приладів, помилковості методу вимірювань або якого-небудь недоліку з боку експериментатора, цей недолік повторюється в кожному досліді. Виявлення систематичних помилок, котрі викликані кожним окремим фактором, потребує спеціальних досліджень, наприклад вимірювання однієї й тієї ж величини різними методами.

На особливому місці стоять систематичні помилки, що вносяться приладом, за допомогою якого виконуються вимірювання. Такі помилки пов'язані з конструктивними недоліками приладу або похибками градування. Величина систематичної помилки оцінюється класом точності приладу.

Клас точності електровимірювальних приладів визначається відношенням абсолютної похибки приладу Δx_{np} до максимально можливого значення вимірюваної приладом величини x_{max} та виражається у відсотках :

$$B = \frac{\Delta x_{np}}{x_{max}} \cdot 100\% . \quad (12)$$

Клас точності вказано на лицьовому боці приладу. Так, амперметр класу точності 1,0 з повною шкалою в 1 А, вимірює струм, що через нього тече, з помилкою, котра не перевершує:

$$\Delta I = \frac{1,0}{100} \cdot 1A = 0,01A = 10 \text{ мА} .$$

Легко побачити, що помилка 10 мА складає невелику частину від вимірюваного струму лише при вимірюванні струмів порядку 1 А, тобто при відхиленні стрілки за всією шкалою. При відхиленні стрілки на 1/4 шкали та менше похибка може складати 5...10% і навіть більше. Тому при вимірюваннях рекомендується обирати такий прилад, на якому вимірюваний струм викличе відхилення стрілки більше ніж на половину шкали. Це положення справедливе і для інших електровимірювальних приладів.

Якщо похибка, що вноситься приладом Δx_{np} , порівняна з похибкою Δx , що визначена шляхом обробки ряду вимірювань, то необхідно поширити надійний інтервал за рахунок обчислення похибки приладу:

$$x = \langle x \rangle \pm \sqrt{\Delta x^2 + \Delta x_{np}^2} , \quad (13)$$

$$\text{де } \Delta x_{np} = \frac{B \cdot x_{max}}{100} .$$

Електровимірювальні прилади за класом точності підрозділяються на 7 класів, які позначаються цифрами: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Як правило, точність приладу менша точності відліку, який можна зробити за шкалою приладу. Наприклад, необхідно виміряти струм за допомогою амперметра, що має верхню межу за шкалою 10 А та клас точності 1,0. Припустимо, що шкала має 100 поділок, тоді ціна однієї поділки складає 0,1 А, а абсолютна похибка приладу $I_{np} = \frac{10 \cdot 1,0}{100} = 0,1 \text{ А}$, тобто дорівнює ціні поділки приладу. В цьому випадку при обробці результатів вимірювань можна не обчислювати Δx , а використати значення

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x_{np}. \quad (14)$$

За вимірювань температури та часу також зазвичай враховують лише похибки приладу. Це пояснюється тим, що точність відліку температури за термометром та часу за секундоміром вища точності термометра і секундоміра.

Порядок виконання роботи

Послідовність розрахунків похибок за прямих вимірювань

На підставі вищевикладеного можна рекомендувати такий порядок розрахунку прямих вимірювань:

1. Кожну величину вимірювати декілька разів (не менше 3-х): $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ де x – вимірювана величина, n – кількість вимірювань.
2. Визначити середнє арифметичне значення фізичної величини:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

3. Знайти середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань від середнього арифметичного і прийняти його рівним σ :

$$\sigma \approx S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}}.$$

4. Визначити величину 3σ та порівняти її з відхиленням кожного результату від середнього арифметичного $x_i - \langle x \rangle$. Якщо величина $x_i - \langle x \rangle$ більша, за 3σ , то такий результат відкидають як промах і знову визначають $\langle x \rangle$ та σ для залишків кількості вимірювань.

5. Знайти:

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}}.$$

6. Визначити надійний інтервал

$$\langle x \rangle - \Delta x < x_0 < \langle x \rangle + \Delta x, \text{ де } \Delta x = t \cdot \sigma_c,$$

t – коефіцієнт Стюдента при заданій надійності P і кількості вимірювань n (знаходимо з табл. 2.1).

7. Розширити, у випадку необхідності, надійний інтервал з урахуванням похибки приладу

$$< x > - \sqrt{\Delta x^2 + \Delta x_{np}^2} < x_0 < < x > + \sqrt{\Delta x^2 + \Delta x_{np}^2}.$$

8. Знайти відносну похибку

$$\delta = \frac{\Delta x}{< x >} \cdot 100\%.$$

9. Записати кінцевий результат у вигляді

$$x = < x > \pm \Delta x, \delta = \dots\%.$$

Приклад розрахунку похибок за прямих вимірювань

Виміряти довжину нитки математичного маятника. Вимірювання проводимо 5 разів лінійкою. При цьому отримуємо результати: 50,2; 60,4; 59,9; 60,0; 60,3 см.

1. Заходимо середнє арифметичне значення довжини маятника:

$$< l > = \frac{60,2 + 60,4 + 59,9 + 60,0 + 60,3}{5} = 60,16 \approx 60,2.$$

2. Визначаємо

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{(60,2 - 60,2)^2 + (60,4 - 60,2)^2 + (59,9 - 60,2)^2 + (60,0 - 60,2)^2 + (60,3 - 60,2)^2}{4}} =$$
$$= 0,21$$

3. Знаходимо величину $3\sigma = 0,63$ та порівнюємо її з $l_i - < l >$. Всі значення $l_i - < l > < 3\sigma$, тому залишаємо всі результати. Промахів нема.

4. Визначаємо

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,21}{\sqrt{5}} = 0,09.$$

5. Знаходимо $\Delta l = \sigma_c \cdot t$ при надійності 0,99. Коефіцієнт Стюдента за таблицею при надійності 0,99 і кількості вимірювань 5 дорівнює $t = 4,6$, тоді $\Delta l = 0,99 \cdot 4,6 = 0,45 \approx 0,5$.

6. Знаходимо відносну похибку

$$\delta = \frac{0,5 \cdot 100}{60,2} = 0,8\%.$$

7. Записуємо кінцевий результат у вигляді

$$l = (60,2 \pm 0,5) \text{ см}, \delta = 0,8\%.$$

Послідовність розрахунків похибок за непрямих вимірювань

У випадку прямих вимірювань похибки вимірювань знаходять порівняно просто. Проте в більшості випадків шукана величина є функцією декількох вимірюваних величин $x = f(y, z)$. Помилки вимірювань, як правило, досить малі порівняно з вимірюваними величинами, тому для обчислення похибок непрямих вимірювань можна скористатися диференціальним обчисленням.

Порядок визначення похибки у випадку непрямих вимірювань такий:

1. Взяти натуральний логарифм від обох частин формули.
2. Знайти диференціал отриманих виразів за всіма аргументами функції.
3. Замінити диференціали у цьому виразі похибками вимірювань Δu , Δz .
4. Похибки Δu , Δz кожної величини визначити за правилами, які вказані для прямих вимірювань.
5. Змінити “мінуси”, що з’явилися при логарифмуванні та диференціюванні, на “плюси”, тому що похибки окремих величин необхідно скласти.
6. З відносної похибки обчислити надійний інтервал шуканої величини $x = \langle x \rangle \pm \Delta x$, де $\Delta x = \delta \cdot \langle x \rangle$.
7. Записати кінцевий результат у вигляді
$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x, \delta = \dots \%$$

Приклад розрахунку похибок за непрямих вимірювань

У методі Стокса коефіцієнт внутрішнього тертя визначається за формулою

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_p)gr^2t}{9l},$$

де ρ – густина матеріалу кульки; ρ_p – густина рідини; g – прискорення вільного падіння, $g=9,81 \text{ м/с}^2$; r – радіус кульки; t – час падіння кульки між двома мітками, відстань між якими l .

Величини r , t , l , ρ і ρ_p вимірюються безпосередньо, кожна не менше ніж 3 рази.

1. За результатами перших вимірювань визначаємо $\langle r \rangle$ та Δr , $\langle t \rangle$ та Δt , $\langle l \rangle$ та Δl , $\langle \rho \rangle$ та $\Delta \rho$, $\langle \rho_p \rangle$ та $\Delta \rho_p$.

2. Підставляємо у формулу для η значення $\langle r \rangle$, $\langle t \rangle$, $\langle l \rangle$, $\langle \rho \rangle$ та $\langle \rho_p \rangle$ і підраховуємо

$$\eta = \frac{2(\langle \rho \rangle - \langle \rho_p \rangle)g\langle r \rangle^2\langle t \rangle}{9\langle l \rangle}.$$

3. Прологарифмуємо формулу для η :

$$\ln \eta = \ln \frac{2}{9} + \ln(\rho - \rho_p) + \ln g + 2 \ln r + \ln t - \ln l.$$

4. Знайдемо диференціал отриманих виразів:

$$\frac{d\eta}{\eta} = \frac{d\rho}{\rho - \rho_p} - \frac{d\rho_p}{\rho - \rho_p} + \frac{dg}{g} + \frac{2dr}{r} + \frac{dt}{t} - \frac{dl}{l}.$$

5. Замінімо диференціали приростами:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta \rho}{\rho - \rho_p} - \frac{\Delta \rho_p}{\rho - \rho_p} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta t}{t} - \frac{\Delta l}{l}.$$

6. Підставивши замість приростів аргументів їх абсолютні повні похибки, всі додатки беремо за абсолютною величиною, для чого знак «-» змінюємо на «+», та підставляємо середнє значення фізичних величин:

$$\frac{\Delta\eta}{\langle\eta\rangle} = \frac{\Delta\rho}{\langle\rho\rangle - \langle\rho_p\rangle} - \frac{\Delta\rho_p}{\langle\rho\rangle - \langle\rho_p\rangle} + \frac{\Delta g}{\langle g\rangle} + \frac{2\Delta r}{\langle r\rangle} + \frac{\Delta t}{\langle t\rangle} - \frac{\Delta l}{\langle l\rangle}.$$

7. Ліва частина рівняння $\frac{\Delta\eta}{\langle\eta\rangle}$ являє собою відносну похибку

$$\delta = \frac{\Delta\eta}{\langle\eta\rangle} \cdot 100\%.$$

Підрахувавши праву частину, знаходимо числове значення відносної похибки. При розрахунку $\frac{\Delta g}{\langle g\rangle}$ можна взяти $\Delta g = 0,5 \text{ см/с}^2$, тобто половину розряду після останньої значущої цифри. Таким чином роблять при визначенні відносної похибки сталих величин.

8. З відносної похибки обчислюємо абсолютну похибку

$$\Delta\eta = \frac{\delta \cdot \langle\eta\rangle}{100}.$$

9. Визначимо надійний інтервал

$$\langle\eta\rangle - \Delta\eta < \eta < \langle\eta\rangle + \Delta\eta.$$

10. Записуємо кінцевий результат у вигляді:

$$\eta = \langle\eta\rangle \pm \Delta\eta, \delta = \dots\%.$$

Контрольні запитання і завдання

1. Які вимірювання називають прямими?
2. Які вимірювання називають непрямыми?
3. Які помилки вимірювань відносять до систематичних, випадкових та промахів?
4. Що називають абсолютною похибкою вимірювань?
5. Що називають відносною похибкою вимірювань?
6. Що таке надійний інтервал?
7. Наведіть порядок розрахунку похибок у разі прямих вимірювань.
8. Наведіть порядок розрахунку похибок у разі непрямих вимірювань.
9. Визначте відносну та абсолютну похибки вимірювань маси тіла за табл.2. (варіант та надійність P вказує викладач).
10. Отримайте розрахункову формулу до визначення відносної похибки у випадку непрямих вимірювань (за вказівкою викладача).

Таблиця 2

Вимірювання маси тіла

№	Маса тіла, г					
	Варіант1	Варіант2	Варіант3	Варіант4	Варіант5	Варіант6
1.	10,55	20,54	30,96	40,21	50,42	60,15
2.	10,51	20,65	30,95	40,25	50,43	60,11
3.	10,58	20,83	30,98	40,24	50,40	60,13
4.	10,53	20,86	30,99	40,70	50,46	60,17
5.	10,59	20,57	30,97	40,28	50,44	60,16

Лабораторна робота № 2

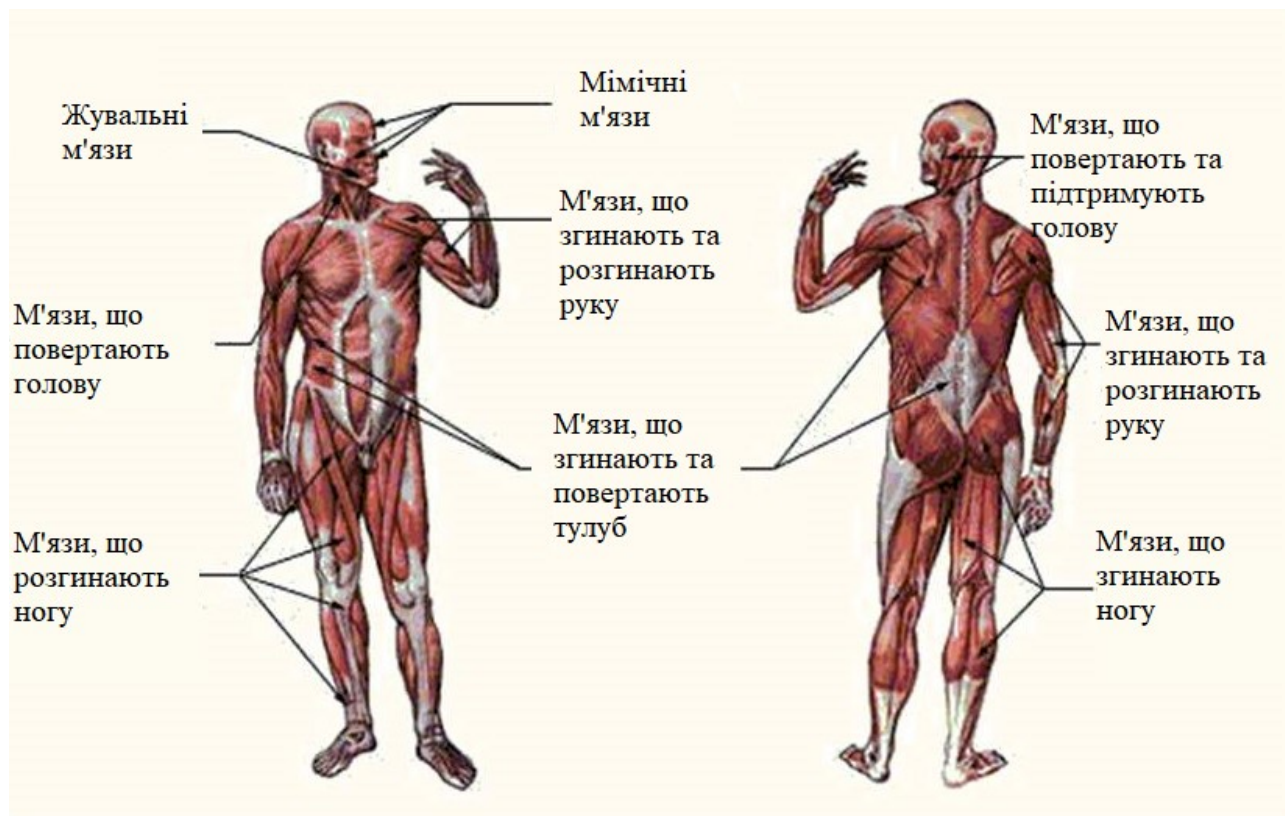
МОДЕЛЮВАННЯ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ЛЮДЕЙ ТА ТВАРИН: УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛІВ

Мета роботи:

1. Перевірити на досліді, за якого співвідношення сил та їх плечей важіль знаходиться у рівновазі. Перевірити на досліді правило моментів.
2. Розглянути важелі у тілі людини.

Теоретичні відомості

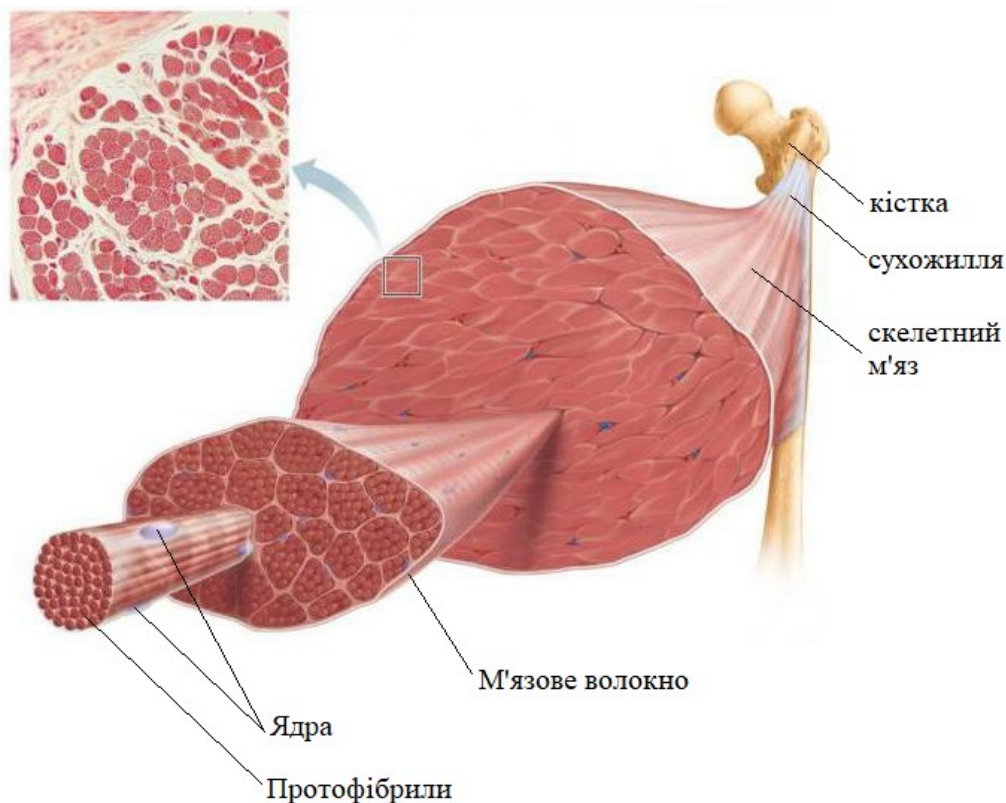
М'язова активність – це одна із загальних властивостей високоорганізованих живих організмів. Вся життєдіяльність людини пов'язана з м'язовою активністю (рис.1). Незалежно від призначення, особливостей та способів регуляції принцип роботи різних м'язів організму однаковий.



*з відкритого доступу Internet

Рис.1. М'язова система людини

М'язова клітина відрізняється від інших збудливих клітин такою специфічною властивістю, як скоротність, тобто здатність генерувати механічну напругу і скорочуватися (рис.2). Крім того, м'язи є генератором тепла, причому не тільки при м'язовій роботі, тремтінні від холоду, але і в режимі нетонічного термогенезу.



*з відкритого доступу Internet

Рис.2. М'язове волокно

М'язова активність в процесі життєдіяльності забезпечує роботу окремих органів і цілих систем: роботу опорно-рухового апарату, легенів, судинну активність, роботу шлунково-кишкового тракту, скоротливу властивість серця. Порушення роботи м'язів (наприклад, таких, що визначають роботу легенів, серця) може приводити до патологій, а припинення їх роботи – до смерті.

Розбиття тіла людини на ланки дозволяє представити їх як механічні важелі, тому що всі ці ланки мають точки з'єднання, які можна розглядати як точки. Важільними механізмами в скелеті людини є майже всі кістки, які мають деяку свободу руху: кістки кінцівок, нижня щелепа, череп (точка опори – перший хребець), фаланги пальців.

Важіль – це найпростіший механізм, що допомагає людині перетворити енергію м'язового зусилля в рух, багаторазово збільшуючи прикладену силу.

Будь-яка система важеля має в своєму складі три особливих частини.

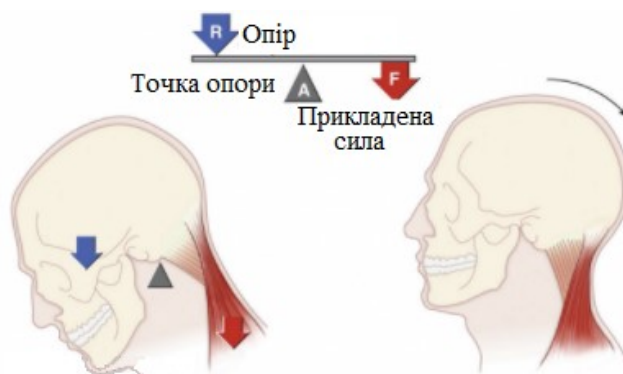
Перша частина називається віссю (або точкою опори). Відносно цієї частини і відбувається рух важеля. У тілі людини осями є суглоби. Наприклад, колінний суглоб є точкою опори або віссю для важеля, що складається з стегна і гомілки.

Наступні два компонента системи важеля – джерела механічної енергії, що працюють в протилежних напрямках, дві точки докладання зусиль. Перше джерело – це опір, тобто механічна енергія, яка долається при активації важеля. При русі тіла людини, сили тяжіння, тертя або будь-які інші зовнішні сили, що

діють на тіло, грають роль опору. Друге джерело механічної енергії – це додаток м'язового зусилля або просто сила.

Перераховані вище компоненти важеля можуть розташовуватися по-різному в залежності від типу важеля. Завдання важеля в такому випадку також змінюються.

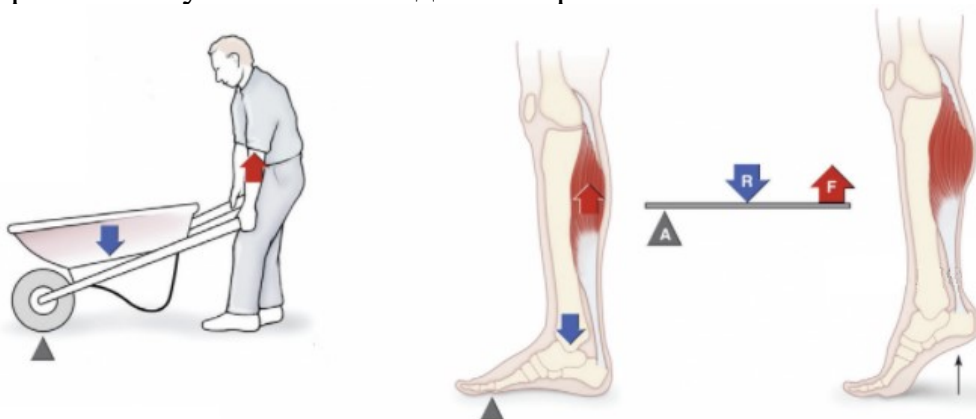
Важелі першого роду мають точку опори, розташовану між точками докладання зусиль. Найпростіший приклад важеля першого типу – дитячі гойдалки. Тверда балка розташована на точці опори. Якщо дві людини сядуть на протилежні кінці важеля такого типу, вони зможуть балансувати на центральній осі, або один може піднятися вище іншого. Завдання важеля такого типу – баланс. Важелі першого роду використовуються в нашому тілі, коли необхідне збалансоване зусилля (рис.3).



*з відкритого доступу Internet

Рис.3. Важелі першого роду

Підйом голови вгору після того, як її опустили вниз – приклад роботи важеля першого роду. Вага голови зміщена вперед відносно хребетного стовпа. Вплив сили тяжіння на голову створює опір. Суглоби шийних хребців утворюють вісь. Трапецієподібні м'язи і її м'язи-синергісти, розгинають шию, генерують зусилля, що переміщують важіль. Опір на одній стороні, вісь в центрі і сила на іншій стороні. Така система важеля дозволяє утримувати голову в правильному положенні відносно хребетного стовпа.

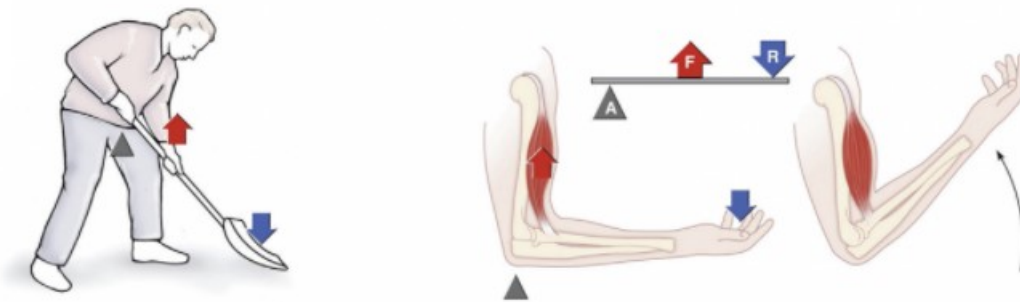


*з відкритого доступу Internet

Рис.4. Важелі другого роду

Важелі другого роду мають силу на одному кінці, вісь на іншому, а опір розташовується в середині. Один з найпоширеніших важелів другого роду - тачка (Рис.4). Колесо служить віссю на одному кінці. Кузов, в якому щось знаходиться, грає роль опору в центрі. Підйом рукояток забезпечує додаток сили на іншому кінці.

Важелі другого роду набагато потужніші, але мають обмежену швидкість і діапазон руху. Важелі другого роду в тілі людини розташовуються в щиколотках, необхідних, крім усього іншого, для поштовхового зусилля. Віссю в цьому випадку є подушечки стоп, а силу генерують потужні литкові м'язи, що прикріплюються до п'яти. У ролі опору виступає вага тіла, що впливає на структуру через великогомілкові кістки. Цей потужний важіль задіяний при ходьбі, бігу та стрибках. Такий механізм пояснює, чому у людини литкові м'язи значно більші в порівнянні з іншими м'язами гомілки, які беруть участь в розгинанні.



*з відкритого доступу Internet

Рис.5. Важелі третього роду

Важелі третього роду мають опір на одному кінці, вісь на іншому, а точка прикладання м'язового зусилля розташовується посередині. Як приклад можна привести лопату (рис.5). Земля забезпечує опір, коли ви встромляєте кінець лопати в землю. Сила генерується при підйомі середньої частини ручки. Інша рука забезпечує вісь на іншому кінці лопати. Цей важіль орієнтований на швидкість і діапазон руху.

Важелі третього роду мають найбільше поширення в тілі людини і представлені, наприклад, м'язами, що згинають руку в лікті при приведенні руки до плеча. Ліктьовий суглоб є віссю, а двоголовий м'яз плеча і плечовий м'яз, розташовані дистально, забезпечують силу. Опором є вага передпліччя і предмета, утримуваного в руці.

Пристрій руки-важеля є високоефективним. Те, що ми програємо тут в силі, не має особливого значення. Зате дуже важливо те, що, програючи в силі, ми виграємо в інших відношеннях. Невелике скорочення довжини м'язу дозволяє в даному випадку здійснити значне переміщення долоні з вантажем (ми можемо підняти вантаж навіть до плеча). Крім того, ми виграємо в

швидкості переміщення. М'язи не можуть дуже швидко скорочуватися. На щастя, при такому важелі цього і не потрібно, оскільки швидкість переміщення долоні з вантажем виявляється в 10 раз більша за швидкість скорочення м'яза. Отже, програвши в 10 разів в силі, ми в стільки ж разів виграємо в переміщенні й швидкості переміщення вантажу. Уявимо, що м'яз був би прикріплений, наприклад, в середині променевої кістки. Такий важіль дозволяв би нам утримувати і піднімати в 5 разів більші вантажі. Але зате ми б в 5 разів програли в висоті і швидкості підйому. Якщо зараз ми можемо підняти вантаж за одну п'яту секунди, то в даному випадку нам потрібна була б для цього ціла секунда.

Провести моделювання важелів опорно-рухового апарату людей та тварин можливо за допомогою нескладних фізичних дослідів.

Порядок виконання роботи

1. Закріпіть муфту на стрижні штатива на висоті близько 30 см від поверхні столу. Вкрутіть вісь важеля в торцеву частину муфти. Переконайтеся в тому, що важіль може обертатися навколо осі без помітного тертя.

2. Встановіть напрямну рейку так, щоб її шкала розташовувалася вертикально приблизно за третім отвором правої частини важеля. Експериментальна установка показана на рис. 6.

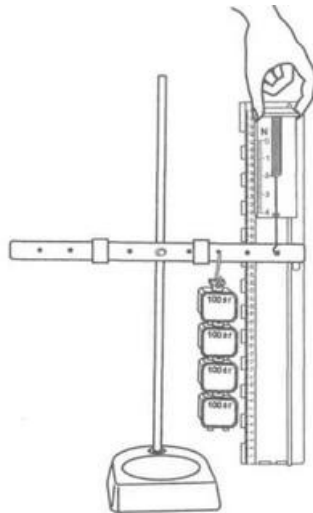


Рис.6. Експериментальна установка

3. Переміщуючи балансири уздовж важеля, знайдіть таке їх положення, при якому важіль розташовувався б на осі горизонтально.

4. Для запису результатів обчислень і вимірювань підготуйте таблицю:

№	F_1	h_1	F_2	h_2	A_1	A_2
1						
2						
...						

5. Підвісьте до динамометра чотири вантажі, визначте і занесіть в таблицю величину діючої на них сили тяжіння F_1 .

6. Підвісьте вантажі до другого отвору в правій частині важеля. До четвертого отвору важеля прикріпіть динамометр, як показано на рисунку. Утримуючи динамометр в руці, добийтеся того, щоб важіль знову розташувався горизонтально.

7. Внесіть в таблицю величину сили F_2 , яку показує динамометр. Ця сила прикладена до важеля з боку динамометра і врівноважує дію сили тяжіння вантажів.

8. Відмітьте положення вантажів і динамометра на шкалі.

9. Повільно переміщаючи динамометр вгору, підніміть вантажі на висоту 2-3 см.

10. Виміряйте за шкалою висоту h_1 , на яку піднялися вантажі, переведіть результат в метри і занесіть його в перший рядок таблиці.

11. Виміряйте висоту h_2 , на яку піднявся при цьому динамометр. Результат переведіть в метри і занесіть в таблицю.

12. Повторіть дослід, підвісивши два вантажі до першого отвору, а динамометр, прикріпивши до другого. Дані вимірювань занесіть в другий рядок таблиці.

13. Ще раз повторіть дослід, підвісивши вантажі до четвертого отвору, а динамометр до другого. Дані цього дослідження занесіть в третій рядок таблиці.

14. Для кожного дослідження обчисліть роботу A_1 , виконану важелем з підйому вантажів. З боку вантажів на важіль діє сила тяжіння F_1 . При рівномірному русі з боку важеля на вантажі діє така ж по величині сила $F=F_1$. Для невеликих переміщень можна вважати, що шлях, пройдений вантажами, дорівнює їх переміщенню по висоті, тобто $S=h_1$. З урахуванням цих міркувань, можна обчислити роботу $A_1=F_1h_1$.

15. Для кожного дослідження обчисліть роботу A_1 , виконану динамометром з підняття вантажів за допомогою важеля. Робота $A_2=F_2h_2$.

16. Порівняйте значення робіт A_1 і A_2 і зробіть висновок, чи дає такий механізм як важіль вигоду в роботі.

Контрольні запитання і завдання

1. Детально опишіть склад та функції скелетних м'язів.

2. Що таке важіль? Типи важелів.

3. Наведіть приклади різних типів важелів в організмі людини.

Лабораторна робота № 3

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ: ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КІЛЬЦЯ

Мета роботи:

1. Ознайомитися з методами визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідин.
2. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу модельної досліджуваної рідини методом відриву кільця.

Теоретичні відомості

Розділ біофізики, що вивчає причини, умови і механізми руху крові у замкненій системі кровоносних судин та описує цей рух на основі законів гідродинаміки, називається гемодинамікою.

Кров постачає кожній клітині воду, кисень, поживні речовини, гормони, а також отримує залишки продуктів метаболізму та здійснює їх передачу органам виділення. Крім того, кров бере участь у регуляції температури організму – вона переносить теплоту, що утворюється в результаті життєдіяльності організму, від внутрішніх структур до поверхні тіла .

Кров це непрозора в'язка суспензія, що складається з рідкої частини – плазми і завислих у ній кров'яних клітин, які називаються форменими елементами крові. Формені елементи крові складаються з еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів (Рис.1).

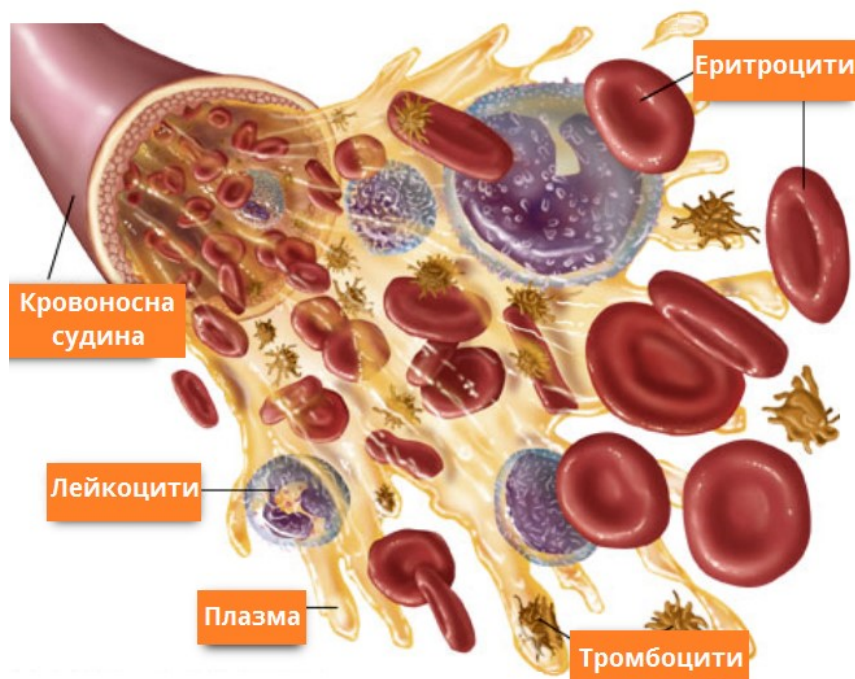
Плазма крові – рідка частина крові , що складається з розчинених у воді солей, вуглеводів, білків і біологічно-активних сполук.

Еритроцити – формені елементи крові, що беруть участь у забезпеченні організму киснем і містять у собі значну кількість гемоглобіну, що зв'язує кисень; крім того, еритроцити беруть участь в амінокислотному, поліпептидному, пігментному, іонному або електростатичному обміні.

Лейкоцити – білі клітини крові, що забезпечують захист від мікроорганізмів. Вони являють собою ядерні клітини, які діляться на дві групи – зернисті (гранулоцити) і незернисті (агранулоцити). Лейкоцити здатні рухатися амебоїдно. Гранулоцити здатні проходити крізь дрібні судини завдяки зміні форми. Мігруючи через тканини, уражені бактеріями, вони діють як фагоцити – клітини, які пригнічують і засвоюють бактерії та інші сторонні матеріали. Агранулоцити відіграють певну роль у відновленні пошкоджених тканин, можливо, завдяки формуванню волокнистої сполучної тканини.

Тромбоцити – це кров'яні бляшки, що беруть участь у процесі зсідання крові при пошкодженні судин. Здатність крові зсідатися являє собою адаптивний механізм, завдяки якому організм не втрачає кров через пошкодження судин. У процесі зсідання крові бере участь матеріал фібрин, нитки якого скорочуються і утворюють компакту затверділу масу, що запобігає витіканню крові з судини.

Таким чином, кров являє собою суспензію формених елементів (еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів) в плазмі. Концентрація еритроцитів в крові становить $(4...6) \cdot 10^6 \text{ мм}^{-3}$, концентрація лейкоцитів – $(4...10) \cdot 10^3 \text{ мм}^{-3}$, а тромбоцитів – $(1,5...3,0) \cdot 10^5 \text{ мм}^{-3}$. Частина об'єму крові, яка припадає на частку еритроцитів, – гематокрит складає в нормі 0,44...0,46 у дорослих чоловіків і 0,41...0,43 у жінок. З огляду на малу концентрацію лейкоцитів і тромбоцитів (їх сумарна об'ємна концентрація становить 1%) вони не надають такого істотного впливу на механічні властивості крові, як еритроцити. Тому в якості спрощеної моделі розглядають кров як суспензію еритроцитів в плазмі. У плазмі крові людини міститься 900...910 г/л води, 65...80 г/л білка (альбумін, глобуліни, фібриноген) і 20 г/л низькомолекулярних сполук. В цілому плазму крові вважають ньютонівською рідиною, хоча деякі відхилення від цієї властивості спостерігаються за рахунок великого вмісту великих білкових молекул. В'язкість плазми становить 1,9...2,3 мПа·с.



*з відкритого доступу Internet

Рис.1. Склад крові

Однією із основних фізичних характеристик таких рідин, як плазма крові, є поверхневий натяг.

У рідинах середні відстані між молекулами значно менші, ніж у газах, тому сили взаємодії між молекулами грають у рідинах суттєву роль. Молекула, що знаходиться всередині рідини, взаємодіє з оточуючими її молекулами. Оскільки сили взаємодії симетричні, то рівнодіюча всіх сил, що діють на цю молекулу, в середньому дорівнює нулю. Молекули ж, що знаходяться на поверхні рідини, зазнають більшої дії з боку молекул рідини, ніж з боку

молекул пари та газу, над поверхнею рідини. Тому у поверхневому шарі рідини виникає надмірний молекулярний тиск, що спрямований по нормалі в середину рідини.

Перехід молекул з глибини рідини у поверхневий шар супроводжується роботою проти сил молекулярного притягання. Робота, яка витрачена на утворення поверхні рідини, призводить до збільшення потенційної енергії молекул поверхневого шару. Отже поверхневий шар рідини має зайву вільну енергію.

Як відомо, рівноважний стан – це стан із мінімумом вільної енергії, тому поверхня рідини прагне зменшитися. Це прагнення зменшити поверхню здійснюється силами притягання між молекулами, які діють на поверхні рідини (ці сили називаються силами поверхневого натягу). Рідина поводить себе так, як наче вона містилася б в пружній розтягнутій плівці, що прагне до стиснення. Наприклад, за відсутності зовнішніх сил рідина приймає форму кулі – форму тіла, яке за деякого об'єму має мінімальну поверхню. Поверхневий шар складається з тих самих молекул, що й ця рідина. Взаємодія між молекулами має в поверхневому шарі такий самий характер, що і всередині рідини.

Припустимо, що є прямокутна рамка з рухомою перекладиною, яка зтягнута плівкою рідини (рис.2).

Плівка являє собою плоский об'єкт рідини, обмежений із двох сторін поверхневим шаром. Внаслідок прагнення поверхневого шару до скорочення з боку плівки буде діяти на перекладину сила:

$$F_{п.н.} = 2\alpha l, \quad (1)$$

де l – довжина перекладини; α – сила поверхневого натягу, що приходить на одиницю довжини контуру (цю величину називають коефіцієнтом поверхневого натягу).

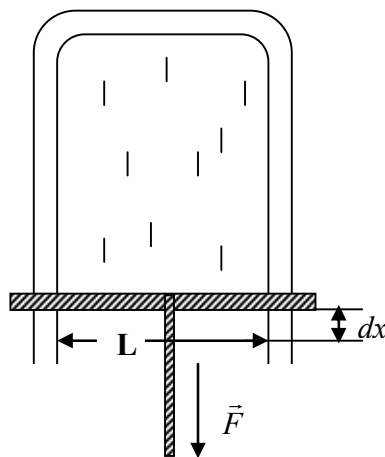


Рис.2. Прямокутна рамка з рухомою перекладиною

Щоб перекладина знаходилася в рівновазі, до неї треба прикласти зовнішню силу F , яка дорівнює силі натягу плівки, тобто

$$F = 2\alpha l. \quad (2)$$

Припустимо, що перекладина переміститься у напрямку дії сили F на величину dx . Цей процес супроводжується здійсненням рідиною над перекладиною роботи

$$dA = -F \cdot dx = -2\alpha l \cdot dx = -\alpha \cdot dS, \quad (3)$$

де dS – приріст поверхні поверхневого шару. Припустимо, що дослід здійснюється за ізотермічних умов, тобто $T = \text{const}$. При цьому процесі робота дорівнює зменшенню вільної енергії, тому

$$dA = -\alpha \cdot dS = -dW_{\text{вільн.}}. \quad (4)$$

Отриманий результат означає, що при ізотермічному збільшенні площі поверхневого шару на dS , вільна енергія рідини зростає на $dW_{\text{вільн.}} = \alpha \cdot dS$. Таким чином, коефіцієнт поверхневого натягу являє собою вільну енергію, що належить до одиниці площі поверхневого шару. Відповідно до цього α можна виразити у "СІ" не лише у Н/м , а також у Дж/м^2 .

Коефіцієнт поверхневого натягу рідини залежить від навколишнього середовища, з яким вона стикається. Зі збільшенням температури поверхневий натяг зменшується, а поблизу критичної температури зменшується до нуля. Це впливає з того, що густина рідини та насиченого пару у критичному стані однакові, і поверхня розділу між ними зникає.

Домішки сильно впливають на значення поверхневого натягу. Наприклад, розчинення у воді мила зменшує її коефіцієнт поверхневого натягу в півтора рази, а розчинення у воді NaCl приводить до збільшення α .

Лабораторна установка призначена для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини наведена на рис.3.

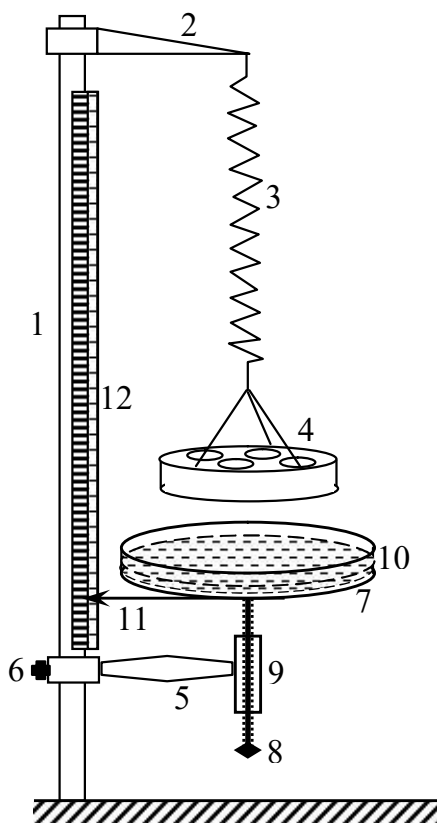


Рис.3. Схема вимірювальної установки

У верхній частині штатива 1 є кронштейн 2, до кінця якого прикріплена пружина 3. До кінця пружини на нитках підвішене кільце 4. У нижній частині штативу закріплено кронштейн 5, який фіксується на штативі гвинтом 6. Підставка 7 може рухатися вгору-вниз уздовж циліндричного отвору кронштейна. Переміщення підставки вгору здійснюється за допомогою гвинта 8. При обертанні гвинта 8 у протилежний бік підставка під дією власної ваги переміщується вниз.

На підставці розміщується чашка Петрі 10 із досліджуваною рідиною. До підставки жорстко прикріплений показчик 11. Лінійка 12 призначена для визначення подовження пружини.

Порядок виконання роботи

1. Проградувати пружину. Для цього ослабити гвинт 6 та кронштейн із підставкою і гайкою відхилити вбік на 90° та зафіксувати в цьому положенні гвинтом 6., Визначити положення кільця відносно шкали (рис.4). За допомогою пінцета опустити гирьку 0,5 г на середину кільця, при цьому пружина подовжиться. Записати данні (n_1) положення кільця відносно шкали. Збільшуючи поступово масу на 0,5 г, довести її до 4,0 г, записуючи положення кільця ($n_1...n_8$). За цими даними побудувати на міліметровому папері графік $\Delta x = f(P)$, де $\Delta x = n_i - n_0$ – подовження пружини.

2. Привести установку у вихідне положення. При цьому треба звернути увагу на те, щоб кільце відносно шкали установки залишилося в початковому положенні n_0 , оскільки при занурюванні кільця в рідину на кільце діятиме сила виштовхування, а дія цієї сили негативно впливає на точність вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу α .

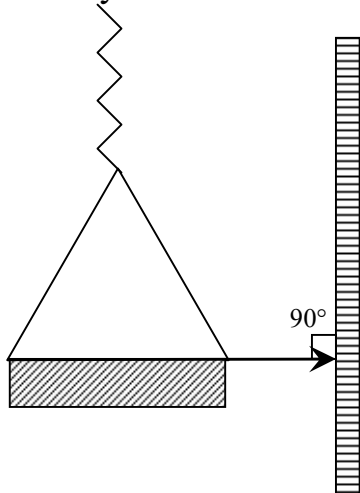


Рис.4. – Вимірювання подовження пружини

3. Записати початкове положення показчика 11. Починайте повільно відкручувати гвинт 8. При цьому підставка разом з чашкою Петрі й досліджуваною рідиною опускатиметься вниз. Під дією сил поверхневого

натягу кільце також рухатиметься за рідиною вниз, розтягуючи при цьому пружину. В момент, коли сили поверхневого натягу стануть дорівнювати силі розтягнення пружини, кільце відірветься від поверхні рідини. Записати положення покажчика N_1 . Обчислити подовження пружини $\Delta x = N_1 - N_0$, яке визвано дією на кільце сил поверхневого натягу. Дослід повторити не менше 3...5 разів. Обчислити $\Delta x_{сер}$.

4. За графіком залежності $\Delta x = f(P)$ визначити $F_{п.н.}$.

5. Коефіцієнт поверхневого натягу обчислити за формулою

$$\alpha = \frac{F_{п.н.}}{2\pi(d - h)}, \quad (5)$$

де d – зовнішній діаметр кільця, h – товщина кільця.

6. Обчислити абсолютну $\Delta\alpha$ та відносну δ похибки.

Результати дослідження оформити у вигляді таблиці:

Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини

№ з/п	n_0	n_i	Δx	N_0	N_i	$\Delta x_{сер}$	$F_{п.н.}$	α	$\Delta\alpha$

Примітка. Зовнішній діаметр кільця $d=80$ мм. Товщина кільця $h=1$ мм.

Контрольні запитання і завдання

1. Яка причина виникнення сил поверхневого натягу з молекулярної точки зору?
2. Який фізичний зміст коефіцієнту поверхневого натягу?
3. Від чого залежить коефіцієнт поверхневого натягу рідини?
4. Одиниці вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу в "СІ".
5. Як одержано формулу (5) для визначення α методом відриву кільця?
6. Наведіть приклади речовин із різними значеннями коефіцієнту поверхневого натягу.
7. Яка причина залежності коефіцієнта поверхневого натягу від температури?
8. В чому полягає метод відриву кільця для визначення коефіцієнта поверхневого натягу?
9. Від чого залежить похибка вимірювань коефіцієнта поверхневого натягу?

Лабораторна робота № 4

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ: ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ РІДИНИ МЕТОДОМ СТОКСА

Мета роботи:

1. Ознайомитися з методами визначення коефіцієнту внутрішнього тертя рідин.
2. Визначити коефіцієнт внутрішнього тертя натягу модельної досліджуваної рідини методом Стокса.

Теоретичні відомості

Об'єм крові в організмі є відносною постійною величиною. Він залежить від виду тварини, її статі, віку, породи та господарського використання. У різних видів тварин об'єм крові становить у середньому 5-9% від маси тіла. Причому у самців, як правило, цей показник більший, ніж у самок. Збільшує об'єм крові інтенсивне використання тварин. Так, у спортивних коней дана величина становить 14-15%, у ваговозів – 7-8% від маси тіла. З віком об'єм крові зменшується внаслідок дегідратації (зневоднення) організму.

З усього об'єму крові лише приблизно половина її циркулює по судинах організму і тому називається циркулюючою, решта крові затримується в капілярах деяких органів і називається депонованою. Депонована кров густіша і містить більше формених елементів, ніж циркулююча. Органи, які затримують кров, називають кров'яними депо. До депо крові слід віднести: печінку (вміщує до 20% об'єму крові), селезінку (16%), шкіру (10%) та легені. Співвідношення між циркулюючою та депонованою кров'ю може змінюватись в залежності від стану організму. Як правило, при фізичній роботі, емоційних збудженнях, підвищеному споживанні рідини та ін. кількість циркулюючої крові збільшується.

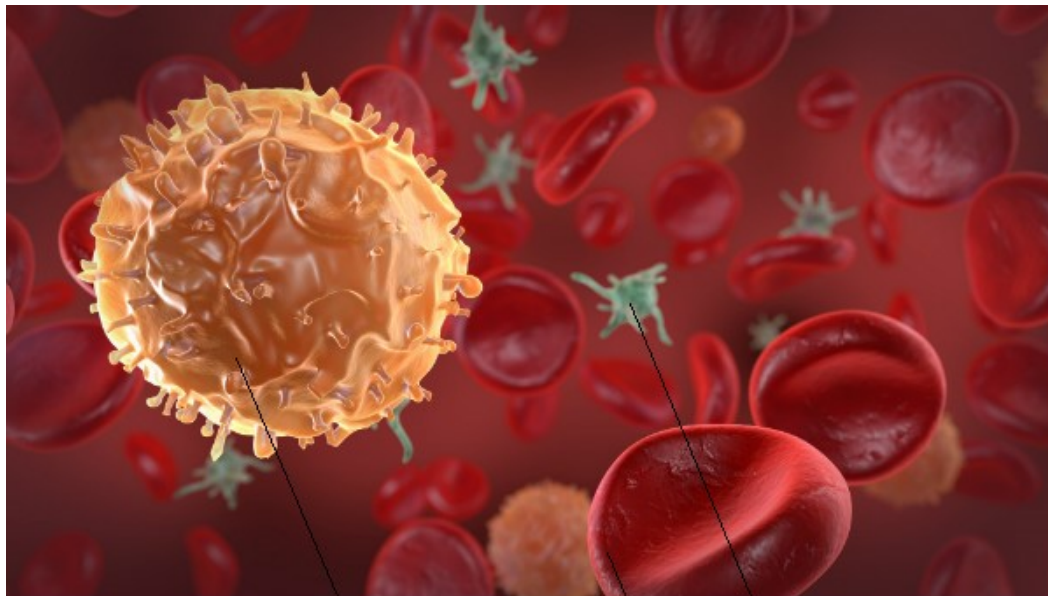
Кров відносять до опорно-трофічних тканин організму і тому у ній виділяють дві частини (рис. 1):

1. міжклітинна речовина (плазма) – вона становить 55-60% об'єму крові. Плазма у свою чергу поділяється на воду та сухі речовини;
2. формені елементи – вони становлять 40-45% об'єму крові. Їх поділяють на види: еритроцити, лейкоцити та тромбоцити.

Співвідношення об'ємного вмісту формених елементів (на практиці – обсягу еритроцитів) до загального об'єму крові називають гематокритним співвідношенням (гематокритним числом, гематокритом). Підвищення гематокриту позначають як поліцитемію, а зниження – олігоцитемію.

Основні фізико-хімічні властивості крові наступні.

Відносна густина крові – це маса одиниці об'єму. У тварин вона дорівнює середньому 1,035–1,063 кг/л. Густина крові залежить переважно від кількості у ній еритроцитів, гемоглобіну, білків і солей. Велика кількість ліпідів у крові знижує її густину.



лейкоцит

еритроцит

тромбоцит

*з відкритого доступу Internet

Рис.1. Формені елементи крові

В'язкість характеризує здатність протистояти течії крові, силу внутрішнього тертя обумовлену взаємодією частинок даної рідини. В'язкість плазми в 1,8-2,2 рази більша, ніж в'язкість води, а цільної крові – в 4-5 разів. Вона обумовлена у більшому ступені наявністю в крові еритроцитів та в меншому – білків плазми. Тому в'язкість крові підвищується при великих втратах організмом води та різкому уповільненні струму крові, що призводить до агрегації еритроцитів. В'язка кров викликає напруження роботи серця з проштовхування її судинами. У капілярах в'язкість крові менша, ніж у великих судинах.

Осмотичний тиск – це тиск розчинених у крові речовин. Він змушує рухатися воду через напівпроникну мембрану із розчину з низькою концентрацією розчинених речовин в розчин з високою концентрацією речовин. Електроліти забезпечують 98-99% осмотичного тиску, 60% із них припадає на хлорид натрію, 1-2% – на білки. Осмотичний тиск становить у тварин середньому 7,3-8 атмосфер (5-6 тисяч мм.рт.ст.). Для його створення в крові теплокровних тварин концентрація солей має бути рівною 0,85-0,9%, а в крові холоднокровних – 0,65%. Будь-які розчини, що мають такий самий осмотичний тиск, називають ізотонічними (фізіологічними). Прикладом ізотонічного розчину є 0,85%-ий розчин хлористого натрію. Розчини, що мають більш високий осмотичний тиск, називають гіпертонічними, нижчий тиск – гіпотонічними.

Осмотичний тиск визначає розподіл води між тканинами та клітинами. Функції клітин організму можуть здійснюватися лише за відносної стабільності

осмотичного тиску. У гіпертонічному розчині еритроцити зморщуються внаслідок виходу із них води у розчин, а гіпотонічному – збільшуються у розмірах в результаті переходу води з розчину до них.

Онкотичний (колоїдний) тиск – це частина осмотичного тиску, створюваного білками. Він невеликий (25-30 мм.рт.ст.) і в основному зумовлений альбумінами, які мають виражену здатність притягати до себе воду. Онкотичний тиск сприяє утриманню води в судинному руслі та її переходу з тканинної рідини в кров. Тому при зниженні онкотичного тиску крові відбувається вихід води із судин, що призводить до набряку оточуючих судини тканин.

Кислотно-лужна рівновага крові – це активна реакція крові, зумовлена співвідношенням водневих та гідроксильних іонів. Для її вираження використовують показник рН, який у тварин становить у середньому 7,35-7,55 (слабколужна реакція). Активна реакція крові є відносно постійною величиною, що забезпечує діяльність тканин та органів. Зміщення рН крові в кислу сторону, зумовлене збільшенням у ній водневих іонів, називають ацидозом. Зміщення реакції крові в лужний бік, зумовлений збільшенням у ній гідроксильних іонів, називають алкалозом. Зміна рН призводить до порушення роботи органів та систем організму.

В даній роботі розглядається така фізична властивість крові як в'язкість.

Якщо у рідині різні шари рухаються з різною швидкістю, то між ними виникає сила внутрішнього тертя, пропорційна площі поверхні шару та градієнту швидкості:

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

де η – коефіцієнт пропорційності, який характеризує властивості цієї рідини і називається коефіцієнтом внутрішнього тертя; $\frac{dv}{dz}$ – градієнт швидкості; S – площа дотичних шарів.

Коли маленька кулька повільно рухається у рідині, вона зустрічає опір, який обумовлений в'язкістю рідини. Під час руху кульки шар рідини, який дотичний до її поверхні, прилипає до кульки й рухається з її швидкістю. Найближчі суміжні шари рідини також приводяться до руху. Швидкість, яку вони отримують, тим менша, чим далі вони знаходяться від кульки. Стокс теоретично показав, що під час падіння кульки у безмежній рідині, коли не утворюються ніякі завихрення, сила тертя, яка діє на неї, визначається за формулою:

$$F = 6\pi\eta r v \quad (2)$$

де v – швидкість падіння кульки (ця швидкість повинна бути малою); r – радіус кульки ($r \ll R$); R – радіус сосуда, у якому падає кулька.

На кульку, яка падає у в'язкій рідині, діють три сили:

1. $\vec{P}$ – сила тяжіння

$$\vec{P} = mg \quad (3)$$

де m – маса кульки, g – прискорення вільного падіння.

Маса кульки m визначається за формулою :

$$m = \rho \cdot V \quad (4)$$

де ρ – густина кульки, V – об'єм, який дорівнює:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (5)$$

Підставляючи у формулу (3) значення величин, знаходимо силу тяжіння:

$$\vec{P} = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \vec{g}. \quad (6)$$

2. $\vec{F}_e$ – виштовхувальна сила, яка визначається за законом Архімеда:

$$\vec{F}_e = m_1 \cdot \vec{g} = \rho_1 \frac{4}{3}\pi r^3 \vec{g} \quad (7)$$

де ρ_1 – густина рідини, в'язкість якої визначається.

3. $\vec{F}_m$ – сила опору руху, яка обумовлена силами внутрішнього тертя. Ця сила визначається за формулою Стокса.

При падінні кульки сила тяжіння направлена вниз, виштовхувальна сила та сила тертя направлені вгору. Під час руху кульки швидкість її збільшується, а значить, росте і сила внутрішнього тертя. За деякого значення швидкості кульки сили, які діють на неї, урівноважуються. Рух кульки при цьому буде прямолінійним та рівномірним. Кулька буде рухатись по інерції зі сталою швидкістю v . У даному випадку маємо:

$$\vec{P} - \vec{F}_e - \vec{F}_m = 0 \quad (8)$$

У формулу (8) підставляємо значення величин з формул (2), (6) та (7):

$$\rho \frac{4}{3}\pi r^3 g - \rho_1 \frac{4}{3}\pi r^3 g - 6\pi r v \eta = 0 \quad (9)$$

Розв'язуючи рівняння (9) відносно коефіцієнта внутрішнього тертя, отримуємо:

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_1)}{9v} g r^2, \quad (10)$$

v – швидкість руху кульки, яку за сталого руху знаходимо за формулою:

$$v = \frac{l}{t}, \quad (11)$$

де l – шлях у в'язкій рідині, який проходить кулька; t – час руху кульки.

Здійснити падіння кульки у необмеженій рідині практично неможливо, оскільки рідина завжди знаходиться у якомусь посуді, який має реальні стінки. Врахування стінок під час руху кульки вздовж осі циліндричного посуду призводить до такого виразу для коефіцієнта в'язкості:

$$\eta = \frac{2}{9} r^2 g \frac{(\rho - \rho_1)}{v \left(l + 2,4 \frac{r}{R} \right)}, \quad (12)$$

де R – радіус посуду, у якому рухається кулька.

Одиниця в'язкості – Паскаль-секунда ($\text{Па} \cdot \text{с}$). Чим більша в'язкість, тим рідина більше відрізняється від ідеальної, тим більші сили внутрішнього тертя у ній виникають. В'язкість залежить від температури. При підвищеній температурі коефіцієнт в'язкості зменшується. Особливо залежить від температури в'язкості мастил. Наприклад, в'язкість касторової олії в інтервалі $18...40^\circ\text{C}$ падає у чотири рази. Тому, записуючи значення коефіцієнта внутрішнього тертя, треба вказувати температуру рідини.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою мікрометра виміряти діаметр кульки d у трьох місцях, взяти середнє значення. Записати значення радіуса $r = d/2$. Результати вимірів записати у таблицю за зразком:

	ρ , кг/м ³	ρ_1 , кг/м ³	r , м	R , м	l , м	v , м/с	T , К	η , Па·с	η_1 , Па·с
1.									
2.									
...									

2. Записати температуру рідини, вважаючи, що вона дорівнює кімнатній температурі.

3. Масштабною лінійкою виміряти відстань L між мітками декілька разів і взяти середнє значення.

4. Опустити кульку у рідину ближче до осі циліндричної трубки. Око спостерігача має знаходитися проти верхньої мітки так, щоб вони зливалися в одну лінію. В момент перетину кулькою верхньої мітки слід увімкнути секундомір, при проходженні нижньої – вимкнути його. Відлік за секундоміром дає час t проходження кулькою шляху l .

5. Розрахувати швидкість кульки v за формулою (11).

6. Дослід повторити 3...5 разів.

7. Занести до таблиці значення g , ρ , ρ_1 , які є сталими.

8. Виміряти радіус трубки R .

9. За формулою (10) розрахувати значення коефіцієнта в'язкості для кожного дослідів η .

10. Розрахувати значення коефіцієнта в'язкості η_1 за формулою (12).

11. Розрахувати абсолютну та відносну похибки.

Контрольні запитання і завдання

1. Що таке коефіцієнт внутрішнього тертя? Який його фізичний зміст?
2. Від чого залежить коефіцієнт в'язкості?
3. Які сили діють на кульку під час її руху у в'язкій рідині?
4. Виведіть формулу (10).
5. Які явища належать до явищ переносу?
6. Внаслідок чого виникає у рідині тертя?
7. Яке співвідношення є між коефіцієнтами внутрішнього тертя та дифузії?
8. Як залежить коефіцієнт внутрішнього тертя від температури?
9. Чому відлік часу починають не від поверхні рідини?
10. Як змінюється швидкість руху кульки при збільшенні її діаметру?

Лабораторна робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ РОСЛИННОГО ТА ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Мета роботи:

1. Освоїти методику вимірювання повітропроникності капілярно-пористих матеріалів.
2. Дослідити повітропроникність модельних капілярно-пористих матеріалів рослинного та тваринного походження.

Теоретичні відомості

Повітропроникність капілярно-пористих матеріалів у загальному вигляді визначається законом Дарсі:

$$B = \frac{V}{t \cdot S} = K \frac{\Delta P}{\eta d} \quad (1)$$

де V – об'єм повітря, що пройшов крізь зразок за час t ; S – площа зразка; ΔP – перепад тиску; η – в'язкість газу (повітря); d – товщина зразка; K – коефіцієнт, який залежить від природи пористого зразка.

Теоретичне значення K може бути визначено, якщо обрати конкретну модель капілярно-пористого матеріалу. Для "капілярної" моделі, що має наскрізні капіляри різного радіуса, для K маємо

$$K = \frac{\Pi \bar{r}^2}{8}, \quad (2)$$

де Π – загальна пористість зразка; $\bar{r}^2$ – середньоквадратичний радіус пор, який залежить від функції розподілу пор за радіусами в тілі.

Диференційна функція розподілу пор за радіусами має вигляд:

$$f(r) = \frac{dV}{V_0 dr}, \quad (3)$$

де dV – об'єм пор в інтервалі $[r, r + dr]$; V_0 – загальний об'єм пор.

Визначення $f(r)$ являє собою важке завдання і потребує спеціальних методів, а тому важко теоретично визначити і повітропроникність.

В наведеній роботі будемо визначати повітропроникність експериментально за формулою

$$B = \frac{V}{t \cdot S}, \quad (4)$$

де V – об'єм повітря, яке пройшло через зразок за час t , S – площа зразка.

Після цього, визначивши B за формулою (4), можна знайти коефіцієнта K , який є структурною характеристикою тіла.

Установку для вимірювання повітропроникності зображено на рис.1.

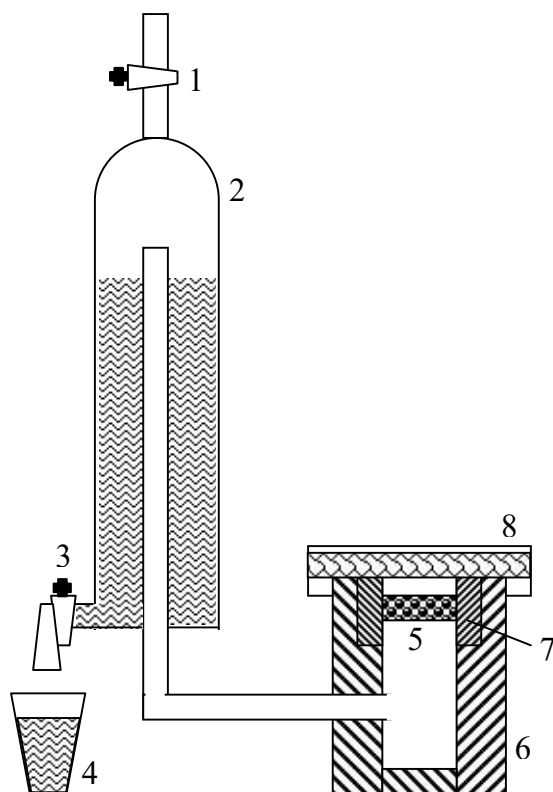


Рис.1. Схема вимірювальної установки

Вона складається з вимірювального скляного циліндра 2, в який наливається вода через кран 1. Зразок капілярно-пористого тіла (дається викладачем) 5 стискується у вимірювальній чарунці між гумовими прокладками 7 накидною гайкою 8. Тримач зразка (чарунка) з'єднується з циліндром 2 вакуумною гумовою трубкою 9.

Установка працює наступним чином. Закриваємо кран 1 і відкриваємо кран 3. При цьому вода з вимірювального циліндру виливається в мензурку 4 і дає об'єм V повітря, яке пройшло крізь зразок за час t . Перепад тиску ΔP дорівнює висоті водяного стовпа у вимірювальному циліндрі.

Повітропроникність капілярно-пористого тіла знаходимо за формулою (4), а потім визначаємо структурний коефіцієнт K .

$$K = \frac{B\eta d}{\Delta P}. \quad (5)$$

Порядок виконання роботи

1. Помістити зразок капілярно-пористого тіла у вимірювальну чарунку і зафіксувати її накидною гайкою.

2. Налити воду у вимірювальний циліндр до висоти 40...45 см.

3. Відкрити кран 3 (попередньо заклавши кран 1) і увімкнути секундомір. Далі записувати висоту відмітки води в скляному циліндрі через рівні проміжки часу.

4. Після того, як мензурку 4 заповнено на 75% водою, секундомір вимикнути і записати значення часу t і об'єму води в мензурці V в системі СІ.

5. З розміру отвору в чарунці визначити робочу площу зразка S .

6. За формулою (4) визначити повітропроникність капілярно-пористого матеріалу.

7. За формулою (5) визначити структурний коефіцієнт K . При цьому для коефіцієнта внутрішнього тертя повітря взяти значення $\eta = 1,84 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$.

Контрольні запитання і завдання

1. Що називається повітропроникністю і чому важко виконувати теоретичні розрахунки проникності капілярно-пористих тіл?

2. У чому полягає відмінність у визначенні повітропроникності в одиночному капілярі і капілярно-пористому тілі?

Лабораторна робота № 6

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОКА: МЕТОД ГРАФІЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНИХ ПРОМЕНІВ

Мета роботи:

1. Експериментальне визначення фокусної відстані розсіювальної та збиральної лінзи.
2. Дослідження залежності заломлювальної здатності лінз на різних відстанях від головної оптичної осі та від частоти падаючого випромінювання методом графічної візуалізації хроматичних та ахроматичних ліній у геометричній оптиці.

Теоретичні відомості

Зір ссавців – процес сприйняття ссавцями видимого електромагнітного випромінювання, його аналізу та формування суб'єктивних відчуттів, на підставі яких складається уявлення тварини про просторову структуру зовнішнього світу. Відповідає за цей процес у ссавців зорова сенсорна система, основи якої склалися ще на ранньому етапі еволюції хордових. Її периферичну частину утворюють органи зору (очі), проміжну (що забезпечує передачу нервових імпульсів) – зорові нерви, а центральну – зорові центри у корі мозку.

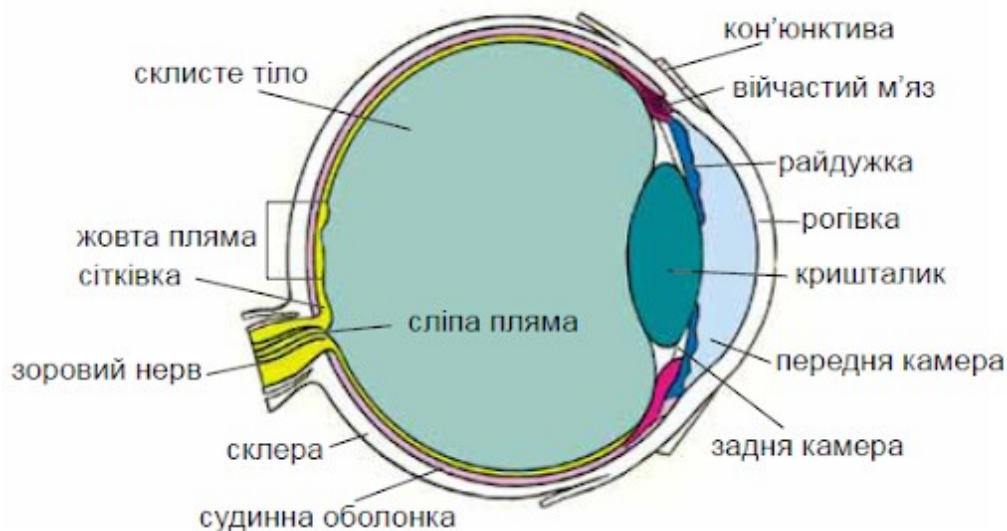
Розпізнавання візуальних стимулів у ссавців є результатом спільної роботи органів зору та головного мозку. При цьому значна частина зорової інформації обробляється вже на рівні рецепторів, що дозволяє багаторазово скоротити обсяг інформації, що надходить до мозку. Усунення надмірної кількості інформації неминуче: якщо об'єм інформації, що надходить на рецептори зорової системи, вимірюється мільйонами біт за секунду (у людини – близько $1 \cdot 10^7$ біт/с), то можливості нервової системи з її обробки обмежені десятками біт за секунду.

Органи зору у ссавців розвинені, як правило, досить добре, хоча в їхньому житті вони мають менше значення, ніж у птахів: зазвичай ссавці звертають мало уваги на нерухомі предмети. Так до людини, що стоїть без руху, навіть настільки обережні звірі, як лисиця або заєць, можуть підійти впритул. Розміри очей у ссавців порівняно невеликі: так, у людини маса очей становить 1% від маси голови, тоді як у шпака досягає 15%. У лісових звірів зір не такий гострий, а у підземних видів очі більшою або меншою мірою редуковані, в деяких випадках навіть зтягнуті шкірястою перетинкою.

Око (рис.1) являє собою сферичне тіло (очне яблуко), майже повністю покрите непрозорою твердою оболонкою (склерою). У передній частині ока оболонка переходить у опуклу та прозору рогівку. Склера і рогівка обумовлюють форму ока, захищають його і є місцем кріплення окорухових м'язів. Діаметр всього очного яблука близько 22-24 мм, маса 7-8 г.

Тонка судинна пластинка (райдужна оболонка) є діафрагмою, що обмежує пучок променів, який потрапляє в око. Через отвір у райдужній

оболонці (зіниці) світло проникає у око. Залежно від величини падаючого світлового потоку діаметр зіниці може змінюватися від 1 до 8 мм.



*з відкритого доступу Internet

Рис.1. Горизонтальний розріз ока

Крім судин райдужна оболонка містить велику кількість пігментних клітин, залежно від їхнього вмісту та глибини залягання райдужна оболонка має різний колір. Коли в райдужній оболонці немає жодної кольорової речовини, то вона здається червоною від крові, що знаходиться в кровоносних судинах, які пронизують її. У цьому випадку очі погано захищені від світла і іноді страждають на світлобоязнь (альбінізм), але в темряві перевершують по гостроті зору очі з темним забарвленням.

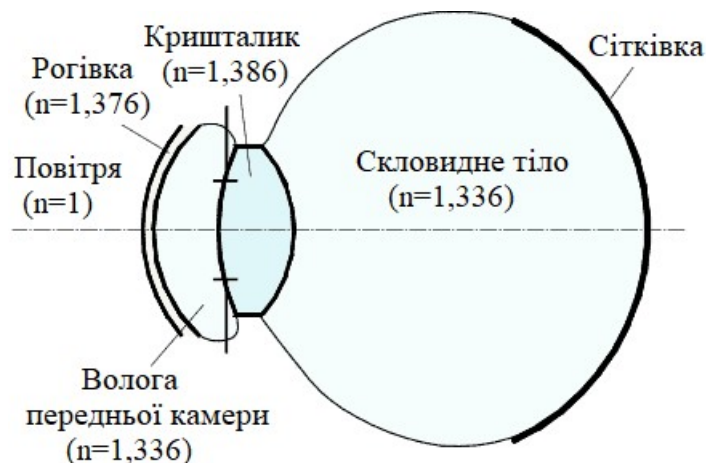
Кришталик є двоопуклою еластичною лінзою, яка кріпиться на м'язах війноного тіла. Війне тіло забезпечує зміну форми кришталика. Кришталик розділяє внутрішню поверхню ока на дві камери: передню камеру, заповнену водянистою вологою, та задню камеру, заповнену склоподібним тілом.

Внутрішня поверхня задньої камери покрита сітківкою, що є світлочутливим шаром. Отримуване світлочутливими елементами сітківки подразнення передається волокнам зорового нерву і по них досягає зорових центрів мозку. Між сітківкою і склерою знаходиться тонка судинна оболонка, що складається з мережі кровоносних судин, що живлять око.

Місце входу зорового нерву є сліпою плямою. Трохи вище розташована жовта пляма – ділянка найяскравішого бачення. Лінія, що проходить через центр жовтої плями та центр кришталика, називається зоровою віссю. Вона відхилена від оптичної осі ока на кут близько 5° .

Потік випромінювання, відбитий від предмета, що спостерігається, проходить через оптичну систему ока і фокусується на внутрішній поверхні ока – сітчастій оболонці, утворюючи на ній зворотне і зменшене зображення (мозок «перевертає» зворотне зображення, і воно сприймається як пряме). Оптичну систему ока складають рогівка, рідка волога, кришталик і склоподібне тіло

(рис. 2). Особливістю цієї системи є те, що останнє середовище, через яке проходить світло безпосередньо перед утворенням зображення на сітківці, має показник заломлення, відмінний від одиниці. Внаслідок цього фокусні відстані оптичної системи ока у зовнішньому просторі (передня фокусна відстань) і всередині ока (задня фокусна відстань) неоднакові.



*з відкритого доступу Internet

Рис. 2. Оптична система ока

Заломлення світла в оці відбувається головним чином на його зовнішній поверхні – роговій оболонці, чи рогівці, а також на поверхні кришталіка.

Оптична система ока надзвичайно складна, тому під час розрахунків ходу променів зазвичай користуються спрощеними, еквівалентними до справжнього ока «схематичними очима».

Оптична сила ока (вимірюється в діоптріях – дптр) обчислюється як зворотна фокусна відстань:

$$\Phi = 1/f, \quad (1)$$

де – f задня фокусна відстань ока, виражена в метрах.

Акомодація – це здатність ока пристосовуватися до чіткого розрізнення предметів, розташованих на різних відстанях від ока.

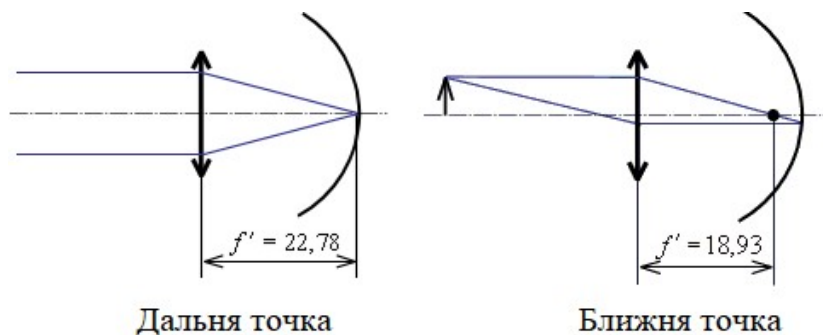
Акомодація відбувається шляхом зміни кривизни поверхонь кришталіка за допомогою натягу або розслаблення війноного тіла. Коли війне тіло натягнуте, кришталік розтягується та його радіуси кривизни збільшуються. При зменшенні натягу м'яза кришталік під дією пружних сил збільшує свою кривизну.

У вільному, ненапруженому стані нормального ока на сітківці створюються ясні зображення нескінченно віддалених предметів, а при найбільшій акомодатії видно найближчі предмети.

Положення предмета, за якого створюється різке зображення сітківці для ненапруженого ока, називають далекою точкою ока.

Положення предмета, за якого створюється різке зображення на сітківці при максимальному можливому напруженні ока, називають ближньою точкою ока.

При акомодції ока на нескінченність задній фокус збігається із сітківкою. При найбільшій нарузі на сітківці утворюється зображення предмета, що знаходиться на відстані близько 9 см (рис.3).



*з відкритого доступу Internet

Рис. 3. Зображення дальньої та ближньої точок

Різницю зворотних величин відстаней між ближньою та дальньою точками називають діапазоном акомодції ока (вимірюється в дптр).

З віком здатність ока до акомодції поступово зменшується. Скажімо, для людини у віці 20 років для середнього ока ближня точка знаходиться на відстані близько 10 см (діапазон акомодції 10 дптр), в 50 років ближня точка розташовується на відстані вже близько 40 см (діапазон акомодції 2,5 дптр), а до 60 років переходить на нескінченність, тобто акомодція припиняється. Це називається віковою далекозорістю або пресбіопією.

Відстань найкращого зору – це відстань, у якому нормальне око відчуває найменшу напругу під час розгляду деталей предмета.

У середньому відстань найкращого зору становить близько 25-30 см, хоча для кожної людини це може бути індивідуальним.

Таким чином, око людини є складним оптичним приладом. Однак, незважаючи на всю складність, основні принципи функціонування його світлопровідної системи можуть бути описані законами геометричної оптики.

Розділ оптики, у якому закони розповсюдження світла розглядаються на основі уявлення про світлові промені, називають *геометричною оптикою*. Під світловими променями розуміють нормальні до хвильових поверхонь лінії, уздовж яких поширюється потік світлової енергії. Геометрична оптика, залишаючись наближеним методом побудови зображень в оптичних системах, дозволяє розглянути основні явища, пов'язані з проходженням через них світла, і тому є основою теорії оптичних приладів.

Лінзи – найпростіші оптичні прилади. Вони являють собою прозорі тіла, обмежені двома поверхнями (одна з них звичайно сферична, іноді циліндрична, а друга – сферична або плоска), які заломлюють світлові промені та здатні формувати оптичні зображення предметів. Для виготовлення лінз

використовують наступні матеріали: скло, кварц, кристали, пластмаси тощо. За зовнішньою формою (рис.4) лінзи поділяють на: 1) двоопуклі; 2) плоско-опуклі; 3) двоввігнуті; 4) плоско-вгнуті; 5) опукло-ввігнуті; 6) увігнуто-опуклі. За оптичними властивостями лінзи поділяють на збиральні та розсіювальні.

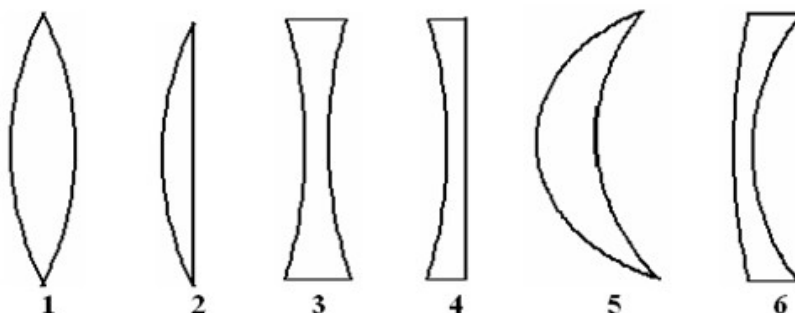


Рис. 4. Види лінз

Лінзу називають *тонкою*, якщо її товщина (відстань між обмежуючими поверхнями) значно менша в порівнянні з радіусами поверхонь, які обмежують лінзу. Пряму, яка проходить через центри кривизни поверхонь лінзи, називають *головною оптичною віссю*. Для будь-якої лінзи існує точка, яку називають *оптичним центром лінзи*, котра лежить на головній оптичній осі та їй притаманна властивість, що промені проходять крізь неї не заломлюючись. Для спрощення оптичний центр O лінзи будемо вважати співпадаючим з геометричним центром середньої частини лінзи (це справедливо тільки для двоопуклої та двоввігнутої лінз з однаковими радіусами кривизни обох поверхонь; для плоско-опуклої та плоско-вгнутої лінз оптичний центр O лежить на перетинанні головної оптичної осі зі сферичною поверхнею).

Вираз

$$(N - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (2)$$

де N – відносний показник заломлення; R_1 та R_2 – радіуси кривизни поверхонь лінзи з відстанями a та b від лінзи до предмета і його зображення, являє собою *формулу тонкої лінзи*. Радіус кривизни опуклої поверхні лінзи вважають позитивним, увігнутої – негативним. Якщо $a = \infty$, тобто промені падають на лінзу паралельним пучком (рис.5а), тоді

$$\frac{1}{b} = (N - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (3)$$

Відповідно до цього випадку відстань $b = OF = f$ називають *фокусною відстанню лінзи*:

$$f = \frac{1}{(N-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}. \quad (4)$$

Вона залежить від відносного показника заломлення та радіусів кривизни.

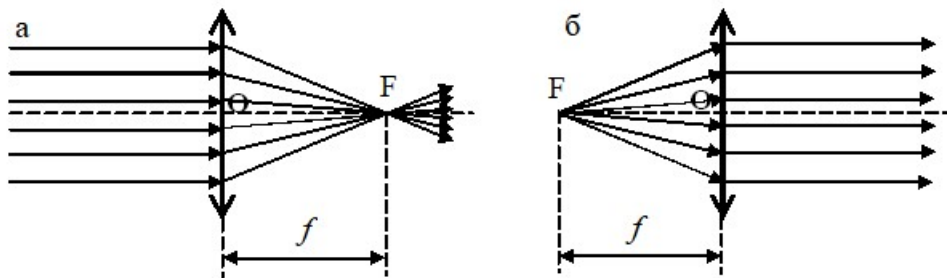


Рис. 5. Хід світлових променів у збиральній лінзі

Якщо $b=\infty$, тобто зображення знаходиться в нескінченності і, отже, промені виходять з лінзи паралельним пучком (рис.5б), тоді $a=OF=f$. Таким чином, фокусні відстані лінзи, оточеної з обох боків однаковим середовищем, рівні. Точки F, які лежать з обох сторін лінзи на відстані, рівній фокусній відстані, називають *фокусами лінзи*. Фокус – це точка, у якій після заломлення збираються всі промені, які падають на лінзу паралельно до головної оптичної осі. Величину

$$(N - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = \Phi \quad (5)$$

називають *оптичною силою лінзи*. Її одиниця – діоптрія (дптр). Діоптрія – оптична сила лінзи з фокусною відстанню 1 м: $1 \text{ дптр} = 1/\text{м}$.

Лінза з *позитивною* оптичною силою є *збиральною*, з *негативною* – *розсіювальною*. Площини, що проходять через фокуси лінзи перпендикулярно її головній оптичній осі, називають *фокальними площинами*. На відміну від збиральної лінзи розсіювальна лінза має уявні фокуси. В уявному фокусі сходяться (після заломлення) уявні продовження променів, які падають на розсіювальну лінзу паралельно головній оптичній осі (рис.6).

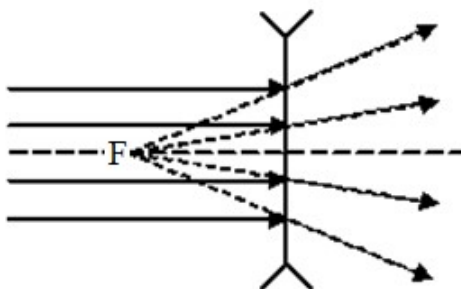


Рис. 6. Хід променів у розсіювальній лінзі

Враховуючи формулу (5), формулу лінзи (4) можна записати у вигляді

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (6)$$

Для розсіювальної лінзи відстані f та b необхідно вважати негативними.

Побудова зображення предмета в лінзах здійснюється за допомогою наступних променів:

- 1) променю, що проходить через оптичний центр лінзи і не змінює свого напрямку;
- 2) променю, що йде паралельно головній оптичній осі, після заломлення в лінзі цей промінь (або його продовження) проходить через другий фокус лінзи;
- 3) променю (або його продовження), що проходить через перший фокус лінзи; після заломлення у ній він виходить з лінзи паралельно її головній оптичній осі.

Відношення лінійних розмірів зображення і предмета називають *лінійним збільшенням лінзи*. Негативним значенням лінійного збільшення відповідає дійсне зображення (воно перевернене), позитивним – уявне зображення (воно пряме). Комбінації збиральної та розсіювальної лінз застосовуються в оптичних приладах, використовуваних для рішення різних наукових та технічних завдань.

Метод *графічної візуалізації оптичного* променю полягає в заміні оптичного променю його геометричною моделлю – прямою лінією, що вказує напрям поширення світлового променю. Цей метод успішно поширюється в лабораторних роботах з геометричної оптики, наприклад: для визначення показника заломлення за допомогою плоскопаралельної пластинки, побудова зображення точкового тіла у плоскопаралельній пластинці, дослідження порушень гомоцентричності пучка променів при проходженні крізь плоскопаралельну пластинку. В цьому методі використовується як плоскопаралельна пластинка, так і напівциліндрична лінза, що дозволяє спостерігати явища повного відбивання, визначати граничний кут повного відбивання та ін.

Метод графічної візуалізації оптичного променю можна успішно застосовувати для вивчення властивостей збиральної та розсіювальної лінз на їх моделях у вигляді фрагментів або скористатися фрагментами з набору до геометричної оптики. Сюди можна віднести: визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної і збиральної лінз, роботи з дослідження хроматичної та сферичної аберацій у лінзах.

Для виконання геометричної побудови зображення у лінзах не обов'язково щоб конструктивні промені проходили крізь лінзу. Для цього достатньо використати її основні характеристики: вісь лінзи, головну оптичну вісь, фокальну площину тощо. Фактичне зображення може бути побудоване іншими реальними, а не основними конструктивними променями. Тому для

побудови ходу реальних променів за допомогою їх графічної моделі достатньо скористатися не цілою лінзою, а лише її частиною.

Визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної та збиральної лінзи

Робота з визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної та збиральної лінзи полягає у вимірюванні відстані від точки фокуса до оптичного центра лінзи. В елементі лінзи (з набору з геометричної оптики) кривизна заломлюючих поверхонь однакова, тому оптичний центр збігається з геометричним центром. В інших випадках оптичний центр може визначатись експериментально, за означенням, як точка лінзи, в якій не змінюється напрям поширення променя. Під час роботи зі звичайною сферичною лінзою фокусна відстань для розсіювальної лінзи визначається за допомогою системи лінз: збиральної та розсіювальної. На екрані двічі отримують зображення від одного й того самого предмета, а потім зі знайденими даними вимірювань виконують математичні операції. В роботі пропонується спосіб безпосереднього вимірювання фокусної відстані на виконаному малюнку, отриманого за допомогою фрагмента лінзи (рис.7).

Спостереження сферичної та хроматичної аберацій у лінзах

При зображенні предметів великих розмірів пучки променів від його крайніх точок можуть утворювати з головною оптичною віссю значні кути. Тому в дійсності в лінзах значних розмірів і при падінні на них білого світла спостерігаються різні відхилення від знайдених закономірностей утворення зображень. Ці відхилення називаються *абераціями*.

Аберації лінз як похибки зображення поділяють на три групи: геометричні, хроматичні та дифракційні. Оптичні системи можуть мати одночасно кілька аберацій.

Геометричні аберації включають сферичну, хроматичну, дисторсію, астигматизм та ін. *Сферична аберація* виникає в широких пучках світлових променів внаслідок того, що промені в лінзі на різній відстані від осі заломлюються по-різному. Чим далі від осі падають на лінзу промені, тим вони сильніше заломлюються. Завдяки сферичній аберації світна точка зображується на екрані, перпендикулярного до оптичної осі, у вигляді кружечка. Для усунення сферичної аберації використовують діафрагму, що виділяє пучок променів, близьких до параксіальних, або ж komponують систему збиральних і розсіювальних лінз, аберації в яких протилежні за знаком.

Завдяки залежності показника заломлення прозорих речовин від довжини світлової хвилі пучок променів білого світла при проходженні через лінзу розкладається на монохроматичні промені, які фокусуються в різних точках. Найближче від лінзи розміщується фокус фіолетових променів, а на найбільшій відстані – фокус червоних променів. Тому на екрані, розміщеному перпендикулярно до оптичної осі, зображення точки матиме вигляд

райдужного кружечка; порядок розподілу кольорів на ньому залежить від розміщення екрана. Цей недолік зображення називають *хроматичною аберацією*.

Усувають чи послаблюють геометричні аберації за допомогою лінз з різною кривизною поверхонь.

Хроматична аберація спричиняється залежністю показника заломлення матеріалу лінзи від частоти випромінювання. Усувають цей недолік оптичної системи за допомогою лінз з різними показниками заломлення.

Дифракційні аберації практично не усуваються, вони визначають роздільну здатність оптичної системи.

Порядок виконання роботи

1. Хід роботи для визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної лінзи:

1.1. На чистому аркуші паперу провести пряму лінію, яка означає головну оптичну вісь (ГОВ), та позначити на ній оптичний центр лінзи O (рис.7а).

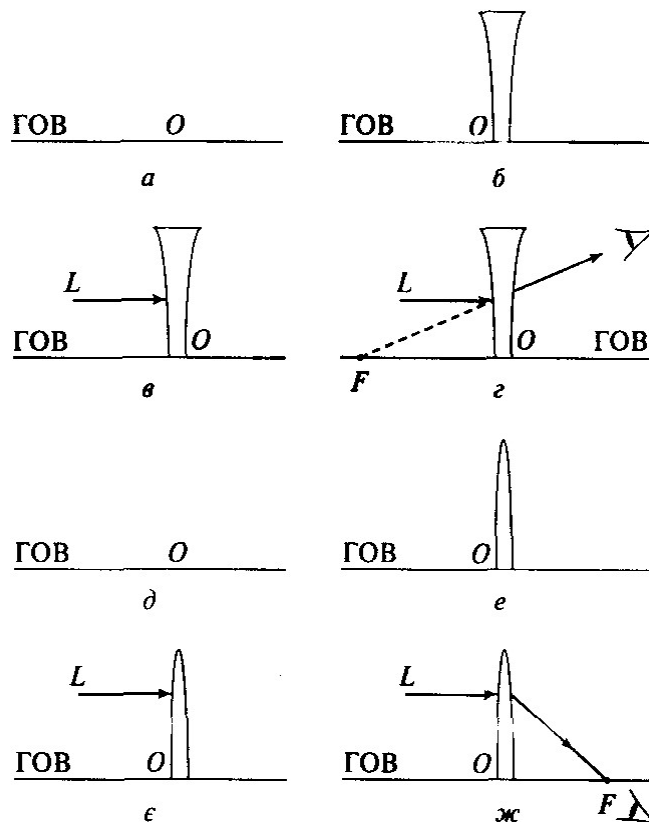


Рис.7. Схема виконання роботи з визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної та збиральної лінз

1.2. Розмістити елемент лінзи симетрично оптичній осі так, щоб вона була перпендикулярна до сферичних поверхонь лінзи, і обвести її олівцем (рис.7б).

1.3. Спрямувати на одну зі сферичних поверхонь лінзи відрізок прямої L , паралельно головній оптичній осі (доцільно вибрати відрізок, коротший за

передбачувану фокусну відстань, інакше зображення частини відрізка буде спотвореним) (рис.7в).

1.4. Розмістити лінійку з іншого боку від лінзи так, щоб вона суміщалась із зображенням у лінзі, і побудувати її зображення (рис.7г).

1.5. Виміряти відстань від оптичного центра до точки перетину фокальної площини з головною оптичною віссю, що й відповідає фокусній відстані лінзи. Визначити оптичну силу лінзи за формулою (6).

1.6. Змістити відносно ГОВ положення відрізка (як моделі падаючого променя), повторити дослід та зробити висновок.

2. Хід роботи для визначення фокусної відстані та оптичної сили збиральної лінзи:

2.1. На чистому аркуші паперу провести пряму лінію, яка означає головну оптичну вісь (ГОВ) і позначити на ній оптичний центр лінзи О (рис.7д).

2.2. Розмістити елемент лінзи симетрично оптичній осі так, щоб вона була перпендикулярна до сферичних поверхонь лінзи, і обвести її олівцем (рис.7е).

2.3. Спрямувати на одну зі сферичних поверхонь лінзи відрізок прямої L, паралельно головній оптичній осі (потрібно вибрати відрізок, коротший за передбачувану фокусну відстань, інакше зображення частини відрізка буде спотвореним) (рис.7є).

2.4. Розмістити лінійку з іншого боку від лінзи так, щоб вона суміщалась із зображенням у лінзі, і побудувати її зображення (рис.7ж).

2.5. Виміряти відстань від оптичного центра до точки перетину фокальної площини з головною оптичною віссю, що й відповідає фокусній відстані лінзи.

2.6. Змістити відносно ГОВ положення відрізка (як моделі падаючого променя), повторити дослід і зробити висновок.

3. Спостереження сферичної та хроматичної аберацій у лінзах:

3.1. Провести пряму лінію L, що імітуватиме головну оптичну вісь лінзи (ГОВ) та вибрати на ній довільну точку О, що відповідатиме положенню оптичного центра лінзи (рис.8а).

3.2. Прикласти фрагмент розсіювальної лінзи до прямої L так, щоб її головна оптична вісь та оптичний центр збігалися з їх моделями (рис.8б), обвести лінзу по контуру тонко заструганим олівцем.

3.3. Зняти лінзу з аркуша (для зручності виконання наступних побудов) і провести два коротких відрізки паралельно L, бажано по один бік від ГОВ так, щоб вони лише доходили до заломлювальної поверхні лінзи (рис.8в). Довжина цих відрізків не повинна перевищувати фокусну відстань цієї лінзи. Інакше зображення в лінзі частини відрізка, розміщеного поблизу фокальної площини, буде нечітким, розмитим.

3.4. Повторно накласти лінзу на своє зображення та спостерігати з протилежного боку лінзи зображення відрізків L_1 і L_2 .

3.5. Під лінійку провести лінії вздовж зображень відрізків L_1 і L_2 до перетину з ГОВ.

3.6. Перевірити положення фокусів F_1 , і F_2 (рис.8г) та зробити висновки.

3.7. Для перевірки наявності хроматичної аберації у лінзах виконати роботу за попереднім зразком, але для цього відрізки L_1 і L_2 провести різними кольорами (наприклад, червоним і синім) і розмістити симетрично відносно ГОВ, щоб запобігти вияву вже дослідженого явища сферичної аберації (рис.8д, е). Роботу виконати на обох фрагментах.

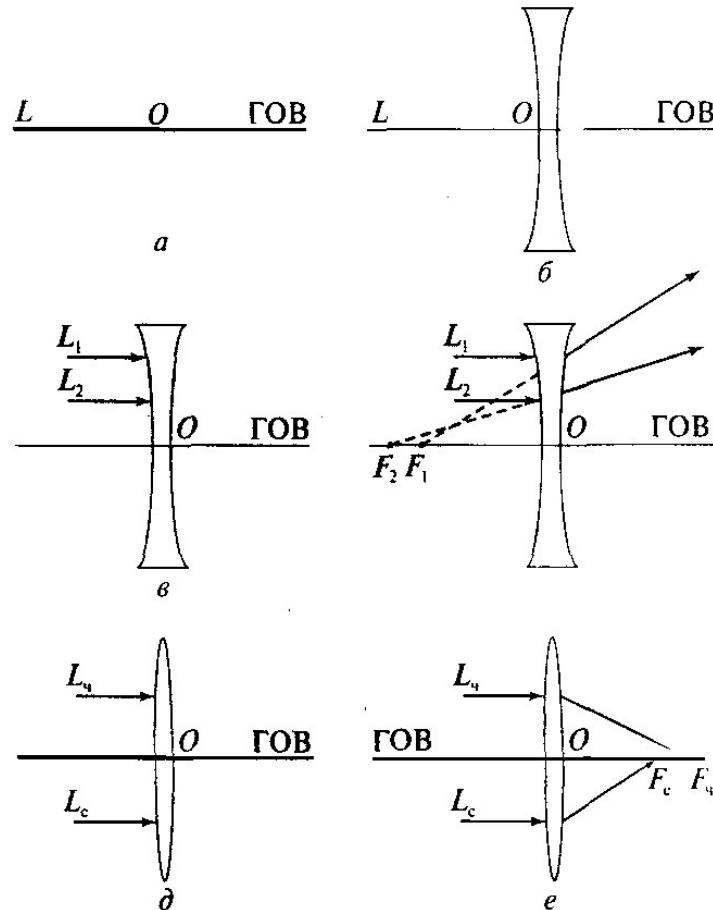


Рис.8. Спостереження сферичної та хроматичної аберацій у лінзах

3.8. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Дайте поняття лінзи.
2. Які лінзи використовують в лабораторній роботі?
3. Яке зображення дає лупа?
4. При яких вадах зору в окулярах застосовують збиральні лінзи?
5. Чому для чіткого зображення всього поля зору (край і центр) лупу доводиться переміщувати, змінюючи відстань до предмета?
6. Аберації, види аберацій, характеристика кожного з видів аберації.
7. Як усунути аберації?
8. Де спостерігається сферична та хроматична аберації?

Навчальне видання

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ ТВАРИН

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт дисципліни
«Фізика з основами біофізики тварин»

Автори-укладачі:

ПАК Андрій Олегович
СЛІПЧЕНКО Максим Володимирович
КУПРІЯНОВА Людмила Володимирівна

Формат папіру 60x84 1/16. Гарнітура TimesNewRoman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний
Умовн. друк. аркушів – 3,0
Наклад 50 пр.
Державний біотехнологічний університет
м. Харків, 61002, вул. Алчевських 44