МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра фізики та математики

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ

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

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми здобуття освіти зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

Харків
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра фізики та математики

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ

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

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми здобуття освіти зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
ФЕЦКТ
Протокол № 1
від 19 січня 2022 р.

Харків

2022

УДК 577.35

Схвалено
на засіданні кафедри фізики та математики
Протокол № 7 від 13 січня 2022 р.

Рецензенти:

Пастухов В. І., д-р техн. наук, проф., зав. кафедри сільськогосподарських машин Державного біотехнологічного університету

Кунденко М. П., д-р техн. наук, проф., декан факультету енергетики, цифрових та комп'ютерних технологій Державного біотехнологічного університету

Фізика з основами біофізики : метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фізика з основами біофізики» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. форми здобуття освіти зі спец. 163 «Біомедична інженерія» / Держ. біотехнологічний ун-т ; авт.-уклад.: М. І. Погожих, А. О. Пак, О. В. Сіняєва. – Харків : [б. в.], 2022. – 41 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Фізика з основами біофізики». 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 163 «Біомедична інженерія».

УДК 577.35

Відповідальний за випуск : А. О. Пак

Зміст

Вступ

Дисципліна «Фізика з основами біофізики» призначена для загальноосвітньої, теоретичної і практичної підготовки студентів в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

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 положеннях 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

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h}, \tag{1}$$

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.

Промахи, 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 поодинці. 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).

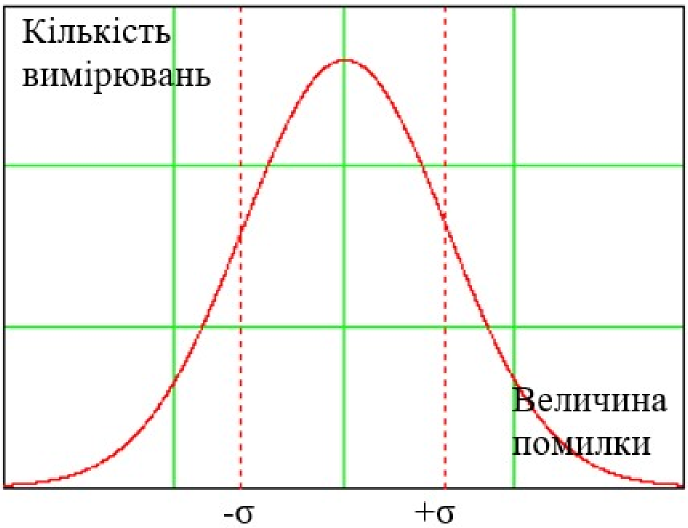


Рис.1. Закон розподілення Гауса

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 досліду в 95% випадків знаходиться в інтервалі $\pm 2\sigma$ та у 99,7% випадків не перевищує

±3σ. 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:

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

де x_i – значення вимірюваної величини в і-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 $x_1, x_2, x_3 \ldots x_n$ від їх середнього значення $<x>$.

$$S = \sqrt{\frac{\left(x_1 - <x>\right)^2 + \ldots \left(x_n - <x>\right)^2}{n-1}} . \tag{3}$$

Квадрат величини *S* можна вважати приблизно рівним дисперсії

$$\sigma^2 \approx S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - <x>)^2 . \tag{4}$$

Середнє значення вимірюваної величини *x* визначається співвідношенням

$$<x> = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i . \tag{5}$$

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

$$\sigma_C = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - <x>)^2 + \ldots + (x_n - <x>)^2}{n(n-1)}} , \tag{6}$$

де σ_C – оцінка середнього квадратичного відхилення результату вимірювань.

Тоді дійсне значення шуканої величини знаходиться в межах:

$$<x> - \sigma_C < x_0 << x> + \sigma_C . \tag{7}$$

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 $<x>$ 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 Стьюдента:

$$t = \frac{< x > - x_0}{\sigma_C} \approx \frac{< x > - x_0}{S/\sqrt{n}}, \tag{8}$$

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

Тоді дійсне значення вимірюваної величини знаходитиметься в надійному інтервалі

$$< x > - t\sigma_C < x_0 << x > + t\sigma_C. \tag{9}$$

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 Стьюдента

n \ P	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 $x =< x > \pm \Delta x$, де $\Delta x = t \cdot \sigma_C$. Відношення

$$\delta = \frac{\Delta x}{< x >} \cdot 100\% \tag{10}$$

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

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x,\ \delta = \ldots\%. \tag{11}$$

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 градуювання. Величина систематичної помилки оцінюється класом точності приладу.

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

$$B = \frac{\Delta x_{пр}}{x_{\max}} \cdot 100\%. \tag{12}$$

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:

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

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 $\Delta x_{пр}$, порівняна з похибкою Δx, що визначена шляхом обробки ряду вимірювань, то необхідно поширити надійний інтервал за рахунок обчислення похибки приладу:

$$x = \langle x \rangle \pm \sqrt{\Delta x^2 + \Delta x_{пр}^2}, \tag{13}$$

де $\Delta x_{пр} = \dfrac{B \cdot x_{\max}}{100}$.

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 $I_{пр} = \frac{10 \cdot 1{,}0}{100} = 0{,}1 A$, тобто дорівнює ціні поділки приладу. В цьому випадку при обробці результатів вимірювань можна не обчислювати Δx, а використати значення

$$x = < x > \pm \Delta x_{пр} . \tag{14}$$

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):

$x_1, x_2, x_3 \ldots x_n$ де x – вимірювана величина, n – кількість вимірювань.

2. Визначити середнє арифметичне значення фізичної величини:

$$< x > = \frac{x_1 + x_2 + \ldots x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i .$$

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

$$\sigma \approx S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - < x >\right)^2}{n-1}} .$$

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

5. Знайти:

$$\sigma_C = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - < x >\right)^2}{n(n-1)}} .$$

6. Визначити надійний інтервал

$$< x > - \Delta x < x_0 << x > + \Delta x \text{, де } \Delta x = t \cdot \sigma_C ,$$

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

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

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

8. Знайти відносну похибку

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

9. Записати кінцевий результат у вигляді

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

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 3σ=0,63 та порівнюємо її з $l_1 - < l >$. Всі значення $l_i - < l >< 3\sigma$, тому залишаємо всі результати. Промахів нема.

4. Визначаємо

$$\sigma_C = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}21}{\sqrt{5}} = 0{,}03 .$$

5. Знаходимо $\Delta l = \sigma_C \cdot t$ при надійності 0,99. Коефіцієнт Стьюдента 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

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

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 диференційним 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 Δy, Δz.

4. Похибки Δy, 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 $x = <x> \pm \Delta x$, де $\Delta x = \delta \cdot <x>$.

7. Записати кінцевий результат у вигляді

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

Приклад розрахунку похибок за непрямих вимірювань

У методі Стокса коефіцієнт внутрішнього тертя визначається за формулою

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{\left(\rho - \rho_p\right) g r^2 t}{l},$$

де ρ – густина матеріалу кульки; ρ_p – густина рідини; g – прискорення вільного падіння, g=9,81 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 $<r>$ та Δr, $<t>$ та Δt, $<l>$ та Δl, $<\rho>$ та $\Delta \rho$, $<\rho_p>$ та $\Delta \rho_p$.

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

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{\left(<\rho> - <\rho_p>\right) g <r>^2 <t>}{<l>}.$$

3. Прологарифмуємо формулу для η:

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

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. Замінимо 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:

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

7. Ліва частина рівняння $\frac{\Delta\eta}{<\eta>}$ являє собою відносну похибку $\delta = \frac{\Delta\eta}{<\eta>} \cdot 100\%$.

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

8. З відносної похибки обчислюємо абсолютну похибку

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

9. Визначимо надійний інтервал

$$<\eta> - \Delta\eta < \eta << \eta > + \Delta\eta.$$

10. Записуємо кінцевий результат у вигляді:

$$\eta = <\eta> \pm \Delta\eta,\ \delta = \ldots\%.$$

Контрольні запитання і завдання

1. Які вимірювання називають прямими?
2. Які вимірювання називають непрямими?
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

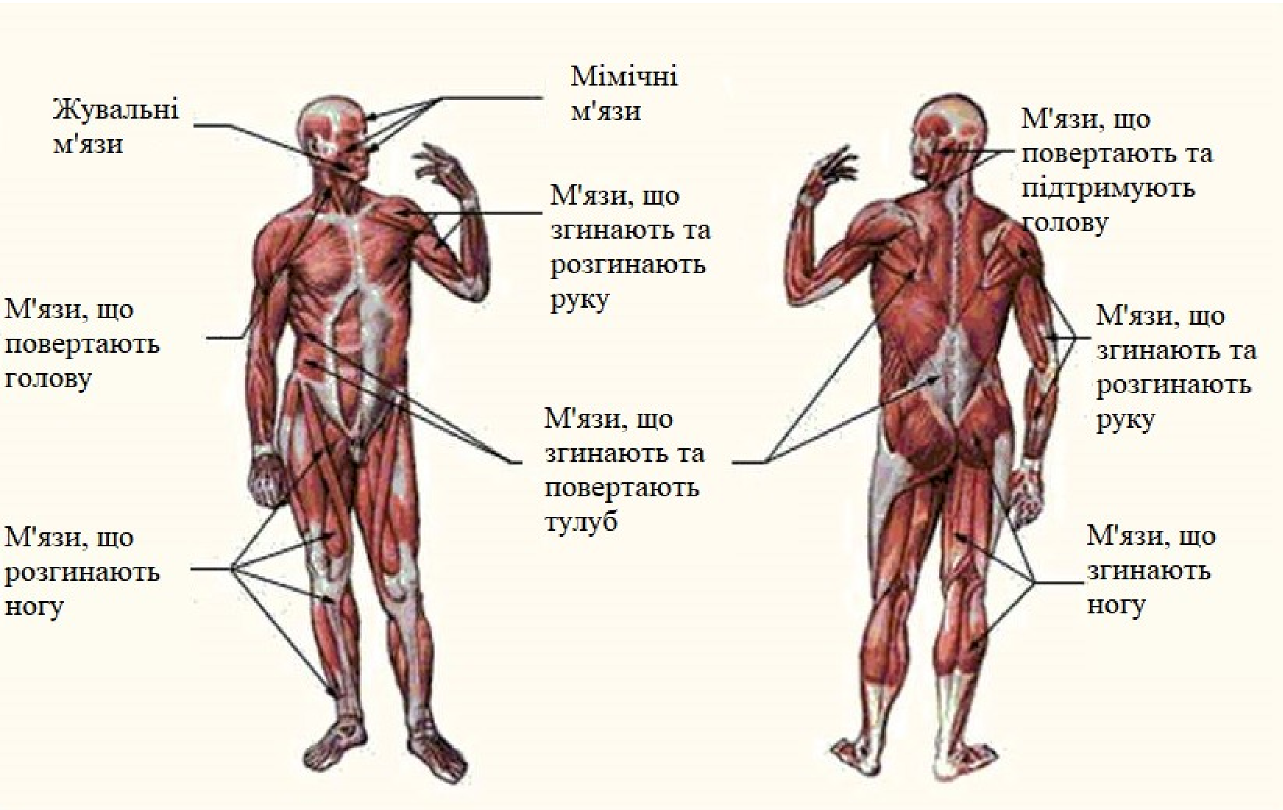
Лабораторна робота № 2
МОДЕЛЮВАННЯ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ ЛЮДЕЙ ТА ТВАРИН: УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛІВ

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

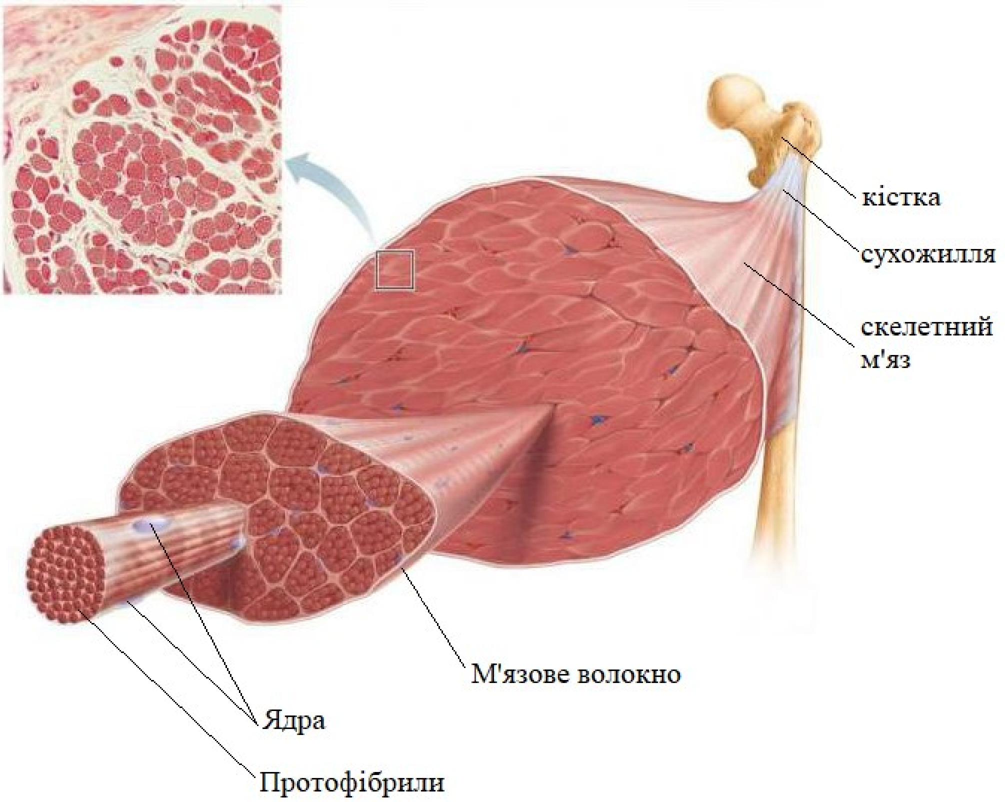
М’язова активність – це одна із загальних властивостей високоорганізованих живих організмів. Вся життєдіяльність людини пов’язана з м’язовою активністю (рис.1). Незалежно від призначення, особливостей та способів регуляції принцип роботи різних м’язів організму однаковий.



*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.

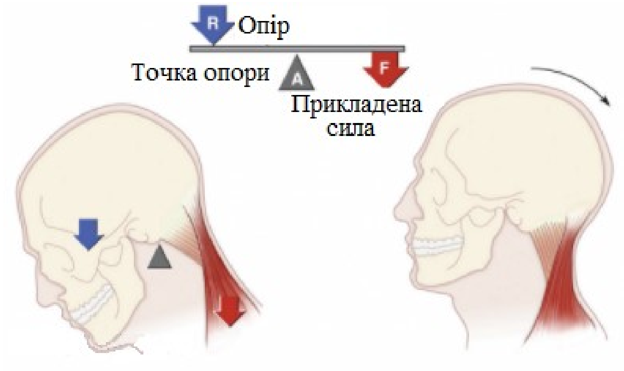
Будь-яка система важеля має в своєму складі три особливих частини.

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.

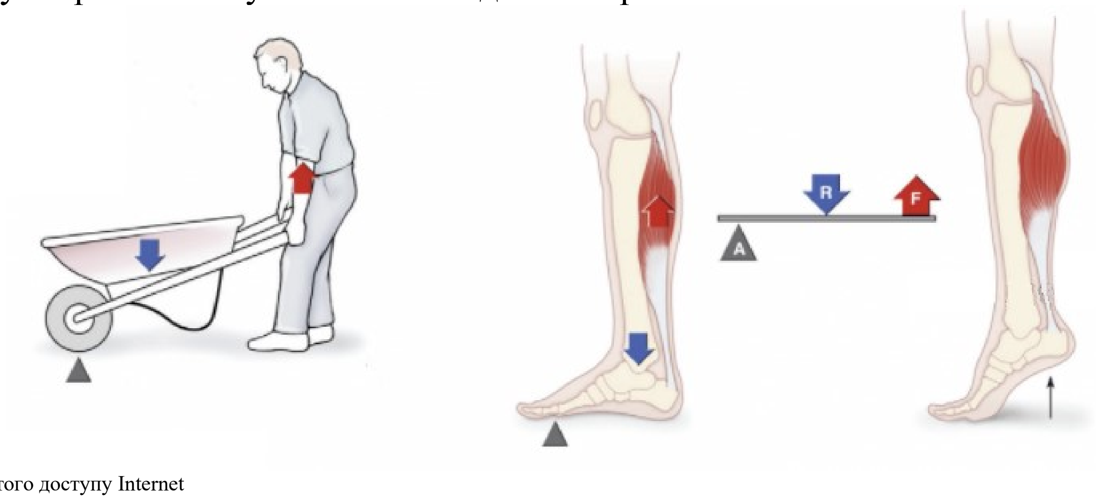
Важелі першого роду мають точку опори, розташовану між точками докладання зусиль. Найпростіший приклад важеля першого типу – дитячі гойдалки. Тверда балка розташована на точці опори. Якщо дві людини сядуть на протилежні кінці важеля такого типу, вони зможуть балансувати на центральній осі, або один може 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.

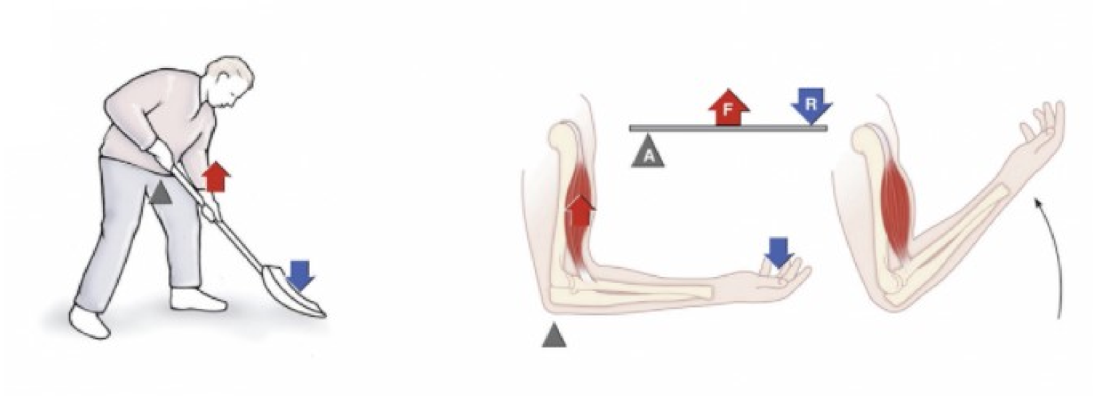


*з відкритого доступу Internet

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, програючи 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.

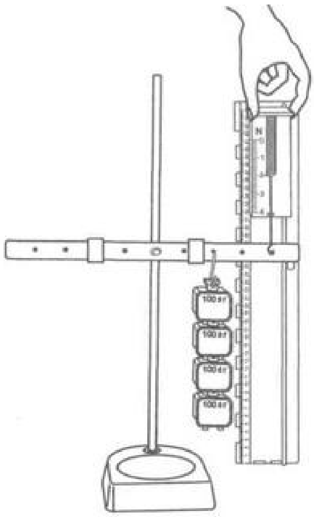


Рис.6. Експериментальна установка

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 досліду занесіть в третій рядок таблиці.

14. Для кожного досліду 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 досліду 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 виграш 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
ВИКОРИСТАННЯ ГІСТОГРАМ В ЗАДАЧАХ ФІЗИКИ ТА БІОФІЗИКИ

Мета роботи:

1. Ознайомитися з нормальним законом розподілу випадкових величин (законом Гауса).
2. Навчитися будувати графік кривих розподілу за нормальним законом для різних параметрів.
3. Навчитися проводити статистичну обробку результатів вимірювань, будувати гістограми і на базі цих даних обґрунтовувати висновки про результати проведених експериментів.

Теоретичні відомості

Метою будь-якого експерименту (медичного, біологічного або фізичного) є отримання надійних висновків про вимірювані величини або будь-які функції від них. Ця мета ще не досягається з закінченням вимірювань. Результати вимірювань необхідно піддати ретельному аналізу і провести необхідну математичну обробку. Тільки після цього можливо сформулювати висновки щодо величин, які представляють інтерес.

Метод гістограм широко використовується в практиці фізичних, хімічних, біофізичних досліджень. При вимірі будь-якої величини кілька разів експериментатор отримує ряд значень, які, як правило, виявляються різними. Цьому є багато причин, наприклад, відхилення від початкових умов експерименту, які можуть бути малі, і не піддаватися контролю. В цьому випадку про результати експерименту говорять як про випадкові величини.

Випадкова величина – це одне з найважливіших основних понять теорії ймовірностей. Розглянемо кілька прикладів.

Кількість космічних частинок, що потрапляють на певну ділянку земної поверхні в одиницю часу піддається значним коливанням в залежності від багатьох випадкових обставин. Швидкість молекул газу не залишається незмінною, а змінюється залежно від зіткнень з іншими молекулами. Цих зіткнень дуже багато навіть протягом короткого проміжку часу. Знаючи швидкість молекули в даний момент, не можна з повною визначеністю вказати її значення, наприклад, через 0,001 с. Зміна швидкості молекули носить випадковий характер.

Випадковою величиною є і кількість еритроцитів в мазку крові в полі зору мікроскопа.

З випадковими величинами доводиться мати справу в самих різних областях науки і техніки. Тому важливою задачею є створення і вивчення методу дослідження випадкових величин.

Випадкова величина може бути дискретною, тобто приймати зчисленну множину значень, які можна пронумерувати (наприклад, число клітин в полі зору мікроскопа, число пацієнтів у відділенні, кількість показників стану хворого і т.ін.), або безперервною, яка може приймати всі значення з деякого інтервалу (незліченна множина можливих значень, що суцільно заповнюють деякий проміжок). Безперервними величинами є, наприклад, тривалість інтервалів між зубцями в ЕКГ, значення артеріального тиску, розмір діаметра зіниці і т.ін.

Отримане окреме значення результату вимірювання будь-якого із зазначених параметрів А позначимо x. Наприклад, А – температура, x – значення температури: x=36,9°С.

Функція густини розподілу ймовірностей

Припустимо А – деяка неперервна випадкова величина, наприклад, зріст людини, x – значення випадкової величини. Зі значенням x випадкової величини пов'язана функція f(x) – функція густини розподілу імовірностей (ГРІ), така, що добуток $f(x)\cdot dx$ пропорційний імовірності події, яка полягає в тому, що значення x величини А знаходиться в інтервалі [x, x+dx].

Функція ГРІ має дуже важливе значення. Походження кожного емпіричного розподілу (тобто вид функції f(x)) обумовлено сукупністю певних причин. Сукупність причин, що призводять до того чи іншого виду f(x), може бути в кожному випадку різною. Завдання полягає в тому, щоб уявити собі, за рахунок яких причин можливе отримання знайденого розподілу, тобто побудувати відповідну математичну або фізичну модель явища. Таким чином, встановлення виду функції f(x) має велике значення для отримання інформації про досліджуваний процес.

Нормальний закон розподілу (закон Гауса)

Значне число випадкових явищ, що зустрічаються в природі, може бути описано за допомогою нормального закону розподілу (закону Гауса).

Закон Гауса:

$$f(x)=\exp(-(x-\mu)^2/2\sigma^2)/(\sigma\cdot(2\pi)^{1/2}), \qquad (1)$$

де x – будь-яке значення досліджуваної величини; μ – математичне очікування; σ – середньоквадратичне відхилення.

Графік функції f(x) нормально розподіленої випадкової величини являє собою дзвоноподібну криву (рис.1), симетричну відносно осі, що проходить через точку $x=\mu$ паралельну осі ординат. Максимальне значення крива досягає в точці $x=\mu$.

Функція має точки перегину при $x=\mu\pm\sigma$. Вісь абсцис служить для неї асимптотою при $x\to\pm\infty$. Якщо змінити значення μ, а σ залишити незмінною, то крива буде зміщуватись уздовж осі Ox, зберігаючи свою форму (рис.1).

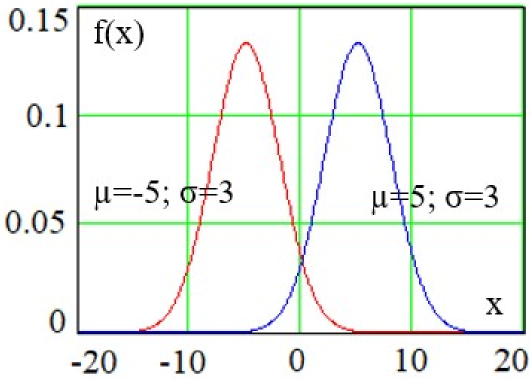


Рис.1. Закон розподілення Гауса (різні математичні очікування)

Якщо змінити σ – середньоквадратичне відхилення, а μ залишити незмінною, то змінюється форма кривої (рис. 2). Параметр σ характеризує не стан, а форму кривої розподілу. Він є характеристикою розсіювання. При збільшенні σ максимальна ордината зменшується. Оскільки площа під кривою розподілу завжди повинна залишатися рівною одиниці, то при збільшенні σ крива стає більш плаською (пологою). Навпаки, при зменшенні σ крива розподілу витягується вгору.

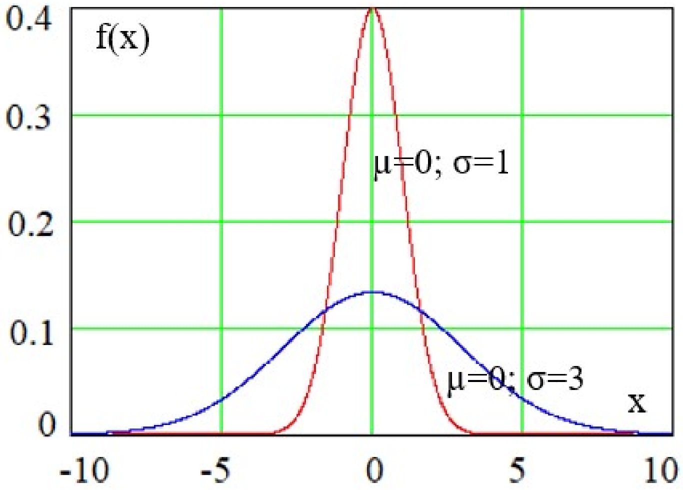


Рис.2. Закон розподілення Гауса (різні дисперсії)

Ймовірність попадання випадкової величини A в інтервал значень x, що укладений між числами x_1 і x_2, визначається формулою:

$$P(x_1<x<x_2)=\int f(x)dx \text{ (в межах від } x_2 \text{ до } x_1). \quad (2)$$

Тобто це площа криволінійної трапеції, обмеженої зверху функцією f(x), знизу – віссю x, зліва і справа координатами, що проходять через точки x_1 і x_2.

Розширимо межі відрізка $[x_1, x_2]$: $x_1 \to -\infty$, $x_2 \to +\infty$. Тоді:

$$P(-\infty<x<+\infty)=\int f(x)dx \text{ (в межах від } -\infty \text{ до } +\infty). \quad (3)$$

Тобто площа під всією кривою f(x) повинна залишатися постійною і рівною 1.

Правило трьох сигм

Розрахунками показано, що ймовірність попадання нормально розподіленої випадкової величини в інтервал значень (рис. 3):

1. $P(\mu-\sigma<x<\mu+\sigma)\approx 68.26\%$;
2. $P(\mu-2\sigma<x<\mu+2\sigma)\approx 95.44\%$;
3. $P(\mu-3\sigma<x<\mu+3\sigma)\approx 99.72\%$.

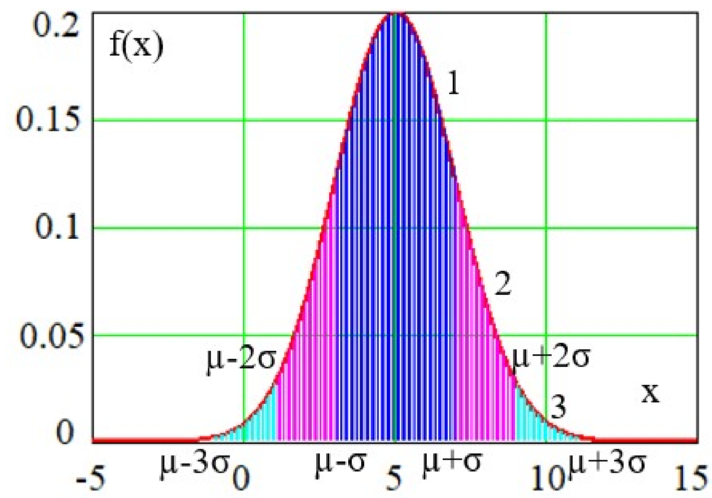


Рис.3. Закон розподілення Гауса (μ=5; σ=2)

Таким чином, ймовірність того, що відхилення значень нормально розподіленої випадкової величини перевищить 3σ, надзвичайно мала, а саме 0,0028. Таку подію можна вважати практично неможливою. Тому межі $\mu+3\sigma$ і $\mu-3\sigma$ приймаються за межі практично можливих значень нормально розподіленої випадкової величини. Це дозволяє, знаючи середньоквадратичне відхилення і математичне очікування випадкової величини, орієнтовно вказати інтервали її практично можливих значень.

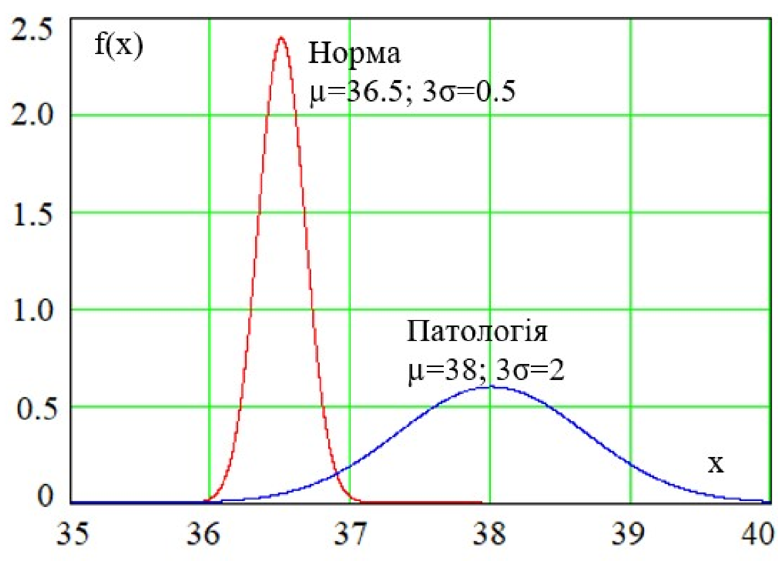


Рис.4. Закон розподілення Гауса (зміна μ і σ)

Такий спосіб оцінки діапазону можливих значень випадкової величини відомий в математичній статистиці під назвою «правило трьох сигм».

Прикладом є наведені на рис.4 графіки нормального закону розподілу температури тіла людини в нормі і при патології (наприклад, при захворюванні на грип). Тут змінюються обидва параметри σ і μ.

Графічне зображення статистичного розподілу. Гістограма

Для оцінки виду функції розподілу ймовірностей за експериментальними даними часто використовують графічний метод, пов'язаний з побудовою гістограми (рис.5). Він полягає у наступному. Нехай проведено n вимірювань безперервної випадкової величини A. Позначимо мінімальне значення випадкової величини x_{min}, максимальне x_{max}.

Розіб'ємо інтервал, що містить отримані значення величини A, на k інтервалів однакової ширини Δx.

Підрахуємо кількість значень випадкової величини (частоту), що потрапили в кожний інтервал і Δx_i (i=1, 2, 3, … k). Отримаємо частоти m_i (i=1, 2, 3, … k), кожну частоту поділимо на ширину інтервалу Δx.

Величина $m_i/\Delta x$ називається густиною частоти. Після цього на кожному інтервалі Δx_i слід побудувати прямокутник з основою Δx і висотою $m_i/\Delta x$

Отриману ступінчасту фігуру, що складається з прямокутників, називають гістограмою (від грецьких слів histos – стовп і gramma – запис).

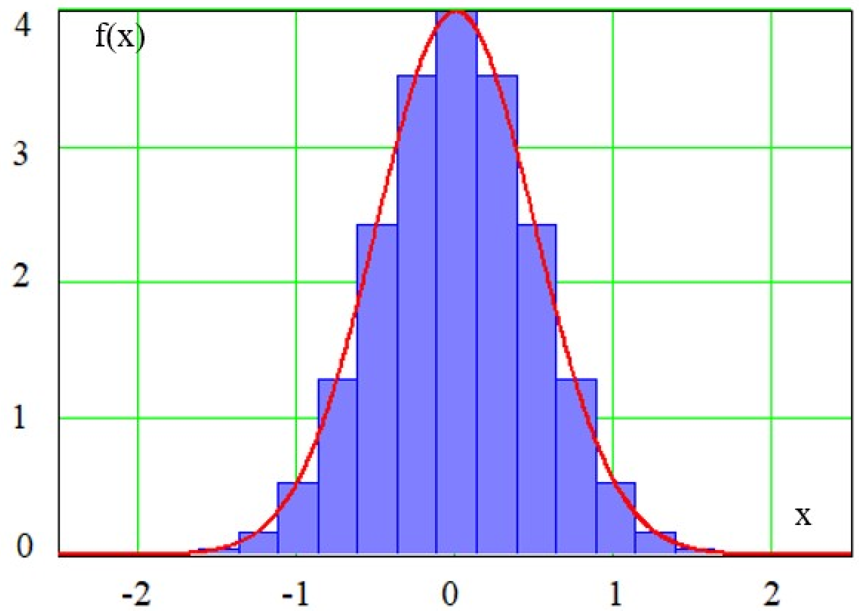


Рис.5. Гістограма та згладжуюча крива

При побудуванні гістограми важливо правильно вибрати ширину інтервалу Δx. Якщо число інтервалів k буде малим (ширина інтервалу Δx велика), слід очікувати, що частково інформація про випадкову величину може бути втрачена. Але якщо k буде занадто великим (Δx мале), обробка результатів вимірювань буде надмірно трудомісткою і не дасть при цьому істотного обсягу інформації. Практика показує, що раціональний вибір числа інтервалів k в залежності від обсягу вибірки, слід робити за допомогою таблиці 1.

Таблиця 1

Обсяг вибірки (n)	25-40	40-60	60-100	10-200	200
Кількість інтервалів (k)	5-6	6-8	7-10	8-12	10-15

Вирівнювання (згладжування) статистичних рядів

При обробці статистичного матеріалу часто доводиться вирішувати питання про те, як підібрати для даного статистичного ряду теоретичну криву розподілу, яка має лише істотні риси статистичного матеріалу, але не випадковості, пов'язані з недостатнім обсягом експериментальних даних. Таке завдання називається завданням вирівнювання (згладжування) статистичних рядів.

Завдання згладжування полягає в тому, щоб підібрати теоретичну плавну криву розподілу, яка з тієї чи іншої точки зору найкращим чином описує дане статистичне розподілення.

Припустимо, що величина А підпорядковується нормальному закону. Тоді задача згладжування переходить в завдання про раціональний вибір параметрів μ і σ в законі Гауса. З теорії відомо, що перш за все необхідно обчислити середнє вибіркове значення ($\mu_{серв}$), яке визначається для неперервної випадкової величини за формулою:

$$\mu_{серв}=(m_1x_1^*+m_2x_2^*+\ldots+m_kx_k^*)/(m_1+m_2+\ldots m_3)=(1/n)\cdot\Sigma(m_ix_i^*), \quad (4)$$

де $m_1, m_2, \ldots, m_k$ – частоти у відповідних інтервалах; $x_1^*, x_2^*, \ldots, x_k^*$ – середини інтервалів, які обчислюються за формулою:

$$x_i^*=(x_{i-1}+x_i)/2. \quad (5)$$

Термін «вибіркове» означає, що середнє значення обчислюється по даній групі, званою вибіркою.

Крім середнього вибіркового значення випадкову величину характеризують параметром, що показує, наскільки широко розкидані окремі значення випадкової величини відносно середнього значення.

$$\sigma_в=[(m_1(x_1^*-\mu_{серв})+m_2(x_2^*-\mu_{серв})+\ldots+m_k(x_k^*-\mu_{серв}))/(m_1+m_2+\ldots+m_k)]^{1/2}=$$
$$=[(\Sigma m_i(x_i^*-\mu_{серв}))/n]^{1/2}. \quad (6)$$

Ця величина $\sigma_в$ називається вибірковим середнім квадратичним відхиленням.

Далі знайдені величини $\mu_{серв}$ та $\sigma_в$ підставляють в закон розподілення Гауса (1) та будують отриману функцію (рис.5).

Порядок виконання роботи

Всі завдання виконуються на PC за допомогою стандартних пакетів програм, наприклад, MathCad, MathLab, Excel і т.ін.

Завдання 1. Проведіть аналіз кривих розподілу випадкової величини за нормальним законом. Для цього:

1) запишіть закон Гаусса для заданих параметрів μ і σ;

2) побудуйте графіки (виберіть масштаб, відкладіть по осях величини і одиниці їх виміру); зробіть висновок про вплив μ і σ на вид і форму кривої розподілу;

3) обчисліть інтервал 3σ, куди потрапляють практично всі випадкові величини. Покажіть його на графіку.

Варіанти зміни μ і σ представлені в таблицях:

а)

μ	33	33	33
σ	2	5	10

б) Вміст гемоглобіну в крові людини

Категорія	μ, г/л	σ, г/л
Жінки	141	6,6
Чоловіки	155	6,7

Завдання 2. Побудуйте і проаналізуйте гістограми щільності відносних частот. Проведіть їх вирівнювання, вважаючи закон розподілу нормальним.

Варіанти даних вимірювання артеріального тиску:

а) Норма

Дані про систолічний тиск крові x (мм рт.ст.) у 100 практично здорових жінок у віці 60-69 років наведені нижче. Побудуйте гістограму щільності відносних частот. Обчисліть $\mu_{серв}$ та $\sigma_{в}$.

123	111	116	113	110	127	140	151	102	122	95	101	113	137	119
128	120	129	73	144	123	151	159	111	125	117	110	126	95	134
96	122	123	140	133	115	106	137	128	117	110	136	127	143	113
101	81	121	150	102	132	131	160	134	123	149	144	113	128	111
142	150	112	154	136	113	127	123	142	146	115	143	79	122	127
116	140	128	151	101	152	130	141	153	95	126	144	96	149	145
111	122	124	135	120	142	151	100	101	120					

б) Гіпертонічна хвороба

Значення артеріального тиску крові x (мм рт.ст.) у 50 жінок у віці 60-69 років з діагнозом «гіпертонічна хвороба» складають:

156	192	146	187	137	165	162	151	126	155	144	196	192	165	158
171	161	169	172	194	161	171	193	148	169	171	126	173	157	119
193	177	119	162	119	187	172	186	159	175	165	172	166	149	180
192	176	178	166	170										

Побудуйте гістограму щільності відносних частот. Обчисліть $\mu_{серв}$ та $\sigma_в$.

Порівняйте результати, отримані в завданні б з результатами завдання а. Зробіть висновок.

Контрольні запитання і завдання

1. Чому висновки і отримані дані в ході експерименту не є надійними? Для чого проводиться математична обробка експериментальних даних?
2. Що таке випадкова величина? Наведіть приклади випадкових величин.
3. Що таке функція щільності розподілу ймовірностей?
4. Сформулюйте закон Гаусса.
5. Які існують способи оцінки діапазону можливихзначень випадкової величини?

Лабораторна робота № 4
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ: ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ МЕТОДОМ ПЕРЕТІКАННЯ КРІЗЬ ВУЗЬКИЙ КАНАЛ

Мета роботи:

1. Ознайомитись з капілярним методом визначення внутрішнього тертя рідини.
2. Визначити коефіцієнт в'язкості рідини методом Пуазейля

Теоретичні відомості

В'язкість (внутрішнє тертя) – це властивість реальних рідин чинити опір переміщенню однієї частини рідини відносно іншої. При ламінарному (шаруватому) переміщенні одних шарів рідини відносно інших за рахунок взаємодії молекул виникають сили внутрішнього тертя, спрямовані по дотичній до поверхні шарів. З боку шару, що рухається швидше, на шар, що рухається повільніше, діє прискорювальна сила. З боку шару, що рухається повільніше, на шар, що рухається швидше, діє гальмівна сила.

Відповідно до закону, встановленого Ньютоном, сила внутрішнього тертя пропорційна площі поверхні зіткнення шарів і градієнту швидкості dv/dx, який показує, як швидко змінюється швидкість при переході від шару до шару в напрямку x, перпендикулярному напрямку руху шарів:

$$F=-\eta(dv/dx)S, \tag{1}$$

де коефіцієнт пропорційності η, що залежить від природи рідини, називається в'язкістю

Розглянемо ламінарний плин рідини під дією сили тяжіння по вертикально розташованій капілярній трубці довжини 1 і радіуса R. На рис.1 показано перетин каналу трубки.

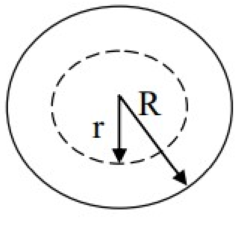


Рис.1. Перетин каналу трубки

У рідині, що тече по каналу, виділимо циліндричний об'єм. Відповідно до формули (1) сила внутрішнього тертя, що діє на бічну поверхню циліндра, буде дорівнювати:

$$F=-\eta\cdot 2\pi\cdot r\cdot l\cdot(dv/dr), \tag{2}$$

де r – радіус, а l – довжина виділеного циліндра.

При усталеному русі сила F урівноважується різницею сил гідростатичних Δp на основи циліндра

$$-\eta\cdot 2\pi\cdot r\cdot l\cdot(dv/dr)=\Delta p\cdot\pi r^2. \tag{3}$$

Тоді

$$dv=-(\Delta p/(2\eta l))\cdot rdr. \quad (4)$$

Інтегруючи це рівняння за умови, що швидкість у стінки трубки (r=R) дорівнює нулю, отримаємо закон розподілу швидкостей по перетину каналу

$$v=(\Delta p/(2\eta l))\cdot(R^2-r^2). \quad (5)$$

Тому об'єм рідини V, що протікає через вузький канал за час t, дорівнює:

$$V=\int v\cdot t\cdot 2\pi\cdot rdr, \text{ в межах від 0 до R}. \quad (6)$$

Підставляючи сюди значення із формули (5) і виконуючи інтегрування, отримаємо:

$$V=(\pi R^4\cdot\Delta p\cdot t)/(8\eta\cdot l). \quad (7)$$

Це співвідношення виражає закон Пуазейля.

Для вимірювання коефіцієнта в'язкості застосовуються прилади, які називаються віскозиметрами. Прилад являє собою U-подібну скляну трубку (рис.2), одне коліно якої має два розширення 1 і 2 та капіляр 3. Інше коліно складається з широкої трубки 4 і резервуара 5. Розширення 2 виділено мітками m і n, які визначають об'єм V рідини, що протікає через вузький канал капіляра відповідно до закону Пуазейля (7).

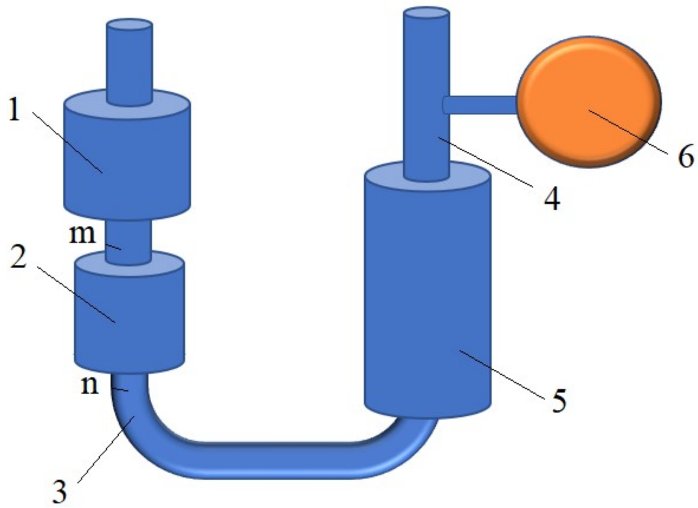


Рис.2. Капілярний віскозиметр

Якщо праве коліно віскозиметра наповнити досліджуваної рідиною і виміряти час t закінчення її перетікання через капіляр 3, то, користуючись формулою (7), можна визначити коефіцієнт в'язкості η.

У даній лабораторній роботі коефіцієнт в'язкості η досліджуваної рідини знаходиться в порівнянні з іншого (еталонною) рідиною (наприклад, водою), коефіцієнт в'язкості якої дорівнює η_0.

Об'єм досліджуваної рідини, що протікає через вузький канал за час τ визначається за формулою (7), а той же об'єм еталонної рідини (води) буде протікати через той же канал за час τ_0:

$$V=(\pi R^4\cdot\Delta p_0\cdot\tau)/(8\eta_0\cdot l). \quad (8)$$

де Δp_0 – різниця гідравлічних тисків на довжині виділеного каналу, яка для еталонної рідини визначається за формулою:

$$\Delta p_0=\rho_0 gl, \qquad (9)$$

а для досліджуваної рідини по формулі:

$$\Delta p=\rho gl, \qquad (10)$$

де ρ і ρ_0 – відповідно густина досліджуваної й еталонної рідин.

Із співвідношення (7) і (8) маємо:

$$\eta=\eta_0(\Delta pt)/(\Delta p_0\tau). \qquad (11)$$

Якщо рідина витікає під дією сили тяжіння, то з формул (9) і (10) маємо

$$\Delta p/\Delta p_0=\rho/\rho_0. \qquad (12)$$

З урахуванням цього співвідношення, з формули (11) слідує розрахункова формула для визначення коефіцієнта в'язкості досліджуваної рідини у вигляді:

$$\eta=\eta_0(\rho t)/(\rho_0\tau). \qquad (13)$$

Значення η_0 і ρ_0 знаходять з таблиці.

Порядок виконання роботи

1. Віскозиметр промити водою.

2. У резервуар (5) трубки (4) залити еталонну рідину (воду), пальцем закрити отвір трубки (4) і гумовою грушею (6) нагнітати повітря до тих пір, поки рідина заповнить капіляр (3) і розширення (1) і (2). Після чого отвір трубки (4) відкрити, і спостерігати витікання рідини через вузький канал під дією сили тяжіння.

3. У момент, коли меніск рідини проходить мітку m, включити секундомір, а при проходженні меніска через мітку n вимкнути. Дослід повторити кілька разів.

4. Провести аналогічні вимірювання з досліджуваною рідиною.

5. Обчислити середнє значення коефіцієнта в'язкості, відносну і абсолютну похибки.

6. Результат представити у вигляді $\eta=\langle\eta\rangle\pm\Delta\eta$.

Контрольні запитання і завдання

1. Що називається в'язкістю?
2. Чим обумовлені сили внутрішнього тертя?
3. Як направлені сили внутрішнього тертя?
4. Яку форму має профіль швидкостей при русі в'язкої рідини по трубці?
5. Написати і сформулювати закон Ньютона для внутрішнього тертя.
6. Що таке гідростатичний тиск?
7. Який плин називається ламінарним?
8. Який плин називається турбулентним?
9.Что таке число Рейнольдса?

Лабораторна робота № 5
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНОЇ ВОДИ ВОЛОГИХ МАТЕРІАЛІВ РОСЛИННОГО ТА ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИМ КАЛОРИМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи:

1. Ознайомитися з низькотемпературним калориметричним методом дослідження системної води вологих матеріалів рослинного та тваринного походження.
2. Дослідити системну воду модельних тіл рослинного та тваринного походження низькотемпературним калориметричним методом.

Теоретичні відомості

Більшість матеріалів рослинного та тваринного походження є капілярно-пористими колоїдними системами, у яких волога має різні форми зв'язку з сухою речовиною. Поведінка, структура і властивості вологи у вологому матеріалі є вихідними даними під час розробки технології переробки такої сировини. Одним із способів дослідження вологи матеріалів рослинного та тваринного походження є спосіб заснований на аналізі даних отриманих під час фазових переходів в даних об’єктах. До таких способів відноситься низькотемпературний калориметричний метод.

У термодинаміці фазою називається сукупність однорідних, однакових за своїми властивостями частин системи. Пояснимо поняття фази на наступних прикладах. У закритій посудині перебуває вода й над нею суміш повітря й пари води. У цьому випадку ми маємо справу із системою, що складається із двох фаз: одну фазу утворює рідка вода, другу – суміш повітря й пари води. Якщо у воду додати кілька шматочків льоду, то всі ці шматочки утворять третю фазу. Різні кристалічні модифікації будь-якої речовини також являють собою різні фази. Так, наприклад, алмаз і графіт є різними твердими фазами вуглецю.

За певних умов різні фази тієї ж самої речовини можуть перебувати в рівновазі одна з одною, стикаючись між собою. Рівновага двох фаз може мати місце лише в певному інтервалі температур, причому кожному значенню температури Т відповідає цілком певний тиск р, за якого можлива рівновага. Таким чином, стани рівноваги двох фаз будуть виглядати на діаграмі *(p,T)* лінією

$$p = f(T) \tag{1}$$

Три фази однієї тієї ж речовини (тверда, рідка і газоподібна, або рідка й дві тверді) можуть перебувати в рівновазі тільки за певних значень температури й тиску одночасно, яким на діаграмі *(p,T)* відповідає точка, яка називається потрійною. Ця точка лежить на перетині кривих рівноваги фаз, узятих попарно (рис.1).

У термодинаміці доводиться, що рівновага більш ніж трьох фаз однієї тієї ж речовини неможлива.

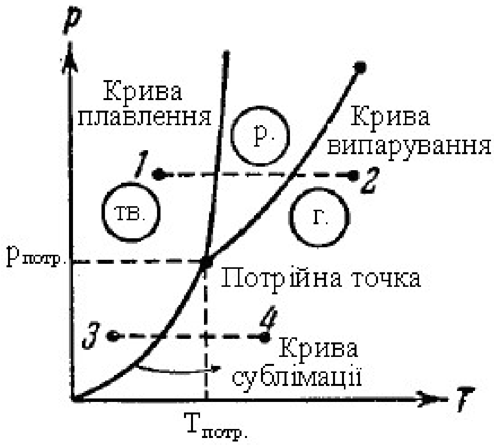


Рис.1. Потрійна точка

Перехід з однієї фази в іншу супроводжується поглинанням або виділенням деякої кількості теплоти, яка називається прихованою теплотою переходу, або просто теплотою переходу. Існують переходи з однієї кристалічної модифікації в іншу, які не пов'язані з поглинанням або виділенням теплоти. Такі переходи називаються фазовими переходами другого роду на відміну від звичайних переходів, які називаються фазовими переходами першого роду. В даній лабораторній роботі розглядаються тільки переходи першого роду.

Перехід кристалічного тіла в рідкий стан відбувається за умови певної для кожної речовини температури й вимагає витрати деякої кількості теплоти, яка називається теплотою плавлення.

Якщо речовині, що спочатку знаходилась у кристалічному стані, передавати щосекунди визначену кількість теплоти, то зміна температури тіла буде такою, як показано на рис.2. Спочатку температура тіла зростає. При досягненні температури плавлення $T_{пл}$ (точка 1 на рис.2), незважаючи на те, що тілу, як і раніше, передається теплота, температура його перестає змінюватися. Одночасно починається процес плавлення твердого тіла, у ході якого речовина перетворюється в рідину. Після того як процес плавлення закінчиться і вся речовина повністю перейде в рідкий стан (точка 2 на рис.2), температура знову почне підвищуватися.

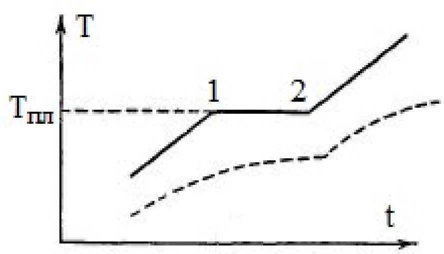


Рис.2. Температура речовини під час плавлення

Крива нагрівання аморфного тіла виглядає інакше (пунктирна лінія на рис.2). За умови рівномірного підведення теплоти температура аморфного тіла безупинно росте. Для аморфних тіл немає певної температури переходу в рідкий стан. Цей перехід відбувається безупинно, а не стрибком. Можна лише вказати інтервал температур, у межах якого відбувається розм'якшення тіла. Це пояснюється тим, що рідини й аморфні тіла відрізняються лише ступенем рухливості молекул (аморфні тіла являють собою сильно переохолоджені рідини).

Температура плавлення залежить від тиску. Перехід із кристалічного в рідкий стан відбувається за визначених умов, які характеризуються тиском і температурою. Сукупності цих значень відповідає крива на діаграмі *(p,T)*, яку прийнято називати кривою плавлення. Крива плавлення йде дуже круто. Для того, наприклад, щоб змінити на 1°C температуру плавлення льоду, необхідно змінити тиск на 132 атмосфери.

Точки кривої плавлення визначають умови, за яких кристалічна й рідка фази можуть перебувати в рівновазі одна з одною. Така рівновага можлива за будь-якого співвідношення між масами рідини й кристалів, тобто при значеннях об'єму системи, в межах від $m \cdot V_m$ до $m \cdot V_p$, де m – маса системи, а V_m й V_p питомі об'єми твердої й рідкої фаз. Тому кожній точці кривої плавлення відповідає на діаграмі *(p, V)* відрізок горизонтальній прямої (рис.3). Оскільки речовина в станах, зображуваних точками цього відрізка, має ту саму температуру, пряма 1–2 на рис.3 являє собою ділянку ізотерми, що відповідає двофазним станам речовини.

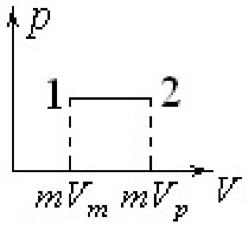


Рис.3. Діаграма *(p, V)* для процесу плавлення

Зворотний плавленню процес кристалізації протікає наступним чином. Під час охолодження рідини до температури, за якої тверда й рідка фази можуть перебувати в рівновазі при даному тиску (тобто до тієї ж температури, за якої відбувалося плавлення), починається одночасний ріст кристаликів навколо так званих зародків або центрів кристалізації. Розростаючись окремі кристалики змикаються один з одним, утворюючи полікристалічне тверде тіло.

Центрами кристалізації можуть бути зважені в рідині тверді частки. Ретельно очищену від таких часток рідину можна охолодити нижче температури кристалізації без утворення кристаликів. Стан такої переохолодженої рідини є метастабільним. Досить потрапити в таку рідину порошині, для того щоб вона розпалася на рідину й кристали, що перебувають за рівноважної температури. Однак у деяких випадках при великих переохолодженнях рухливість молекул рідини виявляється настільки незначною, що метастабільний стан може зберігатися дуже довго. Рідина в таких випадках має досить малу плинність і являє собою аморфне тверде тіло.

Процес кристалізації супроводжується виділенням такої ж кількості теплоти, яка поглинається при плавленні.

Для дослідження стану вологи в лабораторній роботі використовується низькотемпературний калориметр, схема якого представлена на рис.4.

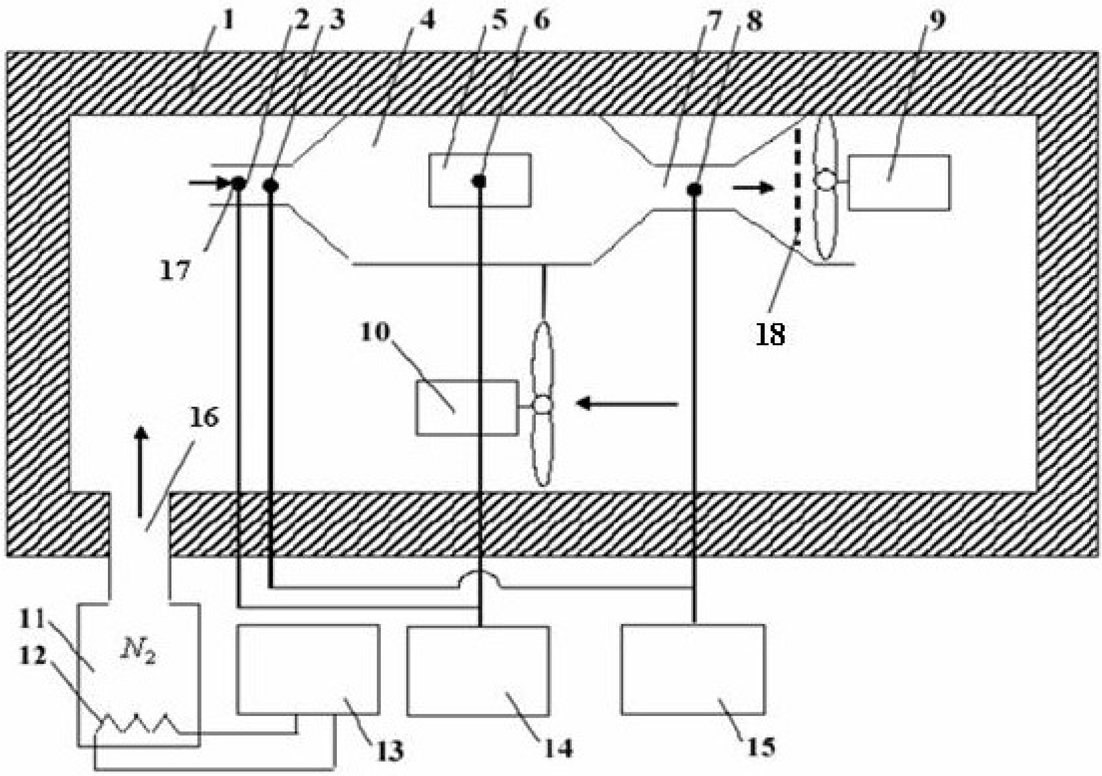


Рис.4. Принципова схема низькотемпературного калориметру: 1 – оболонка; 2, 7 – вхідний та вихідний отвори вимірювальної камери; 3, 8 – спаї диференціальної термопари; 4 – вимірювальна камера; 5 – досліджуваний об’єкт; 6, 17 – спаї термопар; 9, 10 – вентилятори; 11 – посудина Дьюара; 12 – нагрівач; 13 – автотрансформатор; 14, 15 – АЦП; 16 – вхідний отвір; 18 – заслінка

Вимірювальна калориметрична камера 4 поміщається в оболонку 1. Як калориметрична камера, так і оболонка виконані із матеріалу з низькою теплопровідністю. Усередину вимірювальної камери поміщається досліджуваний об’єкт 5 – джерело явної та прихованої теплоти. Пара азоту потрапляє в камеру через отвір 2, а виходить через отвір 7, її подача здійснюється за допомогою вентилятора 9. Витрата пари азоту залежить від положення заслінки 18, яка знаходиться на виході з вимірювальної камери, та потужності нагрівача 12. Визначення різниці температур на вході і виході здійснюється за допомогою диференціальної термопари, один спай якої 3 знаходиться у вхідному отворі, а інший спай 8 – у вихідному. Температура об’єкта вимірюється за допомогою термопари 6. Сигнал від диференціальної термопари фіксується комп’ютером через аналогово-цифровий перетворювач

(АЦП) 15, а сигнали від термопар 6 та 17 – через АЦП 14. Через отвір 16 із посудини Дьюара 11 в оболонку надходить пара азоту. Витрата азоту регулюється за допомогою електричного нагрівача 12, потужність якого регулюється автотрансформатором 13. Вхідна температура у вимірювальній камері реєструється термопарою 17. В оболонці 1 під вимірювальною камерою розміщується вентилятор 10.

Методика заснована на низькотемпературному калориметричному методі виміру кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації вільної вологи у вологих матеріалах. Ідея методу полягає у вимірі сигналу диференціальної термопари, що реєструє зміну температури потоку холодного повітря, що омиває вологий матеріал.

Теорія методу заснована на рівнянні теплового балансу:

$$\int_0^\tau cL\rho\left(t_{вих}-t_{вх}\right)d\tau=\left(c_в m_{невим.в}+c_o m_o\right)\Delta T_1+m_{вим.в}\left(c_в\Delta T_2+c_л\Delta T_3\right)+$$
$$+rm_{вим.в.}, \tag{2}$$

де c – питома теплоємність холодоносія (повітря), Дж/(кг·К); L – об'ємна витрата холодоносія, м^3/с; ρ - густина холодоносія, кг/м^3; $t_{вих}$ – температура на виході із шару матеріалу, К; $t_{вх}$ – температура на вході в шар матеріалу, К; $c_в$ – питома теплоємність води, Дж/(кг·К); $m_{невим.в}$ – маса невимороженої вологи, кг; c_0 – питома теплоємність сухої речовини, Дж/(кг·К); m_0 – маса сухої речовини, кг; $m_{вим.в.}$ – маса вимороженої вологи; $c_л$ - питома теплоємність льоду, Дж/(кг·К); r - питома теплота плавлення льоду, Дж/кг.

$$\Delta T_1=T_0-T_к, \tag{3}$$
$$\Delta T_2=T_0-273, \tag{4}$$
$$\Delta T_3=273-T_к, \tag{5}$$

де T_0 - початкова температура зразка, К; $T_к$ – кінцева температура зразка, К.

Величини цих температур визначаються за допомогою термопари, спай якої розміщений у зразок.

Ліва частина рівняння (2) пропорційна площі під кривою зміни сигналу від диференціальної термопари з часом:

$$S_I=\int_0^\tau I^*(\tau)d\tau=\chi\int_0^\tau cL\rho\left(t_{вих}-t_{вх}\right)d\tau, \tag{6}$$

де S_I - площа під кривою сигналу від диференціальної термопари, м·с; χ - апаратурний коефіцієнт, (м·с)/Дж.

Калібрування сигналу від диференціальної термопари проводиться за результатами отриманими в процесі кристалізації чистої води для зразків різної маси. В результаті чого визначається масштабний коефіцієнт:

$$M_I=\frac{c_в\Delta T_2+c_л\Delta T_3+r}{S_I}, \tag{7}$$

де M_I - масштабний коефіцієнт, Дж/(кг·м·с).

Значення фізичних величин, що входять до формули (7) беруться з таблиць довідкових даних. Далі після проведення досліду по охолодженню зразка із заданим вологовмістом для даного виду харчової сировини обчислюється питома теплоємність сухих речовин:

$$c_0 = \frac{S_I \cdot M_I}{\Delta T}. \tag{8}$$

Шукані вологовмісти вимороженої та невимороженої вологи визначаються з рішення системи рівнянь:

$$\left(c_в w_{невим.в} + c_o\right)\Delta T_1 + w_{вим.в}\left(c_в \Delta T_2 + c_л \Delta T_3\right) + r w_{вим.в.} = S_I M_I w \tag{9}$$

$$w_{невим.в.} + w_{вим.в.} = w, \tag{10}$$

звідки

$$w_{вим.в} = \frac{S_I M_I w - \Delta T_1\left(c_в w + c_0\right)}{c_в \Delta T_2 + c_л \Delta T_3 + r - c_в \Delta T_1}, \tag{11}$$

$$w_{невим.в} = \frac{c_0 \Delta T_1 + w\left(c_в \Delta T_2 + c_л \Delta T_3 + r - S_I M_I\right)}{c_в \Delta T_2 + c_л \Delta T_3 + r - c_в \Delta T_1}, \tag{12}$$

де $w_{вим.в.}$ – відносний вміст вимороженої вологи, кг/кг; $w_{невим.в.}$ – відносний вміст невимороженої вологи, кг/кг; w – загальний вологовміст зразка, кг/кг.

$$w_{вим.в.} = \frac{m_{вим.в.}}{m_0}, \tag{13}$$

$$w_{невим.в.} = \frac{m_{невим.в.}}{m_0}. \tag{14}$$

Методика проведення експерименту полягає в наступному. За допомогою нагрівача, що знаходиться в посудині Дьюара, в оболонку надходить пара азоту. Температура в оболонці залежить від швидкості випару азоту, що в свою чергу визначається потужністю нагрівача 12. Це дає можливість розширити діапазон робочих температур до значень близьких до температури рідкого азоту.

Внаслідок роботи вентилятора 9 пара азоту проходить через вимірювальну камеру 4. Після того як сигнал від диференціальної термопари, що вимірює різницю температур на вході й виході вимірювальної камери, зникає, тобто зміщується в початкову точку, у робочу камеру вимірювальної установки розміщується ємність із досліджуваним зразком і безперервно фіксується температура зразка. Виміри закінчуються тоді, коли сигнал від диференціальної термопари зникає, тобто повторно зміщується в початкову точку.

На рис.5 наведені характерні для досліджень криві, які реєструються самописами. Площа під кривою, що являє собою зміну різниці температур на вході й виході із часом, пропорційна кількості теплоти, що виділяє об'єкт при досягненні температури оболонки. Чутливість вимірювальної установки регулюється витратою пари азоту.

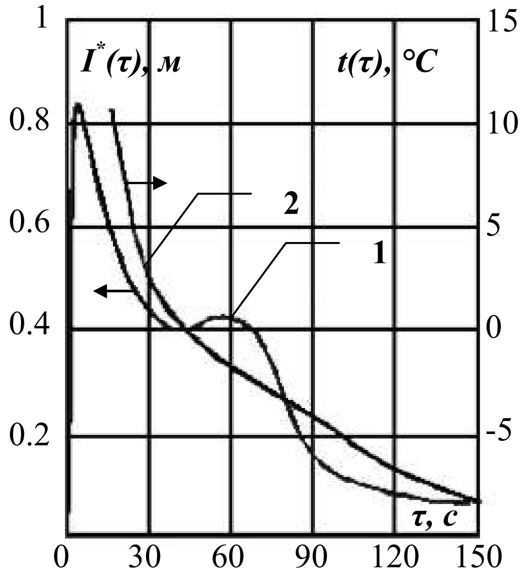


Рис.5. Приклад сигналів отриманих від реєструючих приладів:
1 – від диференціальної термопари; 2 – від термопари всередині зразк

Виходячи з виду кривої, отриманої під час заморожування вологого об'єкта, її можна розділити на три характерні ділянки, відділені одна від іншої на рис.6 пунктирними лініями.

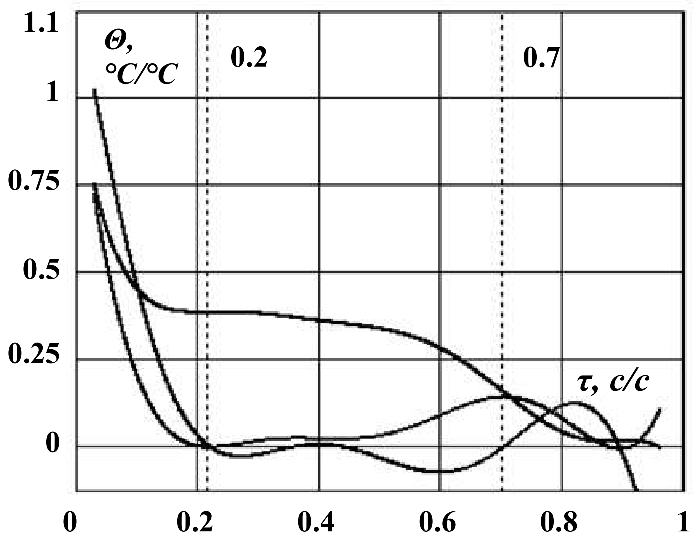


Рис.6. Апроксимаційна функція (1), перша (2) та друга (3) похідні від апроксимаційної функції для вологого об’єкту

Площа під першою ділянкою (I) пропорційна кількості теплоти, що виділяється під час охолодження об'єкта, який складається з води й сухих речовин, до температури кристалізації вільної вологи. Площа під другою ділянкою кривої (II) відповідає кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації вільної вологи, площа під третім (III) – кількості теплоти, що виділяється під час охолодження сухих речовин, зв’язаної вологи та льоду, що утворився при кристалізації вільної вологи, до кінцевої температури калориметра. Охолодження тіла, як до температури кристалізації вільної вологи, так і після, відбувається по експоненціальній залежності. Швидкість зміни даної функції в початковій точці має максимум, а в кінцевій – мінімум. Виходячи із цього, межею розділу вибирають лінію, що проходить через точку, в якій перша похідна від апроксимаційної функції має екстремум (рис.6). Значення моментів часу, за яких функція має відповідні екстремуми, визначаються за коренями другої похідної від апроксимаційної функції. Площі під різними ділянками кривої розраховуються як інтеграл від апроксимаційної функції у відповідних межах.

Порядок виконання роботи

1. Для охолодження калориметра до робочої температури, яку вкаже викладач, увімкнути нагрівач 12 у посудині Дьюара та вентилятори 9, 10. Автотрансформатором 13 встановити робочу напругу на нагрівачі.

2. Після встановлення однакової температури на вході та виході вимірювальної камери, спеціальну ємність, заповнену досліджуваним зразком, через отвір розмістити в калориметр.

3. Провести вимірювання до досягнення однакової температури на вході та виході вимірювальної камери. Вимкнути нагрівач 12 та вентилятори 9, 10.

4. За допомогою комп’ютера оцифрувати отримані експериментальні дані та підібрати апроксимаційну функцію. Знайти першу та другу похідну від апроксимаційної функції. За коренями другої похідної знайти границі другої ділянки термограми (II).

5. За формулою (6), використовуючи дані отримані у попередньому пункті, визначити площу під другою ділянкою термограми.

6. За формулами (7), (8), (11)-(14) визначити абсолютну та відносну кількості виморожeної та невиморожeної вологи досліджуваного об’єкту.

Контрольні запитання і завдання

1. Дати визначення поняттям: кристалічний та аморфний стан речовини, фазовий перехід першого та другого роду, потрійна точка, виморожена та невиморожена волога.

2. В чому полягають теоретичні основи низькотемпературного калориметричного методу.

3. В чому полягає методика низькотемпературного калориметричного методу.

Навчальне видання

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ БІОФІЗИКИ

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

Автори-укладачі:

ПОГОЖИХ Микола Іванович
ПАК Андрій Олегович
СІНЯЄВА Ольга Володимирівна

Формат паперу 60x84 1/16. Гарнітура TimesNewRoman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний
Умовн. друк. аркушів – 2,6
Наклад 50 пр.
Державний біотехнологічний університет
м. Харків, 61002, вул. Алчевських 44