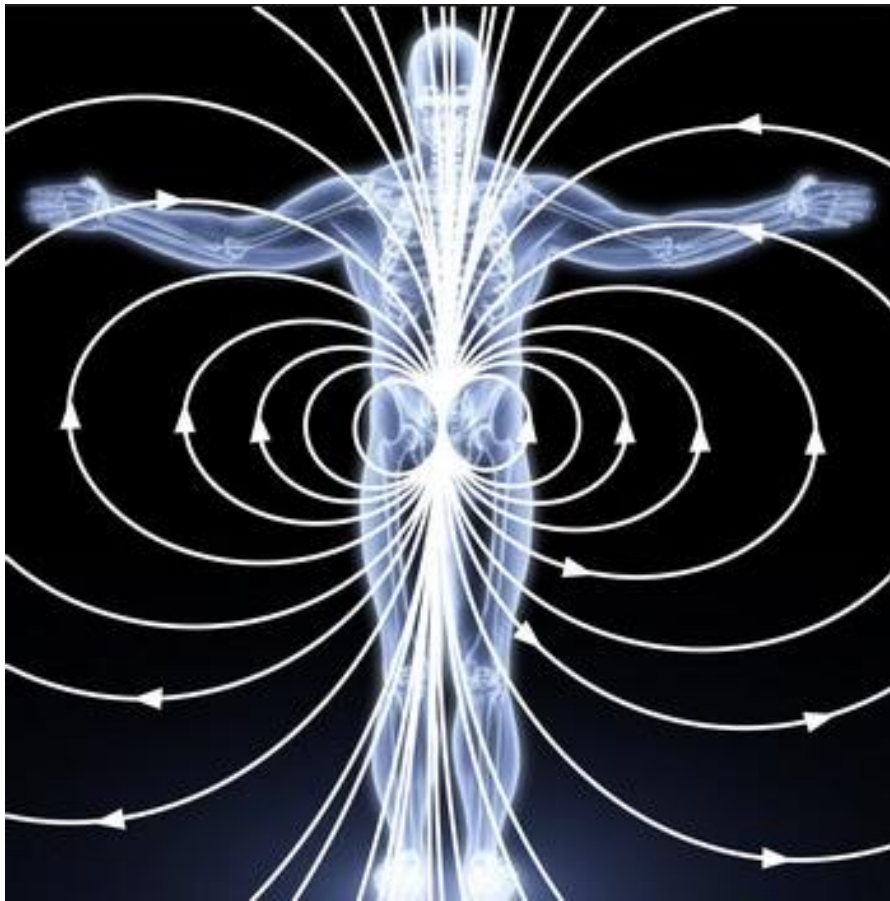


Міністерство освіти та науки України  
Національний університет „Чернігівський колегіум”  
імені Т.Г.Шевченка

## БІОФІЗИКА

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК  
ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ  
ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНОГО ФАКУЛЬТЕТУ**



Навчально-методичний посібник з біофізики до лабораторних занять та самостійної роботи студентів природничо-математичного факультету.  
Укладач Полетай В.М., Чернігів: НУЧК, 2020. – 59 с.

Рецензенти: кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва Чернігівського національного технологічного університету Ситников Олександр Павлович;  
кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології національного університету „Чернігівський колегіум” імені Т.Г.Шевченка Мехед Ольга Борисівна.

Затверджено на засіданні кафедри  
протокол № 12 від 22 червня 2020 р.

## ЗМІСТ

Програма навчальної дисципліни .....	4
<i>Лабораторна робота № 1</i>	
Визначення густини матеріалів методом зважування .....	10
<i>Лабораторна робота № 2-3</i>	
Поверхневі явища. Визначення коефіцієнту поверхневого натягу .....	13
<i>Лабораторна робота № 4</i>	
Визначення пружних властивостей кісткової тканини .....	22
<i>Лабораторна робота № 5</i>	
Визначення динамічної в'язкості рідини методом Стокса .....	27
<i>Лабораторна робота № 6</i>	
Експериментальна перевірка рівняння Бернуллі .....	31
<i>Лабораторна робота № 7</i>	
Визначення рухливості іонів методом електрофорезу .....	37
<i>Лабораторна робота № 8</i>	
Дослідження терморегуляції в живому організмі та визначення температурної топографії тіла людини .....	40
<i>Лабораторна робота № 9</i>	
Електричні процеси в серці та їх дослідження. ЕКГ. ....	46
<i>Екзаменаційні питання</i> .....	52
<i>Використані та рекомендовані джерела</i> .....	54
<i>Додатки</i> .....	58

## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Програма вивчення нормативної навчальної дисципліни «Біофізика» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра, спеціальності «Середня освіта. Біологія».

Теоретичною основою курсу «Біофізика» є опис на молекулярному рівні складу, будови і функціонування компонентів клітини в нормі та патології, дослідження взаємозв'язків структури і функції біологічних систем, молекулярних механізмів регуляції біологічних процесів.

Вивчення біофізики сприяє формуванню та розвитку природничо-наукового мислення, структури діяльності, характерної для натураліста. Взаємозв'язок фізичних, хімічних і біологічних понять курсу забезпечується за рахунок розгляду цих знань в нових синтезованих ситуаціях. При цьому реалізуються принципи науковості, доступності, наочності, зв'язку наукових знань. Біологічні об'єкти розглядаються як вища форма руху матеріального світу, що знаходять і проявляють себе через більш прості, хімічні і фізичні. У зв'язку з цим підкреслюється і розкривається узагальнена методологія пізнання фізико-хімічних явищ в живих системах, що знаходяться в нерозривному зв'язку з навколишнім середовищем, відпрацьовуються єдині підходи до структури пізнавальної діяльності при вивченні природничо-наукових дисциплін.

**Предметом** вивчення навчальної дисципліни є вивчення фізичних та фізико-хімічних явищ в живих організмах на різних рівнях організації.

**Міждисциплінарні зв'язки:** Біофізика базується на наступних дисциплінах: фізика, неорганічна хімія, органічна хімія, математика, цитологія, анатомія, фізіологія людини і тварин, радіобіологія, молекулярна біологія.

Провідна ідея предмета - показати внутрішньопредметні та міжпредметні зв'язки фізичних, хімічних і біологічних знань стосовно живого організму, а також необхідність інтеграції знань для вирішення завдань в області людинознавства на теоретичному рівні пізнання. Основним елементом структури знань предмета є теорія кінетики біологічних процесів, термодинамічних процесів, теорія впливу електромагнітного випромінювання на живий організм, теорія фотобіологічних процесів, теорія реакції.

Курс «Біофізика» є основою для розуміння базових закономірностей поведінки біологічних систем, він базується на результатах, отриманих в області цитології, генетики, молекулярної біології з використанням фізичних методів дослідження, тому теоретичні положення курсу «Біофізики» розроблялися з урахуванням знань і умінь, отриманих в процесі вивчення вищеперелічених дисциплін.

Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів:

1. Біофізика клітинних процесів
2. Біофізика складних систем

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Біофізика» є формування у студентів біофізичного мислення, здатності кількісного опису складних

біологічних явищ на основі точних експериментів, вміння оцінити біофізичні параметри і вірно використати їх для побудови фізичних і математичних моделей біологічних об'єктів.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни “ Біофізика” є:

- засвоєння предмету, задач, місця і ролі біофізики як біологічної науки, Освоєння студентами основних принципів і теоретичних положень біофізики;
- пояснення взаємозв'язку фізичного і біологічного аспектів функціонування живих систем;
- вивчення біологічних проблем, пов'язаних з фізичними та фізико-хімічними механізмами взаємодій, що лежать в основі біологічних процесів;
- дослідження механізмів трансформації енергії в біологічних системах, електронно-конформаційних взаємодій в біомакромолекулах, вивчення механізмів генерації електричної провідності та збудливості клітинних мембран та м'язевих волокон, регулювання та самоорганізації складних біологічних систем;
- практичне застосування біофізичних знань у сфері сільського господарства, фізіології, медицини, екології та біотехнології.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

**знати :**

- предмет, задачі, головні напрямки біофізики, методи дослідження;
- основні поняття, теорії та закони біологічної фізики;
- класифікацію, методи роботи, властивості біофізичних систем;
- принципи будови електрогенної мембрани, існування мембранного потенціалу, ролі активних механізмів в його збереженні;
- форми прояву біотоків та їх класифікацію, методи їх відведення, механізми розповсюдження збудження;
- основи теорії проникності, особливості протікання явищ дифузії, теплопровідності, електропровідності в мембранній структурі;
- біомеханічні основи рухових дій і рухової діяльності; знати теоретичні концепції сучасної біомеханіки; молекулярні механізми м'язового скорочення,
- фізичні закономірності руху крові в серцево-судинній системі та методи, що дозволяють оцінити роботу серця;
- основи перетворення енергії в живому організмі.

**вміти :**

- застосовувати знання у практичній діяльності;
- запобігати негативному впливу на організм фізичних факторів (шум, вібрація, електро-магнітні хвилі, тощо);
- відводити біопотенціали від живих систем та давати їм оцінку;
- володіти основами системного підходу до аналізу складних явищ;
- вирішувати тестові завдання;

- здобувати нові знання, використовуючи сучасні інформаційні освітні технології.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться: **90** годин (**3** кредити ECTS).

## **2. Інформаційний обсяг навчальної дисципліни**

### **Змістовий модуль 1. БІОФІЗИКА КЛІТИННИХ ПРОЦЕСІВ**

#### **ТЕМА 1. Вступ.**

Предмет і завдання біофізики. Біологічні і фізичні процеси і закономірності в живих системах. Методологічні питання біофізики. Історія розвитку вітчизняної біофізики. Завдання біофізики в практиці народного господарства.

#### **ТЕМА 2 Біофізика мембранних процесів**

Структура і функціонування біологічних мембран Мембрана як універсальний компонент біологічних систем. Розвиток уявлень про структурну організацію мембран. Характеристика мембранних білків. Характеристика мембранних ліпідів. Динаміка структурних елементів мембрани. Білок-ліпідні взаємодії. Вода як складовий елемент біомембран. Модельні мембранні системи. Моношар на межі розділу фаз. Бішарові мембрани. Протеоліпосоми.

Фізико-хімічні механізми стабілізації мембран. Особливості фазових переходів в мембранних системах. Обертальна і трансляційна рухливість фосфоліпідів, фліп-флоп переходи. Рухливість мембранних білків. Вплив зовнішніх (екологічних) факторів на структурно-функціональні характеристики біомембран.

Вільні радикали при ланцюгових реакціях окислення ліпідів в мембранах та інших клітинних структурах. Утворення вільних радикалів у тканинах в нормі і при патологічних процесах. Роль активних форм кисню. Антиоксиданти, механізм їх біологічної дії. Природні антиоксиданти тканин та їх біологічна роль

#### **ТЕМА 3 Біофізика процесів транспорту речовин через біомембрани та біоелектрогенез**

Пасивний і активний транспорт речовин через біомембрани.

Транспорт неелектролітів. Проникність мембран для води. Проста дифузія. Органічна дифузія. Зв'язок проникності мембран з розчинністю проникаючих речовин в ліпідах. Полегшена дифузія. Транспорт цукрів і амінокислот через мембрани за участю переносників. Піноцитоз.

Транспорт електролітів. Електрохімічний потенціал. Іонна рівновага на кордоні мембрана-розчин. Профілі потенціалу та концентрації іонів у подвійному електричному шарі. Рівновага Доннана. Пасивний транспорт; рушійні сили перенесення іонів. Електродифузне рівняння Нерста-Планка. Рівняння постійного поля для потенціалу і іонного потоку. Проникність і провідність.

Поверхневий заряд мембранних систем; походження електрокінетичного потенціалу. Явище поляризації в мембранах. Дисперсія електропровідності, ємності, діелектричної проникності. Залежність діелектричних втрат від частоти. Особливості структури живих клітин і тканин, що лежать в основі їх електричних властивостей.

Потенціал спокою, його походження. Активний транспорт. Електрогенний транспорт іонів. Участь АТФаз в активному транспорті іонів через біологічні мембрани. Іонні канали: теорія однорядного транспорту. Іоноформи: переносники і каналоутворюючі агенти. Іонна селективність мембран (термодинамічний кінетичний підходи). Модель паралельного функціонування пасивних і активних шляхів перенесення іонів.

Потенціал дії. Роль іонів Na і K в генерації потенціалу дії в нервових, м'язових волокнах і у інших об'єктів; роль іонів Ca і Cl. Кінетика потоків іонів при збудженні. Механізм активації та інактивації каналів.

Опис іонних струмів в моделі Ходжкіна-Хакслі. Поширення збудження. Кабельні властивості нервових волокон. Проведення імпульсу по не мієлінових і мієлінових волокнах. Математичні моделі процесу поширення нервового імпульсу. Фізико-хімічні процеси в нервових волокнах при проведенні рядів імпульсів (ритмічне збудження). Енергозабезпечення процесів розповсюдження збудження.

#### **ТЕМА 4 Біофізика клітинної рецепції**

Загальні закономірності взаємодії лігандів з рецепторами. Роль структури плазматичної мембрани в процесі передачі гормонального сигналу. Рецептор-опосередкований внутрішньоклітинний транспорт. Уявлення про цитоплазм-ядерному транспорті. Методи дослідження гормональних рецепторів. Проблема сполучення між первинним взаємодією зовнішнього стимулу з рецепторним субстратом і генерацією рецепторного (генераторного) потенціалу. Загальні уявлення про структуру та функції рецепторних клітин. Місце рецепторних процесів в роботі сенсорних систем.

Будова зорової клітини. Молекулярна організація фоторецепторної мембрани; динаміка молекули зорового пігменту в мембрані. Зорові пігменти: класифікація, будова, спектральні характеристики; фотохімічні перетворення родопсину. Ранні та пізні рецепторні потенціали. Механізми генерації пізнього рецепторного потенціалу.

Рецепторні закінчення шкіри, пропріорецептори. Механорецептори органів чуття: органи бічної лінії, вестибулярний апарат, кортіїв орган внутрішнього вуха. Загальні уявлення про роботу органу слуху. Сучасні уявлення про механізми механорецепції; генераторний потенціал. Нюх. Сприйняття запахів: пороги, класифікація запахів. Смакові якості. Будова смакових клітин. Проблема смакових рецепторних білків. Проблема клітинного впізнавання. Механізми взаємодії клітинних поверхонь.

## **Змістовий модуль 2. БІОФІЗИКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

### **ТЕМА 5 Біомеханіка**

Закони механіки і тіло людини. Механічні властивості кісток. Основні типи скорочувальних і рухомих систем. Молекулярні механізми рухливості білкових компонентів скорочувального апарату м'язів. Принципи перетворення енергії в механічних системах. Термодинамічні, енергетичні й силові характеристики скорочувальних систем. Функціонування поперечносмугастих м'язів.

Біофізика зовнішнього дихання та механічні процеси в легенях та дихальних шляхах.

### **ТЕМА 6 Гемодинаміка**

Фізичні основи гемодинаміки. Рівняння нерозривного потоку. Види тисків. Рівняння Бернуллі. Робота з подолання сил внутрішнього тертя потоку рідини. Рівняння Ньютона для в'язкої рідини. Число Рейнольдса. Закон Гагена Пуазейля. Фізичні властивості крові. Щільність і відносна в'язкість крові. Рух еритроцитів в судинній системі. Швидкість осідання еритроцитів. Серце як механічна система. Біомеханіка та енергетика серцевого м'язу. Фази скорочення серця. Залежність частоти серцевих скорочень від маси тварини. Систолічний об'єм. Робота серця Розрахунок роботи серця при навантаженні. Біофізичні закономірності руху крові в серцево-судинній системі. Пульсова хвиля. Тиск крові в судинній системі людини. Методи вимірювання тиску крові.

### **ТЕМА 7 Дія електричного поля на біологічні об'єкти**

Електричний струм в електролітах. Закони електролізу. Електрична поляризація. Види поляризації. Електрокінетичні явища. Електрофорез. Мембранна поляризація. Електроємність живої тканини. Проходження постійного струму через живі тканини. Дія постійного струму на організм тварин. Електропровідність тканини. Поняття реобаза і хронаксія. Формула Вейса. Гальванізація як метод лікування слабким постійним струмом. Проходження змінного струму через живі тканини. Опір живих тканин змінному струму. Дисперсія електропровідності.

Дія змінного струму на організм тварини. Методи дослідження біооб'єктів струмом: реографія, реоенцефалографія, реопульманографія. Біофізика ураження електрикою. Фізіологічні механізми дії змінного струму. Поняття дефібриляція серцевої діяльності. Електронаркоз.

### **ТЕМА 8 Термодинаміка біологічних процесів**

Термодинамічний метод вивчення медико-біологічних систем. Перший і другий закони термодинаміки, ентропія, термодинамічні потенціали.

Термодинаміка відкритих систем поблизу рівноваги.

Термодинаміка відкритих систем, далеких від рівноваги (процеси впорядкування у фізичних, хімічних і медико-біологічних системах, поняття про синергетику). Значення термодинаміки і синергетики у проблемі охорони навколишнього середовища.



Теплове випромінювання. Терморегуляція в живому організмі. Температурна топографія тіла людини. Інфрачервоне випромінювання та його застосування.

## *Лабораторна робота №1*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ЗВАЖУВАННЯ**

**Мета роботи:** навчитися визначати густину біоматеріалів неправильної геометричної форми (зубів, кісток) та матеріалів, з яких виготовляють протези, коронки, пломби методом зважування.

**Матеріали та обладнання:** торсійні терези, термометр, скляний стакан, нитки, дистильована вода, шматки зубів, коронки та матеріали, з яких виготовляються протези, шматки кісток.

**Короткі теоретичні відомості.** Значення густини різних тканин і середовищ організму, наприклад, м'язової, хрящової, лімфи, крові й інших тканин, а також сечі, має в медицині велике практичне значення. Відхилення густини тієї чи іншої тканини від норми вказує на певні зміни в організмі. Так, густина сечі, наприклад, залежить від кількості солей та органічних речовин у ній. Все це залежить від стану організму, віку, умов життя, тощо. У стоматологічній практиці важливо знати густину стоматологічних матеріалів і густину речовини зуба, яка залежить у значній мірі від віку людини та її захворювань.

Густиною називається маса речовини, яка знаходиться в одиниці об'єму тіла. Вона є однією з фізичних характеристик речовини й визначається за формулою:

$$\rho = \frac{V}{m}$$

де  $\rho$  – густина,  $m$  – маса тіла,  $V$  – його об'єм.

Для визначення об'єму тіла неправильної геометричної форми, наприклад, коронки чи інших стоматологічних матеріалів, треба провести гідростатичне зважування, яке ґрунтується на законі Архімеда. Згідно цього закону, на занурене в рідину тіло діє виштовхувальна сила, яка направлена вгору й дорівнює вазі рідини в об'ємі зануреного тіла. Щоб визначити, наприклад, густину зуба, треба прив'язати його за нитку до коромисла торсійних терезів і знайти його вагу в повітрі ( $P$ ). Потім занурити зуб у

дистильовану воду. При цьому рівновага терезів порушиться. Відновити її можна послабленням дії на пружину торсійних терезів. Величина виштовхувальної сили  $F$  буде дорівнювати:

$$F = P - P_1,$$

де  $P$  – вага зуба в повітрі,  $P_1$  – вага зуба у воді.

Підставивши значення замість виштовхувальної сили:

$$F = \rho_0 V g,$$

де  $\rho_0$  – густина води,  $V$  – об'єм речовини зуба,  $g$  – прискорення вільного падіння, з попереднього рівняння визначаємо об'єм:

$$V = \frac{P - P_1}{\rho_0 g}$$

Масу зуба знаходимо за величиною його ваги в повітрі:

$$m = \frac{P}{g}$$

Знаючи об'єм зуба й масу, можна визначити густину його з рівняння:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P}{g} : \frac{P - P_1}{\rho_0 g} = \frac{P \rho_0}{P - P_1}$$

У процесі зважування у воді необхідно слідкувати за тим, щоб зуб не торкався до стінок посудини і щоб на ньому не було бульбашок повітря. При їх наявності зуб треба витягти з води і знову повільно занурити.

#### ***Хід роботи:***

1. підвісьте на нитці до коромисла терезів досліджуваний матеріал;
2. знайдіть його вагу в повітрі ( $P$ );
3. знайдіть його вагу в дистильованій воді ( $P_1$ );
4. виміряйте температуру дистильованої води та визначте її густину ( $\rho_0$ ) в таблиці додатку;
5. розрахуйте густину матеріалу згідно виведеного рівняння;

б. зробіть аналогічні вимірювання для інших матеріалів (зуб, коронка, шматок кістки, базисні протезні пластмаси, невідомий метал тощо) і результати занесіть у таблицю.

Таблиця 1.1. Результати досліджень

Матеріал	Вага у повітрі, Н	Вага у воді, Н	Виштовхувальна сила, Н	Густина води, кг/м <sup>3</sup>	Густина досліджуваного матеріалу, кг/м <sup>3</sup>
Зуб					
Метал					
Кістка					

***Питання для самоконтролю:***

1. Що таке густина матеріалу? Як знайти густину матеріалу для тіл правильної та неправильної форми?
2. Сформулюйте закон Архімеда.
3. Наведіть 3 – 5 прикладів практичного застосування результатів роботи

## *Лабораторна робота №2-3*

### **ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ**

**Мета роботи:** вивчити властивості рідкого стану речовини; навчитись визначати коефіцієнт поверхневого натягу методом відривання крапель та кільця, порівняти поверхневий натяг різних речовин та вплив на його величину температури.

#### ***Матеріали та обладнання***

1) **методом відривання крапель:** бюретка, хімічний стаканчик, термометр, етиловий спирт, мило, дистильована вода, фільтрувальний папір, електронні терези;

2) **методом відривання кільця:** спеціальне кільце для визначення коефіцієнту поверхневого натягу, штатив із затискачем, чашкові терези з важками, електронні терези, штангенциркуль, свинцеві кульки різного діаметру, термометр, електроплитка, чашка Петрі, дистильована вода, хімічний стаканчик, пінцет.

#### ***Короткі теоретичні відомості.***

Поверхневі явища мають велике значення для пояснення роботи крапельниці, механізму виникнення газової, жирової емболії та тромбоемболії, а також для процесів, що протікають в організмі на клітинному та молекулярному рівнях, на межі розділу двох середовищ.

У результаті взаємодії молекул рідини, розташованих на поверхні, між собою та з молекулами, розміщеними поруч, нижче виникає сила поверхневого натягу. Ця сила зближує молекули і створює поверхневий шар. Величина поверхневого натягу  $F$ , що діє на одиницю довжини контуру  $l$ , називається *коефіцієнтом поверхневого натягу* ( $\sigma$ ) даної рідини.

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

Коефіцієнт поверхневого натягу залежить від роду рідини, температури, тиску, наявності домішок. Його можна визначити різними методами: методом

відривання крапель, методом відривання кільця з використанням терезів, методом вимірювання максимального тиску в бульбашці повітря (метод Ребіндера) та по висоті підняття рідини в капілярі.

### ***1. Визначення коефіцієнту поверхневого натягу методом відривання крапель.***

Теоретичне обґрунтування даного методу полягає в наступному.

Утворення крапель рідини при її витіканні з малих отворів є результатом взаємодії сили натягу й сили тяжіння. Крапля відривається тоді, коли вага її стає рівною опору розриву поверхневої плівки, що підтримує краплю.

Перед відривом краплі в кінці капіляра утворюється перетяжка, по якій потім і відривається крапля.

Сила поверхневого натягу на всьому контурі рівна:

$$F = \sigma \cdot l = 2\pi \cdot r \sigma$$

Перед самим відривом ця сила врівноважується силою ваги краплі:

$$F = P, P = mg, 2\pi r \sigma = mg, \text{ тоді}$$

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi r}$$

Метод, що дозволяє уникнути вимірювання радіусу капіляра та маси краплі, полягає в порівнянні коефіцієнта поверхневого натягу відомої рідини й досліджуваної. Такою рідиною береться вода, коефіцієнт поверхневого натягу для різних температур дається в таблицях. Тоді можна записати два рівняння:

$$\text{для досліджуваної рідини} - 2\pi\sigma_1 r = P_1$$

$$\text{для води} - 2\pi\sigma_2 r = P_2,$$

де  $P_1, P_2$  – вага крапель, а радіуси перетяжок крапель рідини однакові, якщо поділити одне рівняння на друге, то одержимо:

$$\frac{2\pi\sigma_1 r}{2\pi\sigma_2 r} = \frac{P_1}{P_2}$$

Скоротивши ліву частину рівняння отримуємо:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

Зайти відношення  $P_1/P_2$  можна шляхом зважування крапель, але це потребує затрати часу. Тому зважування замінимо підрахунком кількості крапель досліджуваної рідини та води в однакових об'ємах (наприклад, у 1–2 см<sup>3</sup>). Нехай  $n_1$  – кількість крапель досліджуваної рідини, а  $n_2$  – кількість крапель води, взятих у тому ж об'ємі.

Густина досліджуваної рідини й води дається в таблицях для різних температур. Тоді вага однієї краплі для досліджуваної рідини:

$$P_1 = m_1 g = V \rho_1 g / n_1$$

$$\text{для води: } P_2 = m_2 g = V \rho_2 g / n_2$$

де  $m_1, m_2$  – маси крапель;  $V/n_1; V/n_2$  – об'єм однієї краплі,  $\rho_1, \rho_2$  – густина досліджуваної рідини та води,  $g$  – прискорення вільного падіння.

Формула набирає такого вигляду:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{\rho_1 g n_2}{\rho_2 g n_1}$$

звідки знаходимо:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\rho_1 n_2}{\rho_2 n_1}$$

– із формули видно, що поверхневий натяг досліджуваної речовини  $\sigma_1$  можна розрахувати, порахувавши кількість крапель цієї речовини ( $n_1$ ) та дистильованої води ( $n_2$ ) в 1 см<sup>3</sup>, а всі інші величини: густину етанолу відомої концентрації  $\rho_1$ , густину води за визначеної температури  $\rho_2$  та поверхневий натяг води за визначеної температури  $\sigma_2$  можна визначити за таблицями.

### *Хід роботи:*

**Дослід 1.** Визначити коефіцієнт поверхневого натягу етилового спирту.

1. промити бюретку водою;
2. кінець капіляру промокнути фільтрувальним папером;
3. залити еталонну рідину (воду) до бюретки, злити декілька крапель, щоб меніск рідини знаходився проти поділок;
4. дати можливість рідині вільно капати;
5. підрахувати кількість крапель води в  $1 \text{ см}^3$ , результат записати в таблицю;
6. дослід провести 3 рази, вирахувати середнє значення отриманих результатів, після чого повністю злити воду з бюретки;
7. залити досліджувану рідину (етиловий спирт), по меніску зробити відмітку;
8. визначити кількість крапель етилового спирту в  $1 \text{ см}^3$ ;
9. дослід провести 3 рази, дані записати в таблицю;
10. визначити температуру води й спирту, а з таблиць взяти необхідні дані: густину води й етилового спирту вказаної концентрації, коефіцієнт поверхневого натягу води при визначеній температурі (див. додатки);
11. вирахувати коефіцієнт поверхневого натягу етилового спирту за робочою формулою та занести результати до таблиці.

**Дослід 2.** Визначити коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину.

1. промити бюретку водою;
2. з мила та води зробити мильний розчин довільної концентрації;
3. залити досліджувану рідину (мильний розчин) до бюретки, по меніску зробити відмітку;
4. визначити кількість крапель мильного розчину в  $1 \text{ см}^3$ ;
5. дослід провести 3 рази, дані записати в таблицю;
6. визначити температуру мильного розчину;



7. визначити густину мильного розчину, для чого у відтарений на електронних терезах хімічний стаканчик помістити  $1 \text{ см}^3$  мильного розчину та зважити з точністю до  $0,01\text{г}$ ;

8. густину води та її коефіцієнт поверхневого натягу за визначеної температури взяти з попереднього досліджу;

9. вирахувати коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину та занести результати до таблиці:

Таблиця 2.1. Результати досліджень

№ п/п	Темп ерату ра води, $t, ^\circ\text{C}$	Густи на води, $\rho_2, \text{кг/м}^3$	К-ть крапель води, $n_2$	Темп ера- тура етано лу, $t, ^\circ\text{C}$	Густи на етано лу, $\rho_1, \text{кг/м}^3$	К-ть крапель етано лу, $n_1$	Темпер атура мильно го розчин у, $t, ^\circ\text{C}$	Густи на мильно го розчин у, $\rho_1, \text{кг/м}^3$	Кіл-ть крапель мильно го розчин у, $n_1$	Коеф- нт поверх. натягу води, $\sigma_2, \text{Н/м}$	Коеф- нт поверх. натягу етанолу, $\sigma_1, \text{Н/м}$	Коеф- нт поверх. натягу мильного розину, $\sigma_1, \text{Н/м}$
1												
2												
3												
сер ед. зн.												

Визначте абсолютну та відносну похибку та зробити висновки.

**Перелік практичних навичок, якими необхідно оволодіти:**

- вміти правильно визначати рівень меніску рідини в капілярі;
- вміти користуватися бюреткою;
- вміти визначати температуру речовини та користуватися електронними терезами.

**2. Визначення коефіцієнту поверхневого натягу методом відриву кільця**

Цей метод полягає у визначенні величини сили, потрібної для відриву кільця, що змочується даною рідиною, від поверхні рідини.

Під врівноважене на терезах деякою масою  $M$  кільце обережно підводиться поверхня рідини так, щоб всі точки нижньої поверхні кільця дотикалися її одночасно. Після цього на чашку терезів за допомогою пінцету обережно додаються дрібні свинцеві кульки загальною масою  $m$  доки кільце не відірветься. Як відомо, сила поверхневого натягу визначається  $F_H = \sigma L$  (1), де  $\sigma$  - коефіцієнт поверхневого натягу,  $L$  - довжина лінії, по якій діє сила поверхневого натягу.

$$\sigma = \frac{F_H}{L}$$

Якщо привести в контакт рідину з кільцем, зовнішній і внутрішній діаметри якого  $d_1$ , і  $d_2$ , то для відриву кільця необхідно прикласти силу, що дорівнює силі поверхневого натягу діючої по всій довжині лінії дотику (плівка розривається з обох боків кільця), тобто на довжині:  $L = \pi(d_1 + d_2)$ . Сила поверхневого натягу врівноважується силою тяжіння свинцевих кульок, тобто  $F_H = mg$ . Враховуючи це, формулу (1) можна переписати у вигляді:

$$mg = \sigma \pi (d_1 + d_2)$$

В момент відриву кільця терези показують силу  $F$ , яка дорівнює сумі сил поверхневого натягу  $F_H$  та ваги вогкого кільця  $P$ :

$$F = F_H + P.$$

Звідси отримуємо робочу формулу:

$$\sigma = \frac{F_H}{L} = \frac{F - P}{\pi(d_1 + d_2)}$$

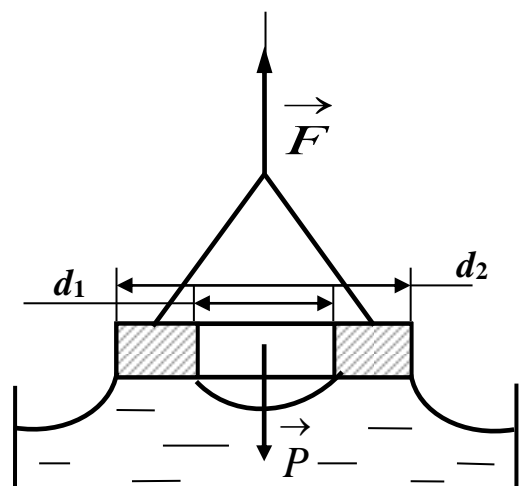


Рис. 3.1

На величину коефіцієнта поверхневого натягу впливає зміна температури, що треба перевірити в ході роботи.

При виконанні роботи необхідно дотримуватись правил техніки безпеки, а саме виконувати всі заходи обережності при роботі із скляним обладнанням та електронагрівальними приладами.

***Хід роботи:***

1. Кільце, яке підвішене до чашки терезів, змочіть водою та ретельно врівноважте важками, що йдуть у комплекті з чашковими терезами. В цьому положенні до нього підводиться поверхня досліджуваної рідини (дистильована вода) в чашці Петрі. Зорієнтувати кільце відносно поверхні рідини необхідно так, щоб всі точки кільця дотикались одночасно.

2. На протилежну чашку терезів обережно пінцетом кладіть свинцеві кульки по одній, доки кільце не відірветься.

3. Після того, як кільце відірвалось, виміряйте температуру води та зважте свинцеві кульки на електронних терезах.

4. Вирахуйте силу поверхневого натягу  $F_H$ , що діє на зовнішньому і внутрішньому периметрі кільця.

5. За допомогою штангенциркуля виміряйте зовнішній та внутрішній діаметри кільця.

6. Знайдіть коефіцієнт поверхневого натягу рідини.

7. Дослід повторіть тричі та запишіть результат з найбільшим показником у таблицю (похибка результату залежить від обережності дослідника!).

8. Підігрійте воду на електричній плитці на 20, 40, 60 °С. Повторіть п.п. 1 - 7.

9. Визначте коефіцієнт поверхневого натягу дистильованої води при різних температурах.

10. Побудуйте графік залежності коефіцієнта поверхневого натягу дистильованої води від температури (рис. 3.2).

Одержані результати порівняйте з табличними.

Результати вимірів та підрахунків занести в звітну таблицю 3.1:

Таблиця 3.1. Результати досліджень

Температура досліджуваної рідини $t$ , °C	$F_H$ , Н	$d_1$ , м	$d_2$ , м	$L$ , м	$\sigma$ , Н/м

Рис. 3.2 Графік залежності коефіцієнта поверхневого натягу дистильованої води від температури (Накреслити самостійно)

***Питання для самоконтролю:***

1. Яка природа сили поверхневого натягу?
2. Який фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу?
3. Як напрямлена сила поверхневого натягу?
4. Які одиниці виміру коефіцієнта поверхневого натягу?
5. Від яких факторів залежить величина коефіцієнта поверхневого натягу?
6. Які методи визначення коефіцієнта поверхневого натягу ви знаєте?

***Завдання для самостійної підготовки:***

1. Поясніть механізм виникнення газової та жирової емболії у людини.
2. Поясніть механізм капілярних явищ на прикладі руху води по ксилемі від кореня до листка.
3. Який патогенез кесонної хвороби?

4. Поясніть механізм першої допомоги при набряку легень за допомогою етанолу.
5. Обчисліть  $\Delta p$  між тиском всередині бульбашки повітря діаметром 0,5 мм у кровоносній судині і атмосферним тиском, не враховуючи гідростатичний тиск крові. Поверхневий натяг крові  $\sigma = 58$  мН/м
6. Визначте коефіцієнт поверхневого натягу крові, якщо в капілярі діаметром 1 мм вона піднімається на висоту 2,25 см. Густина крові  $1050$  кг/м<sup>3</sup>, змочування вважати повним.

## *Лабораторна робота № 4*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ.**

**Мета заняття:** Вивчити поняття пружності та пластичності, навчитися визначати модуль пружності кісток.

**Матеріали та обладнання:** кістка, дві опори, штатив, лінійка, мікрометр (штангенциркуль), різноваги.

#### ***Короткі теоретичні відомості.***

У процесі життєдіяльності людини опорно- руховий апарат й окремі групи м'язів зазнають різноманітних деформацій. Кістки хребта, нижні кінцівки, як правило, зазнають деформацій стиску та згину, а кістки верхніх кінцівок, сухожилля й м'язи – деформацій розтягу. Деформація тканин виникає при переломах, вивихах і контрактурах. Знання пружних властивостей тканин людини являє інтерес для всіх галузей медицини, особливо педіатрії, геронтології та ортопедії. Пружні властивості кісткової тканини змінюються з віком людини внаслідок зміни кількості мінеральних солей в їх складі. Пружність кісток враховують, наприклад, при підборі навантаження при скелетному витягуванні, при підборі матеріалу для протезування, тощо. Знання пружних властивостей органів опорно- рухового апарату актуальні в спортивних дисциплінах, спортивній медицині та фізичній реабілітації.

У твердих кристалічних тілах частинки, що входять до складу просторової кристалічної решітки, знаходяться в стані рівноваги тому, що діючі між ними сили притягання й відштовхування скомпенсовані. Під дією зовнішніх механічних сил можлива зміна взаємного розташування зазначених частинок, яка призводить до порушення форми й розмірів тіла або його частин. Цей процес називається механічною деформацією твердого тіла. Розрізняють декілька типів деформації. Деформація зветься пружною, якщо після зняття зовнішніх сил вона повністю зникає, і пластичною, якщо повністю зберігається. Нарешті, якщо деформація зникає не повністю, то вона зветься пружно-пластичною. Способи деформування матеріалів можуть бути дуже

різноманітними: подовжні стиск і розтяг, всебічний стиск і розтяг, згин, зсув, кручення і т.п. Англійський фізик Роберт Гук установив закономірності розвитку пружної деформації. Якщо початкова довжина пружного об'єкту  $l_0$ , то під дією розтягуючої сили  $F$ , він видовжиться на величину  $\Delta l = l - l_0$ . Гук з'ясував, що до тих пір, поки не перейдена межа пружності, абсолютне видовження  $\Delta l$  пропорційне величині розтягуючої сили  $F$ , тобто:  $\Delta l \sim F$ , крім того величина  $\Delta l$  пропорційна початковій довжині пружного об'єкту  $l_0$  при однаковій площині поперечного перерізу  $S$ , а також при однаковій початковій довжині, але різних величинах  $S$ . Якщо всі ці три встановлені співвідношення звести в одне, то отримаємо закон Гука:

$$\Delta l = \alpha F \frac{l_0}{S}$$

(де  $\alpha$  – коефіцієнт пружності – величина, яка характеризує пружні властивості конкретного матеріалу. Річ у тім, що при однакових параметрах  $F$ ,  $l_0$  та  $S$  різні матеріали видовжуються на різну величину  $\Delta l$ .)

Якщо означити

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

де  $\sigma$  – механічна напруга,

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

де  $\varepsilon$  – відносне видовження) і

$$E = \frac{1}{\alpha}$$

де  $E$  – модуль Юнга, то отримаємо інший запис закону Гука:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Модуль Юнга має велике значення в техніці, бо він дає можливість порівнювати пружні властивості різних матеріалів. Найбільш розповсюдженою методикою вивчення механічних властивостей матеріалів є зняття так званих діаграм деформації в умовах розтягування або стискання.

Діаграма деформації – це залежність величини механічної напруги від величини відносного видовження в процесі деформування матеріалу. Початкова лінійна частина діаграми деформації (до межі пружності) є ділянкою пружної деформації, причому її нахил визначається величиною модуля Юнга  $E$ . Далі діаграма відхиляється від прямолінійності, що є свідченням переходу до пружнопластичної деформації, кінцева точка діаграми деформації відповідає руйнуванню матеріалу, а величина напруги в цій точці зветься межею міцності. Дослідження деформації згину спрощується, коли користуватися гіпотезою Бернуллі, за якою при згині стержня всі поперечні перерізи залишаються плоскими. Коли умовно поділити стержень на тонкі шари, симетрично й паралельно середньому шару, то при деформації згину середній шар не змінив своєї довжини. Цей шар називається нейтральним. Шари, що лежать вище нейтрального, стискаються, а шари, що лежать нижче нейтрального, розтягуються. Розтяг і стиск пропорційні відділу даного шару від нейтрального. Ці дослідження показують, що нейтральна частина стержнів при поперечному згині ніякого корисного навантаження не несе. Отже, деформації згину можна розглядати, як лінійні деформації розтягу й стиску. Окремі елементи опорно-рухового апарату людини в процесі довготривалої еволюції пристосувались до характеру деформації, яких вони зазнають і досягли, з механічної точки зору, великої досконалості. Природа сама усунула центральну частину в довгих кістках кінцівок (яка не несе корисного навантаження), які зазнають в основному деформації згину, та мають трубчасту будову. Це забезпечує їм достатню міцність при значному зменшенні маси кісток.

Для визначення модуля Юнга при згині порожніх тіл, переріз яких має не зовсім правильну форму, наприклад, кісток, використовують формулу:



$$E = \frac{Fl^3}{3,2 fbh^3}$$

де  $F$  – прикладена сила,  $l$  – довжина кістки між опорами,  $b$  – ширина кістки,  $h$  – товщина кістки, а  $f$  – так звана стріла прогину – найбільша величина прогину кістки в місці прикладення сили (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Визначення стріли прогину кістки в місці прикладення сили.

*Хід роботи:*

1. Виміряйте довжину кістки лінійкою.
2. Виміряйте товщину та ширину кістки мікрометром; розміри кістки занесіть у робочу таблицю 4.1.
3. Встановіть мікрометричний пристрій для вимірювання стріли прогину на середині довжини кістки.
4. Покласти вантаж відомої маси на тарілку (рис. 4.2).

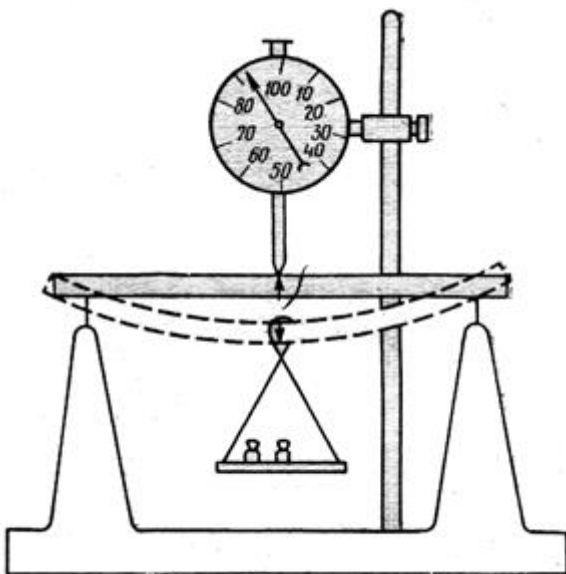


Рис. 4.2 Пристрій для визначення модуля пружності кістки

5. Визначте стрілу прогину з максимальною точністю, яку дозволяє вимірювальний прилад.
6. Дослід повторіть декілька разів при різних навантаженнях.
7. Розрахуйте модуль Юнга за робочою формулою і результати занесіть в таблицю 4.1.
8. Розрахуйте середнє арифметичне значення модуля пружності й порівняйте величину модуля матеріалу кістки з величинами модулів інших матеріалів (див. додатки).

Таблиця 4.1.

№ з/п	Прикладена сила F, Н	Розміри кістки			Стріла прогину f, м	Модуль пружності E, Н/м <sup>2</sup>
		довжина l, м	ширина b, м	товщина h, м		
1.						
2.						
3.						
с. зн						

### ***Питання для самоконтролю***

1. Дайте визначення закону Гука. Для яких умов він справедливий?
2. Дайте визначення пружнім, непружнім та крихким тілам.
3. Що таке модуль Юнга, від чого він залежить та які характеристики відображає? Які одиниці вимірювання модуля Юнга в СІ?
4. Дайте визначення абсолютній та відносній деформації.

### ***Завдання для самостійної підготовки.***

1. Поясніть природу сил притягання та відштовхування в кристалічній решітці;
2. Поясніть п'єзоелектричний ефект.
3. Розв'яжіть задачу. До кістки прикладене навантаження, що відповідає масі 5 кг. Розрахуйте видовження  $\Delta l$  кістки, якщо її початкова довжина  $l_0 = 20$  см, діаметр поперечного перерізу  $d = 8$  мм, модуль пружності  $E = 1$  Гпа.

## Лабораторна робота № 5

### ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ МЕТОДОМ СТОКСА

**Мета роботи:** ознайомитись із суттю явища внутрішнього тертя в газах та рідинах; експериментально визначити коефіцієнт динамічної в'язкості певної рідини.

**Матеріали та обладнання:** скляний циліндр висотою не нижче 15см, маркер по склу, скляні та металеві кульки, лінійка, секундомір, в'язка рідина, калькулятор, мірна склянка, електронні терези.

#### Короткі теоретичні відомості.

В'язкість (внутрішнє тертя) – це властивість реальних рідин та газів чинити опір переміщенню однієї частини рідини (газу) відносно іншої. При переміщенні одних шарів реальної рідини (газу) відносно інших виникають сили внутрішнього тертя, які мають напрямок вздовж дотичної до поверхні шарів.

Сила внутрішнього тертя між двома шарами рідини відповідно до закону Ньютона має вигляд:

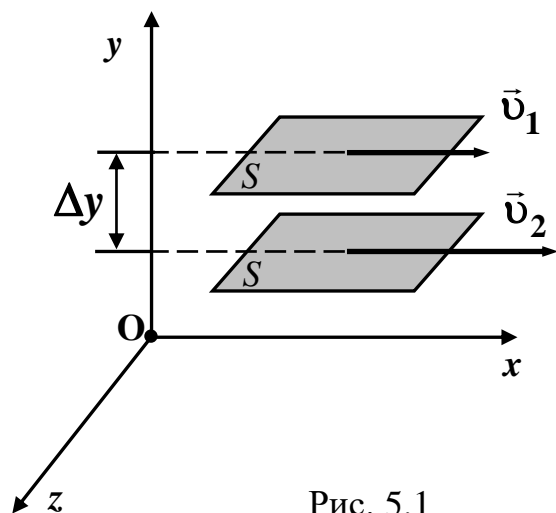


Рис. 5.1

$$F = \eta \frac{dv}{dy} S,$$

де  $F$  – сила внутрішнього тертя;  $\frac{dv}{dy}$  – градієнт швидкості, який показує як змінюється швидкість при переході від шару до шару у напрямку осі  $Oy$ , перпендикулярному до напрямку руху шарів рідини (газу) (рис. 5.1);  $S$  – площа поверхні шарів;  $\eta$  – коефіцієнт

пропорційності, який має назву динамічної в'язкості рідини (газу).

З рівняння Ньютона може бути визначена динамічна в'язкість рідини (газу):

$$\eta = \frac{F}{\left. \frac{dv}{dy} \right| S}.$$

У зв'язку з тим, що практичне визначення градієнта швидкості із застосуванням рівняння Ньютона викликає певні труднощі, в даній роботі використовується метод Стокса. Цей метод полягає у вимірюванні швидкості невеликих тіл сферичної форми, які повільно та рівномірно рухаються у рідині або газі.

На тіло, що падає в рідині (у даному випадку – скляну або металеву кульку), діють:

сила тяжіння  $mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ ;

сила Архімеда  $F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_p g$ ;

сила опору  $F_C = 6\pi\eta \cdot r v$ .

Вираз для сили опору було встановлено емпіричним шляхом англійським фізиком та математиком Дж. Стоксом. Сила Стокса

$$F_C = 6\pi\eta \cdot r v$$

виникає тому, що під час руху кульки в рідині має місце тертя між окремими шарами рідини. Так, найближчий до поверхні кульки шар рідини матиме швидкість кульки, бо рідина немовби налипає на неї. Інші шари матимуть тим меншу швидкість, чим далі знаходяться від кульки.

Внаслідок зростання швидкості падіння кульки сила опору також зростатиме (див. формулу сили Стокса). Тоді настане такий момент, коли сила  $m\vec{g}$  врівноважиться силами  $F_C$  та  $F_A$ , після чого кулька почне рухатись рівномірно:

$$mg = F_A + F_C$$

З вищезазначених рівнянь можна одержати робочу формулу:

$$\eta = \frac{gd^2 \tau (\rho - \rho_p)}{18L}, \quad )$$

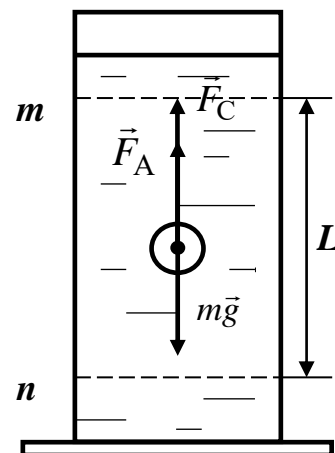


Рис. 5.2.



### ***Питання для самоконтролю:***

1. Дайте визначення в'язкості. Поясніть його виникнення.
2. Запишіть закон Ньютона для сили внутрішнього тертя.
3. Поясніть відмінність між ньютонівськими і неньютонівськими рідинами;
4. Дайте означення коефіцієнта динамічної в'язкості. Яку розмірність він має?
5. Дайте означення коефіцієнта кінематичної в'язкості. Який зв'язок між коефіцієнтами кінематичної і динамічної в'язкості?
6. Що називають градієнтом швидкості?
7. Дайте визначення ламінарної і турбулентної течії.
8. Що визначає критерій Рейнольдса?
9. Від чого залежить в'язкість рідини?
10. Лінійна і об'ємна швидкості. Принцип дії інгалятора і інжектора.
11. Плин в'язких рідин, формула Пуазейля. Гідравлічний опір. Шунтування. Розподіл тиску і швидкості плину крові в судинній системі.
12. Ламінарна і турбулентна течії. Критерій Рейнольдса. Умови виникнення турбулентності в судинному руслі.
13. Судинна система, її складові. Великий і малий круг кровообігу. Показники гемодинаміки в різних частинах судинного русла.
14. Основні гемодинамічні показники: УОК, ЧСС, АТ, СІ, УІ, РЛШ, РІЛШ, УРЛШ, РУЛШ, ЦОК, ЗПО.
15. Автохвилі. Пульсова хвиля. Вплив еластичності кровеносних судин на вид пульсу і швидкість пульсової хвилі.
16. Робота і потужність серця як насоса, кількісна їх оцінка. Види тиску в кровеносній системі. Фізичні принципи визначення тиску і швидкості руху крові.

### ***Завдання для самостійної підготовки***

1. Поясніть практичне значення коефіцієнта в'язкості в біології та медицині.
2. Поясніть залежність роботи серця та в'язкості крові.
3. Чому в судинах різного діаметру кров має різну динамічну в'язкість?
4. Поясніть шуми та їх зникнення при вимірюванні діастолічного артеріального тиску.
5. В чому принцип вимірювання динамічної в'язкості за допомогою віскозиметра Освальда?

## Лабораторна робота №6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ

**Мета роботи:** Дослідним шляхом перевірити справедливість рівняння Бернуллі.

**Матеріали та обладнання:** вимірювальний пристрій, міліметрова лінійка, мензурка, резервуар для води, секундомір, штангенциркуль, вода.

### **Короткі теоретичні відомості.**

Гідростатичний тиск ( $p$ ) – тиск рідин і газів, зумовлений дією на них сили тяжіння. Гідростатичний тиск рідини на глибині  $h$  дорівнює:  $p = \rho gh$ .

Лінійна швидкість рідини ( $v$ ) - шлях пройдений частинками рідини за одиницю часу.

Об'ємна швидкість рідини ( $Q$ ) – об'єм рідини, який протікає через поперечний переріз труби за одиницю часу. Лінійна і об'ємна швидкості зв'язані між собою співвідношенням:  $Q = v \cdot S$ , де  $S$  – площа поперечного перерізу труби.

Течія в'язкої рідини в горизонтальній трубі описується рівнянням Гагена – Пуазейля:  $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} (p_1 - p_2)$ ,

де  $Q$  – об'ємна швидкість рідини;  $R$  – радіус труби;  $l$  – довжина труби;

$\eta$  – в'язкість рідини;  $p_1 - p_2$  – різниця тисків, які виміряні на початку і в кінці труби.

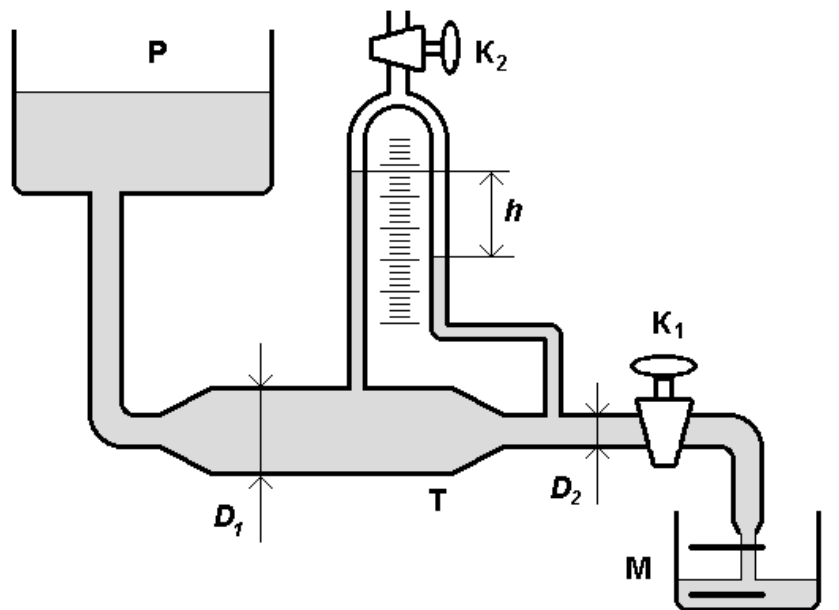


Рис. 6.1 Вимірювальний пристрій для експериментальної перевірки рівняння Бернуллі

За законом Бернуллі, при усталеному русі ідеальної нестисливої рідини сума динамічного, гідростатичного та статичного тисків є величиною сталою для будь-якого перерізу потоку. Справедливість рівняння Бернуллі перевіряють шляхом порівняння об'ємної витрати води, визначеної за різницею тисків у перерізах (на основі рівняння Бернуллі), з об'ємною витратою води, виміряною за допомогою мензурки та секундоміра.

Вимірювальний пристрій складається з заповненого водою резервуару **Р**, основної трубки **Т** і крану **К<sub>1</sub>** для зливу води в мензурку **М**. Від ширшої (внутрішній діаметр **D<sub>1</sub>**) і вузької (внутрішній діаметр **D<sub>2</sub>**) частин основної трубки відходять вертикальні манометричні трубки, сполучені у верхній частині між собою (рис. 6.1). Кран **К<sub>2</sub>** служить для початкового наповнення системи водою і при виконанні лабораторної роботи не використовується. Міліметровою лінійкою, закріпленою за манометричними трубками визначають різницю тисків **h** (мм.вод.ст.) у більшому і меншому перерізах трубки.

Нехай площі поперечних перерізів трубки **Т** дорівнюють **S<sub>1</sub>** і **S<sub>2</sub>**, відповідні їм швидкості руху води – **v<sub>1</sub>** і **v<sub>2</sub>**, тиски – **p<sub>1</sub>** і **p<sub>2</sub>**, густина води **ρ**. Тоді рівняння Бернуллі для горизонтальної трубки та умова нерозривності потоку матимуть вигляд :

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}; \quad D_1^2 v_1 = D_2^2 v_2, \quad (1)$$

де **D<sub>1</sub>** і **D<sub>2</sub>** – діаметри трубки.

Розв'язавши систему рівнянь (1) щодо **v<sub>2</sub>**, отримаємо:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(1 - \frac{D_2^4}{D_1^4}\right)}}. \quad (2)$$

Витрата води (об'єм води, який проходить через поперечний переріз за одну секунду):



$$Q = S_2 v_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(1 - \frac{D_2^4}{D_1^4}\right)}} \quad (3)$$

Різниця тисків, визначена за допомогою манометра,

$$p_1 - p_2 = \rho gh, \quad (4)$$

де  $\rho$  – густина води;

$h$  – різниця висот стовпів води в колінах манометра.

Підставивши значення  $p_1 - p_2$  з виразу (4) у (3) і беручи до уваги, що  $D_1^4 \gg D_2^4$ , отримаємо першу формулу для обчислення витрати води

$$Q = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{2gh}. \quad (5)$$

Об'ємна витрата води, визначена за допомогою мензурки і секундоміра:

$$Q^* = \frac{V}{t} \quad (6)$$

де  $V$  – об'єм води, що витікає у мензурку з крану  $K_1$  за час  $t$ .

Порівнюючи значення витрати води  $Q$  зі значенням  $Q^*$  переконуємося у справедливості рівняння Бернуллі.

### *Хід роботи:*

1. Відкрийте кран  $K_1$ , скерувавши струмінь води в мензурку  $M$ .
2. Після встановлення постійних рівнів води в обох колінах манометра визначте їх різницю  $h$ .
3. В момент досягнення рівнем води, що витікає у мензурку з крану  $K_1$ , нижньої позначки на мензурці ввімкніть секундомір.
4. При досягненні рівнем води верхньої позначки на мензурці вимкніть секундомір, одночасно заклавши кран  $K_1$ .
5. Визначте об'єм води  $V$  в мензурці після чого вилийте воду в резервуар  $P$ .
6. Аналогічні виміри повторити 5 разів з різними об'ємами води.
7. Виміряйте внутрішній діаметр трубки:  $D_2$  в см.
8. Результати вимірювань запишіть у таблицю 6.1 і обчисліть об'єми води за формулами (5) і (6).

9. Визначивши середні значення величин  $Q^*$  і  $Q$ , оцініть відносну похибку вимірювань згідно з формулою:

$$\delta Q = \frac{Q^* - Q}{Q^*} 100\% \quad (7)$$

Таблиця 6.1. Результати вимірювань та розрахунків

№	h, см	t, с	V, см <sup>3</sup>	Q, см <sup>3</sup> /с	Q*, см <sup>3</sup> /с
1					
2					
3					
4					
5					
серед.					

### ***Питання для самоконтролю***

1. Яку рідину називають ідеальною?
2. Сформулюйте і виведіть рівняння Бернуллі.
3. Поясніть поняття: „динамічний, гідростатичний та статичний тиск”.
4. Як розподілені тиски в рідині, що тече по горизонтальній трубі зі змінним поперечним перерізом?
5. Як розподілений тиск та швидкість крові, що тече по артеріях різного діаметру?
6. Чому в кровоносних капілярах, які найтонші за діаметром серед кровоносних судин, найнижча швидкість кровотоку?
7. Як розподілений тиск та швидкість крові, що тече по венах різного діаметру?

### ***Завдання для самостійної підготовки***

1. Від чого залежить швидкість осідання еритроцитів і яке клінічне значення має цей показник?
2. Чому в судинах різного діаметру (вена і капіляр) кров має різну в'язкість?

### **Вирішіть задачі:**

1. Хвилиний об'єм крові у стані спокою дорівнює  $Q_1 = 5$  л/хв, а при інтенсивному фізичному навантаженні зростає до  $Q_2 = 25$  л/хв. Визначити тип течії крові в аорті для цих двох випадків діаметр аорти  $D = 2$  см, в'язкість крові  $\eta = 5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ , густина  $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ , критичне значення  $Re_{\text{кр}} = 2000$ .
2. Дослідження показали, що в результаті відкладення холестерину в аорті пацієнта товщина її стінки збільшилась в 1,5 рази, внутрішній діаметр зменшився на 25%, а швидкість поширення пульсової хвилі зросла в 1,9 рази. Як змінився модуль пружності стінки по відношенню до норми.
3. Обчислити максимальний хвилиний об'єм крові, при якому плин крові в аорті залишається ламінарним. Діаметр аорти 2 см, в'язкість крові 5 мПа·с, густина крові 1050 кг/м<sup>3</sup>, критичне значення числа Рейнольдса  $Re_{\text{кр}} = 2000$ .
4. Визначити середню лінійну швидкість кровотоку в судині радіуса 1,5 см, якщо під час систоли через нього протікає 60 мл крові. Вважати, що систола триває 0,25с.
5. Середня швидкість кровотоку в аорті 0,45 м/с, а в капілярах 0,5 мм/с. у скільки разів площа поперечного перерізу аорти менша за сумарну площу перерізу капілярів.
8. Розташуйте судини у порядку збільшення швидкості кровотоку: аорта, артеріоли, вени, венули, артерії, капіляри.
9. В яких судинах системи кровообігу існує більша ймовірність переходу ламінарної течії в турбулентну? Відповідь пояснити.
10. Чому при порізі пальця кров витікає рівномірною струминою?

- 11.** Визначити середню лінійну швидкість кровотоку в судині діаметром 2см, якщо при систолі через неї протікає 50мл крові. Тривалість систоли 0,3с.
- 12.** Визначити серцевий індекс (CI), якщо ХОК=3000мл, а маса пацієнта 80кг.
- 13.** Обчислити роботу лівого шлуночка (РЛШ), якщо ХОК=2л, а середній артеріальний тиск 13,3кПа.
- 14.** Які чинники, впливають на швидкість пульсової хвилі?
- 15.** Назвіть чинники від яких залежить артеріальний тиск?
- 16.** Назвіть основні гемодинамічні параметри.
- 17.** Які фізичні засади методу вимірювання артеріального тиску?

## *Лабораторна робота № 7*

### **ВИЗНАЧЕННЯ РУХЛИВОСТІ ІОНІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОФОРЕЗУ**

**Мета роботи:** З'ясувати природу явищ електрофорезу, електроосмосу та іонофорезу, навчитися працювати з установкою для електрофорезу на папері, визначити рухомість іонів гідроксилу.

**Матеріали та обладнання:** установка для електрофорезу (генератор постійного струму), розчини  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ , фенолфталеїн, фільтрувальний папір, нитки, секундомір, лінійка, 2 лотки, предметне скло.

#### ***Короткі теоретичні відомості.***

У складних гетерогенних системах під дією електричного поля рухаються не тільки електрони та іони, а є зважені в рідині тверді частинки, бульбашки, крапельки іншої рідини (електрофорез). При цьому сама рідина рухається в протилежному напрямку (електроосмос). Сукупність цих явищ називається електрокінетичними явищами. Вони відіграють важливу роль у процесах життєдіяльності біологічних систем. Крім того зазначені явища широко використовуються в фізіотерапії, наприклад, у лікарському електрофорезі.

Лікарський електрофорез – це метод введення лікарських речовин в організм людини через шкіру або слизові оболонки за допомогою постійного електричного струму. Якщо активним елементом лікарської речовини є іони, то цей метод має назву іонофорез, якщо хімічні сполуки у вигляді частинок, коллоїдів, крапель – катафорез. Розчином відповідної речовини змочують прокладку під електродом, який приєднаний до джерела постійного струму, а під другий електрод розміщують прокладку, змочену водою, або фізіологічним розчином. З прокладки під позитивним електродом в організм вводять іони металів ( $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) із розчинів їх солей, складні алкалоїди (хінін), синтетичні речовини (новокаїн), а також позитивно заряджені частинки й крапельки. З прокладки під негативним електродом вводять кислотні радикали ( $\text{Cl}$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{PO}$ ), а також негативно заряджені частинки. Електроосмос при проведенні лікарського електрофорезу також відіграє значну роль, тому що забезпечує

заповнення рідиною пор у шкірі, що спрощує рух лікарської речовини. Особливістю такого способу є те, що з'являється можливість ввести лікарську речовину безпосередньо в зоні ураження й тому суттєво зменшити дозу. Саме цьому електрофорез широко застосовується в медицині для проведення лікування, а також у наукових дослідженнях, зокрема для аналізу білкового складу сироватки крові та інших білковмісних речовин. Швидкість руху іонів в електричному полі прямо пропорційна напруженості поля й задається рівнянням:

$$v = bE, \quad (1)$$

де  $b$  – рухливість іонів, яка залежить від типу іона.

Величина різна для п'яти головних білкових фракцій, і тому в процесі електрофорезу вони проходять різну відстань, таким чином розділюючись на окремі фракції.

### *Хід роботи:*

1. У два окремих лотки приладу для електрофорезу налити розчин солі  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
2. На діелектричну пластинку, яка з'єднує ці посудини (предметне скло), накласти смужку фільтрувального паперу, змочену таким же електролітом з добавкою фенолфталеїну.
3. На середині смужки розмістити нитку, змочену в розчині  $\text{NaOH}$ .
4. Підключити напругу та зафіксувати початковий момент часу, через 7 – 10 хвилин вимкнути напругу і виміряти ширину забарвленої смужки  $S$ , яка виникає там, де пройшли іони гідроксила  $\text{OH}^-$  і прореагували з фенолфталеїном.
5. Експеримент провести тричі при різних напругах  $U$  (60, 80 та 100 В).
6. Розрахувати швидкість іонів за формулою (2):

$$v = \frac{S}{t}$$

де  $t$  – час проведення електрофорезу.

Напруженість електричного поля  $E$  визначається за формулою (3):

$$E = \frac{U}{l}$$

де  $l$  – відстань між електродами. Із формул (1), (2) та (3) знаходимо, що

$$b = \frac{S l}{t U}$$

7. Отримані результати занесіть у таблицю 7.1 та зробіть висновки.

Таблиця 7.1. Результати дослідження

№ з/п	U, В	t, с	S, м	V, м/с	E, В/м	b, м <sup>2</sup> /Вс
середнє значення						

**Питання для самоконтролю:**

1. Фізичні та біофізичні процеси, які відбуваються в біологічних тканинах під дією постійного струму.
2. Основні діючі фактори у різних методиках електролікування постійними і імпульсними струмами і полями
3. Назвіть методи електролікування, де застосовується постійний електричний струм.
4. Що таке гальванізація? Назвіть і поясніть за рахунок яких явищ створюється лікувальний ефект цього методу? Призначення прокладок під електродами при гальванізації.
5. Поясніть механізм дії медикаментозного електрофорезу.
6. Електросонотерапія. Транскраніальна електроанальгезія. Франклінізація. Пояснити механізм лікувальної дії франклінізації і аероіонофорезу.
7. Основні вимоги техніки безпеки при проведенні електролікування.

### ***Завдання для самостійної роботи:***

1. Для чого використовуються методи електролікування в імпульсному режимі? Назвіть області застосування імпульсних електричних струмів. Назвіть переваги електротерапії в імпульсному режимі.
2. Від чого залежить клінічна ефективність високочастотних імпульсів струму?
3. Поясніть механізм дії низькочастотних імпульсів.
4. Електростимуляція і її застосування.
5. Електростимуляція. Електропунктура.
6. Поясніть механізм дії постійного та змінного низькочастотного магнітного поля на живі тканини.
7. Знайти кількість іонів йоду, які будуть введені пацієнту за 10 хв, при густині струму  $0.05 \text{ A/cm}^2$  з електрода площею  $5 \text{ cm}^2$ .
8. Під час загальної гальванізації хворого протягом 20хв підтримувалась сила струму 50мА. Яка кількість позитивних іонів утворила струм, якщо усі вони одновалентні?



## *Лабораторна робота № 8*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЇ В ЖИВОМУ ОРГАНІЗМІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ТОПОГРАФІЇ ТІЛА ЛЮДИНИ**

**Мета роботи:** дослідити вплив фізичних факторів (інфрачервоне опромінювання, струміль повітря) та фізичних процесів (випромінювання, випаровування, теплопровідність, конвекція) на температуру тіла та визначити температурну топографію тіла людини.

**Матеріали та обладнання:** термометри, інфрачервона лампа, металева пластина, вентилятор, етиловий спирт.

#### ***Короткі теоретичні відомості.***

Будь-які зміни температури зовнішнього середовища в порівнянні з температурою тіла запускають рефлекторні та гуморальні механізми терморегуляції, попереджуючі порушення температурного гомеостазу організму. При дії холоду відбувається почастищення імпульсації з холодних рецепторів шкіри до центрів терморегуляції гіпоталамуса. У відповідь на цей вплив спостерігається посилення теплопродукції та зменшення тепловіддачі. Протилежний ефект спостерігається при дії температури зовнішнього середовища, яка є вищою за температуру тіла. Основними шляхами теплопродукції в гомойотермних організмах є хімічний термогенез, який включає в себе прискорення метаболізму в тканинах та органах під впливом біологічно активних речовин, скоротливий та нескоротливий термогенез, а також фізична терморегуляція, яка основана на зміні інтенсивності основних шляхів тепловіддачі – випромінювання, конвекції, теплопровідності та випаровування.

Перебудова системи термогенеза відбувається через симпатичний відділ вегетативної нервової системи та залози внутрішньої секреції. При дії холоду наростає вироблення катехоламінів в мозковій речовині наднирників, тироксину в щитовидній залозі, тропних гормонів в гіпофізі. Норадреналін, адреналін, тироксин активують ферменти, що каталізують ліполіз і глікогеноліз

у внутрішніх органах, мозку, скелетних м'язах, жирових депо. У крові підвищується концентрація вільних жирних кислот і глюкозофосфатів, в клітинах посилюється окислення. Під впливом вільних жирних кислот, адреналіну і тироксину відбувається роз'єднання процесів окислення і фосфорилування. Велика частина енергії окислення перетворюється на тепло. Посилений ліполіз і окислення жирних кислот на холоді інтенсивно йде в бурій жировій тканині. Тепловиділення в ній можна порівняти з горінням.

Поряд з нескоротливим термогенезом відбувається і скоротливий, який проявляється м'язовим тремтінням, збільшеним м'язовим тонусом та посиленою загальною руховою активністю. Ці реакції реалізуються через супраспінальні рухові центри та спинномозкові мотонейрони.

За рахунок скорочувального і нескорочувального термогенезу теплопродукція на холоді у людини може збільшуватися в 3-4 рази.

Збудження терморегуляторних центрів гіпоталамуса при дії холоду поряд зі збільшенням скорочувального і нескорочувального термогенезу призводить до зменшення тепловіддачі шляхом рефлекторного посилення тонусу периферичних судин і загальних змін в системі кровообігу і дихання. При дії холоду дрібні артерії і артеріоли шкіри звужуються, відкриваються артеріовенозні анастомози, маса крові, циркулююча в шкірі, зменшується, тепло консервується в тілі. Градієнт температури на межі „організм – середовище” падає, і втрати тепла організмом за рахунок теплопроведення та випромінювання знижуються. Зменшення частоти та глибини дихання на холоді зменшує тепловіддачу за рахунок зменшення маси повітря, що нагрівається при диханні і зменшення випаровування води з поверхні дихальних шляхів. Крім цього виникає піломоторний рефлекс, що змінює нахил волосся (шерсті у тварин, пір'я у птахів) і збільшує теплоізоляційний повітряний шар в шкірному покриві.

При дії тепла підтримання температурного гомеостазу здійснюється головним чином за рахунок регуляції інтенсивності тепловіддачі, так як зниження теплопродукції в порівнянні з рівнем основного обміну незначне.

Підвищення температури середовища сприймається тепловими рецепторами шкіри, підшкірної клітковини, шкірних судин. Імпульсація з них до центрів терморегуляції гіпоталамуса збільшується. У відповідь на цю імпульсацію спостерігається рефлекторне розширення судин шкіри внаслідок зниження симпатичного вазоконстрикторного тону. Обсяг крові, циркулюючої в оболонці, зростає, тепло енергійно переноситься з місць теплопродукції до місця тепловіддачі. Температура шкіри підвищується і якщо температура шкіри стає вище температури зовнішнього середовища, то віддача тепла шляхом проведення і випромінювання збільшується.

Одночасно з розширенням судин при дії тепла спостерігається рефлекторне посилення секреторної функції потових залоз. Потові залози іннервуються холінергічними симпатичними нервовими волокнами, нейрони яких розташовані в грудному та поперековому відділах спинного мозку і збуджуються під впливом нервових імпульсів, що йдуть із центрів терморегуляції гіпоталамуса. Піт з поверхні шкіри може «зніматися» від 80 до 600 ккал/год (330-2500 кДж / год) в залежності від інтенсивності його виділення і випаровування. В умовах високої температури та низької вологості повітря віддача тепла шляхом випаровування поту - єдиний надійний спосіб регуляції тепловіддачі і теплового балансу організму. В насиченому водяними парами теплом повітрі потовиділення не ефективно для тепловіддачі, оскільки випаровування рідини з поверхні шкіри погіршується. В таких умовах тепловіддача затруднюється і температурний гомеостаз може порушитися.

У тварин, що не мають потових залоз, при високій температурі середовища розвивається рефлекторна задишка - терморегуляторного тахіпноє. Почастішання дихання до 120-160 дихальних рухів в хвилину супроводжується зменшенням його глибини, відкриванням рота, висовуванням язика, відділенням великої кількості рідкої слини. Все це веде до випаровування з поверхні слизової оболонки рота і верхніх дихальних шляхів значної кількості рідини і збільшення тепловіддачі.

### *Хід роботи:*

1. За допомогою термометра виміряйте температуру тіла на симетричних ділянках тіла. Результати вимірів та підрахунків занесіть в звітну таблицю. Одержані результати порівняйте з табличними.

Таблиця 8.1. Температура різних симетричних ділянок тіла людини

П.І.Б. студента	Кінчик носа	Вушна раковина	Губа	Шия	Щока	Зовнішній бік руки
норма	22,2	23 – 28,3	32 – 33,6	34 – 35,0	33,9– 34,5	31,5 – 32,5

Таблиця 8.1. (продовження)

П.І.Б. студента	Спина	Живіт	Пахвинна западина	Підколінна ямка	Ротова порожнина	Підошва
норма	34,2 – 34,6	34,2– 34,6	36,0– 36,6	34,0 – 35,0	36,6– 37,5	30 – 32

2. Виміряйте температуру ділянки шкіри. Нанесіть ватним тампоном на досліджувану ділянку шкіри невелику кількість етилового спирту. Після

випаровування спирту знову виміряйте температуру цієї ділянки. Поясніть зміну температури шкіри.

3. Як і в попередньому завданні після вимірювання температури ділянки шкіри почергово, з інтервалом 3 – 5 хвилин на цю ділянку а) спрямуйте струмінь повітря за допомогою вентилятора, б) прикладіть металеву пластину кімнатної температури на 1 – 2 хвилини, в) опроміньте досліджувану ділянку 1 – 2 хвилини за допомогою інфрачервоної лампи.

Поясніть зміну температури шкіри після дії кожного фактора.

***Питання для самоконтролю:***

1. Де знаходиться центр терморегуляції?
2. Які є в гомойотермному організмі шляхи теплопродукції?
3. Які є способи тепловіддачі?
4. Вкажіть реакції організму при підвищеній температури тіла. Чим вони викликані?
5. Які реакції організму Ви знаєте при зниженні температури тіла?

***Завдання для самостійної роботи:***

1. Поясніть, чому при підвищенні температури тіла при інфекційних захворюваннях хворий відчуває холод в тілі?
2. Поясніть, чому при різкому зниженні температури при лихоманках можлива втрата свідомості?

## *Лабораторна робота № 9.*

### **ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ В СЕРЦІ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ. ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЯ**

**Мета роботи:** провести реєстрацію та аналіз електрокардіограми людини.

**Матеріали та обладнання:** електрокардіограф, електроди, 10-%-й розчин хлориду натрію, марлеві салфетки, кушетка, чисте простирадло.

#### ***I. Короткі теоретичні відомості***

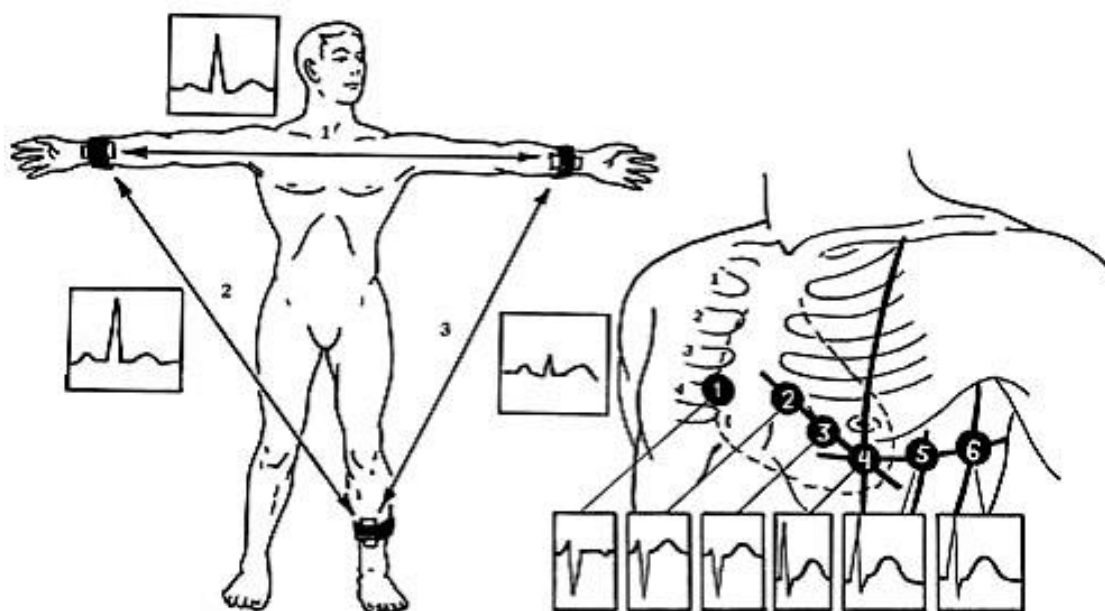
Запис електричної активності серцевого м'язу називається електрокардіограмою (ЕКГ), а методика її реєстрації – електрокардіографією.

Биопотенціали, які виникають в серці, утворюють в оточуючому його просторі динамічне електричне поле. Живий організм – добрий провідник; тому потенціали працюючого серця можуть бути зафіксовані, якщо вивідні електроди прикладають не тільки безпосередньо на серце, але і до поверхні тіла. Це дозволяє без складних процедур і неприємних відчуттів записувати ЕКГ людини.

Існують три класичних виведення ЕКГ (рис. 9.1). У I відведенні реєструється різниця потенціалів між правою і лівою руками, у II – між правою рукою і лівою ногою, у III – між лівою рукою і лівою ногою. Окрім стандартних, використовують підсилені однополюсні відведення з кінцівок (з лівої руки, правої руки та лівої ноги) та грудні електроди, для отримання яких грудний електрод розміщують на різних точках грудної клітини (рис. 9.1), що дає змогу зареєструвати потенціали окремих ділянок серця, які прилягають до передньої та бічної (а при необхідності – і задньої) стінки грудної порожнини. Електроди приєднуються до реєструючого приладу – електрокардіографу, в якому слабкі потенціали серця перетворюються в поліфазну криву, яка відображає морфологічний і функціональний стан серцевого м'язу.

В електрокардіограмі розрізняють п'ять основних зубців: *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, інтервали: *P-Q*, *Q-T*, *R – R*, сегмент *S-T* та комплекс *QRS* (рис. 9.2). Про стан

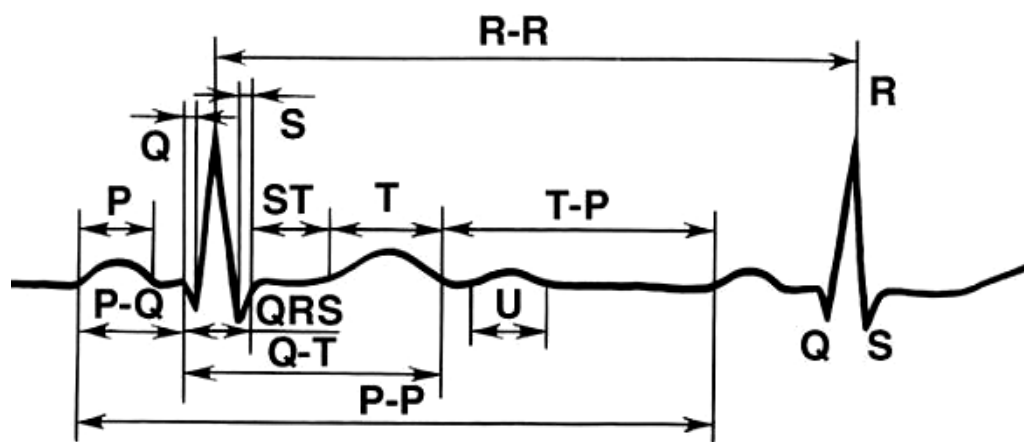
серця судять по амплітуді зубців (вона вимірюється відстанню від ізоелектричної лінії до вершини зубця) і тривалості інтервалів.



**Рис. 9.1.** Основні відведення електрокардіограми: зліва – стандартні відведення, справа – грудні відведення.

Зубець *P* являється алгебраїчною сумою потенціалів дії, виникаючих в передсердях, причому потенціал правого передсердя позитивний, а лівого – негативний. Амплітуда зубця *P* коливається від 0,5 до 2,5 мм.

Інтервал *P-Q* (від початку зубця *P* до початку зубця *Q*, а при його відсутності – до початку зубця *R*), тривалістю 0,12 – 0,2 с. За цей час збудження розповсюджується до атріовентрикулярного вузла і по провідній системі шлуночків.



**Рис. 9.2.** Основні зубці, сегменти, комплекси та інтервали електрокардіограми.

Комплекс *QRS* характеризує збудження шлуночків. Зубець *Q* перший зубець шлункового комплексу – завжди обернений донизу. Це найбільш непостійний зубець із усіх зубців ЕКГ – він може бути відсутнім у більшості відведень. Його амплітуда в середньому дорівнює 2 мм, а тривалість на перевищує 0,03 с. Відповідає періоду збудження правого сосочкового м'язу, міжшлуночкової перетинки, верхівки правого та лівого шлуночків та основи правого шлуночка. Зубець *R* – самий високий, направлений вгору шлункового комплексу. Він відображає час розповсюдження збудження по боковим стінкам і поверхні обох шлуночків, а також по основі лівого шлуночка. Його амплітуда коливається від 1 до 24 мм. Зубець *S* – третій зубець шлункового комплексу. Він свідчить про те, що збудження охопило всю мускулатуру шлуночків. Зубець *S*, так же як і зубець *Q*, непостійний і направлений вниз. Весь процес від початку і до повного збудження шлуночків характеризується комплексом *QRS* і триває в середньому від 0,04 до 0,09 с (максимальна його тривалість не перевищує 0,12 с).

По закінченні комплексу *QRS* реєструється ізоелектричний інтервал *S-T*, який характеризує зникнення різниці потенціалів на поверхні шлуночків і під час їх повного охоплення збудженням. Тривалість інтервалу *S-T* коливається від 0 до 0,15 с і залежить від всього шлункового комплексу.

Зубець *T* – п'ятий зубець ЕКГ – направлений вгору і асиметричний: його висхідне коліно полого, а низхідне – круте. Він характеризує плин відновлюваних процесів в шлуночках. Амплітуда зубця *T* коливається від 2,5 до 7 мм. В двох перших грудних відведеннях він може бути негативним.

Інтервал *R-R* відображає тривалість серцевого циклу. Знаючи швидкість руху електрокардіографічної стрічки (25мм/сек або 50мм/сек), ми можемо вирахувати тривалість серцевого циклу в секундах. Знаючи тривалість серцевого циклу можна розрахувати частоту серцевих скорочень:  $ЧСС = 60/R-R$  в секундах

***Хід роботи:***



1. Ввімкнути прилад і при нульовому положенні перемикача дати прогрітися декілька хвилин. Відрегулювати підсилення так, щоб калібрувальному сигналу в 1 мВ відповідало відхилення плечика на 10 мм, а швидкість руху стрічки 50 мм в секунду.

2. Досліджуваному запропонувати звільнити від одягу передпліччя, гомілки та грудну клітину, лягти на кушетку і максимально розслабитися. Марлеві салфетки змочити 10% розчином хлориду натрію, підкласти під відвідні електроди, а їх закріпити на руках і ногах затискачами. Підключити до відвідних електродів проводку.

3. Зареєструвати ЕКГ в трьох стандартних, трьох підсилених однополюсних та шести грудних відведеннях у положенні досліджуваного лежачи.

4. Проаналізуйте ЕКГ, визначте характеристику основних зубців та інтервалів.

5. Заповніть таблицю 9.1 і порівняйте норму і данні ЕКГ досліджуваного. Визначають правильність серцевого ритму. Оскільки в нормі водієм ритму є сино-артеріальний вузол і збудження передсердь передує збудженню шлуночків, зубець *P* повинен мати місце перед шлуночковим комплексом.

6. Визначають частоту серцевого ритму по ЕКГ. Для цього слід визначити тривалість одного серцевого циклу (інтервал *R-R*) і обчислити, скільки таких циклів уміститься в одній хвилині. Наприклад, якщо один серцевий цикл продовжується 0,8 с, то у хвилині таких циклів буде  $60:0,8=75$ . Тривалість інтервалів *R-R* має бути однаковою; у нормі зустрічаються незначні коливання, які не перебільшують 0,1 с. Більш вираженні відмінності у тривалості інтервалів *R-R*, свідчать про порушення серцевого ритму.

Проводять вимірювання тривалості та величини окремих елементів ЕКГ: зубця *P*, інтервалу *P-Q*, комплексів *QRS*, інтервалу *QT*. Вимірювання проводять у тому стандартному відведенні, де зубці вираженні найкраще (звичайно у II). Крім того, визначають напрям зубців *P* і *T*, які можуть бути і позитивні, і негативні; відмічають відсутність, розщеплення зубців ЕКГ, появу додаткових

зубців. Ретельно аналізують форму шлуночкового комплексу в усіх відведеннях. Звертають увагу на розташування сегменту *S-T*. Відзначають дійсну електричну і фактичну систолу.

Таблиця 9.1

### Результати аналізу ЕКГ

ПБ досл.	Зубець <i>P</i>	Інтервал <i>P-Q</i>	Зубець <i>Q</i>	Комплекс <i>QRS</i>	Зубець <i>R</i>	Сегмент <i>S-T</i>	Інтервал <i>R-R</i> , <i>сек</i>	ЧСС
норма	0,07-0,1	0,12-0,2	до 0,03	0,04-0,11	0,02- 0,07	на ізо- лінії	1,00 – 0,71	

Проаналізуйте отримані результати.

Порівняйте ЕКГ в стані спокою та після фізичного навантаження. Зверніть увагу на зміни, що відбулись на ЕКГ при натисканні на очні яблука або каротидний синус. Зміни поясніть.

### ***Питання для самоконтролю***

1. Вкажіть місця розташування елементів провідної системи серця.
2. Електричне поле. Електричний диполь. Поле диполя. Основна властивість електричного диполя, розміщеного в центрі рівностороннього трикутника.
3. Електрична активність органів. Електричні явища в серцевому м'язі. Інтегральний електричний вектор серця.
4. Основні положення моделі Ейнтговена. Трикутник Ейтговена. Реєстрація біопотенціалів серця. Основні відведення. Підсилені відведення. Грудні відведення.
5. Дайте характеристику зубцям та інтервалам ЕКГ.
6. Будова і принцип дії електрокардіографа. Методика проведення ЕКГ дослідження
7. Як визначають частоту серцевого ритму по ЕКГ?

***Завдання для самостійної роботи:***

1. Методи дослідження електричної активності мозку. Електроенцефалограма.
2. Імпеданс тканин організму. Фізичні основи реографії.

**Самостійного опрацювати тему: *Оптичні методи дослідження біологічних об'єктів.***

***Теоретичні питання:***

1. Фізичні основи оптичних медичних приладів.
2. Геометрична оптика. Оптична мікроскопія. Волоконна оптика.
3. Око як оптична система. Вади ока і їх корекція.
4. Інтерференція. Інтерференційний мікроскоп.
5. Поляризація світла. Поляриметри. Поляризаційний мікроскоп.
6. Поглинання світла. Колориметрія.
7. Розсіяння світла. Нефелометрія.
8. Люмінесценція і її застосування у медицині.

***Контрольні запитання:***

1. Формула лінзи. Збільшення лінзи. Аберації лінз – сферична, хроматична, астигматизм.
2. Центрована оптична система (ЦОС).
3. Оптична система та будова біологічного мікроскопа. Формула збільшення мікроскопа.
4. Межа розрізнення, роздільна здатність, корисне збільшення мікроскопа.
5. Деякі спеціальні засоби мікроскопії: імерсійний мікроскоп, метод темного поля, метод фазового контрасту, мікрофотографія.
6. Яке значення має максимальне корисне збільшення в звичайному оптичному мікроскопі?
7. Чому корисне збільшення мікроскопа не може стати нескінченно великим?

8. Як зміниться межа роздільної здатності мікроскопа, якщо збільшити оптичну силу об'єктива?

***Розв'язати задачі***

1. Мікроскоп дає 600-кратне збільшення, якщо використовувати окуляр з фокусною відстанню 16.7 мм. Яке збільшення даватиме цей мікроскоп, якщо окуляр буде мати оптичну силу 20 діоптрій?
2. Оптична сила лінзи складає 3дптр. Чому дорівнює фокусна відстань лінзи?
3. Фокусні відстані двох лінз рівні відповідно  $F_1 = +0,4\text{м}$ ,  $F_2 = -0,4\text{м}$  Чому дорівнює оптична сила кожної лінзи?
4. Визначити оптичну силу двох систем лінз:
5. а) збиральна лінза  $D = 1\text{дптр}$  і розсіювальна лінза  $F_2 = -0,4\text{м}$ ; б) збиральна лінза  $F_1 = 1\text{м}$  і збиральна лінза  $D = 1,5\text{дптр}$ .
6. Сумарна заломлююча сила ока є алгебраїчною сумою рефракцій всіх основних заломлюючих середовищ: рогівки  $D_p = 42 - 43\text{дптр}$ , кришталика  $D_{кр} = 19 - 23$ , передньої камери  $D_{пк} = 2 - 4\text{дптр}$ , скловидного тіла  $D_{ст} = 5 - 6\text{дптр}$ . Розрахуйте оптичну силу ока у стані спокою і при напруженні.
7. Далекозора людина здатна сфокусувати зір на предметі, що знаходиться на відстані 60см. Які окуляри потрібні їй для корекції зору?
8. Кутова межа розділення складає 5 кутових мінут. У скільки разів нижча гострота зору за норму?

### Екзаменаційні питання

1. Елементи біомеханіки. Опорно-руховий апарат людини. Ергометрія.
2. Фізичні характеристики звуку. Поріг чутності і больового відчуття. Закон Вебера—Фехнера.
3. Біофізичні основи слухового відчуття. Фізичні основи аудіометрії. Аудіограма та криві однакової гучності.
4. Ультразвук та інфразвук. Джерела та уловлювачі ультразвуку й інфразвуку. Особливості поширення та біофізичні основи дії ультразвуку й інфразвуку на біологічні тканини.
5. Звукові методи діагностики. Використання ультразвуку в медицині.
6. Основи біореології. Внутрішнє тертя, в'язкість. Формула Ньютона для сили внутрішнього тертя. Ньютонівські та неньютонівські рідини, кров. В'язкість крові. ШОЕ.
7. Методи та прилади для вимірювання в'язкості рідин.
8. Реологічні властивості крові. В'язкість крові та її використання в діагностиці захворювань.
9. Основи гемодинаміки. Стаціонарний і ламінарний плин рідин. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі. Газова емболія.
10. Судинна система. Основні гемодинамічні показники.
11. Біофізика кровообігу. Робота і потужність серця. Вимірювання тиску крові та швидкості кровоплину.
12. Ламінарна та турбулентна течія рідини. Методи вимірювання тиску крові і швидкості кровообігу. Пульсові хвилі. Діагностика захворювань за пульсом.
13. Структурні елементи біологічних мембран. Фізичні властивості біомембран. Динамічні властивості мембран.
14. Пасивний транспорт речовин крізь мембранні структури. Рівняння Фіка.
15. Активний транспорт, основні види. Молекулярна організація активного транспорту на прикладі роботи  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  насосу.

16. Мембранні потенціали спокою та дії. Природа мембранного потенціалу спокою.
17. Потенціал дії (ПД). Потенціал дії та причини його виникнення.
18. Швидкість і особливості поширення ПД в аксонах.
19. Термодинамічний метод вивчення медико-біологічних систем. Перший і другий закони термодинаміки, ентропія.
20. Електричні властивості біологічних систем. Електропровідність клітин і тканин при постійному струмі. Дія постійного електричного струму на живі організми.
21. Проходження змінного електричного струму через біологічні об'єкти. Дія змінного електричного струму на живі організми.
22. Фізичні та біофізичні процеси, що відбуваються в біологічних тканинах під дією постійного і змінного електричного поля (струми провідності та зміщення, теплові ефекти).
23. Лікувальні фактори постійного і імпульсного струму та їх використання в медичних методиках (гальванізація, електрофорез, електрографію, електростимуляція, електроімпульсація, діатермія, електротомія, електрокоагуляція тощо).
24. Лікувальні фактори високочастотного змінного струму (індукційні струми, теплові ефекти) та використання їх у медичних методиках (магнітотерапія, індуктотермія тощо).
25. Дія електромагнітного поля на біооб'єкти. Первинні механізми, струми і теплові ефекти, специфічна дія. Лікувальні фактори та використання їх у медичних методиках (УВЧ-терапія, НВЧ-терапія, мікрохвильова резонансна терапія тощо).
26. Серце як електричний диполь. Електричне поле диполя. Теорія Ейнтговена. Основні відведення. Схема і принцип дії електрокардіографа.
27. Компоненти нормальної електрокардіограми (зубці та хвилі, сегменти та інтервали, комплекс QRS). Діагностика захворювань серця.

28. Використання електронної медичної апаратури в лікувальному процесі (гальванізація, лікувальний електрофорез, дарсонвалізація).
29. УВЧ-терапія, індуктотермія, франклінізація, мікрохвильова терапія, ультразвукова терапія, світлолікування тощо). Правила безпеки під час роботи з лікувальною електронною медичною апаратурою.
30. Елементи геометричної оптики. Основні фотометричні величини. Лінзи. Око як оптична система. Формування зображення предметів у оці. Акомодація. Механізми зорового сприйняття. Денне та сутінкове бачення. Чутливість ока. Поле зору. Кольорове бачення. Вади ока і їхня корекція.
31. Оптична мікроскопія. Основні характеристики мікроскопа. Хід променів у мікроскопі.
32. Поглинання світла. Розсіяння світла. Колориметрія. Нефелометрія. Поляриметрія.
33. Дисперсія світла. Рефрактометрія і волоконна оптика, їх використання у медицині.
34. Теплове випромінювання тіл, його характеристики. Абсолютно чорне та сірі тіла. Закон Кірхгофа. Закони випромінювання абсолютно чорного тіла: закон Стефана – Больцмана, закони Віна. Теплове випромінювання тіла людини. Поняття про термографію. Теплолікування.
35. Резонансні методи квантової механіки. Ядерний магнітний резонанс, електронний парамагнітний резонанс, їх застосування в медицині (ЯМР – томографія, тощо).
36. Спонтанне та індуковане випромінювання. Лазери. Властивості лазерного випромінювання. Біологічна дія лазерного випромінювання. Застосування лазерів у медицині.
37. Рентгенівська трубка. Спектр та характеристики рентгенівського випромінювання. Властивості рентгенівського випромінювання. Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною. Рентгенодіагностика і рентгенотерапія.

38. Радіоактивність. Види радіоактивності. Основний закон радіоактивного розпаду. Період напіврозпаду. Активність, одиниці активності.
39. Іонізуюче випромінювання та його види. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Захист від дії іонізуючого випромінювання. Біофізичні основи взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічними тканинами.
40. Фізичні та біофізичні проблеми, пов'язані з аварією на Чорнобильській АЕС.



## Використані та рекомендовані джерела

1. Костюк П.Г. Біофізика: Підручник / П.Г.Костюк, В.Л. Зима, І.С.Магура та ін.; За ред. П.Г.Костюка. – К.: Обереги, 2001. – 544с.
2. Тіманюк В.О. Біофізика: Навч. посібник / В.О.Тіманюк, О.М.Животова. – Харків: Золоті сторінки, 2001. – 204с.
3. Тіманюк В.О. Биофизика: Учебник / В.О.Тіманюк, О.М.Животова. – Харков: Золотые страницы, 2003. – 704с.
4. Ємчик Л.Ф. Медична та біологічна фізика. / Л.Ф.Ємчик, Я.М.Кміт. – Львів: Світ, 2003. – 592с.
5. Богач П.Г. Биофизика. Практикум / П.Г.Богач, В.Л.Зима та ін.; За ред. П.Г.Богача. – К., Вища школа, 1983. – 150с.
6. Медицинская биофизика./ Под ред. В.О. Самойлова. Л., 1986.
7. Рубин А.Б. Биофизика: в 2 т. М., Книжный дом «Университет», 2000.
8. Владимиров Ю.А., Рощупкин Д.И., Потанянюк А.Я., Деев А.И. Биофизика. М., 1983.
9. Волькенштейн М.В. Биофизика. М., 1988.
10. Чалий О.В. Медична і біологічна фізика. – К.: Книга плюс, 2005.
11. Дяков В.А. і співавтори. Лабораторний практикум з медичної і біологічної фізики. –В.: ВДМУ, 1999.
12. Лазарович В.Г. Методична розробка до лабораторних робіт по загальній біофізиці і нормальній фізіології. – Полтава, 1992.
13. Лазарович В.Г., Чиплик Л.В., Боса Л.Ф. Елементи біомеханіки в стоматології. – Полтава, 1997.
14. Агамов Б.Т. Лабораторный практикум по физике. – М.: Высшая школа, 1982.

## Додатки

### Динамічний коефіцієнт в'язкості води

В таблиці наведені значення динамічного коефіцієнту в'язкості води  $\mu$  в інтервалі температур від 0°C до 100°C. Динамічні коефіцієнти в'язкості виражені в міліпаскаль-секундах (мПа•с), що ідентично сантипуазам (сП).

T, °C	$\mu$ , мПа•с (сП)	T, °C	$\mu$ , мПа•с (сП)	T, °C	$\mu$ , мПа•с (сП)
0	1,792	33	0,7523	67	0,4233
1	1,731	34	0,7371	68	0,4174
2	1,673	35	0,7225	69	0,4117
3	1,619	36	0,7085	70	0,4061
4	1,567	37	0,6947	71	0,4006
5	1,519	38	0,6814	72	0,3952
6	1,473	39	0,6685	73	0,3900
7	1,428	40	0,6560	74	0,3849
8	1,386	41	0,6439	75	0,3799
9	1,346	42	0,6321	76	0,3750
10	1,308	43	0,6207	77	0,3702
11	1,271	44	0,6097	78	0,3655
12	1,236	45	0,5988	79	0,3610
13	1,203	46	0,5883	80	0,3565
14	1,171	47	0,5782	81	0,3521
15	1,140	48	0,5683	82	0,3478
16	1,111	49	0,5588	83	0,3436
17	1,083	50	0,5494	84	0,3395
18	1,056	51	0,5404	85	0,3355
19	1,030	52	0,5315	86	0,3315
20	1,005	53	0,5229	87	0,3276
20,2	1,000	54	0,5146	88	0,3239
21	0,9810	55	0,5064	89	0,3202
22	0,9579	56	0,4985	90	0,3165
23	0,9358	57	0,4907	91	0,3130
24	0,9142	58	0,4832	92	0,3095
25	0,8937	59	0,4759	93	0,3060
26	0,8737	60	0,4688	94	0,3027
27	0,8545	61	0,4618	95	0,2994
28	0,8360	62	0,4550	96	0,2962
29	0,8180	63	0,4483	97	0,2930
30	0,8007	64	0,4418	98	0,2899
31	0,7840	65	0,4355	99	0,2868
32	0,7679	66	0,4293	100	0,2838

## ТАБЛИЦЯ ГУСТИН

### Густина твердих тіл

Речовина	густина, кг/м <sup>3</sup>	Речовина	густина, кг/м <sup>3</sup>
Алюміній	2700	Олово	7300
Бетон	2200	Парафін	900
Граніт	2600	Пісок (сухий)	1500
Дуб (сухий)	800	Свинець	11300
Залізо	7800	Скло	2500
Золото	19300	Сосна (суха)	400
Корок	240	Срібло	10500
Латунь	8500	Сталь	7800
Лід	900	Цегла	1600
Мармур	2700	Чавун	7000
Мідь	8900	Ялина (суха)	600

### Густина рідин

Речовина	густина, кг/м <sup>3</sup>	Речовина	густина, кг/м <sup>3</sup>
Ацетон	790	Масло машинне	900
Бензин	710	Нафта	800
Вода прісна	1000	Ртуть	13600
Вода морська	1030	Сірчана кислота	1800
Гас	800	Спирт	800
Гліцерин	1260		

### Густина газів (за нормальних умов)

Речовина	густина, кг/м <sup>3</sup>	Речовина	густина, кг/м <sup>3</sup>
Азот	1,25	Кисень	1,43
Водень	0,09	Повітря	1,29
Гелій	0,18	Природний газ	0,8