

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ  
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО)  
ЗАНЯТТЯ

<i>Навчальна дисципліна</i>	Медична і біологічна фізика
<i>Модуль №1</i>	Основи вищої математики та біологічної фізики
<i>Змістовний модуль №2</i>	Біологічна фізика
<i>Тема заняття</i>	Коливання і хвилі. Звук, інфразвук та ультразвук. Акустичні методи в медицині. Біофізика органу слуху. Аудіометрія.
<i>Курс</i>	I, II
<i>Факультет</i>	Стоматологічний

### Актуальність теми.

В житті коливальні процеси зустрічаються досить часто (зміна доби, пори року, артеріального тиску і т.д.). Така періодичність властива і процесам, які відбуваються в біологічних системах (біоритми), і вони викликають великий інтерес лікарів.

Для медиків і біологів особливу зацікавленість мають питання акустики - звук, інфразвук та ультразвук, їхні фізичні властивості, механізм дії дали велику можливість використовувати в медицині.

### 2. Конкретні цілі:

Трактувати, класифікувати поняття: коливань, види коливань, основні фізичні характеристики коливань, види механічних хвиль

Аналізувати основні характеристики звуку, інфра- та ультразвуку.

Пояснювати механізм дії інфразвуку та ультразвуку на організм людини, їх використання в медичній практиці.

трактувати властивості звукових коливань

### 3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми:

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1.Фізика 2.Біологія	Описувати: Коливання, механічні хвилі, основні параметри, будова слухового аналізатора (вуха)

### 4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
1. Звукові коливання.	механічні коливання з частотою від 16Гц до 20000 Гц, які поширюються в пружному середовище
2. Інфразвук, його вплив на організм людини.	частотою нижче 16 Гц. Частота власних коливань частин тіла 3-12 Гц. При дії інфразвуку може виникнути резонанс і викликати неприємні відчуття, привести до розриву органів. Інфразвук викликає біль, примушує коливатися внутрішні органи
3. Ультразвук, його вплив на організм людини та використання в медицині.	механічні коливання середовища з частотою від 20 кГц до 20 МГц. Механізм дії ультразвуку на біологічні об'єкти полягає в <i>тепловій, механічній і хімічній дії.</i>
4. Фізичні та фізіологічні характеристики звуку	Див. матеріали лекції

### 4.2. Теоретичні питання до заняття:

- Коливальний рух та його види.
- Основні фізичні характеристики коливального руху.
- Механічні хвилі, види механічних хвиль.
- Інфразвук, його вплив на організм людини.

- Ультразвук, його вплив на організм людини та використання в медицині.
- Звук, види звуків.
- Фізичні характеристики звукових коливань.
- Фізіологічні характеристики звукових коливань.
- Звуковий чи акустичний тиск.

4.3. Перелік навчальних практичних завдань, які необхідно виконати на практичному занятті:

### **Порядок виконання роботи**

#### **Завдання 1. Визначення межі чутності.**

1. Ознайомитись з будовою аудіометра.
2. Підготувати аудіометр до роботи.
3. Закріпити на столику аудіометра бланк аудіограми.
4. Одягти на «пацієнта» навушники повітряної провідності і дати йому в руки кнопку пацієнта.
5. Встановити частоту звукових коливань **1 кГц**, і за допомогою перемикача інтенсивності тону подати через навушники чітко чутний пацієнтом тон.
6. Поступово зменшуючи інтенсивність тону з інтервалом **5 дБ** знайти граничне положення, при якому «пацієнт» ще чує звук в навушниках.
7. На місці перетину планок на бланку аудіограми поставити точку. Ця точка буде відповідати порогу чутності наданій частоті.
8. Аналогічно провести дослідження слуху на інших частотах по мірі їх збільшення, а потім зменшення.
9. Використовуючи експериментальні точки, провести плавну лінію. Проаналізувати аудіограму для досліджуваного вуха.

#### **Завдання 2. Визначення діапазону частот, що сприймаються вухом людини.**

1. Надіти навушники звукового генератора на «пацієнта».
2. Встановити атенюатором і перемикачем частоту генератора **20 кГц**.
3. Плавно зменшуючи частоту, визначити верхню частоту коливань, що сприймається вухом «пацієнта».
4. Визначення провести тричі й обчислити середнє значення частоти.
5. Встановити частоту генератора близько **50 Гц**.
6. Плавно зменшуючи частоту, знайти положення, при якому звук у навушниках зникає.
7. Визначення провести тричі й обчислити середнє значення частоти - це буде нижня межа сприймання звукових коливань.

#### **Зміст теми**

Звуком називають механічні коливання з частотою від 16Гц до 20000 Гц, які поширюються в пружному середовищі. Джерелом звуку завжди є тіло, яке коливається. Тіло приводить в рух навколишнє повітря, в якому поширюється хвиля.

Для того щоб у людини виникло відчуття звуку необхідно:

- наявність джерела звуку;

- наявність пружного середовища між джерелом звуку та вухом;
- частота коливань джерела звуку повинна бути в межах 16-20000 Гц;
- потужність звукових хвиль повинна бути такою, щоб визвати відчуття звуку.

Звукова хвиля має *фізичні параметри* (швидкість, амплітуда, період, частота, інтенсивність, звуковий тиск, довжина хвилі) і *фізіологічні параметри* (гучність, висота, тембр).

Звукові хвилі добре поширюються в пружних середовищах, відбиваються, спостерігається явище інтерференції, в наслідок якого збільшується або зменшується гучність звуку.

В медичній практиці широко використовуються наступні звукові методи дослідження:

*Аускультация* - вислуховання звуків фонендоскопом, які виникають всередині організму при диханні, роботі серця і т. д. *Фонокардіографія* - запис звуків, що супроводжують роботу серця. При цьому використовується мікрофон, підсилювач і реєструючий пристрій. Такий запис називається *фонокардіографією* (ФКГ) і записується одночасно з *електрокардіографією* (ЕКГ).

*Перкусія* - здійснюється методом постукування по поверхні тіла і аналізом звуків які виникають при цьому. Постукування проводиться спеціальним молоточком з гумовою головкою і спеціальною пластинкою з пружного металу, яка називається плесиметром. Також користуються зігнутих пальцем однієї руки і стукають по фалангам пальців другої руки.

Метод визначення гостроти слуху називається *аудиометрією*. Взагалі визначають точки кривої межі чутливості при різних частотах. Втрата слуху визначається по різниці між одержаними даними і нормою, а графік називається аудіограмою.

*Інфразвук* - це звуки в частоту нижче 16 Гц. Ця область звукових хвиль не сприймається людським вухом.

Звукові хвилі цього діапазону добре поширюються в просторі на великі віддалі, мають велику проникаючу властивість, майже не послаблюються, мало поглинаються і розсіюються.

Інфразвукові хвилі виникають за різних умов: обдування вітром будинків, телеграфних стовпів, металевих споруд, рух людини і тварин, при роботі рівних двигунів. Зареєструвати їх можна лише спеціальними приладами. Ми живемо в світі інфразвуків і не підозрюємо про це. Справа в тому, що внутрішні органи людини мають свою власну частоту коливань в межах 3-12 Гц. Частота власних коливань тіла людини в лежачому положенні 3-4 Гц, стоячи 6-12 Гц, грудної клітини 5-8 Гц, черевної порожнини 3-4 Гц. При дії інфразвуку даної частоти може виникнути резонанс і викликати неприємні відчуття, привести до розриву органів.

Інфразвук невеликої потужності діє на барабанну перетинку вуха людини, викликає біль, примушує коливатися внутрішні органи людини, вдається, що у неї в організмі все вібує. Основною причиною швидкої стомлюваності є робота людей в цехах, де працюють двигуни, шахтарів.

Інфразвуковий генератор потужністю 2 кВт може зруйнувати будинок. Руйнівна сила інфразвуку проявляється тоді, коли частота інфразвукових коливань співпадає з частотою власних коливань предметів, тіл.

Наукові дослідження показали, що інфразвук присутній практично скрізь, але в різні дозах. Найбільше ми відчуваємо його в тунелях, де рухаються поїзди і автомобілі, а також під мостами, естакадами. Вимірювання інфразвуку показали, що він підсилюється в малих приміщеннях, а на вулиці відчуваємо його менше, бо він губиться серед шуму вулиці.

Встановлено, що інфразвуки частотою 2-15 Гц, інтенсивністю 105 дБ сповільнюють зорову реакцію, люди стають неуважні, порушуються функції органів рівноваги людини, спостерігається дія інфразвуків на слуховий, вестибулярний аналізатори, центральну нервову систему, серцево-судинну систему.

Тривала дія інфразвуків викликає великі зміни клітин міокарду і його судин. Великі зміни спостерігаються в судинах кори головного мозку, капілярні судини розширюються, виникають набряки, порушується гемодинаміка. При дії інфразвуку частотою 16 Гц і інтенсивністю 110-120 дБ на гепатоцити відбуваються зміни як ядер (спостерігається їх деформація) так і в цитоплазмі (набухають мітохондрії). Цікаві зміни спостерігаються в обміні мікроелементів. Було встановлено, що при дії інфразвуку порушуються функції зовнішнього дихання, функціональний стан нервової системи, що призводить до порушення біоенергетичних процесів, зміни функціональної активності ферментативних систем, зміни мікроелементів в організмі. Біологічна дія інфразвуку пояснюється дією його на паренхіму внутрішніх органів

внаслідок трансформації механічної енергії інфразвуку в теплову, в енергію біохімічних і біомембранних процесів, через металокомпоненти, що входять до складу ферментів.

В медичній практиці використовують інфразвукові генератори для вібрації, вібромасажу. Малий ступінь затухання, співпадання частоти коливань в власними коливаннями біоритмів організму, можливість генерування на різних рівнях постійного тиску, інтенсивності інфразвуку дали медичним працівникам можливість використовувати його з іншими фізіотерапевтичними засобами та процедурами (тепловими, механічними, ультразвуковими). При захворюванні зорового нерву, судинної оболонки ока широко використовується *інфразвуковий іонофорез* - введення лікарських речовин при використанні інфразвуку.

*Ультразвук* — це пружні механічні коливання середовища з частотою від 20 кГц до 20 МГц.

В залежності від довжини хвилі і частоти ультразвукові хвилі розділяють на три області:

- низки ультразвукові частоти -  $1,5 \times 10^4$  -  $10^5$  Гц,
- середні -  $10^5$  -  $10^7$  Гц,
- високі -  $10^7$  -  $10^9$  Гц.

Ультразвук відрізняється від звичайних звуків тим, що має велику частоту і малу довжину хвилі, тому добре фокусується, має малий кут розходження, поширюється прямолінійно. Це дає можливість сконцентрувати енергію в потрібному напрямі і невеликому об'ємі.

Механізм дії ультразвуку на біологічні об'єкти полягає в *тепловій, механічній і хімічній дії*.

*Механічна дія* пояснюється тим, що при проходженні ультразвуку через середовище в будь-якій точці можуть виникнути стискування і розрідження, рідина може розірватися і створити мікропорожнину, заповнену парами рідини. Це явище навівають *кавітацією*. Якщо в кавітаційну бульбашку попадає бактерія, то вона може загинути, але руйнування частинок відбувається тоді, коли розміри більше довжини півхвилі. Кавітаційні порожнини існують не довго. Зміна тиску відбувається в високою частотою, молекули середовища рухаються з великою швидкістю, спостерігається тертя і іонізація молекул. Це сприяє утворенню великої кількості іонів і радикалів:  $H$ ,  $H^+$ ,  $OH$ ,  $OH\cdot$ . Іони і радикали вступають у взаємодію з речовиною біологічного об'єкту - білками і нуклеїновими кислотами, що приводить до змін молекул біологічно важливих речовин в клітинах.

Таким чином, клінічна дія ультразвуку полягає в тому, що внаслідок кавітації уповільнюються реакційно здібні речовини, що взаємодіють потім з білками і нуклеїновими кислотами клітин.

*Хімічна дія* спостерігається через певний проміжок часу після опромінювання. Цей час потрібний щоб в клітині утворились іони і радикали, які потім взаємодіють в речовинами клітини.

*Тепловий ефект* ультразвуку залежить від інтенсивності і пояснюється періодичними коливаннями, що приводить до підвищення температури.

Ультразвук широко використовується в терапії і діагностиці.

Опромінення ультразвуком малої інтенсивності ( $1 \text{ Вт/см}^2$ ), дає позитивний ефект, цитоплазма клітин здійснює бурний круговий рух і внаслідок чого прискорюються фізіологічні процеси. Якщо інтенсивність ультразвуку буде більша, рух цитоплазми прискорюється, з'являються кавітаційні бульбашки. Явище кавітації приводить до зміни структури клітин, що може привести до гомогенізації тканин взагалі.

Рушійна сила ультразвуку використовується для стерилізації різних предметів і речовин (бактерицидна дія), для руйнування злоякісних пухлин, в нейрохірургії (ультразвуковий скальпель), в стоматології (ультразвукова бормашина), в травматології (ультразвукове вварювання кісток), в офтальмології (ультразвукові окуляри). Механічна дія ультразвуку лежить в основі гомогенізації тканин з метою вилучення біологічно активних речовин. В фармацевтичній промисловості ультразвук використовують для приготування високодисперсних емульсій (емульсія камфорного масла).

В цілях діагностики ультразвук використовують для визначення структури внутрішніх органів в нормі та при патології їх розмірів, проводять фотографування пухлин, крововиливів, наявності металевих, дерев'яних, скляних предметів в тканинах.

За межею високих ультразвукових хвиль розміщується гіперзвуковий діапазон  $10^9 - 10^{13}$  Гц. Гіперзвук по-іншому взаємодіє з середовищем, так як частоти відповідають частотам електромагнітних хвиль дециметрового, сантиметрового і міліметрового діапазонів. Гіперзвукові частоти  $10^9$  герц в повітрі відповідає довжина хвилі  $3,4 \times 10^{-5}$  см, яка відповідає довжині вільного пробігу молекул в повітрі при даних умовах. Тому в газах при нормальних умовах гіперзвуки практично не поширюються. В рідинах поширюються на великі відстані. Добрими провідниками гіперзвуку є тверді

тіла в вигляді монокристалів при низьких температурах.

Сучасні методи одержання і реєстрації гіперзвуку засновані на використанні п'єзоелектричного і магнітострикційного ефектів, їх одержують, наприклад, завдяки вакуумному напиленню плівок із п'єзоелектричних матеріалів на торець звукопроводу, що має форму кристалічного стержня із сапфіру, рубіну, кварцу і інших речовин.

Унікальні властивості гіперзвуку дали можливість використовувати його в області фізики твердого тіла (для дослідження стану речовин), акустоелектроніці і акустооптиці.

Механічні коливання частотою від 16 до 20000 Гц, що поширюються в пружному середовищі, викликають в ньому механічні хвилі, одержали назву *звукових* чи *акустичних хвиль*. Ці хвилі сприймаються людським вухом.

Звукові коливання з частотою меншою 16 Гц (*інфразвуки*) і більшою 20000 Гц (*ультразвуки*) людським вухом не сприймаються. Такий умовний розподіл звукових коливань на чутні і нечутні звуки зв'язаний з особливостями будови людського вуха. Тому індивідуальні можливості сприймання звуків у різних людей неоднакові. Діти можуть сприймати звуки частотою до 22000 Гц, дорослі - частотою 16000 - 18000 Гц, а ці самі люди в похилому віці не можуть сприймати звуки з частотою більшою за 11000 - 12000 Гц.

Звуки, що сприймаються людським вухом, поділяються на *тони*, *шуми* і *звукові удари*. Періодичне звукове коливання, основною характеристикою якого є частота, називається *чистим* або *простим гармонічним тоном*. Такі тони можна одержати за допомогою камертона чи звукового генератора. *Негармонічні* (*ангармонічні*) звукові коливання називаються складними тонами. Це звучання музикальних інструментів чи людської мови. Складний тон завжди можна розкласти на прості, тобто у вигляді суми простих чистих тонів (ряд Фур'є). При цьому тон з найменшою частотою називається *основним*, а всі інші тони *обертонами* (вищими тонами). Якість звуку, що визначається його частотним складом, називається *тембром звуку*. Акустичний спектр складного тону - *лінійний* - і являє собою набір частот з показом їх відносної інтенсивності (амплітуди).

Звуки, що складаються з великої кількості аперіодичних коливань різних інтенсивностей, що відрізняються складною часовою залежністю, називаються шумами. Спектр шуму - *суцільний*.

Одинока звукова хвиля великої інтенсивності, що виникає, наприклад, при пострілі, сильному вибуху, плеску в долоні, називається *звуковим ударом*.

Вид чутливості, що забезпечує сприйняття звукових коливань, називається *слухом*. Завдяки слуху пізнаються звуки природи (шум, мова, музика тощо). Його значення неоціненне в психічному розвитку повноцінної особистості. Знання механізму виникнення слухового відчуття та фізичної суті методів дослідження слуху є важливим діагностичним фактором.

Органи слуху встановлюють зв'язок між акустичним збудженням середовища і нашим фізіологічним відчуттям. Звукове відчуття в органі слуху людини може викликати тільки така звукова хвиля, частота коливань якої лежить в діапазоні від **16Гц** до **20кГц**, а її інтенсивність не менша від деякого мінімального значення, яке називається порогом чутності та не

більша порогу больового відчуття.

Індивідуальні можливості сприймання звуків у різних людей не однакові. Діти можуть сприймати звуки частотою до **22 кГц**, дорослі - частотою до **16- 18кГц**, а ці ж люди в похилому віці не можуть сприймати звуки з частотою більшою за **11-12 кГц**. Наше вухо найбільш чутливе до звукових коливань частотою від **1кГц** до **3 кГц**. При **1кГц** поріг чутності для людей з нормальним слухом дорівнює близько  **$10^{-12} \text{Вт/м}^2$** . При інтенсивності звукової хвилі більшій за певну величину, вона не сприймається як звук, а лише викликає у вухах людини відчуття болю. Інтенсивність звукової хвилі, яка викликає біль у вусі, називається порогом больового відчуття і приблизно дорівнює  **$10 \text{Вт/м}^2$** .

На рис. 1 подано усереднену діаграму чутності людського вуха. Нижня крива - це пороги чутності органу слуху людини для різних частот звуку. Людське вухо не сприймає звукові коливання, інтенсивність яких менша порогу чутності. Область, обмежена порогом больового відчуття та порогом чутності називається областю чутності.

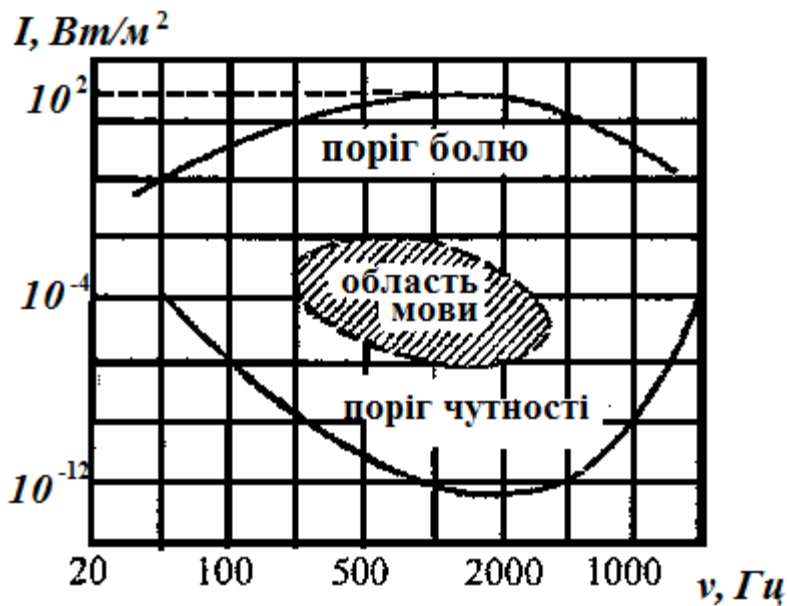


Рис. 1

Звук як фізіологічне явище - це специфічне відчуття, викликане дією звукових хвиль на орган слуху. Людське вухо сприймає звукові коливання за гучністю, висотою тону і тембром. Це суб'єктивні характеристики звуку, які ґрунтуються на об'єктивних характеристиках (інтенсивність, частота та акустичний спектр).

**Гучність** звуку характеризує рівень

слухового відчуття і, в основному, визначається рівнем інтенсивності звукової хвилі. Але зважаючи на те, що орган слуху найчутливіший для частоти звукових хвиль **2 500-3 000 Гц**, суб'єктивно вони здаються гучнішими, ніж звуки тієї ж інтенсивності, але іншої частоти. Зважаючи на це використовують спеціальну шкалу гучності звуку, в основі якої лежить психо-фізіологічний **закон Вебера-Фехнера**. Згідно цього закону, при збільшенні інтенсивності звуку в геометричній прогресії його гучність зростає лише в арифметичній прогресії, тобто гучність звуку пропорційна логарифму його інтенсивності.

Рівень гучності звуку визначається за формулою:

$$E = k \lg \frac{I}{I_0} = kL$$

де  $I_0$  - поріг чутності;  $k$  - коефіцієнт пропорційності, який залежить від частоти  $I$  інтенсивності звуку. Умовно вважають, що при частоті **1кГц** коефіцієнт  $k$  дорівнює одиниці. Для звуків іншої частоти він може бути



меншим або більшим від одиниці.

Одиниці вимірювання рівня гучності: в СІ – **1 Б (бел)** і позасистемна одиниця **1 фон**, яка відповідає одному децибелу рівня інтенсивності звуку.

Для вимірювання відчуття гучності звуку в фонах користуються стандартними простими тонами частотою **1 кГц**. Якщо гучність досліджуваного, звуку здається такою ж як стандартного, то його гучність у фонах чисельно дорівнює рівню інтенсивності стандартного звуку в децибелах. Для співставлення гучності і рівня інтенсивності звуку на різних частотах, користуються кривими рівної гучності (рис. 2).

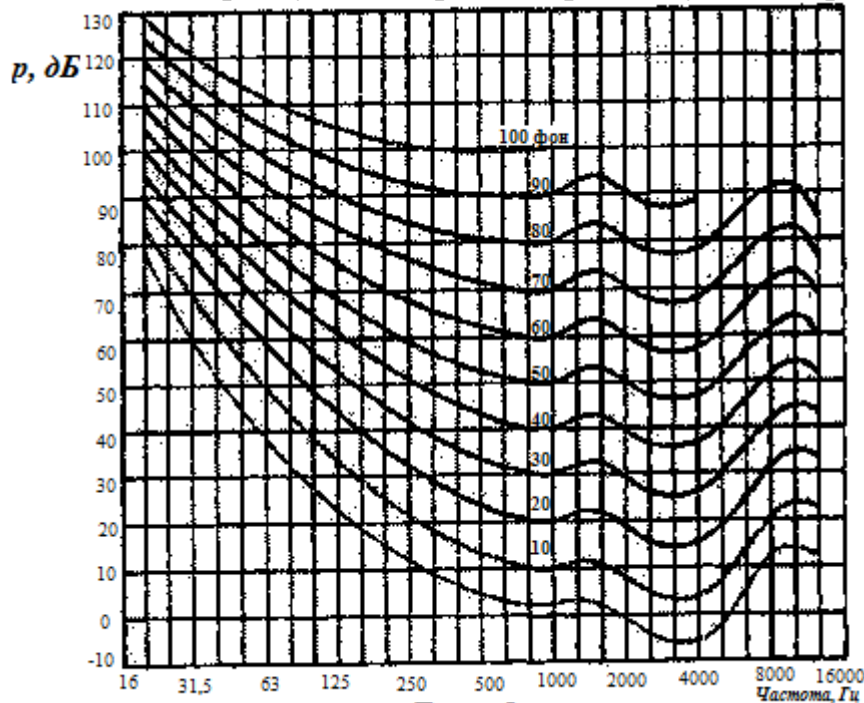


Рис. 2

**Висота тону** - це якість звуку, яка визначається частотою його коливань. Чим більша частота, тим більша висота тону\*  
Частота тону - об'єктивна характеристика звуку; вона не залежить від особливостей органів слуху людини (суб'єкта), у той же час, як висота тону - його суб'єктивна характеристика, звук однієї й тієї ж частоти різні люди

сприймають неоднаково.

**Тембр звуку** - це суб'єктивна характеристика, яка являє собою специфічне пофарбування звуку. Ця характеристика звуку залежить в основному від його акустичного спектру, від кількості обертонів і рівня їх інтенсивності.

Звуки, що сприймаються людським вухом, поділяються на тони, шуми та звукові удари.

**Чистий** або **простий тон** - це звук, який ми чуємо тоді, коли його джерело здійснює гармонічні коливання однієї визначеної частоти. Такі тони можна одержати за допомогою камертона чи звукового генератора.

Звуки, утворені періодичними, але негармонічними (ангармонічними) коливаннями, називаються **складними тонами**. Це звучання музичних інструментів чи голосних звуків людської мови. **Акорд** — це одночасне звучання двох або кількох звуків (може викликати приємне - консонанс - та неприємне - дисонанс - слухове відчуття). Складний тон завжди можна розкласти на прості (ряд Фур'є), тобто у вигляді суми простих чистих тонів з частотами  $\nu_1, 2\nu_1, 3\nu_1, \dots, n\nu_1$ , де  $\nu_1$  - основна частота, яка визначає **основний тон**. Частоти  $2\nu_1, 3\nu_1, \dots, n\nu_1$  - є гармонічними складниками звуку (**обертони**), які утворюють його тембр. За допомогою спеціальних приладів можна провести спектральний аналіз складного тону. Діаграму, яка відображає частоти основного тону і обертонів і відповідні їх інтенсивності,

називається **акустичним спектром**.

**Шум** - це звук, в якому частота і інтенсивність коливань хаотично змінюються з часом. Звукові хвилі, що відповідають шуму не мають визначеної чистоти. Тому акустичний спектр шуму - суцільний. Прикладами шумів є приголосні звуки мови.

Одинока звукова хвиля великої інтенсивності, що виникає, наприклад, **при** пострілі, сильному вибуху, плеску в долоні, називається **звуковим ударом**.

З функціональної точки зору орган слуху (периферична частина слухового аналізатора) ділиться на дві частини: звукопровідний апарат - зовнішнє й середнє вуха, а також деякі елементи (перилімфа і ендолімфа) внутрішнього вуха; звукосприймальний апарат - внутрішнє вуха.

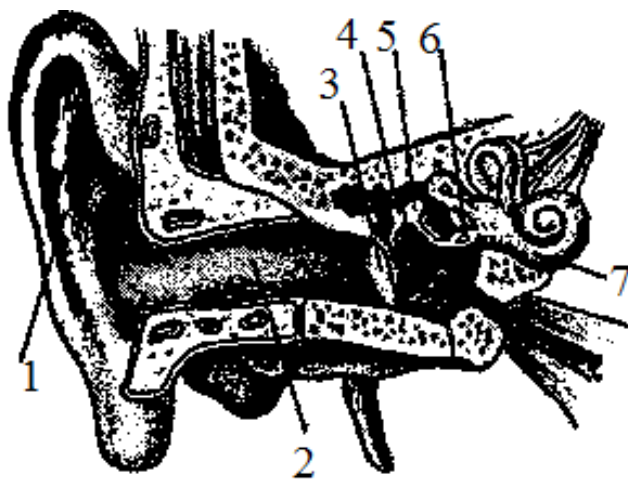


Рис. 3

Зовнішнє вуха складається з вушної раковини 1 (рис. 3) і зовнішнього слухового проходу 2. Середнє вуха (барабанна порожнина) - це невелика заповнена повітрям і вистелена слизовою оболонкою порожнина у скроневій кістці.

Зовнішнє вуха складається з вушної раковини 1 (рис. 3) і зовнішнього слухового проходу 2.

Середнє вуха (барабанна порожнина) - це невелика заповнена повітрям і вистелена слизовою оболонкою порожнина у скроневій кістці.

**Барабанна перетинка 3** — це тонка прозора мембрана з волокнистої сполучної тканини, із зовнішнього боку вкрита шкірою, а із внутрішнього - слизовою оболонкою. Завдяки неправильній формі й нерівномірному натягу на різних ділянках барабанна перетинка не має власної частоти коливань.

Нижня частина барабанної порожнини містить отвір **слухової (евстахієвої) труби**, що сполучає порожнину середнього вуха із носоглоткою. Більшість часу слухова труба сплюснена і закрита, відкривається вона тільки під час зівання або ковтання для того щоб зрівняти тиск у середньому вусі із тиском у зовнішньому середовищі.

У порожнині середнього вуха розташовані три слухові кісточки **молоточок 4; коваделко 5; стремінце 6**. Руків'я молоточка приєднане до барабанної перетинки, а основа стремінця до овального віконця внутрішнього вуха. Слухові кісточки підтримуються

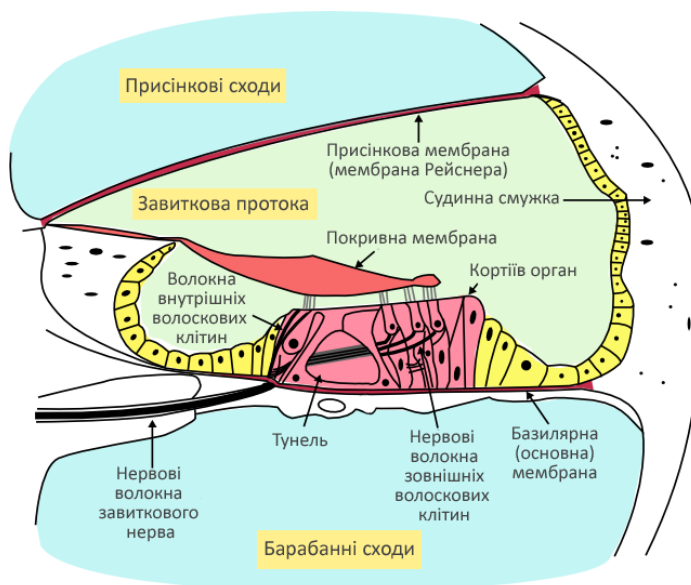


Рис. 4

зв'язками, що відходять від стінок барабанної порожнини, між собою вони сполучені синовіальними суглобами. Кісточка працюють як важіль, довге плече якого приблизно у 2,5 рази більше від короткого.

До складу *внутрішнього вуха* входять три основні відділи: присінок, півколові канали та завитка.

**Завитка 7** (рис.3) - конічна закручена комірка у кістці, розміром приблизно із половинку горошини. Завитка робить приблизно 2,75 оберти, в ній розташована **завиткова протока**, де міститься спіральний або **Кортієв орган** - рецепторний орган слуху. Завиткова протока разом із спіральною кістковою пластинкою поділяють порожнину кісткової завитки на три відсіки або сходи (рис. 4): **присілкові сходи**, розміщені над завитковою протокою, сполучені із присінком і впираються в **овальне вікно**; середні сходи - це сама завиткова протока; **барабанні сходи** розташовані під завитковою протокою і закінчуються **круглим вікном**.

Завиткова протока як частина перетинчастого лабіринту заповнена **ендолімфою** багатою на іони калію. Присілкові і барабанні сходи, як частина кісткового лабіринту - **перилімфою**, на верхівці завитки вони сполучені між собою через отвір - **гелікоотрему**.

Верхню стінку завиткової протоки утворює присілкова перетинка або мембрана (**мембрана Рейснера**), що відмежовує її від присілкових сходів. Нижня стінка завиткової протоки утворена спіральною кістковою пластинкою та гнучкою волокнистою **базиллярною або основною мембраною**, на якій розміщений Кортієв орган. Базилярна мембрана відіграє дуже важливу роль у сприйнятті звуків, вона вузька і товста поблизу овального вікна і стає ширшою і тоншою до верхівки завитки.

**Кортієв орган** (рис.5) розташований на поверхні базилярної мембрани, він складається із **підтримуючих клітин** та **слухових рецепторів - волоскових клітин** завитки, зверху ці клітини вкриті **покривною мембраною**.

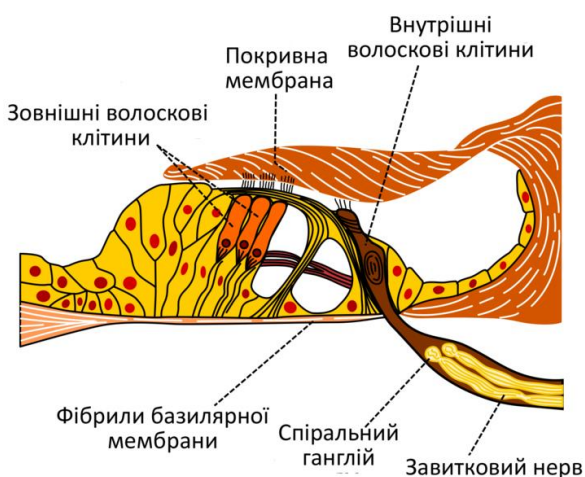


Рис. 5

Волоскові клітини розташовуються в чотири ряди: один ряд внутрішніх волоскових клітин і три ряди зовнішніх. До основи волоскових клітин підходять чутливі нервові закінчення **завиткового нерва**. На верхівці волоскові клітини мають велику кількість довгих **мікрворсинок** та одну **війку**, найдовші із них впираються у покривну мембрану. Всередині мікрворсинки укріплені актиновими філаментами, поблизу

верхівок вони сполучені між собою спеціальними білковими місточками.

Звукові хвилі, зібрані вушною раковиною, направляються у зовнішній слуховий прохід, через нього надходять до барабанної перетинки. Барабанна перетинка деформується відповідно до зміни звукового тиску, утвореного звуковою хвилею. Коливний рух барабанної перетинки передається на слухові кісточка, що діють як важелі і розгойдують перетинку овального вікна внутрішнього вуха. Оскільки площа цієї перетинки у 20-22 рази менша за барабанну, то звуковий тиск зростає, тобто відбувається підсилення

акустичного сигналу.

Коливаючись із певною частотою, овальне вікно внутрішнього вуха спричиняє у присніковому каналі аналогічний рух перелімфи, що поширюється від основи до верхівки завитки. Звук дуже низької частоти (нижче **16 Гц**) створює у рідині хвилі тиску, що проходять весь шлях від овального вікна, вгору присніковими сходами, через геліотрему до барабанних сходів і нарешті передаються на кругле вікно внутрішнього вуха. Такі звуки не подразнюють кортієвого органа і знаходяться поза межами чутливості людського вуха (інфразвук). Звукові хвилі більшої частоти створюють хвилі тиску, які можуть «зрізати» шлях через вестибулярний канал до перилімфи барабанних сходів. У такому разі вони спричиняють коливання базилярної мембрани, внаслідок чого покривна мембрана зміщується, ритмічно подразнюючи волоскові клітини.

Інформація про висоту звуку кодується ще у внутрішньому вусі, хвилі різної частоти сприймаються в залежності від того, в якій саме частині завитки вони викликають збудження волоскових клітин. Базилярна мембрана містить велику кількість волокон, натягнутих поперек неї, при чому вони не однакові по всій її довжині. Біля основи завитки ці волокна коротші і тугіші, а сама мембрана товстіша, біля верхівки волокна довші і більш провислі. Через це звуки високої частоти викликають максимальне коливання базилярної мембрани відразу ж біля овального вікна, а низької частоти — ближче до геліотреми. Отже якщо до мозку надходять нервові імпульси від волоскових клітин нижньої частини завитки, він інтерпретує їх як низький звук, із верхньої - як високий. Звук, що складається із кількох тонів одночасно активує різні групи волоскових клітин.

Більш гучний звук викликає коливання барабанної перетинки, слухових кісточок, овального вікна та перилімфи із більшою амплітудою, це у свою чергу викликає сильніше зміщення базилярної мембрани і більше відхилення волосків волоскових клітин, через що виникає рецепторний потенціал більшої амплітуди і в синаптичну щілину вивільняється більше нейромедіаторів. В такому випадку нервові закінчення завиткового нерва частіше генерують потенціал дії. Мозок інтерпретує це як більшу гучність.

Слід відмітити, що людина володіє бінауральним слухом, що допомагає їй у визначенні місцезнаходження джерела звуку. Звукові хвилі неодноразово досягають правого та лівого вуха. Людина здатна помітити, коли звук до одного вуха доходить всього лиш на  $10^{-4}$ с пізніше, ніж до іншого.

У наш час зустрічаються різні шляхи підходу до вивчення слухового відчуття. В клінічних дослідженнях найбільш поширеним є метод визначення гостроти слуху, що **ґрунтується** на вимірюванні межі чутності. Цей метод називається **аудиометрією**. У наш час зустрічаються різні шляхи підходу до вивчення слухового відчуття. В клінічних дослідженнях найбільш поширеним є метод визначення гостроти слуху, що **ґрунтується** на вимірюванні межі чутності. Цей метод називається **аудиометрією**.

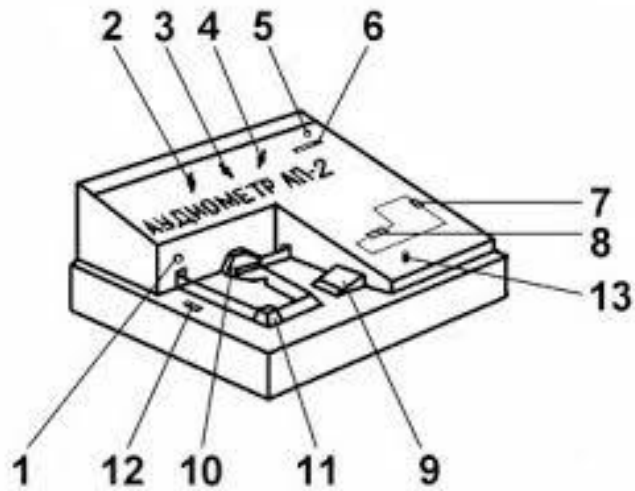


Рис.6.1. Зовнішній вигляд аудіометру АП-02.

(1-лампа відповідей пацієнтів; 2-перемикач роду робіт; 3-перемикач телефонів повітряної провідності; 4-перемикач інтенсивності маскуючого шуму; 5-індикаторна лампа і 6-клавіша включення мережі; 7-кнопка переривання-подачі тону; 8- перемикач переривання-подачі тону; 9-притиск для фіксації бланка аудіограми; 10-переключатель частот і 11-перемикач інтенсивності тону на передній панелі; 12-перемикач «ПЕРЕГОВОРИ»; 13-кнопка притиску)

Дослідження здійснюється за допомогою *аудіометра*, який дозволяє оцінити поріг чутності (в децибелах) для типових стандартних за частотою і інтенсивністю звуків в діапазоні (125-8 000 Гц). Для повної перевірки слуху, використовується тестування в розширеному частотному діапазоні (125-20 000 Гц). Прилад дозволяє виміряти гостроту слуху (мінімальну інтенсивність звуку, яку здатне сприйняти вухо людини), чутливість до звуків різної частоти.

Звукові тони різної частоти подаються через навушники. Результатом тесту є *аудіограма* (рис. 6) - графік залежності порогу слухового відчуття від частоти, за якою отоларинголог може діагностувати втрату слуху і різноманітні захворювання вуха.

Для компенсації деяких вад слуху використовуються електронні *слухові апарати* різноманітних конструкцій.

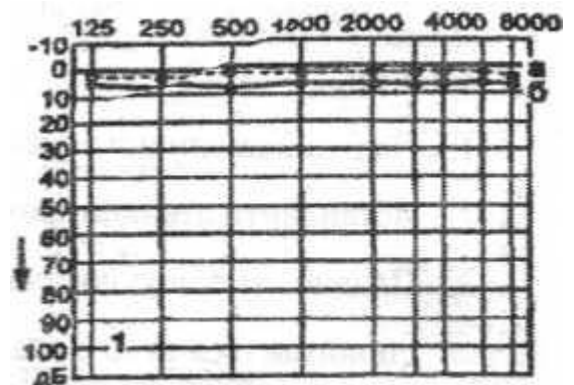
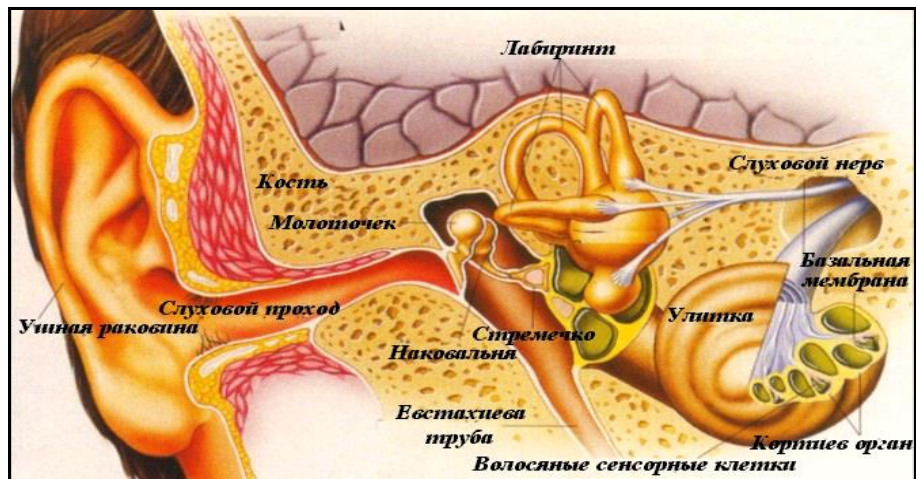


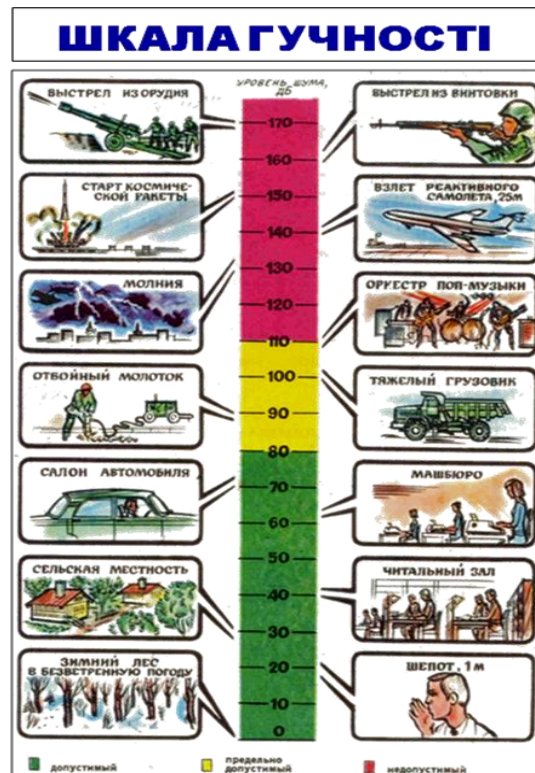
Рис. 6



#### ЗАКОН ВЕБЕРА-ФЕХНЕРА

$$L = k \lg \frac{I}{I_0}$$

де  $L$  – гучність;  $I_0$  – інтенсивність на порозі чутливості;  $I$  – деяка інтенсивність;  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від частоти звуку, для  $\nu=1000\text{Гц}$ ,  $k=1$



*Тести для самоконтролю:*

1. Якими фізичними параметрами характеризуються коливання:
  - а) частотою;
  - б) періодом;
  - в) інтенсивністю;
  - г) довжиною хвилі;
  - д) амплітудою.
2. Якими фізичними параметрами характеризуються хвилі:
  - а) частотою;
  - б) інтенсивністю;
  - в) довжиною хвилі;
  - г) швидкістю.
3. Які ефекти використовуються для створення штучних ультразвукових коливань:
  - а) п'єзоефект;
  - б) термоелектричний ефект;
  - в) магнітострикція;
  - г) ефект Пелтьє.

4. Яку дію на біологічні об'єкти має ультразвук:
  - а) теплову;
  - б) електричну;
  - в) механічну;
  - г) хімічну.
5. Які звукові діагностичні методи існують:
  - а) фонокардіографія;
  - б) електрокардіографія;
  - в) реографія;
  - г) аускультация;
  - д) перкусія.
6. В якому середовищі можуть поширюватися звукові коливання:
  - а) повітря;
  - б) вода;
  - в) вакуум;
  - г) тверде тіло.
7. Який спектр має шум:
  - а) лінійчастий;
  - б) смугастий;
  - в) суцільний.

*Задачі, які доповнюють самостійну роботу на практичному занятті:*

1. Чи може орган мови людини генерувати чисті тони?
2. Якими фізичними факторами характеризується тембр людського голосу?
3. Чому ультразвукові хвилі можна концентрувати в тонкі пучки, а звукові хвилі ні?
4. Від яких факторів залежить нагрівання біологічних тканин при впливі ультразвукового випромінювання?
5. Чому за допомогою ультразвукової ехо-локації легко можна виявити камінці в нирках, в печінці?
6. Від чого залежать мінімальні розміри камінців, які можуть бути виявлені в тканинах організму за допомогою ультразвуку?
7. Які фізичні явища використовуються при перкусії? Чому за допомогою перкусії можна визначити контури проекції органів на поверхню організму?

### **Матеріали післяаудиторної самостійної роботи,**

Підготувати доповідь на тему: «Сучасні акустичні методи дослідження та лікування в медицині».

### **Література**

#### **Основна:**

1. Медична та біологічна фізика: нац. підручник для студ. вищ. мед. (фарм.) навч. заклад. III-IV р. акред. / за ред. О.В. Чалого. – 2-ге вид. – Вінниця: Нова Книга, 2017. – 528 с.

2. Медична та біологічна фізика: нац. підруч. для студ. вищ. мед. навч. закладів III-IV рівнів акредитації / О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.; за ред. О.В. Чалого. – Вінниця: Нова книга, 2013. – 528 с.
3. Медична і біологічна фізика: підруч. для студ. вищ. мед. заклад. III-IV р. акред. / Під заг. ред. О.В. Чалого. – 2-ге вид., переробл. і доп. – К.: Книга плюс, 2005. – 760 с.
4. Ємчик Л.Ф. Медична і біологічна фізика: підручник / Л.Ф. Ємчик, Я.М. Кміт. – Львів: Світ, 2003. – 592 с.
5. Лопушанський Я.Й. Збірник задач і запитань з медичної і біологічної фізики: навч. посібн. для студ. вищ. мед. навч. закл. III-IV рівн. акр./ Я.Й. Лопушанський. 3-є вид., доповн. і випр. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 584 с.
6. Медична та біологічна фізика: підручник для студентів медичних ВНЗ / О.І. Антюфєєва, Л.В. Батюк, М.А. Бондаренко та ін.; за ред. В.Г. Книгавка. – Харків: ХНМУ, 2010. – 370 с.
7. Біофізика. Фізичні методи аналізу та метрологія: підруч. для студ. вищ. мед. та фарм. навч. закл. IV р. акр. / Е.І. Личковський, В.О. Тіманюк, О.В. Чалий та ін.; за ред. Е.І. Личковського. – Вінниця: Нова Книга, 2014. – 464 с.
8. Шевченко А.Ф. Основи медичної і біологічної фізики. / А.Ф. Шевченко. – К.: Медицина, 2008. – 656 с.
9. Федішин Я.І. Фізика з основами біофізики. / Я.І. Федішин. – Львів: Світ, 2005. – 400 с.
10. Тіманюк В.А. Біофізика / В.А. Тіманюк, Е.Н. Животова; учебник для фармацевт-х и мед. вузов. – К.: Професіонал, 2004. – 704 с.
11. Медицинская и биологическая физика: учеб. для студ. высших мед. учеб. завед. IV ур. акр. / под ред. А.В. Чалого. – Вінниця: Нова Книга, 2011. – 568 с.

#### **Додаткова:**

1. Іщейкіна Ю.О. Медична і біологічна фізика: навч. посібник / Ю.О. Іщейкіна, В.І. Макаренко, Н.В. Тронь. – Полтава: Шевченко Р.В., 2012. – 352 с.
2. Іщейкіна Ю.О. Медична і біологічна фізика: навч. посібник / Ю.О. Іщейкіна, В.І. Макаренко, Н.В. Тронь. – 2-ге видання. – Полтава: Шевченко Р.В., 2014. – 352 с.
3. Антонов В.Ф. Біофізика / В.Ф. Антонов. и др. – М.: Владос, 2000. – 321 с.
4. Владимиров Ю.А. Біофізика / Ю.А. Владимиров, Д.И. Рошупкин, А.Я. Потапенко, А.И. Деев. / Под ред. Ю.А. Владимирова. – М.: Медицина, 1983. – 272 с.
5. Волькенштейн М.В. Біофізика / М.В. Волькенштейн. – М.: Высшая школа, 1981. – 575 с.
6. Доброва В.Є. Біофізика та медична апаратура: навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл. / В.Є. Доброва, В.О. Тіманюк. – К.: Професіонал, 2006. – 200 с.
7. Зима В.Л. Біофізика. Збірник задач / В.Л. Зима. – К.: Вища шк., 2001. – 124 с.
8. Костюк П.Г. Біофізика / П.Г. Костюк, В.Л. Зима, І.С. Магура, М.С. Мірошніченко, М.Ф. Шуба. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 567 с.
9. Лабораторный и лекционный эксперимент по медицинской и биологической физике / Под ред. Д.С. Кройтора, А.Н. Ремизова, В.О. Самойлова. – Кишинев: Лумина, 1983. – 328 с.



