

## **Практичне заняття 23.11.2020 р. Аудіометрія, вивчення межі чутності.**

**Мета** – познайомити студентів з елементами біофізики слуху, основними характеристиками звуку, методами визначення гостроти слуху, законом Вебера-Фехнера.

### **Література**

1. Чалий О.В., Агапов Б.Т., Цехмістер А.В. та ін. Медична і біологічна фізика: Підручник для студентів вищих медичних закладів освіти III-IV рівнів акредитації. – К.: Книга плюс, 2004. – 760 с.
2. Медицинская и биологическая физика: учебник/ А.Н. Ремизов. – 4-е изд., испр. и перераб. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 648с.

### **Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття**

1. Вивчити матеріали рекомендованої літератури з даної теми.
2. Розібрати приклади виконання завдань.
3. Відповісти на контрольні питання та тестові завдання.
4. Вирішити задачі для самостійного розв'язання.

### **Теоретичні питання до заняття**

1. Фізичні (об'єктивні) характеристики звуку: амплітуда, період, частота, швидкість поширення, довжина хвилі, потік енергії, інтенсивність, акустичний спектр (означення, формула, одиниці вимірювання).
2. Особливості поширення звуку у газоподібному, рідкому та твердому середовищах (швидкість поширення та коефіцієнт поглинання).
3. Слухові (суб'єктивні) характеристики звуку: висота, тембр, гучність. Їх зв'язок з фізичними характеристиками звуку.
4. Поріг чутності, поріг больового відчуття, область чутності, область мови.
5. Рівень інтенсивності. Закон Вебера-Фехнера. Співвідношення між рівнями інтенсивності та рівнями гучності. Криві рівної гучності.

### **Приклади виконання завдань**

**Задача 1.** Чи почує людина звук, якщо 1 повне коливання частинки середовища роблять за:

- а) 0,16 с;                      б) 0,0004 с;    в) 0,00002 с?

### Розв'язання:

Дано:

$$T_1 = 0,16 \text{ с}$$

$$T_2 = 0,0004 \text{ с}$$

$$T_3 = 0,00002 \text{ с}$$

$$\nu_1 - ? \quad \nu_2 - ? \quad \nu_3 - ?$$

Для того, щоб визначити чи почує людина даний звук, треба визначити частоту цього звуку. Якщо частота буде в рамках від 20 Гц до 20000 Гц, то людина почує звук.

Частота пов'язана з періодом співвідношенням:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Підставляючи дані по чергово в формулу, отримаємо відповідні періоду частоти звуку, за якими визначимо чує людина звук чи ні:

$$\nu_1 = \frac{1}{0,16} = 6,25 \text{ Гц}$$

$$\nu_2 = \frac{1}{0,0004} = 2500 \text{ Гц}$$

$$\nu_3 = \frac{1}{0,00002} = 50000 \text{ Гц}$$

*Відповідь:* Отже, лише другий звук людина почує. Перший відноситься до інфразвуку, а третій – до ультразвуку.

**Задача 2.** Частота звукової хвилі, що поширюється в повітрі зі швидкістю 330 м/с, становить 150 Гц. Визначити період та довжину звукової хвилі.

### Розв'язання:

Дано:

$$\nu = 150 \text{ Гц}$$

$$v = 330 \text{ м/с}$$

$$\lambda - ? \quad T - ?$$

Частота пов'язана з періодом співвідношенням

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Звідси знаходимо період

$$T = \frac{1}{\nu} \quad T = \frac{1}{150} = 0,0067 \text{ с}$$

Довжина хвилі виражається формулою через швидкість та частоту хвилі в даному середовищі:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} \quad \lambda = \frac{330}{150} \approx 2.2 \text{ м}$$

Відповідь: 0,0067 с; 2,2 м.

**Задача 3.** Звук інтенсивністю 1 Вт/м<sup>2</sup> за 2 с через площу 1,6 м<sup>2</sup> передав тілу певну енергію. Знайти, яку саме енергію перенесла ця хвиля?

**Розв'язання:**

Дано:
$I = 1 \text{ Вт/м}^2$
$\Delta t = 2 \text{ с}$
$S = 1,6 \text{ м}^2$
$\Delta E = ?$

Інтенсивність звуку за визначенням це відношення потоку енергії до площі, на яку діє звукова хвиля:

$$I = \frac{\Phi}{S}$$

Підставимо в дану формулу  $\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}$  і отримаємо  $\Delta E$ :

$$I = \frac{\Delta E}{S \Delta t} \rightarrow \Delta E = IS \Delta t$$

Підставивши значення отримаємо:

$$\Delta E = 1 \cdot 1,6 \cdot 2 = 3,2 \text{ Дж}$$

Відповідь: 3,2 Дж.

**Задача 4.** Як зміниться інтенсивність механічної хвилі, якщо:

- амплітуду коливань зменшать у 3 рази;
- частоту коливань збільшать у 4 рази;
- швидкість механічної хвилі збільшать у 5 разів?

**Розв'язання:**

Для того, щоб дати відповідь на поставлені питання, потрібно знайти зв'язок інтенсивності хвилі з заданими величинами:

$$I = \frac{\rho A^2 \omega_0^2}{2} v$$

Підставивши  $\omega_0 = 2\pi\nu$  отримаємо:

$$I = \frac{\rho A^2 4\pi^2 \nu^2}{2} v$$

Тепер ми можемо дати відповідь на поставлені питання:

- 1) Якщо амплітуду коливань зменшити в 3 рази, то інтенсивність зменшиться в 9 разів  $I \sim A^2$

2) Якщо частоту коливань збільшити в 4 рази, то інтенсивність збільшиться в 16 разів  $I \sim \nu^2$

3) Якщо швидкість механічної хвилі збільшити в 5 разів, то її інтенсивність теж збільшиться в 5 разів  $I \sim \nu$

**Задача 5.** Після проходження звуку через перегородку його інтенсивність зменшилась в 1000 разів. На скільки зменшилась його гучність, якщо частота звуку 1 кГц?

**Розв'язання:**

Дано:	Si
$\nu = 1 \text{ кГц}$	1000 Гц
$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{1000}$	
Е—?	

Скористаємось законом Вебера-Фехнера

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

Для частоти 1000 Гц коефіцієнт  $k = 1$ . Підставимо значення:

$$E = 1 \lg \frac{1}{1000} = \lg 10^{-3} = -3 \text{ Б}$$

*Відповідь:* гучність зменшилась на 3 Бели.

**Задача 6.** Шум на вулиці відповідає рівням гучності звуку 70 фон, крику 80 фон. Який буде рівень гучності звуку, отриманого в результаті складання крику і шуму вулиці? Вважати частоту рівною 1 кГц.

**Розв'язання:**

Дано:	Si
$\nu = 1 \text{ кГц}$	1000 Гц
$E_1 = 70 \text{ фон}$	
$E_2 = 80 \text{ фон}$	
$E_\phi$ —?	

Знайдемо інтенсивності звуку, які відповідають заданим рівням гучності, використовуючи закон Вебера-Фехнера:

$$E_\phi = 10 k \lg \frac{I}{I_0}, \text{ для частоти 1000 Гц коефіцієнт } k=1;$$

$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$  – інтенсивність звуку для порогу чутності вуха,

$$70 = 10 \lg \frac{I_1}{I_0} \rightarrow I_1 = 10^7 I_0 = 10^7 \cdot 10^{-12} = 10^{-5} \text{ Вт/м}^2$$

$$80 = 10 \lg \frac{I_2}{I_0} \rightarrow I_2 = 10^8 I_0 = 10^8 \cdot 10^{-12} = 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$$

$$E_\phi = 10 \lg \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \lg \frac{1.1 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} = 10 \lg 1.1 \cdot 10^8 = 80.4 \text{ Фон}$$

*Відповідь:* рівень гучності на вулиці 80,4 фон.

**Задача 7.** Дві машини рухаються назустріч одна одній зі швидкостями 20 м/с і 10 м/с. Перша машина подає сигнал з частотою 800 Гц. Якої частоти сигнал почує водій другої машини: а) до зустрічі; б) після зустрічі машин?

**Розв'язання:**

Дано:	
$v_1 = 20 \text{ м/с}$	
$v_2 = 10 \text{ м/с}$	
$v = 330 \text{ м/с}$	
$\nu = 800 \text{ Гц}$	
$\nu_1 - ?$	

Згідно з ефектом Доплера до зустрічі автомобілів частота змінюється

$$\nu_1 = \frac{v + v_2}{v - v_1} \nu$$

$$\nu_1 = \frac{330 + 10}{330 - 20} 800 = 877 \text{ Гц}$$

Після зустрічі

$$\nu_1 = \frac{v - v_2}{v + v_1} \nu$$

$$\nu_1 = \frac{330 - 10}{330 + 20} 800 = 732 \text{ Гц}$$

*Відповідь:* 877 Гц; 732 Гц.

**Задача 8.** Сила, що діє на барабанну перетинку людини площею 66 мм<sup>2</sup> при частоті 1000 Гц, рівна 4,95 нН. Яка інтенсивність звуку, що зумавлює дану силу? Швидкість звуку в тканині організму 1540 м/с, густина тканини 1 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

Дано:	Si
$S = 66 \text{ мм}^2$	$66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
$F = 4,95 \text{ нН}$	$4,95 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$
$\nu = 1000 \text{ Гц}$	

$v = 1540 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$10^3 \text{ кг/м}^3$
$P = 1 \text{ г/см}^3$	
$I - ?$	

Сила, що діє на барабанну перетинку людини пропорційна до звукового тиску:

$$F = S \cdot p \quad (1)$$

Звуковий тиск пов'язаний з інтенсивністю співвідношенням:

$$p^2 = 2\rho v I, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина середовища, в якому поширюється хвиля.

Виразимо звуковий тиск із (2) і підставимо його до виразу (1):

$$p = (2\rho v I)^{1/2}$$

$$F = (2\rho v I)^{1/2} S \quad (3)$$

Із виразу (3) визначимо інтенсивність звуку:

$$I = \frac{F^2}{2\rho v S^2}$$

Підставимо числові значення:

$$I = \frac{(4,95 \cdot 10^{-9})^2}{2 \cdot 10^3 \cdot 1540 \cdot (66 \cdot 10^{-6})^2} = 1,8 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$$

*Відповідь:* інтенсивність звуку  $1,8 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$

### Завдання для обов'язкового розв'язання:

**Задача 1.** На якій частоті звук інтенсивністю  $10^{-6} \text{ Вт/м}^2$  має рівень гучності 30 фон?

**Задача 2.** Рівні інтенсивності звуку з частотами 100 Гц і 3000 Гц рівні 50 дБ. Визначити рівні гучності цих звуків.

**Задача 3.** Рівень інтенсивності серцевих тонів, який отримують за допомогою стетоскопа, рівний 10 дБ. Чому дорівнює інтенсивність тонів серця?

**Задача 4.** Людина з нормальним слухом здатна відчувати різницю в гучності звуків в 1 фон. В скільки разів змінюється при цьому інтенсивність звуку частотою 1 кГц?

### Контрольні питання:

1. Вкажіть об'єктивні та суб'єктивні характеристики звуку та відповідність між ними. Вкажіть одиниці їх вимірів.
2. В чому полягає суть психофізичного закону Вебера-Фехнера?
3. Що називається аудіометрією? Що таке аудіограма?
4. З яких основних частин складається аудіометр?