

- характеристики фізичних зовнішніх факторів, що впливають на організм людини, та біофізичні механізми цих впливів;

- призначення та принципи роботи електронної медичної апаратури, техніку безпеки при роботі з нею.

Оцінка з дисципліни визначається з урахуванням результатів поточної навчальної діяльності студента та оцінок засвоєння ним окремих модулів відповідно до Положення про рейтингову систему оцінки навчальної діяльності студентів ВМ (Ф) НЗ України.

ВИТЯГ З ПРОГРАМИ ДИСЦИПЛІНИ  
“МЕДИЧНА І БІОЛОГІЧНА ФІЗИКА”

МОДУЛЬ 2  
ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОЇ ФІЗИКИ

Змістовий модуль 3.

Основи біомеханіки, біоакустики, біореології та гемодинаміки.

Тема 6. Предмет та методи біофізики, зв'язок з іншими науками. Основні розділи біофізики.

Основні поняття механіки поступального та обертового рухів. Рівняння руху, закони збереження. Елементи біомеханіки. Опорно-руховий апарат людини. Динамічна і статистична робота людини при різних видах її діяльності. Ергометрия. Методи і прилади для вимірювання біомеханічних характеристик.

Незатухаючі, затухаючі та вимушені коливання. Диференційні рівняння гармонічних, затухаючих, вимушених коливань та їх розв'язання. Декремент і логарифмічний декремент затухання. Резонанс. Автоколивання. Релаксаційні коливання.

Хвильові процеси та їх характеристики. Рівняння хвилі. Диференційне хвильове рівняння. Потік енергії. Вектор Умова. Ефект Допплера.

Тема 7. Фізика слуху. Об'єктивні та суб'єктивні характеристики звуку. Інтенсивність, рівень інтенсивності, гучність, їх одиниці. Поріг чутності і більшового відчуття. Закон Вебера-Фехнера. Біофізичні основи слухового відчуття. Фізичні основи аудіометрії. Аудіограма та криві однакової гучності.

Ультразвук та інфразвук. Джерела та уловлювачі ультразвуку й інфразвуку. Особливості поширення та біофізичні основи дії ультразвуку й інфразвуку на біологічні тканини. Використання ультразвуку в медицині.

Тема 8. Основи біореології. Деформаційні властивості біологічних тканин. Закон Гука. Модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона. Текучість і релаксація напруги.

Тема 9. Поверхневий натяг. Коефіцієнт поверхневого натягу. Методи його визначення. Газова емболія.

Тема 10. Внутрішнє тертя, в'язкість. Формула Ньютонна для сили внутрішнього тертя. Ньютонівські та неньютонівські рідини. Методи та прилади для вимірювання в'язкості.

Стаціонарний плин рідин. Рівняння неперервності і рівняння Бернуллі. Лінійна та об'ємна швидкості. Основне рівняння динаміки рідин. Плин в'язких рідин. Формули Пуазейля і Гагена-Пуазейля. Гідравлічний опір.

Тема 11. Реологічні властивості крові. В'язкість крові та її використання у діагностиці захворювань.

Ламінарна та турбулентна текучість рідини. Число Рейнольдса. Методи вимірювання тиску крові і швидкості кровообігу. Пульсові хвилі.

### Конкретні цілі вивчення змістового модуля 3:

- Класифікувати механічні коливання і хвилі;
- Трактувати основні фізичні поняття та закони біомеханіки, біоакустики, біореології та гемодинаміки.
- Пояснювати фізичні основи аудіометрії як методу дослідження слуху;
- Демонструвати навички роботи з аудіометром;
- Трактувати біофізичні механізми дії ультразвуку та інфразвуку на організм людини та пояснювати механізми, що лежать в основі використання ультразвуку в медицині;
- Трактувати механічні моделі в'язко-пружних властивостей біологічних тканин;
- Визначати модуль Юнга біологічних тканин;
- Пояснювати явища поверхневого натягу та в'язкості рідин;
- Трактувати газову емболію як фізичне явище;
- Демонструвати навички вимірювання коефіцієнтів поверхневого натягу і в'язкості рідин;
- Пояснювати фізичні основи методів вимірювання в'язкості крові та методів вимірювання тиску крові і швидкості кровообігу.

### Змістовий модуль 4.

**Термодинаміка відкритих біологічних систем.  
Елементи молекулярної біофізики.**

Тема 12. Термодинаміка відкритих медико-біологічних систем і елементи молекулярної біофізики.

Міжмолекулярна взаємодія у біополімерах (ковалентна взаємодія, електростатична і дисперсійна взаємодія, гідрофобна взаємодія, водневий зв'язок). Структурна організація білків і нуклеїнових кислот.

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

Термодинаміка відкритих систем поблизу рівноваги (лінійний закон для потоків і термодинамічних сил, перехресні процеси переносу, співвідношення Онсагера, виробництво ентропії, спряження потоків, стаціонарний стан, теорема Пригожина).

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.

Біофізика процесів рецепції на прикладі зорової рецепції. Загальні характеристики ока людини. Приведене око Вербицького. Недоліки оптичної системи ока людини. Будова сітківки ока. Фотоізомеризація родопсину.

#### Конкретні цілі вивчення змістового модуля 4:

- Тракувати основні положення термодинаміки відкритих біологічних систем;
- Застосовувати термодинамічний метод вивчення медико-біологічних систем;
- Аналізувати міжмолекулярні взаємодії в біополімерах;
- Тракувати процеси впорядкування у фізичних, хімічних і медико-біологічних системах;
- Пояснювати значення термодинаміки і синергетики;
- Пояснювати фізичні та біофізичні характеристики ока людини та механізми фоторецепції.

#### Змістовий модуль 5.

##### Біофізики мембранних процесів.

##### Тема 13. Біологічні мембрани.

Структурні елементи біологічних мембран. Фізичні властивості біомембран. Рідкокристалічний стан біомембран. Динамічні властивості мембран.

##### Тема 14. Пасивний транспорт речовин крізь мембранні структури.

Рівняння Фіка. Коефіцієнт пропускності мембрани для певної речовини. Рівняння Нернста-Планка. Електрохімічний потенціал і рівняння Теорелла. Активний транспорт, основні види. Молекулярна організація активного транспорту на прикладі роботи  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  насосу. Спряження потоків. Швидкість дифузії.

##### Тема 15. Мембранні потенціали спокою та дії.

Природа мембранного потенціалу спокою (рівноважний потенціал Нернста, дифузійний потенціал, потенціал Доннана, стаціонарний потенціал Гольдмана-Ходжкіна-Катца).

Потенціал дії. Потенціал дії (ПД) та причини його виникнення. Еквівалентна електрична схема мембрани. Феноменологічні рівняння Ходжкіна-Хакслі. Поняття про воротні іонні струми. Рівняння Ходжкіна-Хакслі

для процесу поширення ПД у нервових волокнах. Швидкість і особливості поширення ПД в аксонах.

**Конкретні цілі вивчення змістового модуля 5:**

- Аналізувати структурні елементи біологічних мембран їх фізичні та динамічні властивості;
- Пояснювати механізми пасивного та активного транспорту речовин крізь мембранні структури клітин;
- Тракувати рівняння Фіка, коефіцієнт проникності мембрани, швидкість дифузії, рівняння Нерста-Планка, електрохімічний потенціал, рівняння Теорелла.
- Аналізувати молекулярну організацію активного транспорту на прикладі роботи  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  насосу.
- Пояснювати іонну природу мембранного потенціалу спокою (рівноважний потенціал Нерста, дифузійний потенціал, потенціал Доннана, стаціонарний потенціал Гольдмана-Ходжкіна-Катца);
- Тракувати механізм виникнення потенціалу дії, швидкість та особливості його поширення в аксонах.

# 1. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ. ОСНОВИ АУДИОМЕТРІЇ

## 1.1. Основні закони та формули

- Диференціальне рівняння вільних незатухаючих коливань

$$x'' + \omega_0^2 x = 0.$$

- Пружинний маятник:

$$\text{частота власних коливань } \nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$\text{циклічна частота власних коливань } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

$$\text{період власних коливань } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

- Математичний маятник:

$$\text{частота власних коливань } \nu_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}},$$

$$\text{циклічна частота власних коливань } \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}},$$

$$\text{період власних коливань } T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

- Зміщення матеріальної точки при гармонічних коливаннях

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0);$$

- Швидкість при гармонічних коливаннях

$$v = x' = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

- Прискорення при гармонічних коливаннях

$$a = v' = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0).$$

- Енергія при гармонічних коливаннях:

$$\text{кінетична } E_k = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$\text{потенціальна } E_p = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$\text{повна } E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}.$$

- Диференціальне рівняння затухаючих коливань

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = 0.$$

- Циклічна частота затухаючих коливань

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

- Період затухаючих коливань

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

- Амплітуда затухаючих коливань

$$A = A_0 e^{-\beta t}$$

- Декремент затухання

$$\delta = \frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\beta T}$$

- Логарифмічний декремент затухання

$$\lambda^* = \ln \delta = \beta T$$

- Диференціальне рівняння вимушених коливань

$$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = F_0 \sin(\Omega t + \varphi_0)$$

- Резонансна частота

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

- Амплітуда вимушених коливань при резонансі

$$A_{\text{рез}} = \frac{F_0}{2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$

- Диференціальне рівняння хвилі

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2}$$

- Рівняння плоскої хвилі

$$s = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

- Потік енергії хвилі

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}, \text{ де } E - \text{енергія.}$$

- Об'ємна густина енергії хвилі

$$W = \frac{\Delta E}{V}$$

- Інтенсивність звуку

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

- Вектор Умова

$$I = Wv$$

- Ефект Доплера

$$v' = [(v \pm v_c) / (v \mp v_0)] \cdot v$$

- Частоти:

звукових коливань  $16\text{Гц} < \nu < 20\text{кГц}$ ;

інфразвуку  $\nu < 16\text{Гц}$ ;

ультразвуку  $20\text{кГц} < \nu < 10^9\text{Гц}$ .

- Звуковий тиск

$$p = \sqrt{2I\rho v}$$

- Поріг чутності

$$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, (\nu = 1\text{кГц}).$$

- Поріг больового відчуття

$$I_{\text{max}} = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}, (\nu = 1\text{кГц}).$$

- Рівень інтенсивності

$$L = \lg \frac{I}{I_0}, [L] = \text{Бр} - 1\text{Б} = 10\text{дБ}.$$

- Закон Вебера-Фехнера

$$E = k(\nu) \lg \frac{I}{I_0}, [E] = \text{фон}, 1\text{фон} = 1\text{дБ}.$$

$$k(\nu) = 1 \text{ при } \nu = 1\text{кГц}.$$

$$1 \text{ дБ} = 10^{-1} \text{ Б}$$



1.2. Задачі для самостійного розв'язку

Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.

1. Пишучий елемент реєструючого приладу здійснює коливання за законом  $x = 2 \sin \pi(t - 0,4)$  см. Визначити амплітуду, період і початкову фазу.

$$A = 2 \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2 \text{ с} \quad \varphi_0 = -0,4$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Матеріальна точка здійснює гармонічні коливання з частотою 3 Гц. В момент часу  $t = 0$  точка має зміщення 5 см та швидкість 16 см/с. Визначити амплітуду коливань.

Відповідь: \_\_\_\_\_



Відповідь:

6. Точка знаходиться на відстані 0,5 м від джерела коливань і має в момент часу  $t = T/3$  зміщення, рівне половині амплітуди. Знайти довжину хвилі, якщо в початковий момент часу зміщення дорівнювало нулю.

Відповідь:

7. Дозволений рівень шуму складає 70 фон. Визначити максимально дозволена інтенсивність звуку на частоті 1 кГц.

Відповідь:

8. На скільки збільшиться густина звуку частотою 1 кГц, якщо інтенсивність збільшилася у 10000 разів?

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

9. Визначити звуковий тиск, що діє на барабанну перетинку людини (площа перетинки  $S = 66 \text{ мм}^2$ ), на порозі чутності і на порозі болювого відчуття. Густина повітря  $1,29 \text{ кг/м}^3$ , швидкість звуку  $340 \text{ м/с}$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

10. Швидкість руху еритроцита в артерії дорівнює  $0,3 \text{ м/с}$ . Швидкість ультразвуку –  $1500 \text{ м/с}$ , частота –  $100 \text{ кГц}$ . Знайти доплеровський зсув частоти  $\nu' - \nu$ , якщо еритроцит рухається назустріч приймачу.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

### 1.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань  
визначте одну вірну відповідь і позначте її хрестиком  
в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

1. При гармонічних коливаннях величини, що характеризують  
коливальний процес, змінюються з часом...
  - а) за лінійним законом;
  - б) за експоненціальним законом;
  - в) за законом тангенса або котангенса;
  - г) за законом синуса або косинуса;
  - д) випадковим чином.
2. Розв'язком диференціального рівняння вільних незатухаючих  
коливань є наступний вираз:
  - а)  $x = A \operatorname{Atg}(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
  - б)  $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
  - в)  $x = A e^{-\beta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
  - г)  $x = A \cos \omega \left( t - \frac{t}{v} \right)$ ;
  - д)  $x = A \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$ .
3. Розв'язок диференціального рівняння затухаючих коливань  
(при умові  $\omega_0 > \beta$ ) має вигляд:
  - а)  $x = A \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
  - б)  $x = A \cos \omega \left( t - \frac{t}{v} \right)$ ;
  - в)  $x = A \operatorname{Atg}(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
  - г)  $x = A e^{-\beta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ ;
  - д)  $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ .
4. Вимушені коливання виникають за рахунок...
  - а) дії зовнішньої періодичної сили;
  - б) складання зовнішніх сил;
  - в) зниження сили тертя в системі;
  - г) накопичення кінетичної енергії;
  - д) накопичення потенціальної енергії.

5. Висажіть вираз для фази хвилі:

а)  $\varphi = \omega_0 t$ ;

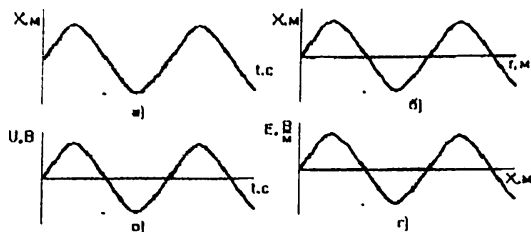
б)  $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$ ;

в)  $\varphi = \omega \left( t - \frac{t}{v} \right)$ ;

г)  $\varphi = \omega t + \frac{\pi}{2}$ ;

д)  $\varphi = \omega t + \frac{\pi}{3}$ .

6. Яка з наведених графічних залежностей ілюструє механічний хвильовий (I), а яка механічний коливний (II) процеси:



- а) I - а, II - в    б) I - в, II - г;    в) I - г, II - б;  
г) I - б, II - а;    д) I - г, II - в.

7. Яка характеристика механічної хвилі не залежить від властивостей середовища?

- а) довжина хвилі;  
б) швидкість поширення;  
в) інтенсивність;  
г) амплітуда;  
д) частота.

8. Швидкість поширення звуку в повітрі приблизно дорівнює:

- а) 340 м/с;  
б) 1500 м/с;  
в) 6000 м/с;  
г)  $3 \cdot 10^8$  м/с;  
д) 2100 м/с.

9. Висота тону, головним чином, визначається...

- а) швидкістю поширення звукової хвилі;  
б) інтенсивністю звуку;  
в) частотами коливань обертонів;  
г) рівнем інтенсивності звуку;  
д) частотою основного тону.

10. Які з методів медичної діагностики є акустичними?

- а) флюорографія;
- б) реографія;
- в) перкусія, аускультатія, фонокардіографія;
- г) рентгеновська томографія;
- д) термографія.

*Таблиця відповідей на тестові завдання*

№ тесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

1.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Характеристика коливання	Одиниця вимірювання
1) циклічна частота $\omega$	а) рад
2) період $T$	б) рад/с
3) частота $\nu$	в) безрозмірна величина
4) логарифмічний декремент згасання $\delta$	г) Гц
	д) с

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

2.

Період ... коливань	визначається за формулою
1) вільних незатухаючих $\omega$	а) $T = \frac{2\pi R}{v}$
2) вимушених при резонансі $\omega$	б) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$
3) вільних затухаючих $\omega$	в) $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}$
	г) $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

3.

На векторній діаграмі...	представляє...
1) довжина вектора	а) зміщення в момент часу $t$
2) кутова швидкість обертання вектора	б) амплітуду коливань
3) кут між вектором і віссю $Ox$	в) циклічну частоту коливань
4) проекція вектора на вісь $Ox$	г) швидкість в момент часу $t$
	д) фазу коливань

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>



4. Як відрізняються фази...

1) зміщення та швидкості $v$	а) $2\pi$
2) зміщення та прискорення $a$	б) 0 $-\omega \cdot x = a$
3) прискорення та сили $F$	в) $\pi$
	г) $\frac{\pi}{2}$

1)	
2)	
3)	

5.

Характеристика хвилі	Визначення
1) фронт хвилі $q$	а) найменша відстань між двома точками, що коливаються в протилежних фазах
2) довжина хвилі $\lambda = \frac{v}{f}$	б) аргумент при косінусі (сінусі) $\omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$
3) фаза хвилі $\phi$	в) швидкість поширення фіксованої фази $\omega \cdot t - \frac{x}{v} = \phi$
4) швидкість хвилі $v$	г) найменша відстань між двома точками, що коливаються в одній фазі
	д) місцеположення точок, що коливаються і мають однакову фазу

1)	
2)	
3)	
4)	

6. Загальна формула, що описує ефект Доплера, має вигляд:

$$\nu' = \left[ \frac{v \pm v_c}{v \mp v_0} \right] \nu, \text{ де...}$$

1) $v$	а) частота хвилі, що випромінює джерело
2) $v_c$	б) частота хвилі, що сприймає спостерігач
3) $v_0$	в) швидкість руху джерела відносно спостерігача
4) $v$	г) швидкість руху джерела
5) $\nu$	д) швидкість хвилі, що випромінює джерело
	е) швидкість руху спостерігача

1)	2
2)	
3)	
4)	$v$
5)	$\omega$

Інтенсивність звуку

7. Вектор Умова визначається  $I = wv$ , де...

1) $I$	а) сила струму
2) $w$	б) інтенсивність хвилі
3) $v$	в) об'ємна густина енергії
	г) швидкість хвилі

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

8. Об'ємна густина енергії хвилі визначається: за формулою  $\frac{\rho A^2 \omega^2}{2}$ , де...

1) $\rho$	а) амплітуда хвилі
2) $A$	б) циклічна частота
3) $\omega$	в) питомий опір середовища
	г) густина середовища $\rho = n \cdot m$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

9. Швидкість поширення звуку у... приблизно дорівнює...

1) повітрі	а) (5000 ÷ 6000) м/с
2) вакуумі	б) $3 \cdot 10^8$ м/с
3) воді	в) 1500 м/с
4) металі	г) 340 м/с
	д) 0

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

$$15 = 10^{-1} \frac{15}{-1}$$

10. Гучність звуку ... на частоті 1 кГц відповідає інтенсивності...

1) 20 фон	а) $10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
2) 80 фон	б) $10^{-7} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
3) 40 фон	в) $10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
4) 70 фон	г) $10^{-10} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
	д) $10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

$$170 = 146 = 10^{-15}$$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

## 2. ПРУЖНІ ВЛАСТивОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

### 2.1. Основні закони та формули

- Абсолютна деформація

$$\Delta l = l - l_0.$$

- Відносна деформація

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

- Механічне напруження

$$\sigma = \frac{F_{\text{сп}}}{S}.$$

- Закон Гука

$$\overline{F_{\text{сп}}} = -k\Delta l.$$

$$\sigma = E\varepsilon.$$

- Зв'язок між коефіцієнтом жорсткості  $k$  та модулем Юнга  $E$

$$k = E \frac{S}{l_0}.$$

- Коефіцієнт Пуассона

$$\mu = -\frac{\Delta d/d_0}{\Delta l/l_0}.$$

- Релаксація напруження

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\alpha}}.$$

- Явище повзучості

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

- Час релаксації

$$\alpha \approx \tau \approx \frac{\eta}{E},$$

де  $\eta$  – коефіцієнт в'язкості,  $E$  – модуль Юнга.



3. Знайдіть, у скільки разів відносно видовження еластину більше, ніж колагену при однаковому механічному напруженні в них, якщо модуль пружності колагену в 100 разів більше модуля пружності еластину.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

4. Межа міцності кісткової тканини складає 100 МПа, модуль Юнга дорівнює 10 ГПа. При якій відносній деформації відбудеться руйнування кісткової тканини?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

5. Знайдіть абсолютне видовження сухожилка довжиною 5 см і діаметром 4 мм під дією сили 31,4 Н. Модуль пружності сухожилка прийняти рівним  $10^9$  Па.

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

6. Який мінімальний поперечний переріз повинен мати алюмінієвий стержень, щоб до нього можна було підвісити вантаж 200 кг при коефіцієнті запасу міцності 4? Межа міцності алюмінію на розтяг становить 100 МПа.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

7. Сухожилок має діаметром 2 мм і довжину 20 см. Знайти величину модуля Юнга для сухожилка, якщо сила, що розтягувала його від початкової довжини до 22 см, дорівнює 30Н.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

8. Визначити відносне видовження сталевого стержня, якщо при його розтягуванні виконана робота 62,1 Дж. Довжина стержня 2 м, площа поперечного перерізу 1 мм<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} \Sigma &= \frac{A^2}{2E} \\ A &= 62,1 \text{ Дж} \quad A = F \cdot l \quad W = A \cdot l \\ l &= 2 \text{ м} \\ S &= 1 \text{ мм}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

9. До залізного стержня підвішений вантаж вагою  $5 \cdot 10^4$  Н. Межа пружності заліза  $1,8 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ . Знайти площу поперечного перерізу стержня, при якому не буде залишкової деформації після зняття вантажу. Яке при цьому відносне видовження стержня?

$$\begin{aligned} F &= 5 \cdot 10^4 \text{ Н} \quad \sigma = \frac{F}{S} \quad \mu = \frac{\Delta l}{l} \\ \sigma &= 1,8 \cdot 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \\ S &= \frac{F}{\sigma} = \frac{5 \cdot 10^4}{1,8 \cdot 10^8} \end{aligned}$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

10. Визначити модуль пружності м'яза, якщо при збільшенні механічного напруження від 15 кПа до 45 кПа довжина його змінюється від 25 мм до 27 мм.

$$\begin{aligned} \Delta \sigma &= 30 \text{ кПа} \quad l_0 = 25 \text{ мм} \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \\ l &= 27 \text{ мм} \\ \Delta l &= l - l_0 = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned}$$

$$E \epsilon = \sigma$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{\sigma \cdot l_0}{\Delta l} \\ &= \frac{30 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ м}} \\ &= 375 \cdot 10^3 \text{ Па} \end{aligned}$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

### 2.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань знайдіть одну вірну відповідь і позначте її хрестиком в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

#### 1. Вкажіть вірне формулювання закону Гука:

- а) механічне напруження визначається силою, що діє на одиницю площі поперечного перерізу зразка;
- б) коефіцієнт жорсткості прямо пропорційний модулю Юнга;
- в) відносна деформація дорівнює відношенню абсолютної деформації до початкового розміру тіла;
- г) механічне напруження прямо пропорційне відносному видовженню;
- д) механічне напруження прямо пропорційне лінійному видовженню.

#### 2. Вкажіть одиниці модуля пружності:

- а) Па/м<sup>2</sup>;
- б) Н;
- в) Па/м;
- г) Н·м;
- д) Па.

#### 3. За якими формулами обчислюються:

- 1) абсолютна деформація;  С
- 2) відносна деформація;  В
- 3) коефіцієнт Пуасона;  А
- 4) закон Гука для об'ємної деформації.  Д

А.  $\mu = -\frac{\Delta a / a_0}{\Delta b / b_0}$     В.  $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_0}$     С.  $\Delta x = x - x_0$     Д.  $\sigma = x \frac{\Delta V}{V_0}$

- а) 1 - А;    2 - В;    3 - С;    4 - Д;
- б) 1 - В;    2 - Д;    3 - А;    4 - С;
- в) 1 - С;    2 - В;    3 - А;    4 - Д;
- г) 1 - Д;    2 - С;    3 - В;    4 - А;
- д) 1 - С;    2 - А;    3 - Д;    4 - А.

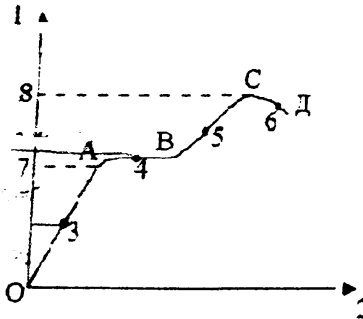


4. Вкажіть фізичний зміст модуля Юнга:

- а) механічне напруження, при якому довжина зразка змінюється втричі;
- б) максимальне механічне напруження, яке витримує зразок;
- в) числово дорівнює межі міцності;
- г) механічне напруження зразка при відносній деформації, рівній одиниці;
- д) числово дорівнює межі пружності.

5. На типовій кривій деформації знайдіть вірні назви характерних областей і точок:

а – механічне напруження; б – межа міцності; с – межа пружності; д – зона пропорційності; е – зона пластичних деформацій; ф – зона зміцнення матеріалу; г – відносна деформація; h – зона руйнування.



- а) 1 – а; 2 – г; 3 – ф; 4 – д;  
5 – е; 6 – h; 7 – с; 8 – б;
- б) 1 – с; 2 – б; 3 – h; 4 – е;  
5 – д; 6 – ф; 7 – а; 8 – г;
- в) 1 – г; 2 – а; 3 – д; 4 – е;  
5 – с; 6 – ф; 7 – б; 8 – h;
- г) 1 – а; 2 – г; 3 – д; 4 – е;  
5 – ф; 6 – h; 7 – с; 8 – б;
- д) 1 – б; 2 – а; 3 – с; 4 – д;  
5 – г; 6 – е; 7 – h; 8 – ф.

6. Релаксація напруження спостерігається при наступних умовах:

- а) навантаження стало, а відносна деформація змінюється з плином часу;
- б) відносна деформація стала, а напруження з плином часу спадає;
- в) при зміні напруження змінюється відносна деформація;
- г) деформація експоненціально спадає з часом;
- д) під дією постійного навантаження розміри зразка не змінюються.

7. Виберіть відповідь, яка містить вірні властивості сили пружності:

Сила пружності:

- 1) має електромагнітну природу;
- 2 – має гравітаційну природу;
- 3) – напрямлена проти результуючої дії зовнішніх сил;
- 4 – напрямлена перпендикулярно площі поперечного перерізу тіла;
- 5 – напрямлена протилежно деформації тіла;
- 6 – напрямлена по дотичній до площі поперечного перерізу тіла.
- 7 – обернено пропорційна величині абсолютної деформації тіла;
- 8 – прямо пропорційна величині абсолютної деформації тіла.

а) 1, 3, 4, 5, 8; б) 2, 3, 4, 5, 7; в) 2, 3, 5, 7; г) 1, 4, 6, 8; д) 3, 4, 5, 7.

8. Поняття “повзучість” означає:

- а) наявність великої залишкової деформації після зняття механічної напруги;
- б) повільне збільшення видовження тіла при постійній механічній напрузі;
- в) повільне зменшення абсолютної деформації при постійній механічній напрузі;
- г) перевага пластичних властивостей речовини тіла над пружними властивостями.
- д) збільшення залишкової деформації при зменшенні площі поперечного перерізу зразка.

9. Модель Фойгта складається з...

- а) пружного та в'язкого елементів, з'єднаних паралельно;
- б) пружного та в'язкого елементів, з'єднаних послідовно;
- в) декількох в'язких елементів, з'єднаних послідовно;
- г) декількох пружних елементів, з'єднаних послідовно;
- д) декількох в'язких елементів, з'єднаних паралельно.

10. Механічні властивості судин описуються...

- а) формулою Пуазейля;
- б) рівнянням Ньютона;
- в) законом Стокса;
- г) рівнянням Ламе;
- д) законом Вебера-Фехнера.

*Таблиця відповідей на тестові завдання*

<b>№ гесту</b>	<b>а</b>	<b>б</b>	<b>в</b>	<b>г</b>	<b>д</b>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

2.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Характеристика деформації	Одиниця вимірювання
1) сила пружності $F$	а) м
2) відносне видовження $\epsilon$	б) Н·м
3) механічне напруження $\sigma$	в) безрозмірна величина
4) коефіцієнт жорсткості $c$	г) Н
5) лінійне видовження $\Delta l$	д) Н/м <sup>2</sup>
	е) Н/м

1)	
2)	
3)	
4)	
5)	

2.

Характеристика деформації	Визначення
1) межа міцності $\sigma_B$	а) максимальне напруження, при якому виконується закон Гука
2) межа плинності $\sigma_{0.2}$	б) напруження, що відповідає найбільшому навантаженню, яке витримує тіло перед руйнуванням
3) межа пропорційності $\sigma_p$	в) напруження, при якому деформація пружна
4) межа пружності $\sigma_{el}$	г) напруження, починаючи з якого деформація збільшується без збільшення напруження
	д) максимальне напруження, при якому ще спостерігаються пружні властивості

1)	
2)	
3)	
4)	

3. Формула, що описує закон Гука, має вигляд  $\sigma = E\varepsilon$ , де...

1) $\sigma$	а) механічна енергія
2) $E$	б) механічне напруження
3) $\varepsilon$	в) модуль пружності
	г) відносне видовження

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

4. ... залежить від...

1) модуль Юнга	а) природи матеріалу, площі перерізу та початкової довжини зразка
2) коефіцієнт пружності	б) тільки від площі перерізу та початкової довжини зразка
	в) природи матеріалу

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>

5. В'язкопружна деформація моделюється системою, що складається з... і називається...

1) поршня та пружини, з'єднаних послідовно	а) модель Фойгта
2) поршня та пружини, з'єднаних паралельно	б) модель Томсона
	в) модель Максвелла

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>

6.

Характеристика деформації	Визначення
1) механічне напруження	а) дорівнює відношенню абсолютної деформації до початкового розміру тіла
2) відносне видовження	б) дорівнює відношенню відносної зміни поперечного розміру до відносної зміни поздовжнього розміру тіла

3) коефіцієнт Пуассона $\nu$	в) дорівнює різниці початкового і кінцевого розмірів тіла
4) лінійне видовження $\epsilon$	г) визначається модулем сили пружності, що діє на одиницю площі поперечного перерізу тіла
	д) визначається механічним напруженням, при якому розміри тіла змінюються вдвічі

1)	
2)	
3)	
4)	

7.

Характеристика	Визначення
1) пружна деформація $\epsilon$	а) деформація, яка спостерігається після зняття дії зовнішньої сили
2) пластична деформація $\epsilon_p$	б) деформація, при якій тіло не відновлює своїх розмірів після зняття дії зовнішньої сили
3) заліпкова деформація $\epsilon_c$	в) деформація, при якій плоскі шари тіла зміщуються паралельно один одному
	г) деформація, яка повністю зникає після припинення дії зовнішньої сили

1)	
2)	
3)	

8. Релаксація напруження відбувається за законом -  $\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \text{ де...}$$

*тут ми бачимо, що це експоненціальний спад напруження з часом.*

1) $\sigma(t)$ $\sigma$	а) постійна часу релаксації
2) $\sigma_0$ $\sigma$	б) початкове механічне напруження
3) $t$ $t$	в) модуль пружності
4) $\alpha$ $\alpha$	г) час, протягом якого відбувається процес релаксації
	д) механічне напруження в момент часу $t$

1)	
2)	
3)	
4)	

9. Згідно до моделі...при постійно діючій силі відбувається...

1) Максвела $\delta$	а) зростання деформації з часом пропорційно дії сили
2) Фойгта $\sigma$	б) експоненціальний закон релаксації напруження
	в) пружна стрибкоподібна деформація

1)	
2)	

10. Порядок величини модуля Юнга для... дорівнює...

1) кістка	а) $10^{11}$ Па
2) колаген	б) 0,1 - 0,6 МПа
3) еластин	в) $10^9$ Па
	г) 10 - 100 МПа

1)	
2)	
3)	

### 3. ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ РІДИН

#### 3.1. Основні закони та формули

- Поверхневий натяг характеризує вільну енергію одиниці площі поверхні

$$dF = \sigma dS.$$

- Коефіцієнт поверхневого цитягу

$$\sigma = \frac{F_{\text{п}}}{l}, \quad \sigma = \frac{\Delta W}{\Delta S};$$

- Методи вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу:

метод відриву краплі  $\sigma = \frac{mg}{2\pi r};$  > —

метод відриву кільця (пластини)  $\sigma = \frac{F_{\text{п}}}{\pi(d_1 - d_2)},$  ( $\sigma = \frac{F}{2l}$ );

метод визначення  $\sigma$  по висоті підйому рідини в циліндричному капілярі

$$\sigma = \frac{h\rho gr}{2}.$$

- Додатковий тиск (формула Лапласа)

$$\Delta p = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

$R_{1,2}$  – радіуси кривизни двох взаємно перпендикулярних перетинів поверхонь рідини.

- Додатковий тиск над сферичною поверхнею (крайовий кут  $\theta = 0^\circ; 180^\circ$ )

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R};$$

для опуклої поверхні  $R > 0$ , для увігнутої  $R < 0$ ;

$R = r$ ,  $r$  – радіус капіляра.

- Формула Лапласа (крайовий кут  $\theta \neq 0^\circ; 180^\circ$ )

$$\Delta p = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}; \quad \left( R = \frac{r}{\cos \theta} \right).$$

- Температурна залежність  $\sigma$  (емпіричні формули):

формула Етвеша

$$\sigma = \frac{2,12}{V^{2/3}} (T_c - T - 6),$$

де  $V$  – молярний об'єм,  $T_c$  – критична температура речовини;

формула Гугенгейма

$$\sigma = \sigma_0 \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^n,$$

де  $n \approx 1,2$ ;  $\sigma \approx 4,4 \frac{T_c}{V^{2/3}}$ .



### 3.2. Задачі для самостійного розв'язку

*Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.*

1. При опусканні двох капілярних трубок у воду, в них встановилася різниця рівнів 2,6 см. При опусканні їх в спирт, встановилася різниця рівнів 1 см. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу спирту, якщо коефіцієнт поверхневого натягу воді дорівнює  $0,073 \text{ Н/м}$ , а густина спирту  $0,8 \text{ г/см}^3$ . Змочування вважати повним.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

*Відповідь:* \_\_\_\_\_

2. В посудину об'ємом  $6 \text{ см}^3$  падають краплі води з трубки, що має внутрішній діаметр 1мм. Скільки крапель потрібно, щоб заповнити посудину? Температура води  $20^\circ\text{C}$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

*Відповідь:* \_\_\_\_\_

3. Горизонтальне кільце масою 2 г з зовнішнім радіусом 5 см та внутрішнім радіусом 4,5 см торкається поверхні води. Яку силу потрібно прикласти до нього, щоб відірвати від води? Температура  $20^{\circ}\text{C}$ , вода змочує кільце.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

4. Довга горизонтальна трубка радіуса 1 мм відкрита з обох кінців і заповнена водою. Трубку ставлять вертикально. Визначити висоту стовпа води, що залишився в капілярі. Товщиною стінки капіляра можна знехтувати.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

5. П'ятдесят однакових крапель ртуті, що мають радіус 0,3 мм, злились в одну велику краплю. Як при цьому змінилася температура ртуті?

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

6. Визначити тиск повітря всередині мильної бульбашки радіусом  $10^{-2}$  мм при температурі  $27^{\circ}\text{C}$ . Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину  $0,04$  Н/м, атмосферний тиск нормальний.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

7. Всередину скляного капіляру діаметром  $2$  мм вставлений симетрично скляний стержень діаметром  $1,5$  мм. Капіляр зі стержнем опущений у воду. На яку висоту піднімається вода в зазорі? Змочування повне.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

8. Трубка з внутрішнім діаметром  $1$  мм опущена у ртуть на глибину  $5$  мм. Знайти крайовий кут.

---

---

---

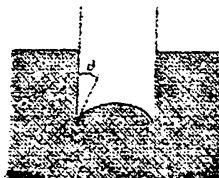
---

---

---

---

---



**Відповідь:** \_\_\_\_\_

9. Дві вертикальні пластини занурені частково у воду. Відстань між пластинами  $0,5$  мм, ширина пластин  $10$  см. Вважаючи змочування повним, знайти, на яку висоту піднімається вода між пластинами і з якою силою пластини притискаються одна до одної.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

10. При плавленні вертикально підвішеної свинцевої дротини діаметром  $1$  мм утворилося  $20$  крапель свинцю. На скільки при цьому покоротшала дротина? Коефіцієнт поверхневого натягу рідкого свинцю  $0,47$  Н/м.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

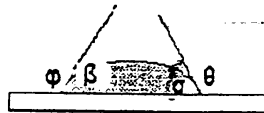
---

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

### 3.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань знайдіть одну вірну відповідь і позначте її хрестиком в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

1. Якщо в рідину додати поверхнево активну речовину, яка зменшує поверхневий натяг на 40%, і в два рази зменшити радіус капіляра, то висота підйому рідини в капілярі:
  - а) не зміниться;
  - б) збільшиться у 3,3 рази;
  - в) зменшиться у 3,3 рази;
  - г) зменшиться у 1,2 рази;
  - д) збільшиться у 1,2 рази.
2. Додатковий тиск, який створюється меніском рідини:
  - а) не залежить від густини рідини;
  - б) пропорційний густині рідини;
  - в) обернено пропорційний густині рідини;
  - г) пропорційний квадрату густини рідини;
  - д) обернено пропорційний квадрату густини рідини.
3. Поверхнево-активними називаються речовини, які...
  - а) збільшують в'язкість рідин;
  - б) збільшують поверхневий натяг рідин;
  - в) зменшують в'язкість рідин;
  - г) зменшують поверхневий натяг рідин;
  - д) збільшують вільну поверхню рідини.
4. Який кут на малюнку є крайовим?
  - а)  $\varphi$ ;
  - б)  $\beta$ ;
  - в)  $\varphi + \beta$ ;
  - г)  $\sigma$ ;
  - д)  $\theta$ .



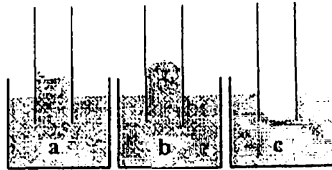
5. Який кут на малюнку є крайовим?

- а)  $\varphi$ ;
- б)  $\theta$ ;
- в)  $\varphi + \theta$ ;
- г)  $\beta$ ;
- д)  $\pi - \beta$ .



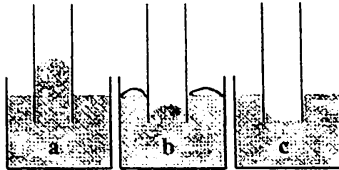
6. На якому малюнку приведений правильний меніск рідини?

- а) а, с;
- б) b, c;
- в) а;
- г) b;
- д) с.



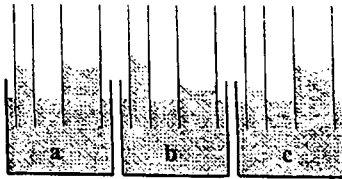
7. На якому малюнку приведений правильний меніск рідини?

- а) а, с;
- б) b, c;
- в) а;
- г) b;
- д) с.



8. На якому малюнку приведені вірні положення менісків рідин у двох скляних капілярах?

- а) немає вірної відповіді;
- б) а, с;
- в) а;
- г) b;
- д) с.



9. Знайдіть вірні відповіді:

Увага!

- 1) змочування  
2) повне змочування  
3) незмочування  
4) повне незмочування

- а) 1-а, 2-б, 3-с, 4-д;  
б) 1-д, 2-б, 3-с, 4-а;  
в) 1-с, 2-б, 3-д, 4-а;  
г) 1-б, 2-с, 3-а, 4-д;  
д) 1-с, 2-а, 3-д, 4-б.

Крайовий кут

- а)  $0^\circ$   
б)  $180^\circ$   
в) від  $0^\circ$  до  $90^\circ$   
д) від  $90^\circ$  до  $180^\circ$

10. У горизонтальному скляному капілярі зі змінним перерізом спочатку помістили крапельку води (рис.1), а потім крапельку ртуті (рис.2). Куди буде рухатись крапелька води та ртуті?

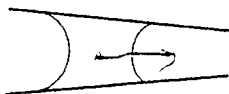


Рис.1

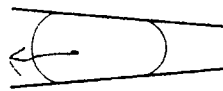


Рис.2

- а) вода - зліва направо, ртуть - зправа наліво;  
б) вода - зправа наліво, ртуть - зліва направо;  
в) вода - зліва направо, ртуть - зліва направо;  
г) вода - зправа наліво, ртуть - зправа наліво;  
д) вода - зправа наліво, ртуть - рухатись не буде.

Таблиця відповідей на тестові завдання

№ гесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

3.4. Установити відповідності і записати відповідні літери поруч

1. Висота підйому рідини в капілярі, що має в перерізі... дорівнює...

1) коло радіуса $a$	а) $h = \frac{4\sqrt{3}a}{\rho g a}$
2) рівнобічний трикутник стороною $a$	б) $h = \frac{3a}{\rho g a}$
	в) $h = \frac{2a}{\rho g a}$

1)	
2)	

2. Висота підйому рідини в капілярі, що має в перерізі... дорівнює...

1) прямокутник зі сторонами $a$ та $2a$	а) $h = \frac{4a}{\sqrt{3}\rho g a}$
2) шестикутник зі стороною $a$	б) $h = \frac{3a}{\rho g a}$
	в) $h = \frac{4a}{\rho g a}$

1)	
2)	

3. Якщо радіус піпетки дорівнює 0,3 мм, то маса однієї краплі... приблизно дорівнює...

1) води	а) 10,9 мг
2) олії	б) 13,8 мг
3) спирту	в) 96 мг
4) крові	г) 6,9 мг
	д) 4,1 мг

1)	
2)	
3)	
4)	



4. При... косинус кривого кута...

1) змочуванні	а) дорівнює мінус одиниці
2) повному змочуванні	б) від'ємний
3) незмочуванні	в) дорівнює нулю
4) повному незмочуванні	г) додатний
	д) дорівнює одиниці

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

5.

1) якщо сили взаємодії між молекулами рідина більше ніж між молекулами рідина і твердого тіла	а) то рідина змочує поверхню твердого тіла
2) якщо сили взаємодії між молекулами рідина менше ніж між молекулами рідина і твердого тіла	б) то рідина розтікається по поверхні твердого тіла
	в) то рідина не змочує поверхню твердого тіла

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>

6.

Явище	Пояснення
1) турбулентність плину рідини	а) вологість повітря
2) існування точки роси	б) механічні коливання, звук
3) реверсрація	в) поверхневий натяг
4) газова емболія	г) пружні властивості біологічних тканин
	д) в'язкість, внутрішнє тертя

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

7.

Причина	Наслідок
1) при зменшенні температури	а) додатковий тиск під сферичною поверхнею збільшується
2) при додаванні в рідину поверхнево-активних речовин	б) додатковий тиск під сферичною поверхнею не змінюється
3) при збільшенні радіуса капіляра	в) коефіцієнт поверхневого натягу зменшується
4) при зменшенні радіуса капіляра	г) коефіцієнт поверхневого натягу зростає
	д) коефіцієнт поверхневого натягу не змінюється

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

8. Для сферичної поверхні додатковий тиск Лапласа визначається

$$\Delta p = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \text{ де...}$$

1) $\sigma$	а) радіус сферичної поверхні
2) $\theta$	б) радіус капіляра
3) $r$	в) крайовий кут
	г) коефіцієнт поверхневого натягу

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

9. Формула.... яка визначає...

1) $\rho gh$	а) силу в'язкого тертя
2) $\frac{2\sigma}{R}$	б) виштовхувальну силу
3) $\sigma l$	в) гідростатичний тиск
4) $\rho gV$	г) тиск Лапласа
	д) силу поверхневого натягу

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>
4)	<input type="checkbox"/>

10.

Характеристика	Одиниці вимірювання в системі СІ
1) сила натягу	а) Н/м
2) крайовий кут	б) Н/м
3) коефіцієнт натягу	в) Н
4) тиск Лапласа	г) град
	д) рад

1)	
2)	
3)	
4)	

## 4. ГЕМОДИНАМІКА. В'ЯЗКІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ РІДИН.

### 4.1. Основні закони та формули

- Рівняння нерозривності струменя

$$\rho v S = \text{const}$$

- Рівняння Бернуллі

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const}$$

- Рівняння Ньютона

$$F_{\text{вп}} = \eta \frac{dv}{dz} S.$$

- Закон Стокса

$$F_{\text{ст}} = 6\pi\eta r v$$

- Об'ємна швидкість

$$Q = \frac{dV}{dt} = vS.$$

- Формула Гагена-Пуазейля

$$Q = \frac{\pi R^4 \rho_1 - \rho_2}{8\eta l}$$

- Гідрравлічний опір

$$W = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$$

- Число Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho l v}{\eta}$$

- Відносна в'язкість

$$\eta_{\text{відн}} = \frac{\eta}{\eta_0}$$

- Кінематична в'язкість

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

- Показник гематокриту

$$He = \frac{v_0}{\nu_{\text{кр}}}$$

4.2. Задчі для самостійного розв'язку

2

$$\frac{5}{4} \text{ м}$$

с. Для кожної з 10 наступних задач записати скорочену умову, розв'язок та відповідь.

1. Знайти об'ємну швидкість кровотоку в арті, якщо лінійна швидкість крові в ній складає 0,5 м/с. Діаметр арті вижати рівним 2 см.

$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi d^2}{4}$

$v = 0,5 \text{ м/с}$

$d = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$

$Q = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot (0,02)^2}{4} = 0,000157 \text{ м}^3/\text{с}$

Відповідь: \_\_\_\_\_

2. Рідина протікає по тонкій трубці діаметром 1,8 мм. Довжина трубки 5,5 см. Якою повинна бути різниця тисків на кінцях трубки для підтримки потоку рідини на рівні 5,6 мл/хв? В'язкість рідини дорівнює 0,2 Па·с.

$Q = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$

$l = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$

$\Delta p = ?$

$\eta = 0,2 \text{ Па} \cdot \text{с}$

$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta l}$

$\Delta p = \frac{8 \eta l Q}{\pi r^4} = 0,93 \text{ Па}$

Відповідь: \_\_\_\_\_

3. Часи протікання однакових об'ємів сталеної і досліджуваної рідини у вискозиметрі Освальда дорівнюють відповідно 12 хв. та 30 хв. Кінематична в'язкість сталеної рідини дорівнює  $116^4$  м<sup>2</sup>/с, а густина досліджуваної рідини  $= 2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Чому дорівнює коефіцієнт в'язкості досліджуваної рідини?

*[Handwritten scribbles and faint lines on the page]*

Відповідь: \_\_\_\_\_

4. Для повітря, в якому присутні завислі частинки пилу, в'язкість дорівнює  $1,75 \cdot 10^{-3}$  Па·с. Густина речовини пилу становить  $2,5$  г/см<sup>3</sup>. Вважаючи пилінку кулькою радіусом  $5$  мкм, знайдіть швидкість падіння пилинок при умові повної нерухомості повітря. Густину повітря прийняти рівною  $1,29$  кг/м<sup>3</sup>.

*[Handwritten scribbles and faint lines on the page]*

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. Радіус аорти дорівнює 1,0 см. Кров рухається в аорті зі швидкістю 30 см/с. Знайти швидкість крові в капілярах, якщо відомо, що сумарна площа перерізу капілярів складає 2000 см<sup>2</sup>. Врахувати, що потік рідини через різні перерізи для нестисливої рідини однаковий.

$$\frac{S_1 v_1}{1} = \frac{S_2 v_2}{2}$$

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

6. Визначте характер руху крові в артерії, прийнявши її густину рівною 10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт в'язкості - 5·10<sup>-3</sup> Па·с, швидкість крові - 0,5 м/с, діаметр артерії - 8 мм.

$$\nu = \frac{v \cdot d}{2}$$

**Відповідь:** \_\_\_\_\_

7. В широкій посудині з гліцерином густиною 1,2 г/см<sup>3</sup> падає зі швидкістю 5 см/с скляна кулька діаметром 1 мм. Густина скла 2,7 г/см<sup>3</sup>. Знайти коефіцієнт в'язкості гліцерину.

$$\nu = \frac{v \cdot d}{2}$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. При атеросклерозі число Рейнольдса в деяких судинах становить 1160. Знайдіть швидкість, при якій можливий перехід ламінарного кровотоку в турбулентний в судині діаметром 2,5 мм. Густина крові дорівнює  $1050 \text{ кг/м}^3$ , в'язкість крові -  $5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

$$\text{Re} = \frac{\rho V r}{\eta}$$
$$V = \frac{\eta \text{Re}}{\rho r}$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

9. При ін'єкції виникає необхідність швидкого введення ліків. В якому випадку процедура пройде швидше: а) при збільшенні тиску в 2 рази; б) при збільшенні діаметра голки в 2 рази (довжина голки стала)?

Відповідь: \_\_\_\_\_



10. Знайти максимальну кількість крові, що може протікати через аорту за 10с, для того, щоб течія залишилася ламінарною. Діаметр аорти 1,5 см, критичне число Рейнольдса для аорти  $4 \cdot 10^3$ .

$$R = \frac{\rho v d}{\eta}$$

$$v = \dots$$

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

$$Q = \dots$$

$$R = \frac{\rho v d}{\eta}$$

$$Q = \dots$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

### 4.3. Тестові завдання

*Для кожного з наступних 10 тестових завдань знайдіть одну вірну відповідь і позначте її хрестиком в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).*

1. При визначенні в'язкості методом Стокса рух кульки в рідині повинен бути...
  - а) рівноприскореним;
  - б) рівносповільненим;
  - в) вільним падінням;
  - г) рівномірним;
  - д) довільним.
  
2. Сили в'язкого тертя, що виникають при відносному русі шарів рідини, направлені...
  - а) перпендикулярно шарам рідини вгору;
  - б) перпендикулярно шарам рідини вниз;
  - в) по дотичній до шарів рідини в напрямку руху рідини;
  - г) під кутом до шарів рідини;
  - д) по дотичній до шарів рідини в напрямку протилежному руху рідини.
  
3. Ньютонівськими називаються рідини, у яких...
  - а) плин ламінарний;
  - б) плин турбулентний;
  - в) в'язкість не залежить від тиску;
  - г) в'язкість не залежить від температури.
  - д) в'язкість не залежить від градієнта швидкості.
  
4. Вимірювання коефіцієнта в'язкого тертя рідини методом капілярного віскозиметра проводять при умові...
  - а) рівності об'ємів еталонної та досліджуваної рідини;
  - б) рівності мас еталонної та досліджуваної рідини;
  - в) рівності об'ємних швидкостей еталонної та досліджуваної рідини;
  - г) рівності часу протікання еталонної та досліджуваної рідини;
  - д) рівності лінійних швидкостей протікання еталонної та досліджуваної рідини.

5. Градієнтом швидкості називається зміна швидкості відносно...
- а) часу;
  - б) довжини в напрямку руху рідини;
  - в) температури;
  - г) довжини в напрямку перпендикулярно руху рідини;
  - д) тиску.

6. В формулі Пуазейля вкажіть сукупність параметрів (в квадратних дужках), від яких залежить гідрравлічний опір судин:

а)  $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \cdot [P_1 - P_2]$ ;    б)  $Q = \left[ \frac{\pi R^4}{8\eta l} \right] \cdot (P_1 - P_2)$ ;    в)  $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \cdot [P_1 - P_2]$

г)  $Q = \left[ \frac{\pi R^4}{8\eta l} \right] \cdot \frac{P_1 - P_2}{l}$ ;    д)  $Q = \frac{\pi \left[ \frac{R^4}{\eta l} \right]}{8} \cdot (P_1 - P_2)$ .

7. Характер руху рідини в трубці визначається...

- а) рівнянням Ньютона;
- б) формулою Пуазейля;
- в) числом Рейнольдса;
- г) законом Стокса;
- д) показником гематокриту.

8. Об'єм рідини, що протікає по трубці за 1с:

- а) пропорційний гідрравлічному опору трубки і обернено пропорційний різниці тисків на її кінцях;
- б) пропорційний різниці тисків на кінцях трубки і обернено пропорційний гідрравлічному опору;
- в) не залежить від гідрравлічного опору;
- г) пропорційний гідрравлічному опору та пропорційний різниці тисків на кінцях трубки;
- д) не залежить від різниці тисків на кінцях трубки.

9. Якщо число Рейнольдса перевищує критичне значення, то...

- а) рідина стає неньютонівською;
- б) рідина стає ідеальною;
- в) рідина стає ньютонівською;
- г) плин рідини стає турбулентним;
- д) плин рідини стає ламінарним.

10. Фізичною основою вимірювання діастолічного артеріального тиску методом Короткова є...

- а) зменшення гідравлічного опору плечової артерії;
- б) збільшення гідравлічного опору плечової артерії;
- в) перехід від турбулентного плину крові до ламінарного;
- г) зменшення статичного тиску в плечовій артерії;
- д) збільшення статичного тиску в плечовій артерії.

*Таблиця відповідей на тестові завдання*

№ тесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

4.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Вид рідини	Характерні ознаки
1) ідеальна рідина $\zeta$ )	а) плин описується рівнянням Ньютона
2) ньютонівська рідина $\lambda$ )	б) в'язкість залежить від градієнта швидкості
3) неньютонівська рідина $\delta$ )	в) в'язкість не залежить від градієнта швидкості
4) нестислива рідина $\theta$ )	г) нестислива рідина, в якій відсутні сили внутрішнього тертя

1)	
2)	
3)	

2. Рівняння Гагена-Пуазейля має вигляд  $Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta l}$ , де...

1) $R$	а) коефіцієнт в'язкості
2) $\Delta P$	б) радіус
3) $\eta$	в) число Рейнольдса
4) $l$	г) різниця тисків
	д) довжина

1)	
2)	
3)	
4)	

3.

Характеристика	Одиниці вимірювання
1) коефіцієнт в'язкості	а) безрозмірна величина $M^{-1}$
2) кінематична в'язкість	б) м/с
3) об'ємна швидкість	в) м <sup>3</sup> /с $\zeta$ )
4) число Рейнольдса	г) м <sup>3</sup> /с $\theta$ )
	д) Па·с $\lambda$ )

1)	
2)	
3)	
4)	

4. При падінні кульки у в'язкій рідині на неї діють сили...

1) сила тяжіння $\zeta$	а) $F = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_p g$
2) сила опору $\zeta$	б) $F = 2\pi R\sigma$
3) виштовхуючи сила $\zeta$	в) $F = 6\pi\eta Rv$
	г) $F = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_k g$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

5. Вкажіть аналогію між величинами, що входять в закон Ома та закон Пуазейля

1) різниця потенціалів $\zeta$	а) гідравлічний опір
2) сила струму $\zeta$	б) лінійна швидкість
3) електричний опір $\zeta$	в) різниця тисків на кінцях трубки
	г) об'єм рідини, що протікає через поперечний переріз трубки за 1с

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

6. Загальний гідравлічний опір... дорівнює...

1) двох послідовно з'єднаних трубок	а) $W = 1/W_1 + 1/W_2$
2) двох паралельно з'єднаних трубок	б) $W = (1/W_1 + 1/W_2)^{-1}$
	в) $W = W_1 + W_2$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>

7. В'язкість крові... дорівнює...

1) в нормі $\zeta$	а) $> 10 \text{ Па}\cdot\text{с}$
2) при анемії $\zeta$	б) $(6,2 \div 10,0) \text{ Па}\cdot\text{с}$
3) при поліцитимії $\zeta$	в) $< 2 \text{ Па}\cdot\text{с}$
	г) $(4,2 \div 6,0) \text{ Па}\cdot\text{с}$

1)	<input type="checkbox"/>
2)	<input type="checkbox"/>
3)	<input type="checkbox"/>

8.

Закони та закономірності	Формули
1) закон збереження механічної енергії	а) $F = \eta \frac{dv}{dx} \cdot S$
2) умова нерозривності струменя	б) $\rho \cdot s \cdot v = const$
3) рівняння Бернуллі	в) $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{dP}{dl}$
4) рівняння для об'ємної швидкості рідини	г) $P + \rho gh + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = const$
5) рівняння Ньютона для внутрішнього тертя	а) $F = 6\pi\eta Rv$
	с) $\frac{mv^2}{2} + mgh + P\Delta l = const$

1)	
2)	
3)	
4)	
5)	

9. Формула Ньютона визначає силу в'язкого тертя і записується

$$F_{\text{т}} = \eta \frac{dv}{dx} S, \text{ де...}$$

1) $\eta$	а) площа поперечного перерізу судини
2) $\frac{dv}{dx}$	б) коефіцієнт в'язкості
3) $S$	в) градієнт швидкості
	г) площа бічних поверхонь, вздовж яких стикаються шари рідини

1)	
2)	
3)	

10.

Характеристика	Твердження
1) гідравлічний опір $\lambda$	а) є критерієм подібності; при моделюванні криволінійної системи відповідність моделі та натурі спостерігається тоді, коли число Рейнольдса для них однакове
2) число Рейнольдса $Re$	б) є змінною... віднесеною до довжини в напрямку перпендикулярному...
3) формула Пуазейля $\eta$	в) визначає залежність в'язкості рідини від температури
4) градієнт швидкості $\delta$	г) визначає профіль швидкості ньютонівської рідини в циліндричній трубці
	д) тим менше, чим менше в'язкість рідини, довжина трубки і більша площа її поперечного перерізу

1)	
2)	
3)	
4)	



## 5. БІОЛОГІЧНІ МЕМБРАНИ

### 5.1. Основні закони та формули

- Рівняння Фіка

$$\Phi = -D \frac{dc}{dx}$$

$$\Phi = P(C_e - C_i)$$

- Коефіцієнт проникності мембрани

$$P = \frac{D}{L} K$$

- Коефіцієнт розподілу речовини

$$K = \frac{C_{me}}{C_e} = \frac{C_{in}}{C_i}$$

- Рівняння Нернста-Планка

$$\bar{\Phi} = -D \frac{dc}{dx} + bc \frac{d\phi}{dx}$$

- Співвідношення Ейнштейна для рухливості іонів

$$b = \frac{DFz}{RT}$$

- Електрохімічний потенціал

$$\bar{\mu} = \mu_0 + RT \ln c + zF\phi$$

- Рівняння Теорелла

$$\bar{\Phi} = -\frac{Dc}{RT} \frac{d\bar{\mu}}{dx}$$

- Рівноважний концентраційний потенціал Нернста

$$\phi_e - \phi_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i}{c_e}$$

- Мембранний потенціал Нернста для іонів калію

$$\phi_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_e}$$

- Дифузійний мембранний потенціал

$$\phi_e - \phi_i = \frac{b_+ - b_- RT}{b_+ + b_- zF} \ln \frac{c_i}{c_e}$$

- Потенціал Доннана

$$\phi_e - \phi_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[P^-]_i}{2c_e}$$

- Стационарний потенціал Гольдмана Ходжкіна Катца

$$\varphi_m - \varphi_l = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} [Na^+]_l + P_K [K^+]_l + P_{Cl} [Cl^-]_l}{P_{Na} [Na^+]_e + P_K [K^+]_e + P_{Cl} [Cl^-]_e}$$

- Відношення коефіцієнтів проницності неорганічних іонів для аксону кальмара

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45 \text{ (в спокої);}$$

$$P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45 \text{ (в процесі деполяризації).}$$

- Рівняння Ходжкіна-Хакслі для потенціалу дії

$$\frac{r}{2\rho_a} \frac{d^2 \Delta\varphi}{dx^2} = C \frac{d\Delta\varphi}{dt} + g_K n^4 (\Delta\varphi - \Delta\varphi_K^{pivn}) + g_{Na} m^3 h (\Delta\varphi - \Delta\varphi_{Na}^{pivn}) + g_{vldt} (\Delta\varphi - \Delta\varphi_{vldt}^{pivn})$$

$\rho = \frac{1}{4} r^2 h^2$  - коефіцієнт дифузії

5.2. Задачі для самостійного розв'язку

Для кожної з 10 наступних задач запишіть скорочену умову, розв'язок та відповідь.

1. Знайти товщину ліпідної частини мембрани якщо відомо, що питома електроємність  $\left(\frac{C}{S}\right)$  у мембрані дорівнює  $0,5 \cdot 10^{-2}$  Ф/м<sup>2</sup>. Діелектрична проникність бішару дорівнює 4.

*Дано:*

$$\frac{C}{S} = 0,5 \cdot 10^{-2} \frac{F}{m^2}$$

$$\epsilon = 4$$

$$d = ?$$

*Відповідь:*

2. Стационарна різниця потенціалів складає 58 мВ при температурі 20°C. Чому вона стане рівною, якщо температуру збільшити на 15 К?

*Відповідь:*

3. Відношення концентрацій іонів калію по різні боки мембрани дорівнює 10, причому мембрана вибірково проникна для калію. При цьому виникає різниця потенціалів 60 мВ. Чому дорівнюватиме різниця потенціалів, якщо замінити іони калію іонами кальцію в тих самих концентраціях і зробити мембрану вибірково проникною для кальцію?

$$\Delta \varphi = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

$$60 \text{ мВ} = \frac{RT}{zF} \ln 10$$

$$\Delta \varphi = \frac{RT}{zF} \ln 10$$

Відповідь: \_\_\_\_\_

4. Потенціал спокою нерву кінцівки краба дорівнює 89 мВ. Чому дорівнює концентрація іонів калію всередині нерву, якщо ззовні вона складає 12 ммоль/л? Температуру прийняти рівною 20°C. Вважати, що потенціал спокою визначається лише іонами калію.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Відповідь: \_\_\_\_\_

5. Знайдіть рівноважний концентраційний мембранний потенціал при фізіологічних температурах, якщо відношення концентрацій натрію ззовні і всередині клітини: а) 1:1; б) 10:1; в) 100:1.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Відповідь: \_\_\_\_\_

6. Концентрація іонів (ммоль/л) між двома сторонами мембрани в м'язі жаби має наступні значення: Na (120/9,2), K (2,5/140), Cl (120/3,4), де цифри відносяться до зовнішньої/внутрішньої сторін мембрани. Визначити різницю потенціалів на мембрані у випадку пасивного транспорту кожного типу іонів. Температура 27°C. Вважати, що проникності іонів у спокої відносяться як  $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,5$ .

Відповідь: \_\_\_\_\_

7. Концентрація калію, натрію і хлору для гігантського аксона кальмара зовні мембрани складає відповідно 10,4; 463; 592 ммоль/л, а всередині 340; 49; 114 ммоль/л. 50% іонів калію всередині було замінено натрієм. Розрахуйте величину мембранного потенціалу спокою при температурі 25°C.

Відповідь: \_\_\_\_\_

8. Отримати рівняння Теорелла з рівняння Шернста-Планка.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

9. Узагальнити формулу для стаціонарного потенціалу при урахуванні активного транспорту іонів  $K^+$  та  $Na^+$  за рахунок роботи  $Na^+ - K^+ -$  АТФази.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

10. Навести основні положення (формули) теорії генерації і розповсюдження потенціалу дії, за яку Ходжкін і Хакслі отримали Нобелівську премію.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 5.3. Тестові завдання

Для кожного з наступних 10 тестових завдань знайдіть одну вірну відповідь і позначте її хрестиком в таблиці тестових відповідей (після тесту № 10).

1. Основу структури біологічних мембран складають:

- а) шар білків;
- б) вуглеводи;
- в)  бішар фосфоліпідів;
- г) амінокислоти;
- д) подвійна спіраль ДНК.

2. Дифузію незаряджених частинок через мембрану описує рівняння:

а)  $\Phi = -D \frac{dc}{dx} - bc \frac{d\varphi}{dx}$ ;

б)  $\Phi = -\frac{Dc}{RT} \frac{d\mu}{dx}$ ;

в)  $P = \frac{D}{L} K$ ;

г)  $\Phi = P(\bar{c}_e - c_i)$ ;

д)  $\Phi = -cb \frac{d\varphi}{dx}$ .

3. В'язкість ліпідного шару мембран при фізіологічній температурі приблизно дорівнює:

а)  $10^{-3}$  Па·с;

б)  $5 \cdot 10^{-3}$  Па·с;

в)   $10^{-2}$  Па·с;

г)  $5 \cdot 10^{-1}$  Па·с;

д) 1 Па·с.

4. Латеральною дифузією молекул в мембранах називається...

- а) обертальний рух молекул;
- б) перенос молекул поперек мембрани – з одного моно шару в інший;
- в) перенесення молекул вздовж площини мембрани;
- г) активний транспорт молекул через мембрану;
- д) пасивний транспорт молекул через мембрану.

5. Рівняння Нернста-Планка показує, що...

- а) потенціал спокою виникає в результаті активного транспорту;
- б) головна роль у виникненні потенціалу спокою належить іонам калію;
- в) мембрани мають вибірккову проникність;
- г) перенос іонів визначається нерівномірністю їх розподілу (градієнтом концентрації) і дією електричного поля (градієнтом потенціалу);
- д) коефіцієнт проникності речовин через мембрану визначається їх рухливістю.

6. Коефіцієнтом розподілу речовини називається...

- а) відношення концентрації катіонів всередині клітини і зовні;
- б) співвідношення концентрацій досліджуваної речовини в оточуючому клітину водному середовищі та в цитоплазмі;
- в) рівноважне співвідношення концентрацій досліджуваної речовини безпосередньо поблизу мембрани в об'ємі оточуючого клітину середовища;
- г) параметр, що характеризує швидкість проникнення речовин через мембрану;
- д) співвідношення концентрацій катіонів і аніонів всередині біологічної мембрани.

7. Активний транспорт іонів здійснюється за рахунок...

- а) енергії, яка виділяється при гідролізі АТФ;
- б) електродифузії іонів;
- в) латеральної дифузії молекул в мембрані;
- г) переносу іонів через мембрану за допомогою молекул-переносників;
- д) процесів дифузії через канали.

8. Вкажіть, при яких умовах пасивний транспорт катіонів через мембрану може відбуватися з розчину, де їх концентрація більше, в розчин з меншою концентрацією:

- а) при наявності в мембрані інтегральних білків;
- б) якщо мембрана має вибірккову проникність для катіонів;
- в) якщо в'язкість мембрани низька;
- г) при наявності градієнта температури;
- д) під дією градієнтів електричного потенціалу та концентрації.



9. Вкажіть, за яких умов при розв'язку диференціального рівняння  $\Phi = D \left( \frac{dc}{dx} + \frac{zFc}{RT} \frac{d\Phi}{dx} \right)$  (рівняння Нернста-Планка) можна отримати рівняння  $\varphi_c - \varphi_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_i}{c_c}$  (рівняння Нернста)?

- а) якщо  $D = 0$ ;
- б) якщо мембрана проникна лише для одного типу іонів і для цих іонів  $\Phi = 0$ ;
- в) якщо мембрана однаково проникна для катіонів і аніонів;
- г) якщо градієнт концентрації і градієнт потенціалу дорівнюють нулю;
- д) якщо градієнт концентрації дорівнює нулю.

10. Вихідна частина потенціалу дії обумовлена, головним чином, високою вибірковою проникністю для іонів...

- а) Na і K;
- б) Cl;
- в) K;
- г) K і Cl;
- д) Na.

Таблиця відповідей на тестові завдання

№ тесту	а	б	в	г	д
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

5.4. Установіть відповідності і заповніть таблиці логічних пар.

1.

Характеристика	Формула
1) потік речовини	а) $\frac{dc}{dx}$
2) коефіцієнт проникності	б) $\frac{DK}{L} (c_1 - c_2)$
3) градієнт концентрації	в) $\frac{d\phi}{dx}$
	г) $\frac{DK}{L}$

1)	
2)	
3)	

2. Співвідношення між ... визначається за формулою:

1) напруженість поля та градієнтом потенціалу	а) $j = \gamma E$
2) потоком та густиною потоку речовини	б) $b = \frac{DFz}{RT}$
3) рухливість та напруженість електричного поля	в) $j = \frac{\phi}{s}$
4) густиною струму та напруженість електричного поля	г) $b = \frac{v}{s}$
	д) $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$

1)	
2)	
3)	
4)	

3.

Величина	Одиниці вимірювання
1) коефіцієнт проникності	а) м/с
2) коефіцієнт дифузії	б) м <sup>2</sup> /В·с
3) рухливість	в) л/м·с
4) коефіцієнт розподілу речовини	г) м <sup>2</sup> /с
	д) безрозмірна величина

1)	
2)	
3)	
4)	

4.

1) проста відбувається	дифузія	а) за участю інтегральних білків
2) полегшена відбувається	дифузія	б) через ліпідний шар
3) дифузія відбувається	іонів при активному транспорті	в) за рахунок хімічної енергії
		г) за допомогою переносника

1)	в
2)	б
3)	в

5.

1) пасивний відбувається	транспорт	а) за участю іонофорів
2) активний відбувається	транспорт	б) при наявності зовнішнього електричного поля
3) полегшена відбувається	дифузія	в) за участю калій-натрієвого насосу
		г) без витрат енергії

1)	а
2)	б
3)	в

6.

1) величина спокою підпорядковується	потенціалу іонів	а) рівнянню Ходжкіна-Хакслі
2) дифузія підпорядковується	іонів	б) рівнянню Нернста-Планка
3) дифузія незаряджених частинок підпорядковується		в) рівнянню Гольдмана-Ходжкіна-Катца
4) розповсюдження потенціалу дії підпорядковується		г) рівнянню Ейнштейна
		д) рівнянню Фіка

1)	а
2)	б
3)	в
4)	г

7. Коефіцієнт проникності мембрани для аксона кальмара ... дорівнює:

1) в спокої	а) $P_{Cl}:P_{Na}:P_K = 20:0,45:1$
2) при деполяризації	б) $P_{Cl}:P_{Na}:P_K = 0,04:1:0,45$
	в) $P_{Cl}:P_{Na}:P_K = 0,04:0,45:1$

1)	
2)	

8. Рівняння Теорелла записується  $\Phi = -\frac{Dc d\mu}{RT dx}$ , де...

1) $\Phi$	а) дорівнює 8,31 Дж/моль·К
2) D	б) концентрація
3) R	в) опір
4) $\frac{d\mu}{dx}$	г) потік речовини
5) c	д) градієнт електрохімічного потенціалу
	е) коефіцієнт дифузії

1)	
2)	
3)	
4)	
5)	

9. Динамічними властивостями мембрани є...

1) сегментальна рухливість	а) стрибкоподібний послідовний обмін місцями молекул фосфоліпідів в площині мембрани
2) обертальна рухливість	б) перехід фосфоліпідів на інший бік бішару
3) латеральна рухливість	в) рух гідрофобних хвостів фосфоліпідів
4) перехід фліп-флоп	г) хаотичний тепловий рух фосфоліпідів
	д) рух фосфоліпідів навколо власної осі

1)	
2)	
3)	
4)	

10. Потік іонів при виникненні потенціалу дії відбувається...

1) I фаза деполіризації	а) іони K виходять назовні
2) II фаза реполіризації	б) іони K входять в середину клітини
	в) іони Na входять в середину клітини

1)	
2)	

## ДОДАТОК

### 1. Основні фізичні сталі

<i>Фізична стала</i>	<i>Позначення</i>	<i>Значення</i>
Нормальне прискорення вільного падіння	$g$	$9,81 \text{ м/с}^2$
Гравітаційна стала	$G$	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Стала Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Універсальна газова стала	$R$	$8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$
Стандартний об'єм*	$V_0$	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{моль}$
Стала Больцмана	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$
Стала Фарадея	$F$	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл} / \text{моль}$

\*молярний об'єм ідеального газу за нормальних умов

### 2. Густина твердих тіл

<i>Тверде тіло</i>	<i>Густина, кг/м<sup>3</sup></i>	<i>Тверде тіло</i>	<i>Густина, кг/м<sup>3</sup></i>
Алюміній	$2,70 \cdot 10^3$	Срібло	$10,3 \cdot 10^3$
Залізо	$7,88 \cdot 10^3$	Сталь	$7,8 \cdot 10^3$
Лід	$0,9 \cdot 10^3$	Хром	$7,2 \cdot 10^3$
Літій	$0,53 \cdot 10^3$	Дуб	$(0,7 - 1) \cdot 10^3$
Мідь	$8,93 \cdot 10^3$	Береза	$(0,6 - 0,8) \cdot 10^3$
Нікель	$8,90 \cdot 10^3$	Кісткова тканина	$(1,7 - 2) \cdot 10^3$
Залізо	$7,88 \cdot 10^3$	Суша шкіра	$0,86 \cdot 10^3$
Свинець	$11,3 \cdot 10^3$	Срібло	$10,3 \cdot 10^3$

### 3. Густина рідин

Рідина	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Рідина	Густина, кг/л <sup>3</sup>
Бензин	0.7 · 10 <sup>3</sup>	Ртуть	13.6 · 10 <sup>3</sup>
Вода (при 4 °С)	1.00 · 10 <sup>3</sup>	Сірковуглець	1.26 · 10 <sup>3</sup>
Гас	0.8 · 10 <sup>3</sup>	Спирт	0.80 · 10 <sup>3</sup>
Гліцерин	1.26 · 10 <sup>3</sup>	Олія	0,96 · 10 <sup>3</sup>
Нафта	0.8 · 10 <sup>3</sup>	Кров	1,05 · 10 <sup>3</sup>

### 4. Густина газів (за нормальних умов)

Газ	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Газ	Густина, кг/л <sup>3</sup>
Азот	1.25	Гелій	0.18
Водень	0.09	Кисень	1.43
Вуглекислий газ	1.98	Повітря	1.29

### 5. Теплові властивості речовин

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Температура плавлення, °С	Питома теплота плавлення, кДж/кг
<i>Тверді тіла</i>			
Алюміній	0.88	660	380
Лід	2.1	0	330
Мідь	0.38	1083	180
Олово	0.23	232	59
Сяєць	0.13	327	25
Срібло	0.23	960	87
Сталь	0.46	1400	82
<i>Рідини</i>			
Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Температура кипіння, °С	Питома теплота пароутворення, кДж/кг
Вода	4.19	100	2.3
Ртуть	0.12	357	0.29
Спирт	2.4	78	0.85

10. Множники та приставки для утворення десяткових кратних та дільних одиниць. їх назва

Гази		
Речовина	Питома теплоємність, кДжс/(кг·К)	Температура конденсації, °С
Азот	1.05	- 198
Водень	14.3	- 253
Повітря	1.01	-
Гелій	5.29	- 269
Кисень	0.913	- 183

6. Коефіцієнт поверхневого натягу, мН/м (при 20°С)

Вода	73	Молоко	46
Бензин	21	Нафта	30
Гас	24	Олія	36,4
Мильний розчин	40	Спирт	22
Ртуть	510	Кров	58

7. Динамічна в'язкість, мкПа·с

Вода (0°С)	1787
- (20°С)	1005
- (100°С)	280
Повітря (0°С)	18,1
Гліцерин (20°С)	1,48·10 <sup>6</sup>
Кисень (0°С)	19,1·10 <sup>6</sup>
Кров	5·10 <sup>3</sup>
Олія касторова	970·10 <sup>3</sup>
Молоко	1,8·10 <sup>3</sup>
Спирт етиловий (20°С)	1,2·10 <sup>3</sup>



8. Модуль пружності  $E$  - тис. кг/см<sup>2</sup>

Речовина	$E$ , ГПа
Алюміній	70
Латунь	100
Свинець	17
Срібло	80
Сталь	210
Залізо	196
Дуб	14
Лід про 0°C	3
Шкіра	$1,3 \cdot 10^8$
Колаген	0,1
Еластин	0,002
Кістка	2

визначення  
 - пружність  
 - модуль пружності  
 - тис. кг/см<sup>2</sup>  
 (визначення)  
 - величина  
 - величина  
 - величина  
 - величина

9. Швидкість звуку в різних речовинах, м/с

Вода (0°C)	1402
- (20°C)	1482
Повітря	331
Гліцерин	1923
Кисень	316
Лід при - 4°C	3980
Спирт етиловий при 20°C	1165
Вуглекислий газ	259

10. Множники та приставки для утворення десятикових кратних та дільних одиниць, їх назви

Приставка		Множник	Приставка		Множник
Назва	Позначення		Назва	Позначення	
екса	Е	$10^{18}$	деци	д	$10^{-1}$
пета	П	$10^{15}$	санти	с	$10^{-2}$
тера	Т	$10^{12}$	мілі	м	$10^{-3}$
гіга	Г	$10^9$	мікро	мк	$10^{-6}$
мега	М	$10^6$	нано	н	$10^{-9}$
кіло	К	$10^3$	піко	п	$10^{-12}$
гекто	Г	$10^2$	фемто	ф	$10^{-15}$
дека	Да	$10^1$	атто	а	$10^{-18}$

11. Грецький алфавіт

Позначення букв	Назва букв	Позначення букв	Назва букв
Α, α	альфа	Ν, ν	ню
Β, β	бета	Ξ, ξ	ксі
Γ, γ	гамма	Ω, ω	омега
Δ, δ	дельта	Π, π	пі
Ε, ε	епсидон	Φ, φ	фі
Η, η	ета	Σ, σ	сигма
Θ, θ	тета	Τ, τ	тау
Λ, λ	ламбда	Χ, χ	хі
Μ, μ	мю	Ψ, ψ	псі

ТИПОВА СТРУКТУРА БІЛЕТУ  
ПІДСУМКОВОГО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ № 2

Варіант № II

1. В чому полягає сутність психофізичного закону Вебера-Фехнера?
2. Записати рівняння Фіка (2 форми). Дати пояснення кожній величині, яка входить до цих рівнянь. В чому полягає біофізична сутність процесів, які описуються цими рівняннями?
3. Записати рівняння Нернста-Планка. Дати пояснення кожній величині, яка входить до цього рівняння. В чому полягає біофізична сутність процесів, які описуються цим рівнянням?
4. Записати рівняння Теорелла. Дати пояснення кожній величині, яка входить до цього рівняння. В чому полягає біофізична сутність процесів, які описуються цим рівнянням?

*Для кожної з наступних задач запишіть розв'язок та відповідь.*

5. Диференціальне рівняння згасаючих коливань має такий вигляд:  
$$0,2x'' + 0,6x' + 0,8x = 0.$$
Знайти власну частоту і період гармонічних коливань, коефіцієнт затухання, частоту і період згасаючих коливань, декремент і логарифмічний декремент.
6. Визначити об'ємну та лінійну швидкості плинну рідини, якщо діаметр судини 2,5 см, відносна в'язкість рідини дорівнює 5, її густина 1100 кг/м<sup>3</sup>, а число Рейнольдса дорівнює 3300.
7. Звук частотою 1 кГц зменшує свою інтенсивність при його проходженні в середовищі від значення 10<sup>-7</sup> Вт/м<sup>2</sup> до значення 10<sup>-11</sup> Вт/м<sup>2</sup>. На скільки при цьому зменшиться гуцність?
8. Знайти висоту, на яку піднімається рідина з густиною 1200 кг/м<sup>3</sup> та коефіцієнтом поверхневого натягу 0,1 Н/м в капілярі з перерізом, що представляє собою правильний шестякутник зі стороною 1 мм.
9. Яке навантаження витримає кістка (в кг), якщо межа міцності для неї дорівнює 10<sup>9</sup> Н/м<sup>2</sup>? Кістка має внутрішній та зовнішній діаметри відповідно 1 см та 2 см.
10. Визначити рівноважні концентраційні потенціали для іонів Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> клітинної мембрани при температурі 20°C, якщо концентрації цих іонів відповідно дорівнюють: іони Cl<sub>o</sub> = 155; 5; 120 мМоль/л, а всередині Cl<sub>i</sub> = 19; 136; 4 мМоль/л. За умови цієї задачі визначити амплітуду потенціалу дії. Співвідношення проникностей вважати таким самим, як в аксоні кальмара.

**КРИТЕРІЙ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ  
ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗАСВОЄННЯ  
МОДУЛЯ № 2 «ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОЇ ФІЗИКИ»  
ДИСЦИПЛІНИ «МЕДИЧНА І БІОЛОГІЧНА ФІЗИКА»**

1. Оцінка «5» за 5-бальною шкалою або 80 балів за шкалою ECTS виставляється за роботу, в якій розв'язані 10 або 9 завдань.
2. Оцінка «4» за 5-бальною шкалою або 65 балів за шкалою ECTS виставляється за роботу, в якій розв'язані 8 або 7 завдань.
3. Оцінка «3» за 5-бальною шкалою або 50 балів за шкалою ECTS виставляється за роботу, в якій розв'язані 6 або 5 завдань.
4. Оцінка «2» за 5-бальною шкалою або 0 балів за шкалою ECTS виставляється за роботу, в якій розв'язано менше ніж 5 завдань.

**ЗВЕРТАЄМО УВАГУ!**

Завдання 1-4 білету підсумкового контролю засвоєння модуля № 2 перевіряють засвоєння теоретичного матеріалу.

Завдання 5-10 білету підсумкового контролю засвоєння модуля № 2 перевіряють засвоєння теоретичного матеріалу та практичних навичок.

Дозволяється лише дві спроби перескладання підсумкового модульного контролю № 2.

Тривалість написання підсумкового модульного контролю № 2 – 2 академічні години, або 90 хвилин.