

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

## **БІОФІЗИКА:**

методичні рекомендації в слайдах для теоретичного вивчення  
матеріалу (частина 1) для здобувачів вищої освіти ступеня «Бакалавр» спеціальностей 204  
«Технологія виробництва і переробки продуктів тваринництва», 162 «Біотехнології і біоінженерія»,  
212 «Ветеринарна гігієна, санітарія і експертиза» денної та заочної форм навчання

МИКОЛАЇВ  
2020

УДК 577.9  
Б63

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету  
Миколаївського національного аграрного університету від 21.05.2020 р., протокол № 10

Укладач:

І. В. Бацуровська – д-р пед. наук, доцент кафедри електроенергетики електротехніки та електромеханіки,  
Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

О. М. Самойленко – д-р. пед. наук, професор кафедри кафедри теорії й методики викладання навчальних  
дисциплін КВНЗ «Херсонська академія неперервної освіти»;

Л. В. Вахоніна – канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри електроенергетики електротехніки та електромеханіки,  
Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний  
аграрний університет, 2020

# Зміст

ВСТУП .....	4
МЕХАНІКА.....	5
КІНЕАТИКА .....	12
ДИНАМІКА .....	19
МЕХАНОБІОЛОГІЯ .....	42
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ.....	49
БІОМЕХАНІКА .....	52
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ .....	61
ТЕСТОВІ ЗАПИТАННЯ .....	64
ЛІТЕРАТУРА .....	70



# ВСТУП

*Біофізика* – це наука, яка вивчає фізичні явища і процеси в біологічних системах та досліджує фундаментальні процеси, що складають основу живої природи. У біофізиці використовують фізичні принципи, методи та інструменти для вивчення живих систем на різних рівнях їх організації – від атомів та молекул до клітин, організмів та екосистем.

*Основною метою* дисципліни «Біофізика» є ознайомлення здобувачів з принципами та законами фізики, які дають можливість зрозуміти загальні закономірності явищ природи; висвітлення основних фізичних характеристик та особливостей живих організмів; опис фізичних процесів, які становлять основу життєдіяльності людини, тварин, рослин та мікроорганізмів; вивчення впливу фізичних факторів на живі організми та їх здатності сприймати ці фактори і, таким чином, взаємодіяти з навколишнім середовищем; розгляд сучасних фізичних методів та принципів дії приладів, що можуть зустрітися у практичній діяльності майбутнього спеціаліста. Особлива увага звертається на сучасні досягнення фізичної науки і технології та їх практичне використання для дослідження живих організмів та систем.



# MEXANIKA

---



# Предмет біофізики. Основні завдання курсу

**Біофізика** – це наука, яка вивчає фізичні явища і процеси в біологічних системах та досліджує фундаментальні процеси, що складають основу живої природи.

## **У біофізиці використовують**

фізичні принципи, методи та інструменти для вивчення живих систем на різних рівнях їх організації – від атомів та молекул до клітин, організмів та екосистем.

# Міждисциплінарні зв'язки



# Фізичні величини

- це характеристики процесів або властивостей тіл і полів, які можуть бути визначені кількісно за допомогою тих чи інших вимірювань

Кожна фізична величина характеризується числовим значенням і одиницею вимірювання

Одиниці вимірювання

Основні

(м, с, кг, К, А, моль)

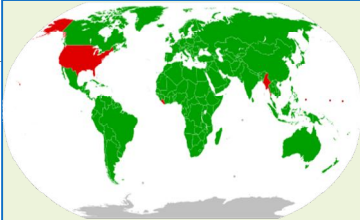
Похідні

(м/с, кг·м/с<sup>2</sup>, кг·м<sup>2</sup>)

Наприклад, сила  $F = 5 \text{ Н}$  має числове значення (5) і одиницю вимірювання (Н)



# Стандарти довжини, маси та часу



У 1960 році було прийнято  
**Міжнародну систему одиниць (СІ).**

Містить сім основних одиниць:  
**метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, кандела, моль.**

**Механіка:**  $(L)$ , час  $(T)$  та маса  $(M)$ .

**Метр** – довжина, що дорівнює 1650763,73 довжини хвилі випромінювання у вакуумі, що відповідає переходу між рівнями  $2p_{10}$  та  $5d_5$  атома криптона-86

**Секунда** – час, який дорівнює 9 192 631 770 періодам випромінювання, що відповідає енергетичному переходу між двома рівнями надтонкої структури основного стану атома цезію  $^{133}_{55}\text{Cs}$

**Кілограм** – дорівнює масі платиново-іридієвого сплаву у вигляді циліндра діаметром та висотою 3,9 см, який зберігається у Севрі (Франція)

# Приблизні значення довжини деяких об'єктів

Довжина об'єкта	Числове значення, м
Радіус видимого Всесвіту	$1 \cdot 10^{26}$
Радіус сонячної системи	$1 \cdot 10^{13}$
Відстань між Землею та Сонцем	$1 \cdot 10^{11}$
Середній радіус орбіти Землі	$1,5 \cdot 10^{11}$
Середній радіус земної кулі	$6,4 \cdot 10^6$
Висота секвої <i>Sequoiadendron giganteum</i>	76–84 (рекордна висота – 95 м)
Частинки ґрунту: - глина - мул - дрібний пісок - пісок - гравій	до $2 \cdot 10^{-6}$ $2 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$ $2 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ більше за $2 \cdot 10^{-3}$
Частинка пилу	$1 \cdot 10^{-4}$
Біологічна клітина	$1 \cdot 10^{-5}$
Радіус вірусу грипу	$1 \cdot 10^{-7}$
Діаметр атома водню	$1 \cdot 10^{-10}$
Діаметр атомного ядра	$1 \cdot 10^{-14}$

# Типові значення маси різних об'єктів

Об'єкт	Маса, кг	Об'єкт	Маса, кг
Галактика "Чумацький шлях"	$7 \cdot 10^{41}$	Індичка	4,5–7,5
		Гуска	4,5–5,0
Сонце	$2 \cdot 10^{30}$	Качка	2,7–2,9
Земна куля	$6 \cdot 10^{24}$	Курка	1,4–2,2
Місяць	$7 \cdot 10^{22}$	Людина	70
Блакитний кит	$10^5$ – $2 \cdot 10^5$	Колібрі	$2 \cdot 10^{-3}$
Слон	5000–7000	Краплина дощу	$10^{-4}$
Гіпопотам	3000	Комар	$10^{-5}$
Бізон	1500	Бактерія	$10^{-15}$
Морж	900	Вірус грипу	$10^{-18}$
Кінь	400–700	Молекула гемоглобіну	$10^{-22}$
Свиня	200–350	Атом водню	$1,67 \cdot 10^{-27}$
Баран	100–130	Електрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$

# Кінематика

---



# Кінематичні величини

**Переміщення** - це вектор, проведений із початкового положення точки, що рухається, в положення її у даний момент часу

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_t - \vec{r}_0$$

**Середня швидкість точки** - це відношення переміщення до проміжку часу, за який воно відбулося

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

**Прискорення** - це векторна величина, що характеризує зміну швидкості точки за числовим значенням та напрямком.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

**Миттєве прискорення  $\vec{a}$**  дорівнює першій похідній від швидкості руху точки за часом  $t$ , або другій похідній від за часом

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

# Швидкість руху живих організмів

## Способи переміщення живих організмів

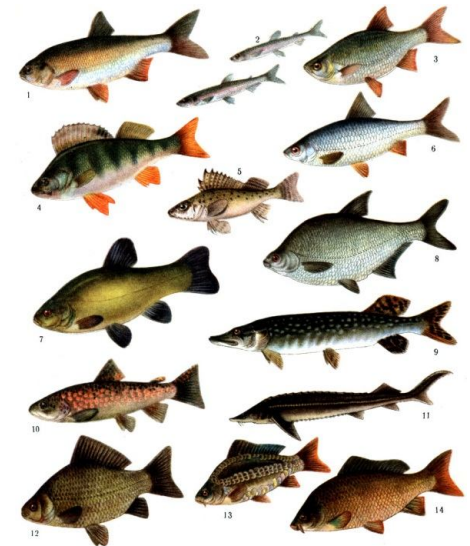
по земній поверхні



в повітряному середовищі



У водяному середовищі





## Швидкість поступального руху деяких тварин

Таксон	Швидкість руху, км/год
Гепард ( <i>Acinonyx jubatus</i> )	110
Сокіл ( <i>Falco peregrinus</i> ) під час горизонтального польоту	150
Сокіл ( <i>Falco peregrinus</i> ) під час час пікірування	320
Голкохвостий стриж ( <i>Chaeturinae</i> )	160
Страус ( <i>Struthio camelus</i> )	60
Риба парусник ( <i>Istiophorus platypterus</i> )	110

# Швидкість поступального руху клітин деяких мікроорганізмів

Таксон	Швидкість руху, мкм/с
<i>Porphyridium cruentum</i>	0,05
<i>Anabaena variabilis</i>	0,5
<i>Dictyostelium discoideum</i>	0,1
<i>Micrasterias denticulata</i>	1,0
<i>Pinnularia nobilis</i>	2,8
<i>Nitzschia palea</i>	6,0
<i>Navicula peregrina</i>	18,0
<i>Dunaliella salina</i>	48±2
<i>Dunaliella viridis</i>	36±2
<i>Chlamydomonas</i> sp.	200,0
<i>Euglena gracilis</i>	160
<i>Euglena gracilis</i>	84
<i>Euglena rubra</i>	20
<i>Thiospirillum jenense</i>	87
<i>Chromatium okenii</i>	46
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	56
<i>Escherichia coli</i>	16
<i>Bacillus licheniformis</i>	21
<i>Sporosarcina urea</i>	28



# Швидкість руху риб

залежить від способу їх життя

## Коралові риби



Здатні маневрувати.  
Достатньо гнучкий, здатний до  
регулювання хвіст

## Пелагічні риби



Рухаються з великою  
швидкістю,  
характеризуються великим  
різноманіттям форм та  
функцій хвостів

Симетричними (гомоцеркальними)

Планктон

Асиметричними (гетероцеркальними)

Гіпоцеркальні (якщо  
нижня частина  
хвоста більша за  
розмірами, ніж  
верхня)

епіцеркальні (у  
протилежній  
ситуації)

Акули та осетри

Риби, що рухаються з великою швидкістю, характеризуються великими значеннями відношення квадрату висоти хвоста  $H^2$  до його площі  $S$ , тобто  $H^2/S$

# Швидкість руху водних тварин залежить від розмірів тіла

Вид риби	Довжина, м	Максимальна. швидкість, м/с
Синій кит	30	10
Тунець	3	10
Макрель	0,3	3,3
Оселедець дорослий	0,2	1
мальок	0,1	0,5
	0,04	0,16
	0,02	0.06
	0.01	0.02
Веслоногі ракоподібні	0.001	0.002
Сперматозоїд морського їжака	0.00015	0.0002

# ДИНАМІКА

---



# Основні поняття

---

**Динаміка** - розділ механіки, який вивчає рух тіл у зв'язку з тими причинами, які спричинюють або змінюють цей рух.

*Класична механіка ґрунтується на поняттях маси і сили, а також на законах, які пов'язують ці поняття з кінематичними величинами зміщенням, швидкістю та прискоренням руху*

**Сила** - фізична величина, яка характеризує дію одного тіла на інше; наслідком прикладення до тіла сили є набування прискорення або деформації тіла.

**Маса тіла** – фізична величина, яка є однією з основних характеристик матерії, що визначає її інерційні та гравітаційні властивості.

# Густина

Густина речовини - це маса, що припадає на одиницю об'єму

Густина льоду менша, ніж густина води



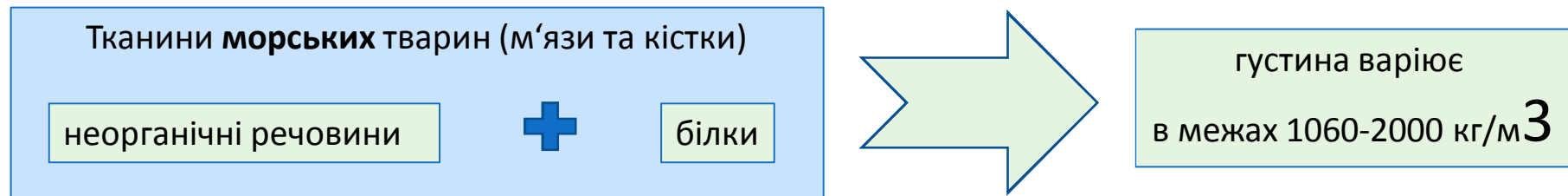
знаходиться на поверхні водойм.



дає можливість зберегти життєдіяльність водних організмів в умовах охолодження

Речовина	Густина, кг/м³	Температура, °C
Повітря	1,293	0
Повітря	1,205	20
Повітря	1,128	40
Вода	999,8	0
Вода	1000,0	4
Вода	999,7	10
Вода	998,2	20
Вода	995,6	30
Вода	992,2	40
Вода морська	1025	0
Пара водяна	0,6	100
Молоко	1028,5	20
Мед	1400–1450	20
Гліцерин	1200	20
Рицинова олія	900	20
Спирт	790	20
Кров тварин	1052–1060	20
Легені	260	40
Внутрішня камера ока	1336	40
Хрящ	1100	40
Кістка	1800–1900	40
Зуб	1950–2380	40
Деревина рослин:		
- балса <i>Ochromona lagopus</i>	110–140	
- кедр <i>Cedrela mexicana</i>	293	
- клен <i>Flindersia brayleyana</i>	436	
- дуб <i>Castanopsis acuminatissima</i>	569	
- олива <i>Olea capensis</i>	1490	
Ґрунти	2600–2700	
Компоненти ґрунтів:		
- кварц	2660	
- глинисті мінерали	2650	
- оксиди заліза	2900	
- органічна речовина	1300	

# Тканини морських тварин та тварин, що мешкають у прісній воді



*Тканини морських тварин (м'язи та кістки) містять білки та неорганічні речовини, через що їх густина варіює в межах 1060-2000 кг/м<sup>3</sup>.*

*Риба мешкає у прісній воді, густина якої становить 1000 кг/м<sup>3</sup>, або у морській воді, густина якої дорівнює 1026 кг/м<sup>3</sup>. Втім, м'язова тканина риби характеризується більшими значеннями густини*



*Для забезпечення плавучості тварини необхідно підігнати її густину до значень густини морської води. Саме з цією метою організм тварини містить речовини з невисокими значеннями густини: жир (930 кг/м<sup>3</sup>), сквален та воскові ефіри (860 кг/м<sup>3</sup>), газу ( $\approx 0$  кг/м<sup>3</sup>).*



# Забезпечення плавучості тварини

Розглянемо тварину об'ємом  $V$  з густиною тіла  $\rho$ , яка мешкає у воді з меншою густиною  $\rho_v$ . Нехай тварина використовує деяку субстанцію для забезпечення плавучості з густиною  $\rho_c$  та об'ємом  $V_c$ .

Первинна маса тварини дорівнює  $m = \rho V$ , а маса субстанції  $m_c = \rho_c V_c$ ; загальна маса тварини з субстанцією становить  $m_s = \rho V + \rho_c V_c$ , а загальний об'єм дорівнює  $V_z = V + V_c$ .

$$\rho V + \rho_c V_c = \rho_v (V + V_c)$$



$$V_c/V = (\rho - \rho_v) / (\rho_v - \rho_c)$$



для забезпечення плавучості у морській воді тварині потрібно заповнити 51% об'єму тіла жиром; у прісній воді об'єм жиру навіть перевищує об'єм тіла тварини

# Об'єми субстанцій, необхідних для забезпечення плавучості водних тварин у прісній та морській воді

Субстанція	Прісна вода. $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$	Морська вода. $\rho_v = 1026 \text{ кг/м}^3$
Жир, $\rho_c = 930 \text{ кг/м}^3$	1,07	0,51
Сквален та воскові ефіри, $\rho_c = 860 \text{ кг/м}^3$	0,54	0,30
Гази, $\rho_g \approx 0 \text{ кг/м}^3$	0,08	0,05

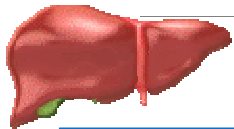
Водні тварини, такі як акули *Centroscymnus* та *Cetorhinus*, використовують вуглеводень сквален, який займає лише 30% об'єму тіла тварини

Відомо, що сольові розчини мають різну густину: хлориду натрію  $1018 \text{ кг/м}^3$ ; сульфату натрію –  $1040 \text{ кг/м}^3$ ; хлориду амонію –  $1007 \text{ кг/м}^3$ .

Ще один засіб, який використовують водні організми для забезпечення плавучості, це заповнення внутрішніх органів газами (азотом, киснем або двоокисом вуглецю), які мають невелику густину.



# Значення густини як діагностичні критерії стану біологічного організму



Залежність густини жовчі від стану здоров'я

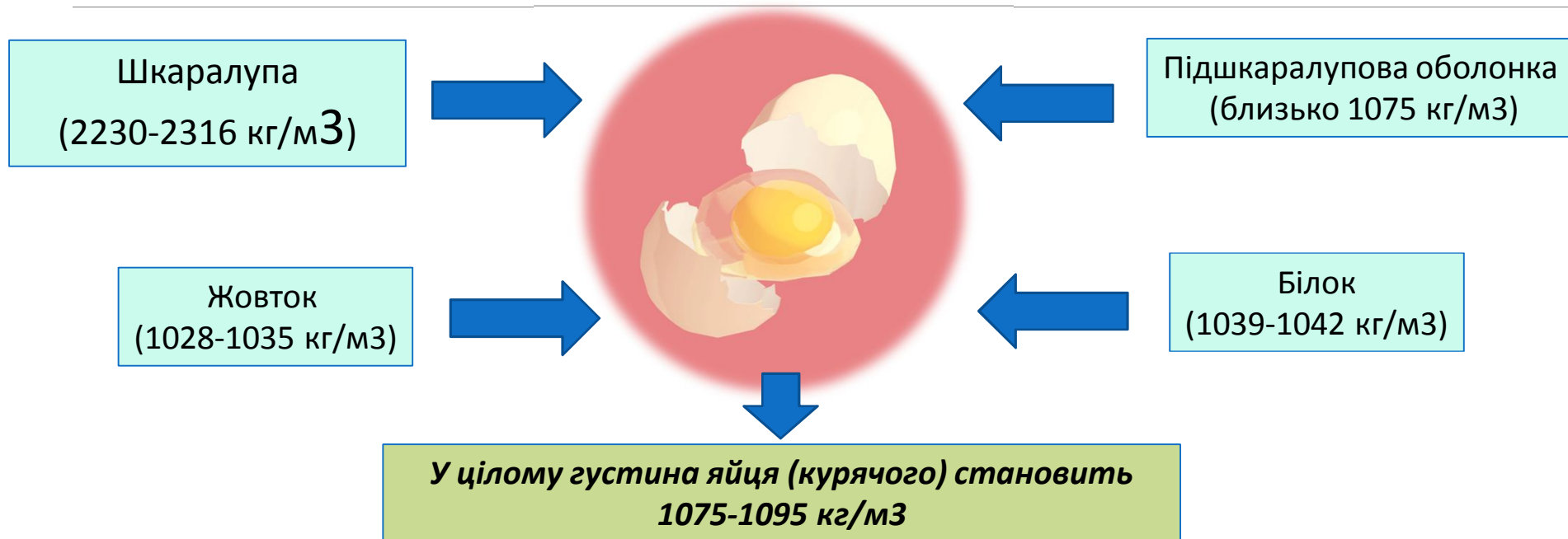
Стан здоров'я	Густина, кг/м <sup>3</sup>
Норма	1008±0,2
Хронічний холангіогепатит	1004±2,0
Цироз печінки	1001±0,6



**Густина** - параметр оцінки деревної рослинності та показник росту дерев

На густину впливають кліматичні умови:  
*у тропічних районах густина рослин більша, ніж у північних*

# Густина є одним із важливих критеріїв оцінювання якості сільськогосподарських та харчових продуктів



**Оскільки густина шкаралупи майже вдвічі перевищує густину інших компонентів, зрозуміло, що вимірювання густини яйця дає можливість оцінити саме якість шкаралупи, тому що її густина залежить від наявності тріщин та інших механічних пошкоджень**

# Флотаційний метод як контроль якості продуктів

**Флотація** (від фр. Flottation) — спосіб розділення сумішей твердих дрібних частинок, що належать різним речовинам

**Флотація можлива тільки при неповному змочуванні поверхні частинок, що виділяються рідиною. Зазвичай це досягається шляхом додавання невеликих кількостей спеціальних речовин**

Застосування кількох об'ємів з різними значеннями густини рідини (води, спиртових та сольових розчиніволії)

дають  
можливість

сортування картоплі, в тому числі солодкої, гороху, бобів, винограду, вишні, чорниці

вилучення яблук з внутрішніми дефектами та цитрусових з пошкодженнями від заморозків.

**високий рівень  
точності сортування**



## **Недоліки:**

забруднення розчину та необхідність миття продуктів перед та після сортування

# Закони Ньютона



**Перший закон Ньютона** будь-яка матеріальна точка (тіло) зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, доки дія з боку інших тіл не примусить її змінити цей стан.

**Другий закон Ньютона** прискорення, якого набуває матеріальна точка (тіло), пропорційне силі, яка викликає це прискорення, збігається з нею за напрямком, і обернено пропорційне масі матеріальної точки (тіла)

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

**Третій закон Ньютона** будь-яка дія матеріальних точок (тіл) одна на одну носить характер взаємодії; сили, з якими діють одна на одну матеріальні точки (тіла), завжди однакові за модулями, протилежні за напрямком і діють уздовж прямої, що з'єднує ці точки (тіла)

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

# Закон збереження імпульсу замкнутої системи

**Імпульсом (кількістю руху)** матеріальної точки, що рухається зі швидкістю, називається добуток маси цієї точки на її швидкість

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

**Закон збереження імпульсу**

повний імпульс замкнутої системи не змінюється з часом

$$m \vec{v} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \vec{p} = \text{const.}$$

# Реактивний рух у природі

Реактивний рух виникає за рахунок відкидання частини маси тіла із певною швидкістю

При відокремленні від тіла масою  $M$  маси  $m$  із швидкістю  $u$ , тіло набуває швидкості  $V$ , яку можна обчислити за формулою

$$(M - m)V + m v = 0$$



$$V = -\frac{m v}{M - m}$$

$V$  - швидкість тіла

# Рух живих організмів, що супроводжується зміною їх маси

## Личинка бабки-коромисла

Мешканець прісноводних водойм, використовує реактивний рух у разі небезпеки.



Набираючи воду в задню кишку, а потім різко викидаючи її, личинка стрибає вперед завдяки силі віддачі

## Медузи, кальмари, восьминоги, деякі молюски, каракатиці

Мешканці морського середовища

Пересуваються завдяки своєрідному реактивному руху, який забезпечується струменем виштовхнутої з особливих порожнин тіла води

# Рух морських живих організмів, що супроводжується зміною їх маси

## Медузи, кальмари, восьминоги, деякі молюски, каракатиці



заповнює парасолькову частину водою, яку виштовхує, внаслідок чого рухається у протилежний бік завдяки скороченню м'язів стінки парасольки



Внаслідок м'язового скорочення вода виштовхується через сифон і кальмар рухається у протилежному напрямку. Швидкість його руху у воді до 70 км/год, Кальмари можуть вискакувати з води на висоту до 7 м



Восьминіг плаває щупальцями назад, набираючи воду в порожнину, в якій знаходяться зябра, і з силою виштовхуючи її в напрямку, протилежному руху



Стискають періодично свої стулки, завдяки чому можуть створити реактивну тягу та запобігти зустрічі з хижаками – морськими зірками. В основі раковини знайдено білок абдуктин, пружні властивості якого дають можливість молюску плавати, відкриваючи й закриваючи стулки з частотою 3 коливання в секунду

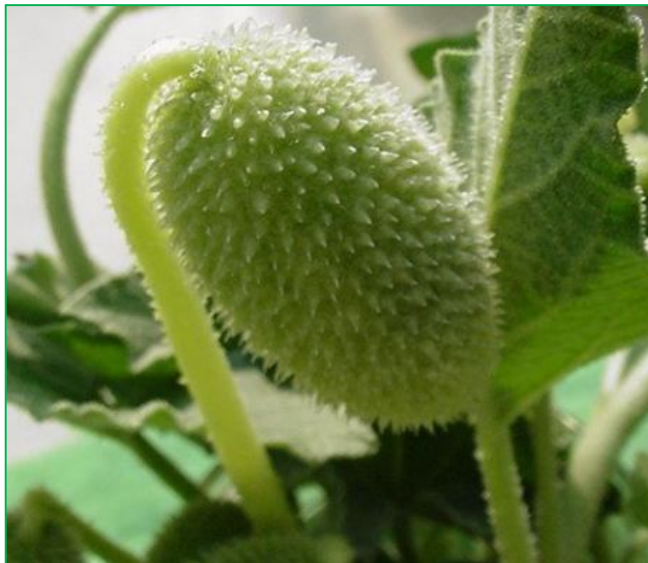


рухається під час міграції на відстань близько 2000 км зі швидкістю приблизно 2 км/год. Під час переміщення на короткі відстані вона може розвивати швидкість до 11 км/год. Відомо, що деякі різновиди каракатиць вміють розвивати швидкість понад 30 км/год



# Реактивний рух в сільському господарстві

огірок-пирскач пружний або —скажений огірок (лат. *Escballium elaterium*)

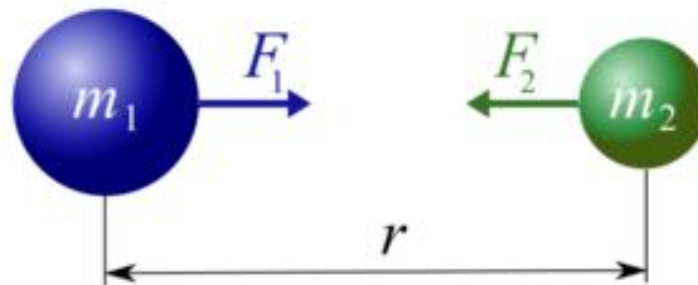


Після досягання плід під великим тиском рідини, що в ньому міститься, відокремлюється від ніжки. Насіння через утворений отвір з силою випорскується на віддаль 1-2 м від рослини

# Закон всесвітнього тяжіння

Дві будь-які матеріальні точки з масами  $m_1$  і  $m_2$  притягуються в напрямку одна до одної з силою, що прямо пропорційна добутку мас і обернено пропорційна квадрату відстані між ними

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



# Гравітація та живі організми

**Гравітація** – це властивість тіл притягуватись одне до одного

На відміну від інших зовнішніх стимулів **гравітація існує завжди і не змінюється за величиною**; її не можна увімкнути чи вимкнути.

**Вертикальна міграція** водних мікроорганізмів являє собою поведінковий механізм пошуків оптимального з точки зору їх росту та репродукції положення у водному середовищі. Водні мікроорганізми використовують світло як зовнішній стимул. При високих інтенсивностях сонячного випромінювання вони прямують у глибину, при низьких – до поверхні.



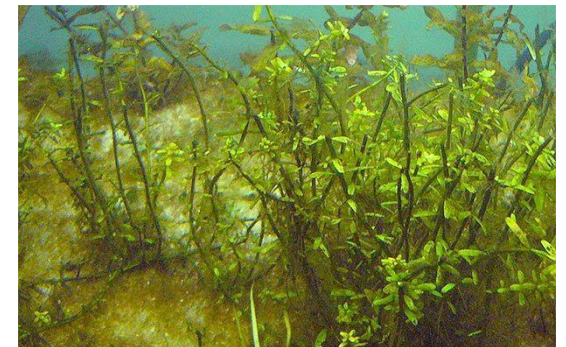
Гравітаційне поле Землі є важливим зовнішнім фактором для організмів, що пересуваються у водному середовищі. Таку здатність організмів орієнтувати напрямок свого руху відносно гравітаційного поля називають **гравітаксисом**.

## Друга гіпотеза гравітаксису

Запропонована друга гіпотеза [Lebert and Häder, 1996] згідно з якою гравітаксис є активний фізіологічний процес, в основі якого лежить різниця густини тіла клітини (1,05 г/мл) та середовища (1,00 г/мл), в якому вона знаходиться



Внаслідок седиментації тіло клітини утворює тиск на клітинну мембрану, що призводить до її зміщення на 1 нм та активізації чутливих до гравітації іонних каналів



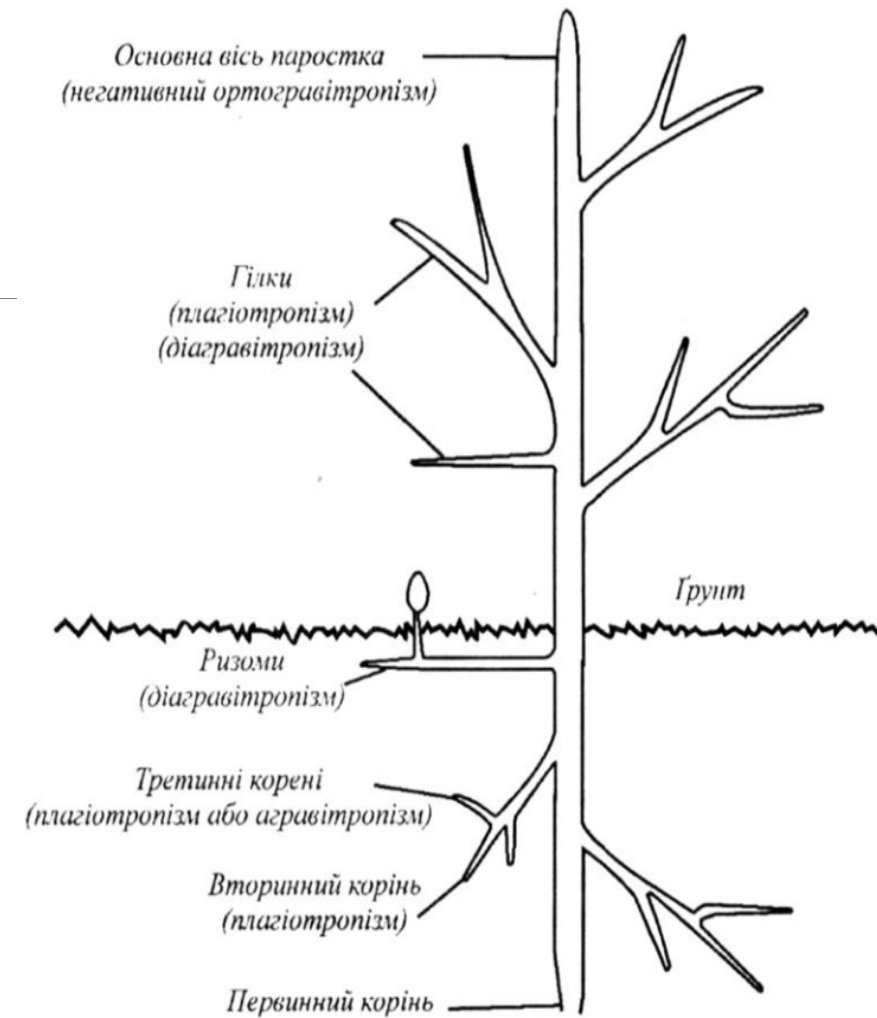
# Гравітропізм рослин

Ростову реакцію рослин, яка викликає вигин або викривлення її певної частини у бік зовнішнього стимулу, називають **тропізмом**. Якщо рух направлений до стимулу, кажуть про позитивний тропізм; якщо в протилежний бік про негативний тропізм.

Коли зовнішнім стимулом є гравітаційна сила, то реакція рослини на неї називається гравітропізмом. Рослина, покладена в горизонтальне положення, направляє паросток догори (**негативний гравітропізм**), а корінь донизу (**позитивний гравітропізм**).

Таким органам рослини як столони, ризоми, бокові гілки, що ростуть під прямим кутом до напрямку дії гравітаційної сили, притаманний **діагравітропізм**,

органам, напрямок росту яких знаходиться в інтервалі 0-90° до вертикалі, **плагіотропізм**. Якщо органи не чутливі до гравітації, їх називають агравітропними.

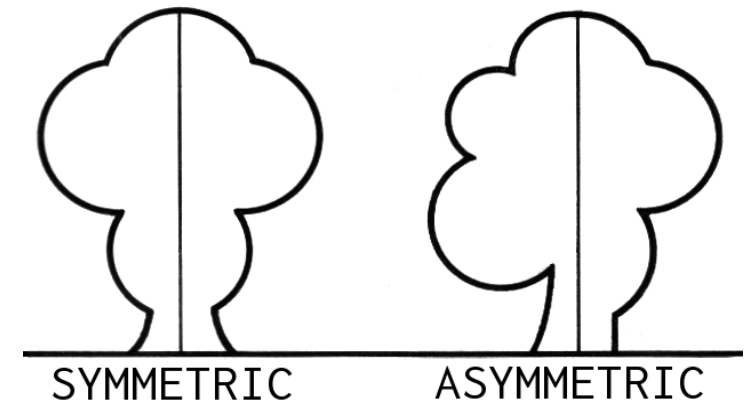


Типові гравітропні відгуки стебла та коріння рослин

## Гравірецепція

Клітини на верхніх ділянках стебла чи кореня підлягають дії такої ж гравітаційної сили, що і на нижніх ділянках.

Отже, такий зовнішній стимул як гравітацію можна реєструвати тільки завдяки руху певних рослинних чи клітинних структур – руху, внаслідок якого утворюється асиметрія в клітині



# *Вимірювання гравітропізму*

---

Домашнє завдання



## *Закон збереження енергії у механіці*

---

*повна механічна енергія замкнутої системи тіл,  
між якими діють лише консервативні сили,  
залишається сталою*

$$E_k + E_n = \text{const}$$



# Метаболізм

*Обмін речовин (метаболізм) - це сукупність процесів перетворення речовин і енергії в живих організмах, які становлять основу їх життєдіяльності*

Обмін  
речовин



Руйнування  
складних  
органічних  
речовин



Звільнення  
енергії



Утворення  
складних  
субстанцій



Речовина  
для тканин  
та органів

*Живий організм одержує енергію з продуктів харчування; ця енергія витрачається на нагрівання і здійснення роботи.*

Типове значення обміну речовин як швидкості перетворення хімічної енергії у теплову та механічну для людини масою 70 кг у стані спокою становить 120 Вт.

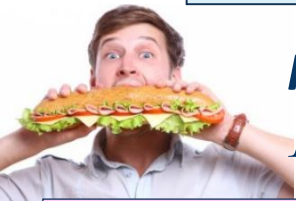


*Протягом доби значення обміну речовин зростає до*

$$120 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ г} \cdot 3600 \text{ с} = 10368 \text{ кДж} = 0,2389 \text{ ккал/кДж} \cdot 10368 \text{ кДж} = 2477 \text{ ккал}$$

*Таким чином, людині щодобово потрібно одержувати через харчування близько 2500 ккал з тим, щоб підтримувати свою масу.*

*Зміна маси тіла на 1 кг еквівалентна енергії близько 7700 ккал*



# МЕХАНОБІОЛОГІЯ

---



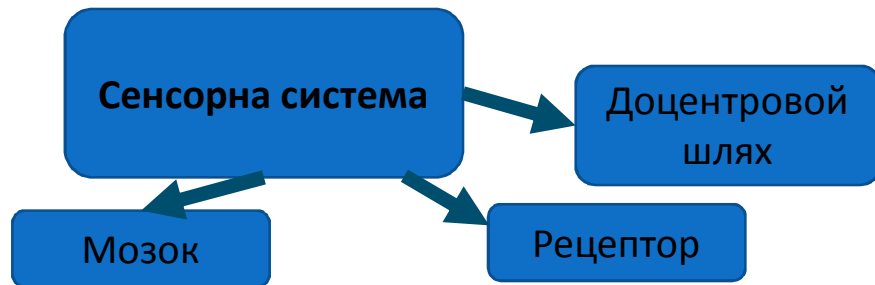
# Механобіологія

---

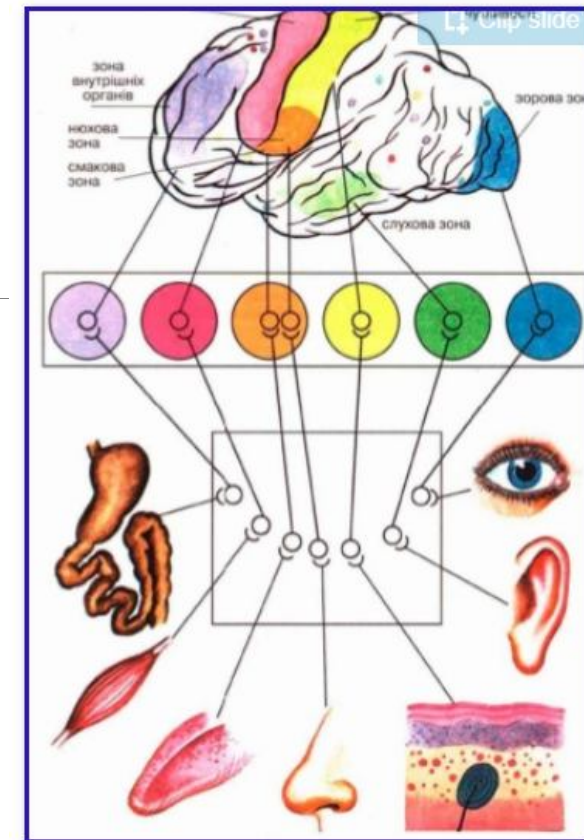
– розділ біофізики, який вивчає механізми впливу зовнішніх механічних факторів на живі організми та реакцію організмів на ці фактори (механорецепцію)

# Механорецепція у тварин

Складно побудована система, яка перетворює енергію зовнішнього подразнення у послідовність нервових імпульсів, утворює **сенсорну систему** або **аналізатор** (застарілий термін – **орган чуттів**).



Клітини сенсорної системи, які спроможні реагувати на стимули, називають **рецепторами**.



**Механорецептори** – це спеціалізовані чутливі утворення, що призначені для трансформації механічного стимулу в активність нервової клітини, яка призводить до поширення нервового імпульсу.

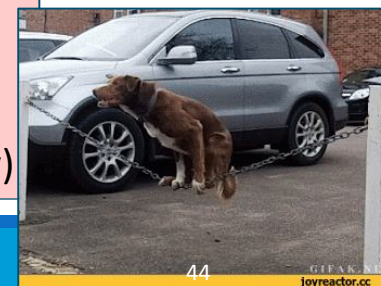
**тактильну чутливість**  
(сприймання тиску, зміни тиску, дотику, вібрацій)



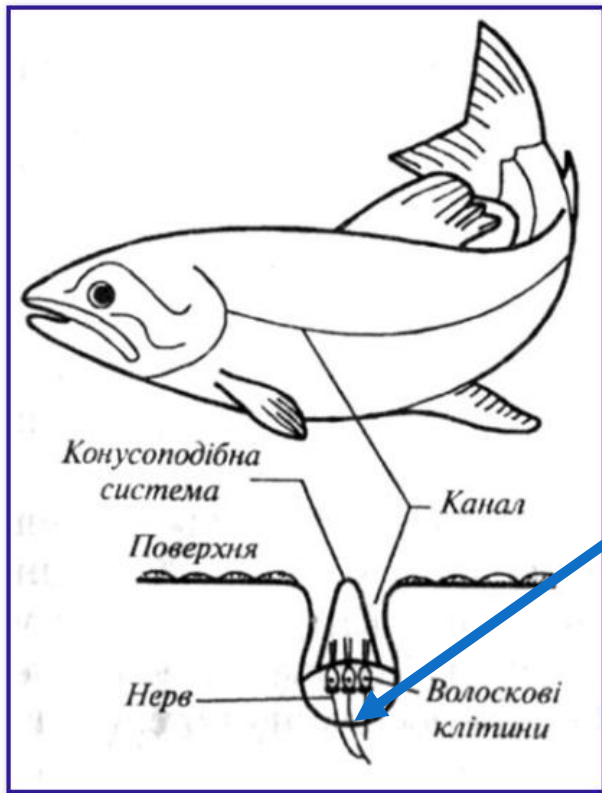
**вестибулорецепцію**  
(підтримання рівноваги)



**інтерорецепцію**  
(координацію руху окремих частин організму)



# Механорецепція у риб



Будова каналу  
сеймосенсорної системи  
риб

Сприймання рибами зовнішніх механічних факторів та реакція на них здійснюється за допомогою особливих структур, а саме: **ампул Лоренціні, пухирців Саві та сеймосенсорних органів**, які містять рецепторні елементи - невромасти або сеймосенсорні пупки.

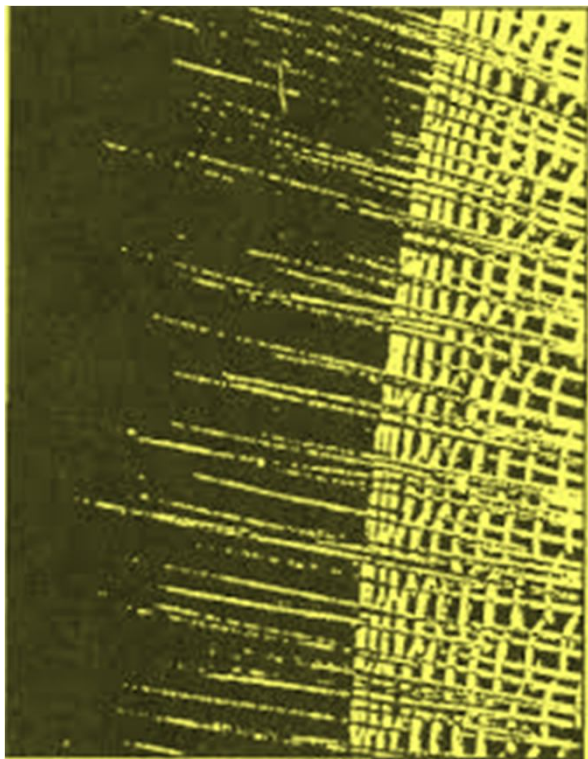
Потік води, що рухається, викликає деформацію волосків, що сприяє утворенню електричних потенціалів та їх передачі у нервову систему

Такі сеймосенсорні системи, які спроможні реагувати на мінімальні **зміщення води**, забезпечують інформацією щодо **напрямку руху водних потоків** та наявності **турбулентних течій**, викликаних присутніми у водному середовищі членів зграї або ворогів



# Механорецепція у бджіл

Фрагмент складного ока бджоли



Між фасетками розміщені чутливі волоски, що діють як рецептори повітряних потоків



Механорецептори бджоли реагують на **механічні**

**деформації** певної своєї частини під час дотику або контакту з твердим субстратом, впливу потоку повітря, або виступають як пропріорецептор, що реагує на деформації або напруги м'язів та зовнішнього скелета

Розміщені механорецептори бджоли на вусиках, ротових придатках, кінцівках, поверхні черевця.

# Тигмонастичні рухи рослин



**Настичні рухи** виникають у відповідь на будь-які зовнішні фактори – дотик, пошкодження, механічну вібрацію, світло, хімічні речовини, на які рослина реагує швидкими рухами.

**Тигмонастичними називаються рухи**, що викликаються дотиком. Особливу категорію складають швидкі настичні рухи – сейсмонастії, що виникають від легкого удару або струсу.

*Реакція відбувається надзвичайно швидко, через всього 0,1 с. При цьому роздратування поширюється зі швидкістю 40-50 см/с.*

Такі швидкі рухи можуть бути використані для захисту проти комах та інших тварин, протидії суховіям з метою збереження води у посушливих районах, де вона мешкає



# Приклади тигмонастичних рухів рослин

Венерина мухоловка



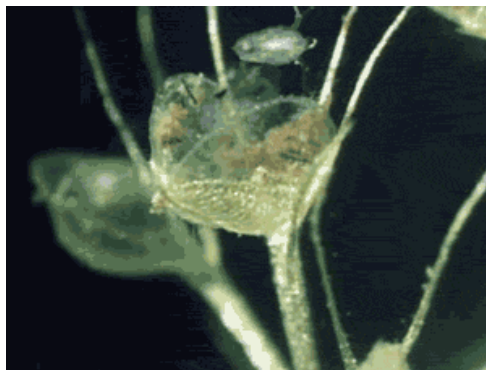
Рослина-телеграф або танцююча рослина



Росичка круглолиста



Альдрованда пухирчаста  
(комахоїдна рослина)



Закручування вусиків, за допомогою яких деякі рослини здатні підтримувати себе у просторі

# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

---

1. Що таке механорецептор?
2. На які механічні стимули реагують механорецептори?
3. Назвати механорецептори шкіри.



# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

---

4. Пояснити, як діє вестибулорецептор.
5. З чого складається м'язове веретено? сухожильний орган Гольджі?
6. В чому полягають функції вісцеральних рецепторів?



# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

---

7. Які структури риб відповідають за механорецепцію?

8. Як реагує бджола на механічні стимули?

9. Чим відрізняються настичні, тигмонастичні та сейсмонастичні рухи рослин?



# БИОМЕХАНИКА

---



# Біомеханіка

---

– розділ біофізики, який вивчає механічні властивості тканин, органів та організму в цілому, а також явища, пов'язані з рухом тварин, роботою окремих органів і систем.

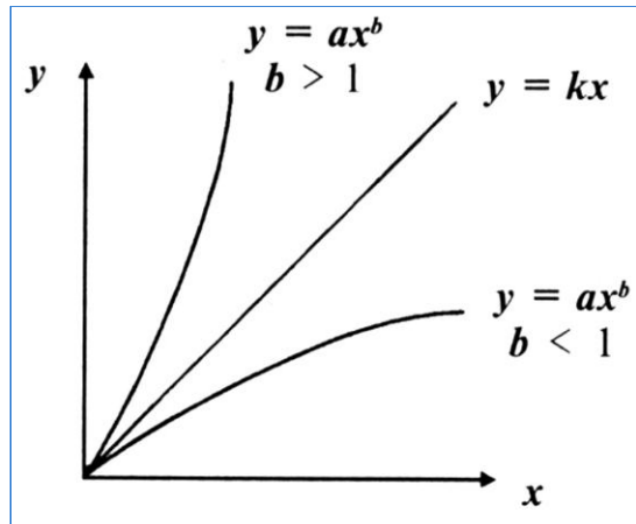
# Механічні властивості біологічних об'єктів

Всі біологічні об'єкти характеризуються геометричними розмірами  $L$ , площею поверхні  $S$  та об'ємом  $V$

співвідношення між фізіологічними  $y$  і механічними  $x$  параметрами

## Ізометричні

Якщо перехід невеликих живих організмів до великих супроводжується пропорційною зміною параметрів  $L$ ,  $S$  та  $V$ , то можна стверджувати про **ізометрію** цих організмів:  $y = kx$  (де  $k$  – константа)



Алометричні для двох значень коефіцієнта  $b$   
( $b > 1$  і  $b < 1$ )

## Алометричні

від грецьк. alloios – різний  
маса тіла найменшого птаха (колібри)  $M_{тк} = 2$  г, а найбільшого (страуса нанду) –  $M_{тс} = 100$  кг.

Маса яйця квочки колібри

$$M_{як} = 0,3 \text{ г.}$$

Реальний зв'язок між масою яйця і масою тіла птиці описується алометричним рівнянням

$$M_{я} = 0,277 \cdot M_m^{0,770}$$



# Приклад

Відношення маси мозку у ссавців до маси тіла описується алометричним рівнянням:

$$M_{\text{мозку}} = 0,01 \cdot M_t^{0,70} \quad \text{Визначити масу мозку тварини з масою тіла 2 кг}$$

## Розв'язання

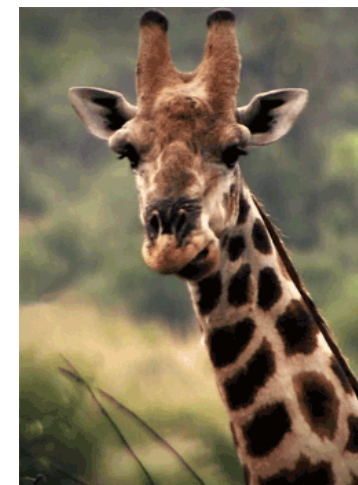
Підставляємо числові дані у останнє рівняння:  $M_{\text{мозку}} = 0,01 \cdot M_t^{0,70}$

Логарифмуємо останній вираз:

$$\lg M_{\text{мозку}} = \lg 0,01 + 0,70 \lg 2 = -2 + 0,70 \cdot 0,301 = -1,7893.$$

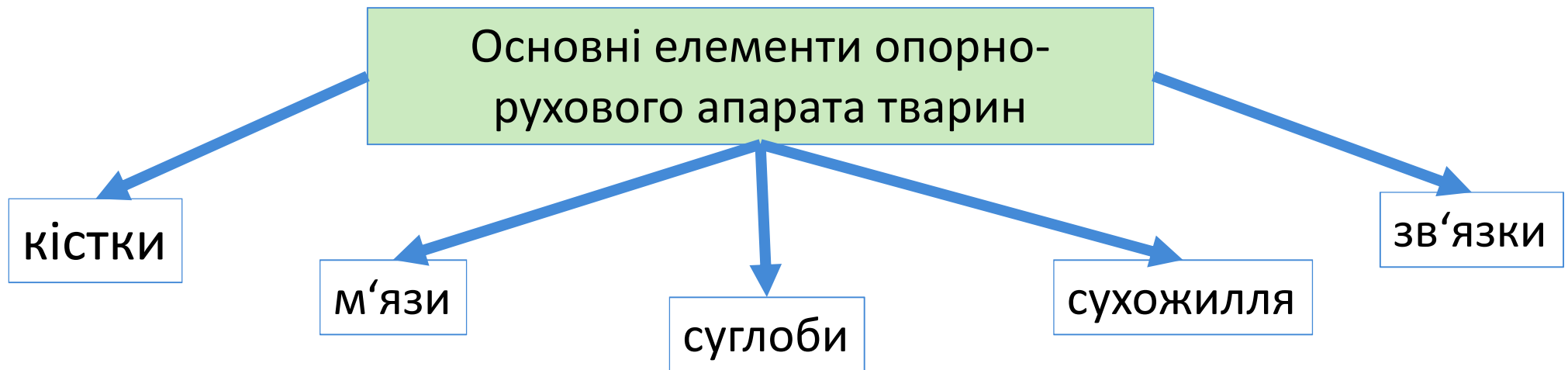
Звідки  $M_{\text{мозку}} = 0,016$  кг.

Відповідь:  $M_{\text{мозку}} = 0,016$  кг.



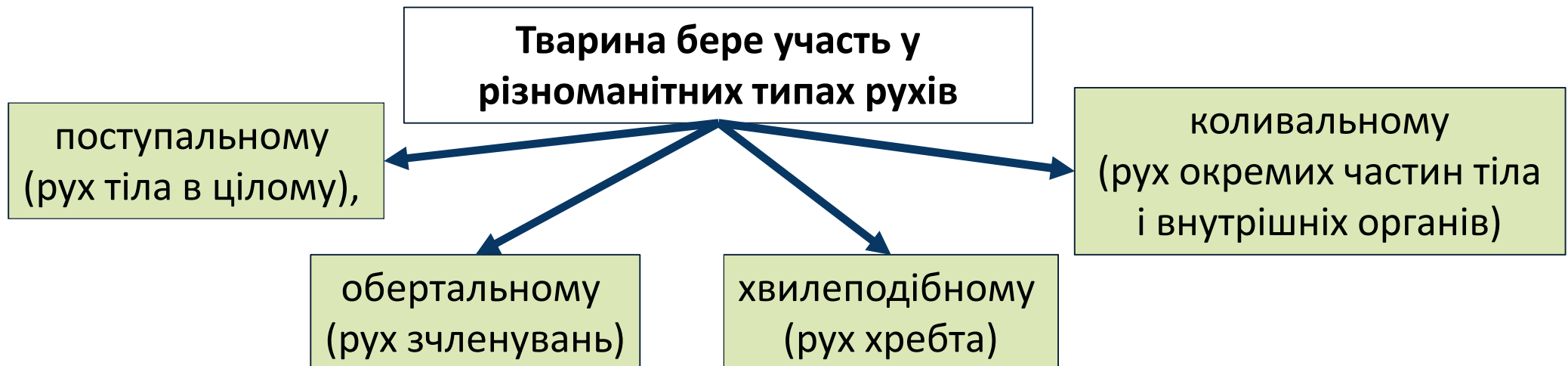
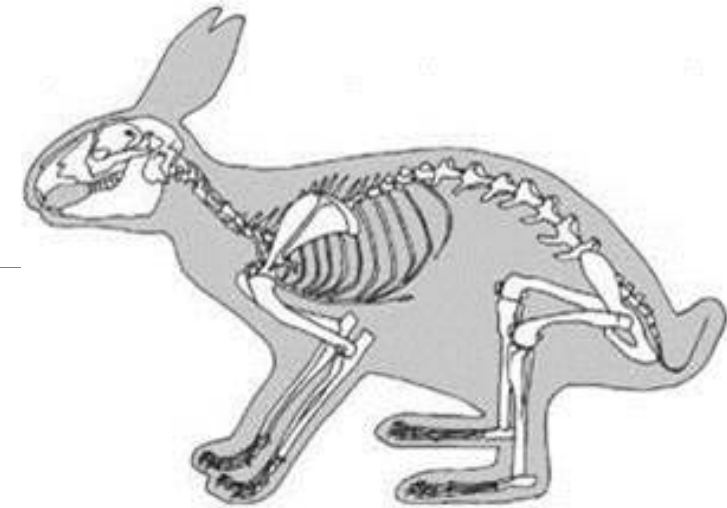
# Опорно-руховий апарат тварин

**Основне призначення опорно-рухового апарата сільськогосподарських тварин – забезпечення динамічних переміщень тіла або окремих його частин у просторі та зберігання під час спокійного стояння статичної рівноваги.**



# Типи рухів

Основою опорно-рухового апарату тварин та його несучою конструкцією є скелет



# М'язи хребетних тварин

У хребетних тварин є три типи м'язових тканин

скелетні  
(або поперечно-  
посмуговані)

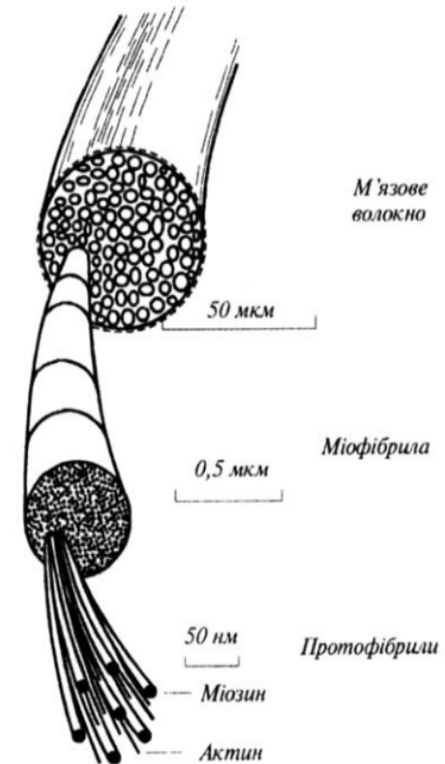
беруть участь у  
роботі опорно-  
рухового апарату

серцеві

(міокард) пов'язані  
з роботою серця

гладенькі

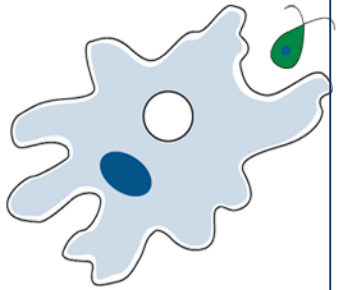
гладенькі м'язи  
утворюють  
стінки внутрішніх  
органів (кишок,  
кровоносних судин,  
стравоходу)



Будова скелетного м'яза

# Нем'язові форми рухливості

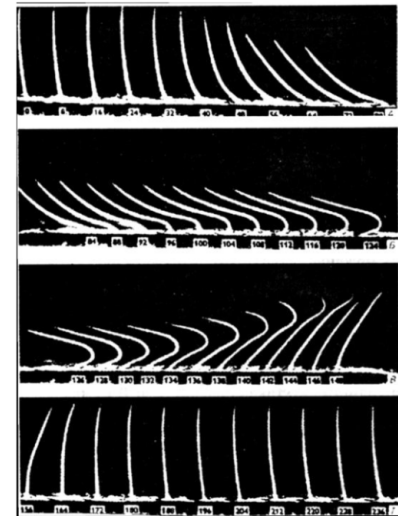
## Амебоїдний рух



супроводжується зміною форми клітини за рахунок спрямовування уперед вакуолізованої серцевини цитоплазми (ендоплазми) в одну або декілько псевдоподій - паростків, які витягуються, утягуються та змінюють форму

## Биття війок і джгутиків

забезпечують переміщення рідини вздовж поверхні за рахунок коливальних рухів; короткі органели називають **війками**, а відносно довгі – **джгутиками**.



Рух війок у вигляді хвильових вигинів

## Домашнє завдання

---

- 1.Лазерна доплерівська спектроскопія
- 2.Методи вимірювання рухових характеристик живих організмів

# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

---

1. У чому полягає принцип ізометрії і алометрії?
2. Як впливає коефіцієнт  $b$  на характер кривої, що описується алометричним рівнянням?
3. З яких елементів складається опорно-руховий апарат тварини?





# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

---

4. Назвати основні типи м'язових тканин.
5. З чого складається скелетний м'яз?
6. Пояснити механізми м'язового скорочення.
7. Які експериментальні методи використовують при дослідженні м'язового скорочення?



# КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

---

- 8. Назвати нем'язові форми рухливості.
- 9. Які методи використовуються для вимірювання кінематичних та динамічних характеристик тварин?
- 10. Пояснити принципи контролю якості сперми самців.



**Запитання: 1:** "Яка з запропонованих теорій перебудови кісткової тканини є найбільш наближеною до сучасної теорії тиску\тяги?"

- Теорія Анрі-Шульца
- Теорія Кінгслея та Валькгофа
- Теорія Оппейнгейма
- Теорія Вареса
- Теорія Флюренса

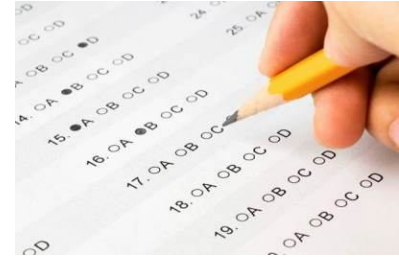
**Запитання: 2:** "Від яких умов залежить розмір та швидкість моделювання кісткової тканини?"

- Величина сили
- Частота прикладання сили
- Напрямок сили
- Вид ортодонтичної апаратури
- Тривалість сили

**Запитання: 3:** "Ортодонтичний апарат, який використовується після компактостеотомії повинен розвивати силу:"

- Меншу за внутрікапілярний тиск, тривалу
- Велику, переривчасту
- Невелику та нетривалу
- Середню, більшу за внутрікапілярний тиск, переривчасту
- Середню, більшу за внутрікапілярний тиск, постійну

## Тестові запитання



**Запитання: 4:** "Які сили слід використовувати для інтрузії зубів?"

- 50-75 г
- 75-125 г
- 10-20 г
- 35-60 г
- 125-150 г

**Запитання: 5:** "Застосування яких сил є найбільш фізіологічним для ортодонтичного переміщення:"

- Великі(до 85 г/кв.см), постійні сили
- Великі(до 85 г/кв.см), переривчасті сили
- Малі(20-26 г/кв.см) , переривчасті сили
- Малі(до 20 г/кв.см) , постійні сили
- Малі(до 20 г/кв.см) , переривчасті сили

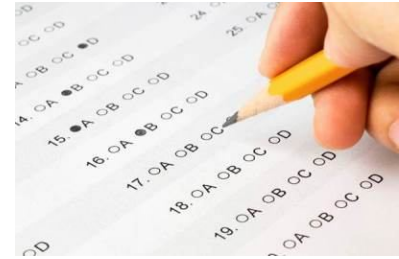
**Запитання: 6:** "Які сили слід використовувати для корпусного переміщення зубів?"

- 50-75 г
- 100-150 г
- 10-20 г
- 35-60 г

**Запитання: 7:** "Які морфологічні зміни відбуваються в скронево-нижньощелепному суглобі при ортодонтичному лікуванні?"

- В зоні тяги –резорбція, в зоні тиску – формування нової кістки (енхондральна перебудова кістки)
- В зоні тиску –резорбція, в зоні тяги – формування нової кістки (субхондральна перебудова кістки)
- В зоні тиску –резорбція, в зоні тяги – формування нової кістки (енхондральна перебудова кістки)
- В зоні тяги –резорбція, в зоні тиску – формування нової кістки (субхондральна перебудова кістки)

## Тестові запитання



**Запитання: 8:** "Яке ускладнення під час ортодонтичного лікування незнімними апаратом виникає при застосуванні великої сили?"

- Гіперемія ясен
- Рухомість і біль зубів
- Біль в області суглобів
- Декубітальні виразки
- Некроз емалі

**Запитання: 9:** "Яке ускладнення виникає в період ортодонтичного лікування пластинкою з гвинтом при надмірному його розкручуванні?"

- Біль зубів при накушуванні
- Рухомість зубів
- Біль в області суглобів
- Викривлення коренів переміщуючих зубів
- Надмірне розширення зубного ряду

**Запитання: 10:** "Які морфологічні зміни відбуваються в зубо-альвеолярному комплексі при ортодонтичному лікуванні?"

- Зміни в будові кореня зуба
- Зміни в періодонтальній зв'язці
- Запальні реакції ясен
- Зміни в пульпі зуба
- Аппозиція та резорбція кісткової тканини

**Запитання: 11:** "Модифікація росту можлива:"

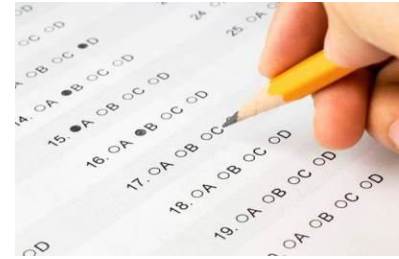
0% До моменту закінчення росту верхньої та нижньої щелепи

- Протягом усього життя
- Протягом періоду змінного прикусу
- Протягом періоду молочного прикусу
- До моменту закінчення росту верхньої та нижньої щелепи, в залежності від статі

**Запитання: 12:** "Функціонально-діючі апарати розвивають силу:"

- Преривчасту
- Постійну
- Короткочасну

## Тестові запитання



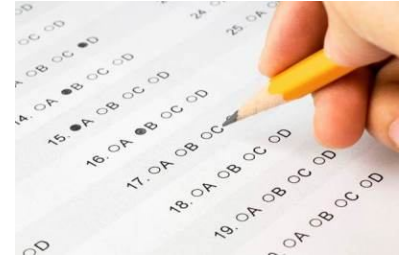
**Запитання: 13:** "Де починається морфологічна перебудова у перші дні дії знімного верхньощелепного апарату з гвинтом?"

- Піднебінному шві
- Тканинах пародонта
- Сконево-нижньощелепному суглобі
- Альвеолярному відростку
- Пульпі

**Запитання: 14:** "Подривна резорбція можлива"

- При застосуванні до зуба великої сили
- При застосуванні до зуба сили малої величини
- При застосуванні до зуба сили малої величини, мінімум 6 годин
- При застосуванні до зуба сили малої величини, мінімум 4 години
- При застосуванні до зуба великої сили, мінімум 4 години

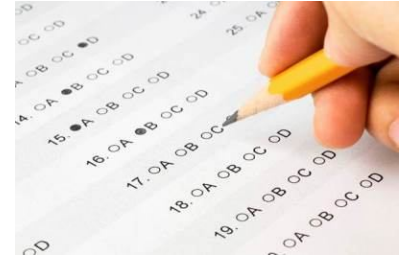
## Тестові запитання



**Запитання: 15:** "При застосуванні ортодонтичної сили малої величини:"

- Через 3-5 с відбувається спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 6 годин з боку тиску починається диференціація клітин яка призводить до появи необхідної кількості остеокластів та фронтальної резорбції, через 3-4 дні зуб переміщується
  - Через 3-5 с відбувається повний спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску відбувається стерильний некроз кісткової тканини, через 3-5 днів поява остеокластів та підризна резорбція, через 7-14 днів зуб переміщується
  - Через 3-5 с відбувається повний спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску відбувається стерильний некроз кісткової тканини, через 1-2 дні поява остеокластів та підризна резорбція, через 3-4 дні зуб переміщується
  - Через 3-5 с відбувається повний спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску відбувається стерильний некроз кісткової тканини, через 3-5 днів поява остеокластів та фронтальна резорбція, через 7-14 днів зуб переміщується
- 6132, 0 "Через 3-5 с відбувається спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску починається диференціація клітин яка призводить до появи необхідної кількості остеокластів та підривної резорбції, через 1-2 дні зуб переміщується

## Тестові запитання

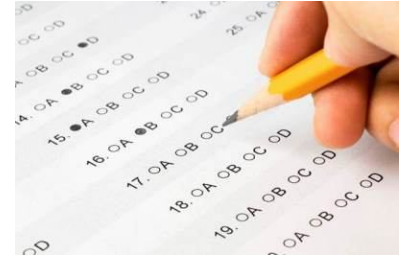


**Запитання: 16:** "При застосуванні великої ортодонтичної сили:"

- Через 3-5 с відбувається спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 6 годин з боку тиску починається диференціація клітин яка призводить до появи необхідної кількості остеокластів та фронтальної резорбції, через 3-4 дні зуб переміщується
- Через 3-5 с відбувається повний спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску відбувається стерильний некроз кісткової тканини, через 3-5 днів поява остеокластів та підризна резорбція, через 7-14 днів зуб переміщується
- Через 3-5 с відбувається повний спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску відбувається стерильний некроз кісткової тканини, через 3-5 днів поява остеокластів та фронтальна резорбція, через 7-14 днів зуб переміщується 6142, 0 "Через 3-5 с відбувається спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску починається диференціація клітин яка призводить до появи необхідної кількості остеокластів та підривної резорбції, через 1-2 дні зуб переміщується
- Через 3-5 с відбувається повний спазм судів з боку тиску та розширення діаметру судів з боку тяги, через 4 години з боку тиску відбувається стерильний некроз кісткової тканини, через 1-2 дні поява остеокластів та підризна резорбція, через 3-4 дні зуб переміщується



## Тестові запитання



**Запитання: 17:** "Фронтальна резорбція можлива:"

- При застосуванні до зуба сили малої величини
- При застосуванні до зуба великої сили
- При застосуванні до зуба сили малої величини, мінімум 6 годин
- При застосуванні до зуба сили малої величини, мінімум 4 години
- При застосуванні до зуба малої сили, мінімум 12 годин

**Запитання: 18:** "Збільшують ймовірність розвитку кореневої резорбції при ортодонтичному лікуванні:"

- Захворювання опорно-рухового апарату
- Алергічні та ендокринні захворювання
- Генетична схильність
- Захворювання шлунково-кишкового тракту
- Захворювання тканин пародонту

**Запитання: 19:** "Гінгіво-мускулярний рефлекс виникає при:"

- Подразненні тактильних рецепторів
- Подразненні больових рецепторів періодонта
- Подразненні температурних та больових рецепторів у слизовій оболонці
- Розтягненні жувальних м'язів

## ЛІТЕРАТУРА

1. Brinkmann K. Keine Geotaxis bei *Euglena* / K. Brinkmann // *Zeitschrift fur Pflanzenphysiol.* – 1968. – V. 59. – P. 12-16.
2. Häder D.-P. Motility and Gravitactic orientation of the Flagellate, *Euglena gracilis*, Impaired by Artificial and Solar UV-B Radiation / D.-P. Häder, S.-M. Liu // *Curr. Microbiol.*, 1990. –V. 21. – P. 161-168.
3. Lebert M., How *Euglena* tells up from down / M. Lebert, D.-P. Häder // *Nature*, 1996. – V. 379. – P. 590.
4. Weevers T. *Fifty Years of Plant Physiology* / T. Weevers. – Waltham, Mass : Chronica Botanica, 1949. – 308 p.
5. Посудін Ю. І. Вимірювання гравітаксиса водоростей як засіб біомоніторингу водних середовищ / Ю. І. Посудін // Науковий вісник НАУ, 1998. – №3.- С. 15-21.
6. *Біофізика : підруч.* / П. Г. Костюк, В. Л. Зима, І. С. Марура [та ін.]. – К. : Обереги, 2001.–544 с.
7. Sybesma C. *Biophysics, an introduction* / C. Sybesma. – Dordrecht, Boston, London : Kluwer Academic Publishers, 1989. – 478 p.
8. Посудін Ю. І. *Фізика з основами біофізики* / Ю. І. Посудін. – К. : Світ, 2003.- 400 с.
9. Lindauer M. Die Schwereorientierung der Honigbiene. *Z. vergl.* / M. Lindauer, J. O. Nedel // *Physiol.* – 1959. – V. 42. – P. 334-364.
10. Рейвн П. *Современная ботаника* / П. Рейвн, Р. Эверт, С. Айкхорн - в 2-х т. ; пер. с англ. - М. : Мир, 1990.  
Т.1 – 1990. – 348с.  
Т.2 – 1990. – 44с.

Навчальне видання

# **БІОФІЗИКА:**

## Методичні рекомендації

Укладач: Бацуровська Ілона Вікторівна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_

Тираж 100 прим. Зам. № \_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р