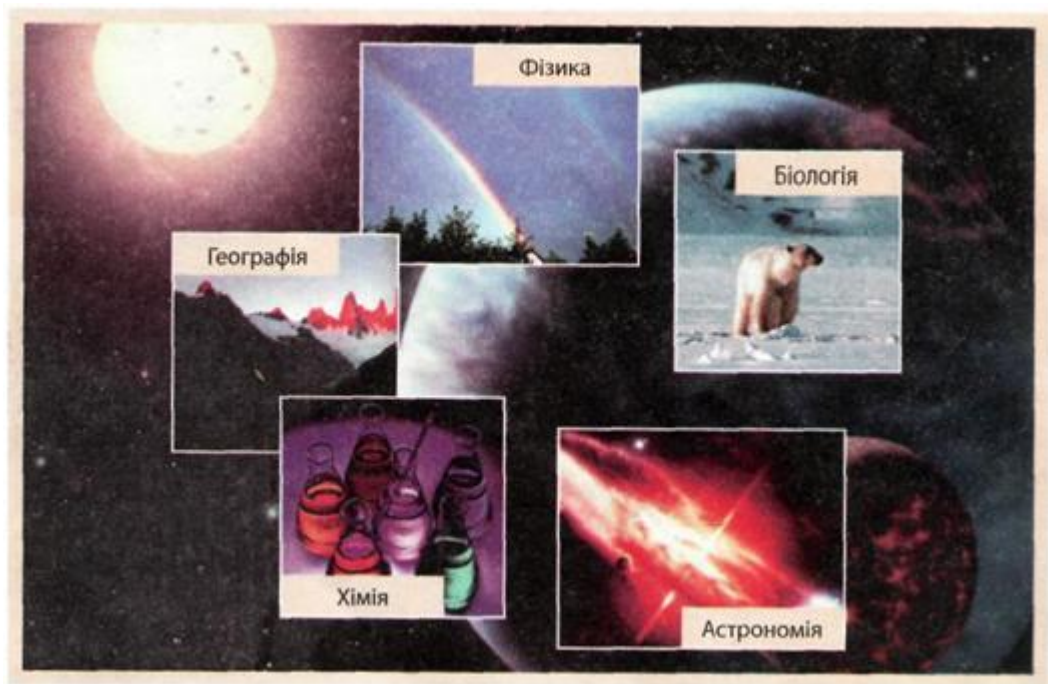


ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ І НАУКИ ЧЕРКАСЬКОЇ  
ОБЛДЕРЖАДМІНІСТРАЦІЇ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ІНСТИТУТ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ  
ОСВІТИ ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ

Л.І. ДАНИЛЕНКО

# Фізичні явища у живій природі



Черкаси  
2010

## УДК 373.5.016:57

Рекомендовано до друку вченою радою Черкаського обласного інституту післядипломної освіти педагогічних працівників. Протокол №2 від 09.06.2010 року

**Автор-укладач:** Л.І. Даниленко, методист лабораторії природничо-математичних дисциплін Черкаського обласного інституту післядипломної освіти педагогічних працівників

**Рецензенти:**

**Волошенко О.В.**, завідувач кафедри психології та педагогіки Черкаського обласного інституту післядипломної освіти педагогічних працівників, кандидат педагогічних наук;

**Юрченко Л.П.**, вчитель біології Черкаської гімназії №31 Черкаської міської ради, вчитель-методист

Д.16 Даниленко Фізичні явища у живій природі: навч. - метод. посібник / Л.І. Даниленко. Черкаси: ЧОПОПП, 2010. 116 с.

*Навчально-методичний посібник створено відповідно до чинної програми. Посібник містить пізнавальні завдання й творчі, якісні та кількісні задачі до чотирьох розділів шкільного курсу біології: «Рослини», «Тварини», «Людина», «Біологія і екологія». Їх можна використовувати під час засвоєння нового матеріалу, оцінювання навчальних досягнень учнів з біології та під час підготовки до учнівських предметних олімпіад.*

*Крім того, у посібнику вміщено теоретичні відомості про сучасні дослідження в галузі біофізики, які суттєво посилять мотивацію навчання, розвиватимуть інтерес до цієї науки та сприятимуть глибокому засвоєнню біологічного та фізичного матеріалу.*

*Навчально-методичний посібник призначений для учнів та вчителів загальноосвітніх та спеціалізованих шкіл.*

ЧОПОПП, 2010

## З М І С Т

|                        |  |    |
|------------------------|--|----|
| Передмова              |  | 4  |
| Розділ 1.              | Інтеграція в освіті і науці                                    | 6  |
| Розділ 2.              | Рослини і тварини як об'єкти вивчення біофізики                | 12 |
| 2.1.                   | Пізнавальні завдання, творчі, розрахункові та кількісні задачі | 12 |
| Розділ 3.              | Фізичні явища і біологічні процеси в організмі людини          | 69 |
| Розділ 4.              |  | 43 |
| Розділ 6.              |  | 43 |
| Розділ 7.              | Розрахункові, творчі та пізнавальні задачі                     | 44 |
| Розділ 8.              | Кількісні задачі   | 58 |
| Використана література |  | 67 |

## Передмова

Практичний досвід вчителів природничого циклу показує, що пізнання живих організмів як об'єктів біології та фізики підсилює, насамперед, мотивацію навчання, розвиває інтерес до біологічних та фізичних знань, сприяє глибокому засвоєнню біофізичного матеріалу та всебічному розвитку особистості.

Існує велике коло питань про тваринний світ і людину, які можна пояснити на основі знань і закономірностей фізики. Ці питання пов'язані з поведінкою тварин, їх життєдіяльністю.

Якщо говоримо про людину, то вона є невичерпним об'єктом фізики. Пізнання світу неможливе без пізнання себе. Людині життєво необхідні і біологічні, і фізичні знання про себе. Наприклад, на уроках фізики та біології учні дізнаються про не випадковість й взаємозв'язок геометричних розмірів людини (її зросту, розмаху рук, довжини ступні і ліктя, маси і зросту, площі поверхні та середньої густини тіла тощо).

До негеометричних вимірів, важливих для людини, належать швидкість реакції на подразник, граничні навантаження, швидкість, витривалість тканин, граничні зусилля кісток, судин тощо.

Людину можна розглядати і як теплову машину. В електродинаміці не можна не сказати про вплив властивостей матеріалів на самопочуття людини: шкідливість їх електризації, залежність ємності тіла та його електричного опору від зовнішніх факторів (вологи, тиску) і внутрішніх (страху, стресу). Енергетичні можливості людського організму також здатні здивувати: потужність, яку розвивають кращі штангісти, порівнюється з потужністю легкового автомобіля, а серце людини протягом життя виконує роботу, якої було б достатньо, щоб підняти на Монблан (найвища вершина Європи, висота 4810 м) залізничний потяг.

У даному навчально-методичному посібнику містяться біологічні задачі (пізнавальні, творчі, розрахункові, кількісні) та завдання на міжпредметні зв'язки з фізикою до розділів «Рослини», «Тварини», «Людина», «Біологія і екологія».

Посібник складається з двох розділів. Перший присвячений розгляду таких питань як обґрунтування доцільності здійснення інтеграції природничих дисциплін в освіті. Наводяться приклади різних моделей щодо побудови змісту освіти, що передбачає інтеграцію таких навчальних дисциплін як фізика і біологія. Також розкривається сучасний погляд учених-дидактів на проблему співвідношення інтеграції і міжпредметних зв'язків.

Особливу увагу автор приділяє класифікації задач, які найбільш поширені у методиці викладання біології та фізики. Крім того, подаються методичні рекомендації щодо ефективності використання різних типів задач у навчанні біології. Автор наголошує на тому, що одним із ефективних способів реалізації інтеграції та міжпредметних зв'язків у навчанні біології є розв'язування задач і виконання завдань, які потребують комплексного застосування знань з фізики та біології.

У другому, третьому та четвертому розділах містяться приклади пізнавальних й творчих завдань, розрахункових і кількісних задач, та тексти наукових статей щодо сучасних досліджень у галузі фізики та біології. До кожного завдання й задачі пропонуються відповіді.

Пропоновані розрахункові й кількісні задачі, пізнавальні й творчі завдання різноманітні за змістом та ступенем складності і можуть бути використані вчителем під час пояснення нового навчального матеріалу, для закріплення знань й проведення контрольних робіт, біологічних і фізичних вікторин та олімпіад. Також учитель може використовувати тексти наукових статей щодо сучасних досліджень у біофізиці та етології тварин для організації самостійної пошукової роботи учнів на уроці. Крім цього, вчитель може використати деякі завдання для створення проблемних ситуацій і вироблення в учнів уміння самостійно аналізувати експериментальні дані

Розв'язування запропонованих автором-укладачем задач та завдань сприятиме зміцненню міжпредметних зв'язків біології з фізикою та посиленню практичної спрямованості у викладанні шкільного курсу «Біологія».

## Розділ 1. Інтеграція в освіті та науці

Останнім часом нагальними стали питання, що пов'язані з проблемами інтеграції і міжпредметних зв'язків в освіті та науці. Це питання не є новим, а посилена увага до нього пояснюється переходом на профільне навчання у старшій школі.

Коли ми говоримо про інтеграцію або міжпредметні зв'язки, то в першу чергу маємо на увазі природничонаукові дисципліни. Міжпредметні зв'язки шкільних дисциплін з літературою або будь-якою іншою гуманітарною дисципліною завжди мають місце у навчальному процесі. Так, достеменно відомо, що учні по-різному описують побачене. Дехто бачить тільки те, що лежить на поверхні, а дехто, більш спостережливий, бачить набагато більше, для них світ різнобарвний та багатоголосий. Деякі учні висловлюють свої думки віршованими рядками, а деякі прозою. Це залежить від природних задатків, а також від розвитку дитини, отриманих протягом життя й навчання. Міжпредметні зв'язки з літературою, історією, музикою використовують з метою створення емоційної атмосфери на уроці й розвитку образного мислення, а міжпредметні зв'язки з фізикою, хімією можуть бути використані для поглиблення та розвитку знань з біології.

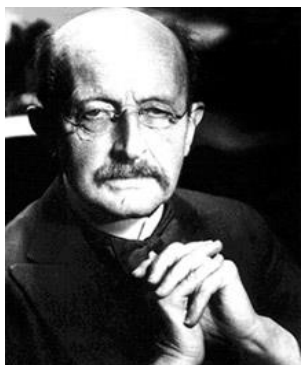
Значення міжпредметних зв'язків вбачається в тому, що вони:

- сприяють виробленню вмінь використовувати власні знання в різних ситуаціях;
- допомагають вивчити природні явища різнобічно і в різних аспектах;
- переконують в тому, що знання мають універсальний характер, тобто можуть бути застосовані у різних галузях;
- формують цілісне уявлення про природничо-наукову картину світу;
- сприяють появі переконань про загальний зв'язок явищ та їх обумовленість;
- забезпечують розширення наукового світогляду учнів.

Розглядаючи питання інтеграції в освіті не можна обійти питання про інтеграцію в науці, тому що, по суті в школі ми викладаємо не самі науки, а лише витягнуті з них адаптовані й спеціально структуровані матеріали, які призначені спеціально для учнів.

Так, навчальна дисципліна «Біологія» - це проаналізована галузь наукового знання, яка дозволяє організувати наукове пізнання об'єктів і явищ живої природи, реалізувавши всі його етапи надає можливість для творчого розвитку процесу пізнання та доступу до самостійних досліджень в даній галузі.

Перш за все, варто звернутися до процесів, які відбуваються в науці. Яким би складним не був процес еволюції природничих наук і причини періодів застою або інтенсивного розвитку, він завжди супроводжувався їхньою інтеграцією й диференціацією. В основу графічного уявлення процесів інтеграції й диференціації наук покладена достатньо універсальна біфуркаційна діаграма. На ній можна виділити вузлові моменти, де відбувається розділення однієї гілки на декілька.



У процесі розвитку природознавства й накопичення певної суми фактів у будь-якій з дисциплін відбувалась їх диференціація, розділення на часткові теорії. Потім розгалуження, які утворилися заново, переплітались й зросталися одне з одним, а удосконалення й доповнення цих теорій приводили до необхідності інтеграції, тобто отримання більш загальних теорій, які знову ж потребували диференціації. Саме області пересічення різних напрямків, на думку сучасних дослідників, є найбільш перспективними щодо нових ідей й відкриттів.

В одному з своїх творів Макс Планк писав, що існує неперервний ланцюжок від фізики до хімії через біологію до соціальних наук, ланцюг, який в жодному місці не може бути розірваний, хіба що свавіллям. Наука представляє собою внутрішнє єдине ціле. Її поділ на окремі галузі обумовлений не стільки природою речей, скільки обмеженістю людського пізнання.

Досить природним у цій ситуації є тісна взаємодія всіх наукових дисциплін, що вивчають явища природи в процесі їх еволюції. Розвиток природознавства в цілому – це процес, який відбувається під впливом різних факторів. Однак основною закономірністю цього розвитку прийнято вважати єдність вищеназваних процесів диференціації і інтеграції наукового знання.



У свій час М.В. Ломоносов писав, що дослідження і пояснення хімічних, біологічних явищ неможливі без залучення фізики. А дисципліни, які одвічно вважаються інтегративними, наприклад географія й геологія, активно використовують досягнення як фізики, так і хімії. Внаслідок цього виникли «суміжні» природничонаукові дисципліни – фізична хімія, хімічна фізика, біохімія, біогеохімія, хімічна термодинаміка тощо. На цей час основні фундаментальні науки настільки проникли одна в одну, що постало питання про створення єдиної науки про природу. Так, наприклад, біологи і біофізики використовують у своїй науковій діяльності одні й ті ж самі фізичні методи, в біологічних об'єктах, які набагато складніші фізичних, спостерігаються теж ті ж самі явища.

Якщо ж говорити про освіту, то на думку науковців, до цього часу у змісті шкільної освіти простежується лише одна тенденція – диференціація. Але цей процес став у деякій мірі некерованим і призвів до надмірного дроблення профілів, а все це разом призвело до послаблення міжпредметних зв'язків і зниженню якості освіти. Причина такої інтенсивної диференціації зрозуміла: бажання вчителів повернути освітній процес до особистості дитини, до її природи, адаптувати зміст дисциплін до особливостей того чи іншого складу розуму, з урахуванням здібностей, віку, бази, мотивації і таке інше. Наслідком всього цього стало перевантаження учнів і плутанина у навчальних планах загальноосвітніх навчальних закладів. Виходом із цієї ситуації має бути повний перегляд всього змісту освіти, об'єктивний і

виважений відбір необхідного, на основі інших заново вироблених принципів, включаючи і принцип інтегративності.

Сьогодні виникла можливість реалізації принципу інтеграції в рамках курсів за вибором і учнівських проєктів міжпредметного змісту.

Декілька десятиріч тому в освіті робились спроби інтегрування шкільних дисциплін на основі міжпредметних зв'язків, але це здійснювалось несистематично й фрагментарно. Тому такі курси навряд чи могли сформувати в учнів природничонаукову картину світу.

Аналізуючи проблему інтеграції, доцільно розпочати з розгляду загальних підходів до побудови змісту освіти, кожний з яких, у тій чи іншій мірі, містить в собі інтеграцію.

Розглянемо приклади різних моделей щодо побудови змісту освіти, що передбачають інтеграцію навчальних дисциплін.

#### **1. Енциклопедичний підхід.**

Інтеграція отриманих учнями знань з розвитком їх почуттів і волі, тобто інтелектуальної і емоційної сфер.

#### **2. Структурний підхід.**

В окремих навчальних курсах передбачається поєднання фундаментальних і сучасних знань, а також формування уявлень про систему наукового знання в цілому.

#### **3. Проблемно-комплексний підхід.**

Базується на принциповій необхідності інтеграції різних навчальних предметів на фоні перегляду їх змісту і методів навчання.

#### **4. Прогресивний підхід.**

Поєднує в собі основні риси проблемного і діяльнісного підходів у навчанні.

#### **5. Підхід вільної вальфдорської школи.**

Пропагує принцип цілісності побудови світу й людини як його частини. Єдність інтелектуальної і емоційної сфер.

#### **6. Діалогічний підхід.**

Базується на основі діалогу різних культур.

#### **7. Формальний підхід.**

Навчання розглядається як засіб розвитку здібностей і пізнавальних інтересів учнів. Перенесення вмінь, які отримані в процесі вивчення фронтальних дисциплін, на всі інші.

#### **8. Екземпляристський підхід.**

Пропонується відійти від систематичності у викладанні матеріалу, який вивчається і демонструвати лише найяскравіші приклади, характерні для кожної теми, що розглядається.

#### **9. Синергетика або нелінійна динаміка як принцип освіти.**

Таким чином, із наведених вище моделей, проблема інтеграції розпадається на дві складові: інтеграція в освіті та інтеграція в навчанні.

Розглянемо ще один приклад упорядкування моделей інтегрованих курсів.



Так, за класифікацією В.Р. Ільченко їх умовно можна поділити на три типи:

а) навчальний курс складається з окремих розділів, які не мають логічного зв'язку (розділи з хімії, фізики, біології);

б) курс являє собою об'єднання знань навколо будь-якого поняття (ідеї): будова атома, взаємоперетворення матерії та ін.;

в) курси, які мають прикладний характер.

Сучасні дослідники продовжують створювати різні моделі побудови інтегрованих курсів, а саме: деякі з них пропонують об'єднати навчальний матеріал з різних дисциплін навколо певних понять або методів дослідження, інші пропонують об'єднати при вивченні деякі розділи природничих дисциплін; треті вбачають розв'язання цієї проблеми в об'єднанні предметів природничого циклу.

У зв'язку з проблемою інтеграції постає і питання про співвідношення інтеграції і міжпредметних зв'язків.

Розрізняють два типи зв'язків між навчальними предметами: тимчасовий і постійний.

Перший передбачає узгодження у часі проходження навчальної програми різних предметів. Другий передбачає однакове трактування наукових понять на основі загальних методичних положень

Тимчасові міжпредметні зв'язки, в свою чергу, діляться на три види: попередні, супутні й перспективні, з якими вчителю найбільше доводиться мати справу.

Попередніми міжпредметними зв'язками називають такі, у яких при вивченні матеріалу курсу біології опираються на раніше отримані знання з інших предметів.

Супутніми міжпредметними зв'язками називають такі, у яких деякі питання і поняття одночасно вивчаються декількома предметами.

Перспективні міжпредметні зв'язки використовують у тому разі, коли вивчення матеріалу з біології випереджує його застосування в інших предметах.

Проблема реалізації міжпредметних зв'язків у шкільній практиці обговорюється більше тридцяти років. Багато вчителів у своїй практичній діяльності проводять інтегровані уроки, семінари, конференції та інші заходи, які мають міжпредметний характер. Однак, окремі інтегровані уроки, а також спроби розглядати окремі питання з позиції різних наук через низку як об'єктивних, так і суб'єктивних причин не завжди дають очікуваний результат. Тому проблема міжпредметних зв'язків у шкільній практиці актуальна і на цей час.

Можна виділити найбільш поширені причини недостатнього використання міжпредметних зв'язків у шкільній практиці:

- недостатня теоретична і практична підготовка вчителя до проведення занять з міжпредметними зв'язками (відсутність методичних посібників міжпредметного змісту);

- неузгодженість за часом вивчення матеріалу різних навчальних предметів природничого циклу;
- різне тлумачення однакових понять у різних навчальних предметів природничого циклу;
- трудомісткість і великі затрати часу при підготовці до занять міжпредметного змісту;
- неефективність в односторонньому використанні міжпредметних зв'язків (ситуація, коли вчитель однієї дисципліни намагається на уроках із свого навчального предмету реалізувати міжпредметні зв'язки, а на інших навчальних предметах знання, отримані учнями, не використовуються).

Сьогодні кожен учитель має усвідомити своє місце у цьому процесі, тому що об'єктивних можливостей для реалізації міжпредметних зв'язків і інтеграції предметів природничо-наукового циклу цілком достатньо.

Так, міжпредметні зв'язки дають можливість учителю розкрити всеохоплюючий характер біологічної науки і таким чином розвинути в учнів, насамперед, пізнавальний інтерес до предмету. Гарним засобом є встановлення зв'язку з фізикою. Існує дуже велике коло питань про тваринний світ, які можна пояснити на основі знань і закономірностей фізики. Це питання, які пов'язані з поведінкою тварин, процесами їх життєдіяльності. Розгляд таких питань не лише розвиває пізнавальні інтереси учнів, але й поглиблює і розширює їх знання з біології та фізики. Надзвичайно корисні у цьому плані зоолого-фізичні вікторини. Матеріали вікторин (питання, завдання) можна використовувати як окремо на уроках, при вивченні відповідних питань, так і в цілому, на позакласних заняттях.

Досить ефективним засобом навчання є використання у навчанні біології творчих завдань з біофізичним змістом. Вони мають позитивний вплив на розвиток в учнів уміння творчо мислити та формують дослідницький стиль розумової діяльності, ставлять перед дитиною проблему, яку вона може розв'язати на основі теоретичних знань або під час самостійного здобуття нових знань.

Відповідно до мети, з якою використовуються творчі завдання, їх можна розділити на два типи: завдання для закріплення знань та завдання для формування вміння здобувати знання самостійно. Основними вимогами до умови таких завдань є достатність інформації, коректність запитання й наявність проблеми. Творчі завдання можна розв'язувати з учнями як на уроках, так і в позаурочний час, зокрема: на засіданнях наукових клубів, заняттях факультативів та гуртків тощо. Вони також можуть бути використані як домашні індивідуальні завдання учням, які цікавляться біологією й фізикою, і планують на далі пов'язати з ними свою майбутню професію.

Систематичне використання завдань такого типу помітно підвищує їхній загальний розвиток, розвиває самостійність мислення. З часом зростає ймовірність розв'язування творчих завдань, зникає психологічний бар'єр перед новим, невідомим. Навчальні проблеми вже не здаються такими нездоланими.

Сьогодні вчителя біології найбільше цікавить питання: які ж задачі найефективніші з точки зору підвищення якості біологічної освіти? Щоб розібратися в цьому варто пригадати одну із сучасних класифікацій щодо задач. Найбільш поширені у методиці викладання біології та фізики такі задачі:

- інформаційні (забезпечують отримання додаткової інформації);
- міжпредметні (вимагають для свого розв'язку знань інших предметів шкільної програми – фізики, хімії, географії, математики);
- евристичні (це ті задачі, розв'язання яких відбувається на підсвідомості, інтуїтивно). Основна відмінність цього типу задач – згорнуте сприйняття всієї проблеми в цілому;
- типові (розв'язуються за алгоритмом);
- інтегровані (нестандартні творчі задачі з невизначеними явно шляхами розв'язку. Ядром такої задачі слугує будь-яка ситуація. За змістом інтегрована задача – міжпредметна, її текст дозволяє учням отримати нові знання.

Якому ж з цих типів надати перевагу? Досвід свідчить, що всі типи задач важливі, якщо використовуються своєчасно.

Інформаційні, міжпредметні і типові задачі – це основа для формування світогляду. Евристичні, пробуджують інтерес до біології, дають розуміння того, що всі явища живої природи підпорядковані певним законам (фізичним, біологічним, хімічним). Інтегративні задачі краще використовувати на закріплення навчального матеріалу і засвоєння знань. Особливу увагу треба приділяти підбору задач на повторення вивченого матеріалу. В якості узагальнюючих задач пропонуються, як правило, такі, що описують певну біологічну ситуацію, яка супроводжується завданням щось дослідити. Це налаштовує учнів на аналітичний підхід і вимагає від них продуктивних роздумів. Практика використання такого типу задач показує, що розв'язуючи їх, кожен учень йде власним шляхом і виділяє помічені ним особливості, і



лише загальне обговорення проблеми приводить до продуктивного багатопланового її дослідження. Важливо, щоб такі задачі були багаторівневими. Щоб кожний учень зміг упоратися з тією частиною проблеми, яка відповідає його здібностям засвоювати матеріал. Результат, який отриманий при навчанні розв'язуванню задач, в значній мірі залежить від інтересу, який проявляють учні до поставлених проблем. Саме аналіз реальних життєвих ситуацій сприяє розвитку творчих, дослідницьких здібностей і успішності навчання.

У свій час Елвін Тофлер говорив, що у майбутньому неосвіченим буде вважатися не той, хто не вміє читати, а той, хто не вміє навчатися.

У сучасній методиці викладання біології міжпредметні зв'язки залишаються однією із важливих дидактичних умов, що сприяють формуванню наукового світогляду, розвитку діалектичного методу мислення.

Викладання біології з використанням матеріалу з фізики дозволяє пояснити учням взаємозв'язок фізичних і біологічних процесів, суттєво

розкрити умови здійснення фізіологічних функцій в організмі, ознайомити учнів з глобальними проблемами сучасного суспільства, такими як різке потепління, забруднення Світового океану, руйнація ґрунтів тощо.

Одним із ефективних способів реалізації міжпредметних зв'язків у навчанні біології є розв'язування задач і виконання завдань, які потребують комплексного застосування знань з фізики та біології. При цьому засвоєння біологічних знань учнями відбувається більш активно й усвідомлено.

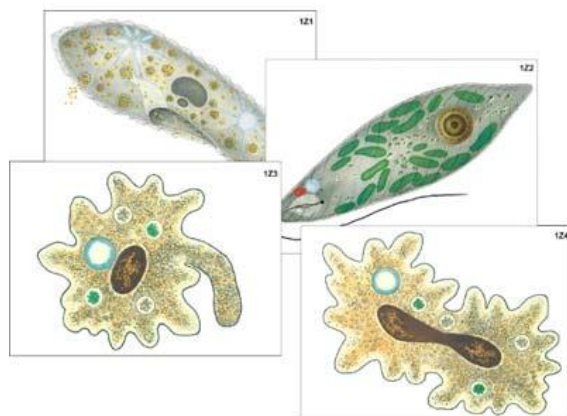
Тому важливо навчити учнів розв'язувати такі задачі, які потребують інтеграції знань, отриманих на уроках біології та фізики. Це дозволить краще підготувати їх до ефективної діяльності у виробничій галузі, у підході до розв'язання складних комплексних проблем людства. Розв'язуючи задачі міжпредметного змісту, учні не лише набувають і удосконалюють практичні вміння й навички, але й вчаться виявляти і самостійно встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між явищами і процесами та перебігом їх у живій природі. При цьому створюються сприятливі умови для усвідомленого розуміння фактів, законів, теорій, які є загальними для природничих дисциплін. Крім цього, відбувається конкретизація і поглиблення попередньо набутих знань з фізики і біології.

Задачі й пізнавальні завдання біофізичного змісту сприяють розширенню світогляду учнів, росту їх самостійності у здійсненні переносу знань з одного предмета в інший. Включення міжпредметних задач у навчальні програми з біології активізує навчально-пізнавальну діяльність учнів, створює умови для формування і розвитку біологічних понять, логічного мислення.

## **Розділ 2. Рослини та тварини як об'єкти вивчення біофізики**

### **2.1. Творчі та пізнавальні завдання**

**1. Максимально можливі розміри тварин різних систематичних груп завжди обмежені. Наприклад, не буває: а) одноклітинних найпростіших об'ємом більш як 1 мм; б) комах з товщиною тіла більше 5 см; в) в'їжкових червів масою більше 100 г. Як ви думаєте, з чим пов'язані ці обмеження для кожної з названих систематичних груп?**



**Відповідь.** Те, що одноклітинні найпростіші не можуть вирости більш як 1 мм в об'ємі, пов'язано з низкою обмежень. По-перше, потужності одного ядра буде недостатньо для великої клітини. Дійсно, продуктів діяльності ядра – різноманітних матричних і рибосомальних РНК може бути недостатньо для крупного найпростішого. Інфузорії, наприклад, розв'язують цю проблему з допомогою макронуклеуса (великого поліплоїдного ядра, в якому геном малого ядра - мікронуклеуса повторений тисячу разів, і це у багато разів збільшує кількість синтезованої

РНК). Багатоядерні ж одноклітинні (наприклад, міксоміцети) доростають до значних розмірів (десятки сантиметрів).

Крім цього, такі крупні організми будуть пересуватися значно повільніше за своїх більш дрібних родичів. Однак це не заважає більш крупним тваринам використовувати ті ж самі способи пересування досить ефективно. Наприклад, амебоїдний рух відомий у міксоміцетів, а личинки багатьох безхребетних і, навіть, ставковика великого та прісноводної катушки рухаються за допомогою війок.

Захоплення об'єктів харчування відбувається всією поверхнею тіла або її спеціальними ділянками. Кількість їжі, яку проковтнули, прямо пов'язана з площею поверхні тіла. У разі збільшення лінійного розміру організму площа поверхні росте з меншою швидкістю, ніж об'єм.

Таким чином, дуже велика найпростіша тварина буде не в змозі прогодувати весь об'єм цитоплазми свого тіла. Таку ситуацію можна виправити зміною форми, наприклад, як у радіолярій (безліч тонких довгих виростів – псевдоніжок). Правда, в цьому разі виникають ще дві проблеми – міцність псевдоніжок і внутріклітинного транспорту із центра клітини до периферії, по всій довжині псевдоніжок.

Товщина комах обмежена перш за все особливостями їх дихальної системи. Дихання у комах пасивне і здійснюється за допомогою дифузії кисню і вуглекислого газу вздовж трахей, що пронизують тіло. У «дуже товстої» комахі трахеї можуть стати дуже довгими. Нормально будуть забезпечені киснем лише верхні шари тканин. По-друге, великій комасі буде важко пересуватися. Для того, щоб пересувати на суші крупне, важке тіло, необхідно мати потужні м'язи, які, в свою чергу, потрібно прикріпити до міцного скелету. Але біда в тому, що сила м'яза прямо пропорційна площі її поперечного перерізу, а його власна маса пропорційна його об'єму. Виходить, що якщо м'яз збільшився у довжину вдвічі, то його сила зросте вчетверо, а маса – у вісім разів.

Значне збільшення розмірів комахі призведе до того, що для її пересування знадобиться масивний зовнішній хітиновий скелет, а це зробить тварину ще більш незграбною.

Проблеми виникнуть і при польоті. М'язи, які приводять у рух крила комахі, знаходяться всередині тіла і рухають крилами як важелем. Внутрішнє плече такого важеля дуже коротке і потрібна значна сила, щоб підняти таким крилом у повітря масивний об'єкт. До того ж, щоб крила не зламалися від такої ваги, їх треба зробити більш товстими, а тому і більш важкими. Причому підйомна сила крила збільшується прямо пропорційно його площі, а маса – прямо пропорційно об'єму, тобто набагато швидше.

Великій комасі буде складніше ховатися від хижаків. Вона буде не лише дуже помітна, але й позбавиться можливості ховатися від ворогів у дрібні щілини.

Однією з причин того, що війкові черви не виростуть важчими ніж 100 г, є особливості їх дихання. На відміну від комах, вони не покриті товстим хітиновим покривом і мають можливість дихати всією поверхнею тіла. Для

ефективного газообміну вони мають сплюснену форму тіла. Якщо розмір черва збільшиться, то, відповідно, збільшиться й площа його тіла. Чим більший черв, тим краще такий «млинець» буде рватися. Стати ж більш товстим він не зможе через те, що це викличе труднощі газообміну у внутрішніх тканинах. Війкові черви великої маси не зможуть пересуватися за допомогою війок. Потужність війок має певну межу, а масивного черва вони не зможуть зрушити з місця (кожен грам маси буде приводитися у рух порівняно невеликою ділянкою поверхні тіла, тобто недостатньою кількістю війок).

Нелегко буде дуже великому черву і харчуватися. Травна система плоских червів сліпо замкнута, і залишки неперетравленої їжі викидаються через ротовий отвір. У великого черва процес виштовхування неперетравлених залишків з такого довгого кишечника може зайняти занадто тривалий час, який у дрібних особин буде витрачено на перетравлення нової їжі.

### *Рух та подразливість рослин*

**2. В Індії, на берегах Гангу, зустрічається рослина, висотою біля одного метра, яка має назву десмодіум (*Desmodium motorium*). У цієї рослини типові для бобових рослин квіти, плід – біб. Колись, як стверджує легенда, цю рослину прокляли боги і прирекли протягом всього життя здійснювати рухи листками. Яким чином рухаються листки цієї рослини? Поясніть механізм їхнього руху.**

**Відповідь.** В цілому листок десмодіуму складається з трьох листочків: відносно великої верхньої пластинки і двох малих бічних. Велика частина листка здійснює рухи, які пов'язані зі зміною дня і ночі. Вдень вона розміщується горизонтально, а на вечір опускається вниз, розміщуючись паралельно стеблу. Але цікавіші рухи здійснюють зворотно ланцетоподібні бокові листочки: вони безперервно описують коло або еліпс. За цими рухами можна прослідкувати неозброєним оком, оскільки один оберт здійснюється за 0,5-1,5 хвилини.

Важливо відмітити, що листочки десмодіуму рухаються лише при відносно високій температурі. Варто температурі знизитися до 21°C, як вони завмирають. У молодих кущів рухи інтенсивніші, ніж у старих.

В основі руху листків десмодіуму лежить зміна тургору – напруженого стану клітин потовщених членувань черешків з віссю листка. При опусканні листків іони калію виділяють із клітин нижнього боку членувань і надходять до клітин верхнього. Завдяки цьому внизу тургорний тиск падає, а на нагорі підвищується, що приводить до зменшення об'єму нижніх клітин і збільшенню об'єму верхніх. Рух листків уверх супроводжується переходом калію із клітин верхньої боку членувань до клітин нижнього. Вчені вважають, що в основі коливань вмісту калію і тургорного тиску лежать ритмічні зміни проникності клітинних мембран.

**3. Відомо, що при проростанні насіння рослина певним чином орієнтується у просторі: корені у заростків, як правило, ростуть вниз, а стебла – уверх. Рух стебел і коренів під дією сили тяжіння отримав назву**

геотропізму. Завдяки йому коренева система рослин завжди опиняється у ґрунті, а стебло виносить листки до сонця.

У процесі природного відбору збереглися в основному ті форми, які володіли здатністю до росту коренів і стебел у діаметрально протилежному напрямку. В чому причина геотропізму? Які, на цей час, існують теорії геотропізму?

**Відповідь.** У горизонтально розміщеному заростку ауксини розміщуються в тканинах нерівномірно. Вони накопичуються у нижній частині стебла або кореня. Це приводить до посиленого поділу і розтягуванню клітин у цій частині стебла, що визначає його вигин уверх. Залишається неясним, чому корінь при цьому росте вниз? Вчені вважають, що клітини кореня значно чутливі до ауксину. Ті концентрації ауксинів, які стимулюють ріст клітин стебла, пригнічують поділ клітин кореня. З цієї причини у горизонтально розміщеному заростку клітини кореня інтенсивніше діляться і подовжуються не на нижній, а на верхній стороні. Це й приводить до вигину кореня вниз.

Існує й інше пояснення геотропізму. У клітинах кореневого чохла рослин є особливі крохмальні зерна, які використовуються у процесі життєдіяльності лише у крайніх випадках. Учені прийшли до висновку, що вони виконують функцію статоліта в органі рівноваги рослин. При вигині вони здійснюють тиск на певні зони цитоплазми і клітинних мембран. У ході тривалої еволюції у різних частин клітини вироблялось власне сприйняття до цього тиску. В разі природного положення кореня дія статолітного крохмалю не приводить до його викривлення. Якщо ж положення кореня зміщується, то тиск крохмальних зерен сприймається по-іншому і рослина реагує на це викривленням кореня вниз. На користь статолітної теорії геотропізму свідчить той факт, що розчинення статолітного крохмалю приводить до дезорганізації росту.

На цей час гормональна і статолітна теорія геотропізму об'єднані в одну. Вважається, що рослина сприймає силу тяжіння з допомогою рецепторів статолітів. Потім відбувається передача збудження сусіднім клітинам, в яких відбувається зміна вмісту ауксинів. Ауксини виробляються переважно на боці, який зазнає сильнішого тиску зерен статолітного крохмалю.

### *Рух живих організмів*

**4.** На питання, як пересуваються тварини в просторі можна відповісти так: ходять, бігають, літають, плавають, стрибають. Але кожен з названих видів руху має багато різновидів, що заслуговують на увагу. Які ж різновиди руху у мешканців водного, повітряного та наземного середовищ вам відомі?

**Відповідь.** Мешканці водного середовища рухаються по-різному. Наприклад, водоплавні птахи, водні черепахи і ластоногі пересуваються у воді завдяки видозміненим кінцівкам. Вигинаючи все тіло, плаває більшість

риб, а також хвостаті амфібії й змії. Реактивним способом, виштовхуючи воду із порожнини тіла, користуються восьминоги, каракатиці й медузи. А більшість дрібних тваринок, зокрема, клопи-водомерки, не плавають, а ходять або бігають по поверхні води.

Завоювати повітря можна лише завдяки польоту. Саме так і роблять птахи, літаючі комахи і летючі миші. А літаючі риби використовують можливості двох стихій. Так, стрімко розігнавшись у воді, вони продовжують рух у повітрі. Підкорили повітряне середовище і деякі інші безкрилі тварини: окремі види жаб і ящірок, білки-летяги, шерстокрилі. Вони навчилися здійснювати подовжені планерні стрибки, інколи на досить значні відстані, правда для цього вони мають відповідні пристосування, які утримують їх у повітрі, а саме: перетинки між подовженими пальцями, особливими складками шкіри тощо.

По твердій поверхні можна ходити, бігати, стрибати, повзати, лазити і ковзати. Так, гарні стрибуни – це, безсумнівно, кенгуру, жаби, коники та багато інших тварин. Наприклад, у разі небезпеки кенгуру встановлюють справді світові рекорди: стрибають на 10-12 м у довжину і розвивають швидкість до 50 км/год.

Безумовними чемпіонами з повзання є змії і безногі ящірки. Але крім чемпіонів існують і звичайні «повзуни» - гусінь, морські зірки.

Серед лазячих тварин виділяються перш за все мавпи. Однак заслуговує на увагу і австралійський сумчастий ведмідь коала, який все життя проводить на евкаліптових деревах. Прекрасно лазять по деревах білки, соболі, куниці, а також багато котячих.

Ковзати вміють дуже різні тварини. Так, не поспішаючи, несе свій «будиночок» по ним же створеній слизовій доріжці слимак.

Стрімко ковзає на животі по щільному снігу пінгвін. Пінгвіни – прекрасні плавці. У воді вони здатні розвивати швидкість до 30 км/год і пірнати на глибину до 60 м і більше. Суходолом ці птахи пересуваються повільно, тримаючи своє тіло у вертикальному положенні й спираючись на короткий жорсткий хвіст, але якщо по дорозі на рибну ловлю їм зустрічається пологий схил, то завдяки ковзанню вони опиняються на березі набагато швидше, ніж пішки.

І, насамкінець, про тих тварин, яким випало пересуватися у товщі землі. Найбільш відомий серед них – кріт. По суті кріт – це жива підземна машина – залишає за собою чистий тунель з гладенькими стінками. Ріючи складні системи підземних ходів на глибині від 2 см до 60 см, він весь час крутить головою, вдавлюючи ґрунт у стінки тунелю.

**5. Медузи мають дещо більшу щільність, ніж щільність води, однак вони не тонуть. Що допомагає їм триматися у тих шарах водойми, де мешкає їхня постійна здобич?**

**Відповідь.** Маючи більшу щільність, медузи змушені активно рухатися для того, щоб не потонути. Крім того, триматися на рівні мешкання їх здобичі їм допомагають світлочутливі органи й органи рівноваги, які розміщені на парасольці.



**6. Як відомо, плоскі черви живуть у прісній і солоній воді, а деякі з них освоїли і сушу. Які способи руху притаманні представникам цього типу?**

**Відповідь.**

Досить цікаво спостерігати за рухами молочно-білої планарії. Зазвичай вона повзає по підводним предметам або по поверхні плівки води, а інколи й плаває. Для пересування планарія використовує і війки, і м'язи. При повзанні, з допомогою війок, планарія ковзає по слизу, який виділяється шкірними залозами. При скороченні шкірно-м'язового мішка тіло планарії вигинається в різних напрямках. Для роботи м'язів потрібна опора і такою опорою для планарії слугує паренхіма – рихла тканина, що складається з багатьох клітин, які містять багато рідини.

Серед морських війчастих червів одні повзають по дну, інші плавають у товщі води, хвилеподібно вигинаючи краї тіла. Їхні личинки, на округлому тілі мають лопаті з довгими війками. З допомогою цих війок вони ширяють у товщі води, а пізніше осідають на дні.

А ось перед суходольними війчастими червами при переході до життя на суші постає важлива проблема – збереження вологи. В зв'язку з цим їх тіло із плоского стає відносно червоподібним, а щупальці на передньому кінці тіла можуть надавати їм форму, що нагадує цвях.

**7. Яке значення у пересуванні нематод має первинна порожнина тіла?**

**Відповідь.** У нематод первинна порожнина тіла заповнена рідиною під підвищеним тиском і тому виконує, в першу чергу, опорну функцію. Саме ця особливість і дозволила круглим червам освоїти новий спосіб пересування, а саме: зариватися у ґрунт.

Таким чином, їм набагато легше врятуватися від повзаючих на поверхні ґрунту хижаків (наприклад, війкових червів).

Спосіб пересування нематод досить своєрідний. Вони пересуваються лежачи на боці. При скороченні м'язів тіла щільна кутикула не розтягується і тиск у порожнинні тіла підвищується, черв розгинається. Перемежуючи згини і розгини, черв звивається і здатен просуватися навіть у щільному середовищі.

**8. Як пересуваються різноманітні кільчасті черви? Які особливості у будові тіла сприяли удосконаленню способу їх пересування?**

**Відповідь.** Порожнина тіла кільчастих червів також заповнена рідиною, як і у круглих червів, але розвивається всередині мезодерми і встелена епітелієм мезодермального походження. Така порожнина називається вторинною. У круглих червів, як нам відомо, первинна порожнина заповнена рідиною і використовується як опора тіла. Ця порожнина тягнеться уздовж всього тіла і дозволяє випрямляти його зразу. Однак тваринам вигідно згинати і розгинати не все тіло, а лише деякі його ділянки. А для того, щоб використати при цьому порожнину з рідиною як опору, її треба розділити на відсіки – сегменти. Підвищивши тиск в одному сегменті, можна розігнути

тіло в цьому місці. Саме так і влаштована порожнина тіла кільчастих червів. Для них типові такі способи пересування, за яких різні ділянки тіла водночас здійснюють різні рухи. Тварині, яка вигинається корисні вирости, що будуть опиратися на оточуючі предмети. Це можуть бути спрямовані вбік вирости кожного сегменту тіла – параподії. З часом розвивається мускулатура, яка забезпечує рух окремих параподій – «первинних ніг».

Досить цікавий спосіб пересування має медична п'явка (сплющене тіло має дві присоски, якими вона прикріплюється до хазяїна). Але присоски важливі і для їх руху, ними вона «переступає» по твердим предметам.

**9. Представники типу молюски мають своєрідний зовнішній вигляд і не схожі ні на яку іншу групу тварин. Так, у молюск для пересування виник широкий сплющений виріст – нога. Як пересуваються червононогі та двостулкові молюски?**

*Відповідь.* Пересуваються червононогі молюски сковзаючи по субстрату сплющеною ногою. В цьому їм допомагає слиз, який виділяє шкіра. А ось двостулкові молюски частково або повністю втратили рухливість. Нога у них зменшилась і стала сплющеною з боків. Вона або слугує для повільного пересування, або виділяє нитки особливої речовини (бікуса), для прикріплення для опори. Серед двостулкових здатний переміщуватися гребінець (у дорослому стані). Плаває гребінець ляскаючи створами. В разі небезпеки, наприклад, при нападі морської зірки, він різко відпливає в бік.

**10. Відомо три типи пересування тварин по твердій поверхні – стопоходіння, пальцеходіння, фалангоходіння. Як ви вважаєте, який тип пересування є найшвидшим?**

*Відповідь.* Найшвидшим типом пересування вважається фалангоходіння.

**11. Галоп вважається найшвидшим способом пересування звірів. Як ви думаєте, чому?**

*Відповідь.* При галопі тварина пересувається стрибками, згинаючи і розпрямляючи все тіло. У «швидконогих» тварин (хижаки, копитні) найбільш розвинені м'язи спини і кінцівок. Так, завдяки сильним м'язам спини й кінцівок вовк здатний бігти дуже швидко – великими стрибками, згинаючи та розпрямляючи тулуб, відштовхуючись по черзі то передніми, то задніми ногами. До того ж їхні м'язи дуже витривалі, вовк за добу може пробігти 60-70 км. Полюючи вовк, як правило, заганяє здобич.

Серед котячих лише гепард полює так як вовк. У гепарда «собачий» довгоногий силует, не втяжні кігті. Полюючи гепард може розвинути швидкість до 110 км/год. Це найшвидша наземна тварина.

**12. Вчені тривалий час не могли розв'язати питання, як розгинаються ноги у павука? Адже в них практично немає для цього м'язів. Разом з тим павуки здатні не лише швидко бігати, а й стрибати. Як це їм вдається?**

*Відповідь.* Дійсно, для павуків характерно і пересування стрибками. У деяких випадках на відстань, що у десятки разів перевищує їх власну довжину. Виявляється, під час стрибка (розгинання ніг) у них різко, інколи

на 0,5 атм, підвищується кров'яний тиск. Кров наповнює кінцівки павука, і вони з силою розгинаються, штовхаючи при цьому павука вперед і вгору. Тому павук, втративши у сутичці з ворогом, хоча б декілька крапель крові, одразу стає млявим і повільно повзе до своєї схованки, щоб там відлежатися.

**13. На піщаних коралових пляжах мешкає сухопутний краб-примара (Ocypoda). Забарвлення тіла у нього світле і повністю зливається з білим піском – його присутність видає лише тінь. Поясніть його поведінку в разі виникнення небезпеки.**

*Відповідь.* Відчуваючи небезпеку, краб присідає і зовсім стає непомітним. Але, не покладаючись лише на маскування, він найчастіше рятується завдяки швидкому бігу. На великій швидкості несеться краб на довгих ногах і з розгону кидається у воду. Висунувшись з води, краб уважно слідкує за всім, що відбувається навкруги, завдяки очам на довгих стебельцях, схожих на перископ.

**14. Летючі миші не реагують на світло, однак часто вони залітають до освітлених помешкань, на відкриті веранди, де знаходяться люди і горить світло. Поясніть причину такої поведінки тварин.**

*Відповідь.* Це можна пояснити тим, що світло лампи приваблює нічних метеликів та інших комах, якими живляться летючі миші.

**15. З давніх часів павуки-тенетники вважались гарними синоптиками. Поясніть, чому?**

*Відповідь.* Павутиння павуків дуже гігроскопічне і тому досить чутливе до вмісту водяних парів у повітрі. В разі підвищення концентрації водяних парів у повітрі, павуки одразу ж реагують на це, ховаючись у своїй схованці.

**16. Англійські вчені-ентомологи стверджують, що цвіркун є дуже гарним термометром. Так, щоб зрозуміти його сповіщення щодо температури повітря, необхідно підрахувати кількість його свистків за 15 секунд, додати 8, а результат помножити на 5/9. Чи згодні ви з таким твердженням вчених?**

*Відповідь.* Дійсно, дані цвіркуна досить точні, тому що комаха виключно чутлива до температури навколишнього середовища повітря й змінює ритм свого «співу», реагуючи на найменші її коливання.

**17. Молюски здатні не лише повзати, але й ширяти у товщі води. У холодних арктичних водах мешкає витончена істота, яка немає черепашки. Махаючи плавцями, ніби крильми, молюск легко і вільно плаває у товщі води. Навіть перебуваючи на одному місці, він не перестає ними махати, щоб утриматися на плаву. Напівпрозорого, забарвленого у помаранчево-червоний колір, молюска називають морським ангелом (Clione limacina). Що вам відомо про цих тварин?**

*Відповідь.* Не зважаючи на «ангельські» вид і назву, поведінка його зовсім не відрізняється лагідністю. Морський ангел – ненаситний і ненажерливий хижак, який полює на своїх же родичів – молюсків, названих морськими дияволами (Limacina helicina). Морський диявол має прозору і тонку черепашку. Протягом дня плаває морський диявол за течією у своєму крихкому «човнику» і гребе двома синьо-чорними, схожими на весла

лопотями ноги. Помітивши ворога – хижого «ангела», молюск ховається у будиночок і опускається на дно.

**18. Відомо, що густина води перевищує густину повітря у 755 разів. Для водних мешканців це дуже зручно: вони живуть як би у невагомості і на відміну від мешканців суші не витрачають багато енергії для того, щоб подолати силу ваги. Проте разом з густиною середовища неминуче зростає і лобовий опір, який діє на тіло, яке рухається у цьому середовищі. Якщо птах, літаючи у повітрі, повинен перш за все подолати силу ваги, то для риби, яка пливе, головне – подолати лобовий опір. Яким чином риби долають лобовий опір?**

*Відповідь.* Більшість риб використовує для плавання бокові хвилеподібні вигини тіла – обернений назад бік кожного вигину як би відштовхується від води і просуває тіло вперед. При цьому у русі беруть участь бокові поверхні всього тіла. Такий спосіб плавання має достатньо високий коефіцієнт корисної дії (як у гребного гвинта корабля), але не дозволяє досягти високих швидкостей через те, що S-подібне вигнуте тіло зустрічає лобовий опір води. Тому багато риб здійснюють коливні рухи задньою частиною тіла, а кращі плавці, такі, як скумбрія або тунці працюють лише хвостовим стеблом та хвостовим плавцем. За такого способу плавання на рух витрачається більше енергії, проте знижується лобовий опір. Таким чином, збільшуючи частоту рухів хвостового плавця, риба може розвивати велику швидкість.

В основному більшість риб переміщується зі швидкістю 2-6 км/год., хоча кидаючись на здобич або тікаючи від хижака вони можуть рухатися значно швидше. Із швидкістю 30-40 км/год. плавають найшвидші серед акул - тигрова і блакитна. Зграї тунців зазвичай рухаються зі швидкістю 20-25 км/год., але здатні розігнатися до 70 км/год. Так, деякі спостереження за меч-рибою дозволяють припустити, що вона здатна розігнатися до 110-130 км/год.

Деякі риби плавають махаючи грудними плавцями або здійснюючи хвилеподібні рухи спинним і анальним плавцями. Досить незвичний спосіб руху у морської собачки. Ця невеличка риба має тверді, спрямовані назад колючки біля основи грудних і черевних плавців. Поперемінно спираючись ними об ґрунт, вона переміщується подібно гусені – то складаючись навпіл, то розпрямляючись.

**19. На відміну від мешканців повітряного середовища, водні тварини не використовують активно зір. Поясніть, з чим це пов'язано?**

*Відповідь.* Це пов'язано з тим, що вода погано пропускає світло і дуже його розсіює: через це контури підводних предметів навіть на невеликій відстані здаються розмитими. Мабуть тому риби короткозорі (дистанція чіткого бачення у них зазвичай не перевищує 1 м). Але не зважаючи на це, зір відіграє важливу роль у тому випадку, коли риби вистежують здобич, уникають небезпеки, вибирають найбільш світлі ділянки, і, насамкінець, спілкуються з родичами. В останньому випадку багатьох риб виручає здатність розрізняти кольори: розпізнавати не просто особин свого виду, але

й їх «настрій» (агресивність, бажання залицятися і т. ін.), що виражається завдяки змінам у забарвленні тіла.

**20. Скляний сом переважно мешкає на невеликих глибинах при достатньо яскравому сонячному освітленні. Поясніть, чому цих риб не лякає велика кількість хижаків, які теж знаходяться на цій же глибині?**

*Відповідь.* Для скляного сома яскраве сонячне світло є засобом захисту завдяки прозорості його тіла.

**21. Серед риб зустрічаються і види, які літають над поверхнею води. Це риби із родини (Exocoetidae) із ряду сарганоподібних (Beloniformes), що налічує біля 60 видів, а також риби із родини клиночеревних (Gasteropelecidae) ряду карпоподібних (Cypriniformes). Поясніть механізм польоту літаючих риб. Які види польоту освоїли ці тварини?**

*Відповідь.* Найбільше різноманітних літаючих риб мешкає в Індійському океані та у західній частині Тихого океану. Крилами у летючих риб вважають дуже збільшені плавці: в одних видів лише грудні, в інших ще й черевні. Крім того, нижня лопать хвостового плавця також збільшена, що сприяє злітанняю.

Рухаючись у поверхневому шарі води, летюча риба розганяється до швидкості біля 18 м/сек. і «виходить на старт»: над водою з'являється все тіло, крім нижньої лопаті хвостового плавця. Цей плавець на час злітання працює як потужний мотор (за деякими оцінками його коливання досягають 90 ударів за секунду). Над водою швидкість риби збільшується до 60-65 і навіть 90 км на годину. Відірвавшись від поверхні, дивний літун випрямляє плавці і ширяє, інколи регулюючи висоту польоту за рахунок зміни нахилу «крил».

Зазвичай летючі риби проносяться таким чином декілька десятків метрів, але в окремих випадках можуть протриматися у повітрі 30-40 секунд і подолати 200-400 метрів. А ось риби із родини клиночеревних ряду карпоподібних, полюючи на комах або рятуючись від хижаків, можуть пролетіти в повітрі всього 3-4 метра. Але політ їх вражаючий. Так, злітаючи, вони з дзижчанням махають збільшеними грудними плавцями. Ці риби використовують такий самий механізм польоту, що характерний птахам і літаючим комахам. Вірогідно, що клиночеревні – єдині риби, які освоїли махаючий, а не ширяючий політ.

**22. Ротан – риба незвичайна. З'явився він у нас досить недавно. Цікаво спостерігати за полюванням ротана. Що ж незвичного у полюванні риби на відміну від інших риб?**

*Відповідь.* На відміну від інших риб ротан під час полювання дуже обережний. Так, до здобичі він підбирається наче леопард до антилопи: зрізає кути, інколи рухається ледь-ледь, наче веслами, ворухить плавцями. І тільки на вірній дистанції відкривається рот, мить – і проковтнув. Таке рідко спостерігається у риб – у ротана є звичайні і горлові зуби. Вирватися з цієї пастки нікому не вдається.

**23. Гекони – нічні ящірки з великими немигаючими очима. Чому, спосіб їхнього переміщення в просторі часто порівнюють з мухами?**

*Відповідь.* На пальцях геконів містяться спеціальні щіточки, які складаються з мікроскопічних волосків (або щетинок) і ворсинок. З їхньою допомогою гекони чіпляються до шершавої поверхні й можуть лазити не лише по вертикальній стіні, а й по стелі догори ногами, неначе мухи.

**24. Змії ряду Лускаті вміють добре плавати, а суходелом рухаються трьома різними способами. Найпоширеніший з них – хвилеподібний, схожий на рух риби. Охарактеризуйте інші способи руху цих тварин.**

*Відповідь.* За другим способом руху плазуни збирають тіло в гармошку і підтягують при цьому задню частину до передньої. Відтак, спираючись на хвіст, вони викидають наперед передню частину тіла. Третій спосіб руху полягає в тому, що плазуни підіймають голову та передню частину тіла, згинаючи його під прямим кутом і кладуть на нове місце. Спираючись на дві точки, плазуни переносять таким чином решту тулуба і так пересуваються вперед.

**25. Якщо більшість літаючих птахів порівнюють з літаком, то найменшого серед них птаха – колібрі – можна порівняти з гелікоптером. Як відомо, основною їжею колібрі є нектар, який вона висмоктує з великих квітів. Під час добування нектару колібрі не сідає на квітку, а зависає перед нею у повітрі.**

**Як називається такий політ? Завдяки чому птах може здійснювати крильми складні рухи?**

*Відповідь.* Політ колібрі при добуванні нектару називають вібраційним. У цей час пташка так часто махає крилами, що око людини не спроможне розгледіти саме крило, а бачить лише розмиту «хмарку». Частота рухів крила колібрі може досягти 100 помахів на секунду, а частота серцевих скорочень – 1000 ударів на хвилину.

Зависаючи, колібрі рухають крильми вперед-вниз і назад-вверх, як би виписуючи вісімку. Здійснює такі складні рухи птах завдяки особливій конструкції крила. Крило цього птаха краще порівнювати з веслом, а не з пропелером гелікоптера: воно майже не гнеться і вільно обертається у плечовому суглобі відносно тіла. Завдяки такій повітряній «греблі» колібрі може не тільки зависати у повітрі, а й підійматися вертикально вгору і навіть літати задом наперед.

**26. Фрегатів вважають найкращими літунами: годинами ширяючи над океаном вони здійснюють у небі дивні віражі. Проте у будові їх тіла є суттєвий недолік. Які наслідки має цей недолік для птаха?**

*Відповідь.* Не дивлячись на величезні розміри (розмах крил може досягати 2 м), фрегати досить легкі. Вага найкрупнішого птаха не перевищує 1,8 кг, причому половина її припадає на мускулатуру, яка забезпечує політ. А недоліком у будові птаха, який більшу частину життя проводить над морем, є крихітні (біля 2 см довжиною) лапки без перетинок. Через це морський птах не може плавати. Більше того, сівши на воду фрегати неспроможні потім

злетіти. Також не можуть вони злетіти і з рівної поверхні суші, а скелі, кущі й дерева – ось їхні стартові майданчики.

**27. Як відомо, вода має таку властивість як в'язкість. За в'язкістю вона перевищує повітря у 65 тис. разів. Через в'язкість, тобто тертя між тілом риби і водою, швидкість руху знижується, так само як і через густину (зменшити тертя риbam дозволяє спеціальна змазка – тонкий шар слизу, який покриває шкіру). Як риби використовують цю властивість води з певною користю для себе?**

*Відповідь.* Деякі риби для переміщення використовують будь-який плаваючий предмет. Зрозуміло, що прикріпившись до них, вони при цьому майже не витрачають власну енергію на пересування. Цих риб називають лоцманами.

При добуванні їжі, риби також з успіхом використовують в'язкість води. Більшість з них здатні різко збільшувати об'єм ротової порожнини, відводячи в сторони її бічні стінки і опускаючи дно порожнини донизу. Таким чином, розширюючись, рот працює як насос, втягуючи в середину значний об'єм води разом із здобиччю, яка знаходиться в ній. У багатьох риб цей механізм діє досить ефективно: наприклад, риба-лист, яка мешкає в Амазонці, довжиною 5 см легко всмоктує рибок гуппі, довжиною 2-3 см.

Принцип насоса використовують при полюванні також і тропічні прісноводні риби-бризкуни. Але різниця в тому, що вони не всмоктують воду, а навпаки, випльовують її. Так, з силою стискаючи стінки ротової порожнини, вони прицілюються і випльовують тонесеньку цівку води, збиваючи таким способом комах, які сидять на надводних рослинах.

**28. Вода, як нам відомо, це електропровідне середовище, яке надає водним тваринам ще один інформаційний канал. За допомогою чого риби можуть сприймати електричні поля? Яку роль в їхньому житті відіграє «електричне чуття»?**

*Відповідь.* Багато риб мають спеціальні органи – електрорецептори, які дозволяють сприймати електричні поля. Завдяки їм, наприклад, акула легко знаходить камбалу, що зарилась у пісок, вловлюючи слабкі електричні поля, які виникають при роботі дихальних мускулів. Вірогідно, що «електричне чуття» (разом з бічною лінією) необхідно і для злагодженої взаємодії риб у зграї. Так, риби (морміруси, електричні вугри, деякі соми) мають електричні органи, які генерують електричне поле навколо їх тіл, а їхні електрорецептори сприймають зміни цього поля, викликані появою інших живих організмів. У деяких риб електричні органи перетворилися на потужні багатовольтні батареї, які використовуються ними як засіб нападу або захисту.

**29. Серед риб зустрічаються види як з потужними електричними розрядами, так і слабкими. Поясніть механізм роботи батарей електричних риб? У чому відмінність у використанні ними електричних розрядів?**

*Відповідь.* До видів з потужним електричним розрядом відноситься електричний вугор, що зустрічається у водоймах Південної Америки, інколи

він досягає у довжину до 3-х метрів. Цей вугор – справжній потужний генератор, який надсилає у воду електричні розряди, напруга яких досягає 1200 вольт при силі струму більше 1 ампера. Тіло вугра на 4/5 являє собою парну електричну батарею, що лежить по бокам і складається з пластинок, з плюсовим і мінусовим зарядами на кінцях, які укладені у стовпчики. У вугра є 70 таких стовпчиків, кожен з яких складається із 6 тисяч окремих пластинок. Завдяки такій кількості елементів досягається висока напруга і велика сила струму.

Стінки клітин батареї як би сортують йони різного знаку, спрямовуючи одні всередину, а інші залишаючи ззовні. Різниця електричних потенціалів з обох сторін мембран накопичується. До кожної пластинки, що знаходиться у драглистій оболонці, підходить гілочка нерва. Якщо надходить імпульс, пластинка поляризується: одна її сторона накопичує позитивний електричний заряд, інша – негативний. Коли клітина приходить у збудливий стан, мембрана стає проникною для йонів і вони активно проникають крізь неї. Батарея починає працювати, розряджатися, давати розряди. Батареї всіх електричних риб облаштовані ідентично.

Риби зі слабким електричним розрядом видають у воду розряди з напругою 5-10 вольт. Так, сила розряду звичайного чорноморського ската-хвостостола складає лише 1-2 вольта. У річках Африки водяться риба-гімнарх або нільська щука і африканський слоник. Напруга імпульсу у гімнарха біля 4 вольт, його вісім електричних органів, схожих на шнури, що розміщуються по чотири з обох сторін хвоста. Якщо потужні імпульси із сильним електричним розрядом використовуються ними для добування їжі й захисту, то низьковольтні розряди риб зі слабким електричним розрядом призначені для інших цілей. Гімнарх, наприклад, видає розряди постійно, створюючи навколо поле і відчуваючи його зміни. Слоник же «розряджається», коли він хвилюється або коли хоче «прощупати» обстановку.

**30. Тварини родини Вовчих дуже витривалі й терплячі. Вони, як правило, відшукують свою здобич по слідах і можуть тривалий час її переслідувати. Яким чином ці тварини витримують довгі переходи?**

**Відповідь.** Хижаки використовують ефективні прийоми, що значно полегшують їх пересування, а саме: задні лапи вони ставлять у відбитки передніх, що зменшує зусилля, спрямоване на подолання опору ґрунту. Крім того, вовчі також використовують сліди інших тварин, місця з ущільненим снігом, дороги, стежини. Якщо вони пересуваються групою по снігу, то всі її члени ставлять ноги у відбитки лап того, хто йде попереду, і ступають на вже ущільнений сніг.

### **Механізм світіння живих організмів**

**31. Протягом тривалого часу вчені спостерігали й досліджували живих істот, які світяться в темряві (знайдено їх безліч і мешкають вони у різних середовищах). Яким тваринам притаманна здатність світитися? Поясніть механізм світіння живих організмів з точки зору фізики.**



**Відповідь.** Серед живих організмів здатність світитися притаманна багатьом комахам, деяким тваринам, а особливо «мешканцям» морів і океанів. Мікроскопічні істоти, відомі під назвою ночесвіток, викликають нерідко гарне світіння поверхневого шару морської води. Глибше плавають медузи, які світяться то блакитним, то зеленим, то жовтим або червонуватим кольором, а також риби, що випромінюють світло: в одних яскраво горять очі, в інших на голові наявний відросток, верхівка якого нагадує електричну лампу, в третіх від верхньої щелепи відходить довгий «шнур з ліхтариком» на кінці, а в четвертих сяє все тіло.



На великих глибинах, куди світло сонця майже не проникає, повний морок прорізають світлові потоки, які випромінюють тіла різних тварин, а на самому дні світяться більшість червів, молюсків, поліпів, раків. Так, усередині кожної ночесвітки видно безліч жовтуватих «крупинок» - це бактерії, які світяться. Випромінюючи світло, вони роблять ці істоти освітленими.

Світінню тварин не завжди сприяють особливі клітини, які розміщені у їхньому організмі. Органи світіння можуть бути простими або складними, але, згідно сучасним уявленням, механізм їхньої дії однотипний.

Розглянемо його на прикладі головоногих молюсків. У шкірі цього молюска знаходяться невеличкі тверді тіла овальної форми. Їх передня частина прозора і схожа на кристалик ока. А задня (більша його частина) якби згорнута в оболонку із пігментних клітин. До неї прилягають декілька рядів сріблястих клітин. Між ними і «кристаликом» знаходиться шар клітин, що світяться, і які виконують також роль нервових елементів сітківки ока. Світло, яке випромінюється клітинами внутрішнього шару і яке відображено від сріблястих клітин проникає через прозорий шар і виходить назовні. Цей освітлений «апарат» має ще додаткову «деталь»: у шкірі молюска, біля кожного світильника, є тканинний утвір – схожий на ввігнуте дзеркало і складається з двох видів клітин. Одні – це темні, які не пропускають світло, а інші – сріблясті, які відображають світло.

Джерелом енергії світіння клітин живих організмів (біоломінесценції або «холодного» світла) слугують реакції з участю люциферину – речовини, що міститься в організмі тварин і деяких бактерій, що світяться. У процесі його хімічних перетворень виникають молекули у електронно-збудженому стані, які, переходячи у стабільний стан, виділяють енергію.

Ретельне вивчення природи біоломінесценції, її різновидів і закономірностей дозволило вченим створити на її основі декілька високочутливих методів дослідження, наприклад, визначення ступеня зараження бактеріями навколишнього середовища.

**32. Чому, коли порівнюють силу слона і силу мурахи, силачем вважають не слона? Насправді силачем є мураха. Доведіть це.**

### ***Відповідь.***

Під час спортивних змагань на підняття штанги обов'язково враховують вагу спортсмена. Навіть рекордсмен світу не може підняти штангу вагою, у 2,5 – 3 рази, що перевищує його власну вагу. Врахуємо цей факт, а також й те, що мураха може тягти на собі вантаж, який у 111 разів перевищує його власну вагу. Це і може слугувати доказом «сили» комах.



**33. Відомо, що у бджіл великий запас звуків, до того ж комахи вони дисципліновані. Та якими їм ще бути, якщо членів сім'ї 70 тисяч і кожен повинен знати, що йому потрібно робити? Як ви думаєте, від чого залежить благополуччя бджолої сім'ї? Чи можна за звуками, які видають бджоли у вулику, дізнатися як почувають себе його мешканці, чи живуть вони у достатку?**

***Відповідь.*** Благополуччя бджолої сім'ї залежить від того, скільки запасуть вони меду й перги. І як тільки настає пора, на пошук пилку й нектару відлітають бджоли-фуражири, обов'язок яких – розшукувати корм. Виявивши його, вони повертаються до вулика, починають танцювати на стільниках і одночасно видають звуки: сповіщають, де знаходиться нектар або пилка. Але щоб передати інформацію, треба самим вміти визначати відстань до місця, куди треба летіти іншим. Як визначають його фуражири? За затратами енергії на політ від джерела їжі до вулика.



Знайшовши медоносні рослини, бджола перелітає з квітки на квітку і збирає нектар. При цьому працюють м'язи крил, витрачається енергія. Чимало її витрачається і тоді, коли бджола у повітрі несе свою ношу з пилкою. Як не дивно, але всі ці затрати бджола зовсім не враховує. А як тільки вона покидає останню квітку, то зразу ж вмикає свій «лічильник». Вимикає вона його, прилетівши до входу у вулик.

Однак як інші бджоли пізнають, чи далеко їм летіти до нектару чи пилки? Протяжність дороги «вираховується» за часом, який займе сповіщення танцюючої бджоли. Якщо медоносні рослини знаходяться у 150 метрах від вулика, то сигнал танцівниці буде тривати на двісті тисячних долі секунди довше, що відповідає сповіщенню: «До їжі двісті метрів» - бджоли, отримавши таку інформацію, пролетять на 50 метрів більше. Звуки, які видає танцівниця, дуже тихі, радіус їх дії – декілька міліметрів. Але саме в цій зоні і знаходяться бджоли, які оточують танцівницю. Голосні звуки не потрібні бджолам. Про те, в якому місці розміщені медоносні рослини, повідомляє не одна бджола, до того ж інформатори не повинні заважати один одному. Розпізнаючи звуки, які роздаються у вулику, можна визначити, ситі чи голодні бджоли взимку. Наприклад, звуки бджіл, які вже витратили запаси їжі, нагадують шелест сухих листків. У разі виникнення захворювання на

варроатоз, бджоли видають особливі звуки. Якщо у сім'ї небагато хворих, найголосніші звуки – 246 плюс-мінус 4 герца і 343 плюс-мінус 3 герца. А коли хвороба вразить половину сім'ї, найголосніші звуки будуть вище цих на 50 герц.

**34. Американський вчений Е. Еріксон у 90-х роках минулого століття прямими вимірами виявив, що бджола, яка покидає вулик, несе на собі слабкий негативний електричний заряд. А назад до вулика вона повертається вже зарядженою позитивно. За даними Еріксона, різниця потенціалів між бджолою і квіткою може досягти 1,5 вольтів. Для чого, на вашу думку, знадобилось цим дивним комахам таким чином використовувати електростатику?**

***Відповідь.*** Еріксон висловив таку гіпотезу, що до наелектризованої бджоли притягується пилок, що електричне поле, мабуть, відіграє важливу роль у спілкуванні бджіл між собою. Але, як припускає вчений, може бути, що електричний заряд, величина якого залежить від ступеня сонячної радіації, допомагає бджолам пізнавати про наближення непогоди.

**35. Для того щоб з нектару утворився мед, його треба випарити, видаливши при цьому зайву вологу. Готовий продукт не повинен містити більше 20% води. Для цього бджоли розливають його невеликими порціями (краплями) у відкриті воскові комірочки, щоб прискорити випаровування води. Однак, коли збір нектару проходить інтенсивно, цей спосіб недостатньо ефективний – він не забезпечує швидкої переробки всієї сировини. Як бджолам прискорити процес випаровування? Чому із краплі випаровування відбувається більш інтенсивно?**

***Відповідь.*** Бджоли –робітниці, які обслуговують вулик, припиняють хатню роботу і починають готувати мед. Набравши небагато нектару у волю і додавши до нього нову порцію ферментів і консервантів, бджола відригує маленьку порцію і тримає крихітну крапельку у щелепах. Із краплі випаровування відбувається більш інтенсивно. Крім того, під час збору нектару, у вулику багато личинок, і саме заради них підтримується висока температура, яка досягає всередині гнізда 36-38°. Така висока температура також сприяє прискореному випаровуванню зайвої вологи із нектару.

### Живі ракети

**36. Головоногі молюски (цефалоподи) здійснюють значні за відстанню вертикальні міграції (добові і сезонні), що становлять сотні і, навіть, тисячі метрів. За рахунок дій яких механізмів ці занурення і спливи дуже швидкі? Яким чином ці організми витримують гідростатичний тиск від 20 до 100-180 атм.?**

***Відповідь.*** Гідростатикою цефалопод вчені зацікавились давно. На цей час у багатьох країнах світу проводяться



дослідження плавучості кальмарів, каракатиць, восьминогів, наутілусів. Не дивлячись на зовнішню «несхожість», всіх головоногих можна поділити на дві групи, які розрізняються між собою за особливостями будови і дією гідростатичного апарату. Називають ці групи гідростатичними типами. До першого типу належать ті представники класу цефалопод, для яких характерна наявність особливих порожнин, заповнених газом. Серед сучасних форм газовий гідростатичний апарат мають наутілуси, сепії, спірули. Так, все тіло наутілусів вдягнуто зверху тонкою спіралью закрученою раковиною, поділеною поперековими перетинками на ряд камер. Камери раковини з'єднані одна з одною єдиним отвором, через який проходить сифон. Тканини сифона пронизані великою кількістю кровоносних судин. Система цих судин і забезпечує виконання такої важливої функції, як регуляція плавучості. Наявність сифона робить раковину не просто захисним утвором – мертвим будинком для моллюска, а життєво важливим, постійно функціонуючим органом. Варто наутілусу виділити через кровоносну систему небагато рідини із камери – і він миттєво стає легким. Ніщо вже його не зв'язує з дном, і моллюск починає спливати. А для занурення необхідна зворотна дія – заповнення рідиною камери раковини.

Аналогічно побудований гідростатичний апарат у каракатиць. Правда, їх раковина зовсім не схожа на «помешкання» наутілусів. По-перше, вона не спіральна, а складається з єдиного сплющеного шматка, який нагадує за формою підошву черевика; по-друге, камери настільки численні й дрібні, що раковина за структурою схожа на губку. Але насправді раковина тверда, вона складається із кальциту і слугує каракатиці панциром або щитом, який захищає від нападу хижаків. Подібність раковини зі щитом черепах ще більше посилюється тим, що він лежить на спині і закриває всі внутрішні органи, залишаючи вільною лише голову.

Всі комірочки раковини заповнені рідиною і газом, кількісне співвідношення яких може змінюватися. В разі спливу частина рідини видавлюється, газ розширюється і каракатиця стає легшою; при зануренні рідина знову надходить у комірочки, внаслідок чого питома вага тіла моллюска збільшується і він опускається.

Досить цікава деталь. До першого гідростатичного типу відносяться цефалоподи, які населяють верхні шари океану (від поверхні до 200-300 м). І це не випадково. На глибині 200 м гідростатичний тиск води збільшується більше ніж до 20 атмосфер. Щоб протистояти цьому колосальному тиску, необхідно мати дуже міцну раковину. А наскільки великим може бути опір вапняної раковини, якщо на цій глибині нерідко лопається сталевий обшивка корпусів підводних човнів з товщиною у декілька міліметрів. Наявність деякої кількості стиснутого газу всередині раковини цефалопод запобігає руйнуванню її стінки після того, як зовнішній тиск досягає тієї величини, якій протидіє механічна міцність раковини.

Експериментально у вакуумних установках було доведено, що раковина каракатиці витримує тиск до 25 атмосфер. Очевидно, що така

велика її міцність зумовлена особливостями конструкції – ажурні комірчини з тонкими перетинками розміщуються таким чином, щоб посилити її протидію механічним навантаженням.

До другого гідростатичного типу відносяться головоногі молюски, у яких відсутні будь-які газові чи повітряні включення в організмі. До цього типу треба віднести всіх кальмарів і восьминогів. У планктонних кальмарів утворюються особливі внутрішні порожнини, заповнені рідиною з питомою вагою 1,010, тобто питома вага цієї рідини менша, ніж питома вага морської води, і наближається до питомої ваги прісної води.

«Полегшення» морської води і її затримка в організмі кальмарів здійснюється шляхом складних біохімічних процесів. В основі яких лежить дисоціація молекул води і заміщення більш важких йонів натрію ( $M_r = 23$ ) більш легкими амонію ( $M_r = 18$ ).

Подібне заміщення призводить до того, що питома вага кальмара упритул наближається до питомої ваги навколишньої води, так що його плавучість виявляється практично нейтральною.

З точки фору фізики, за наявності нейтральної плавучості організм витрачає енергію лише на поступальний рух, тоді як енергетичні затрати на подолання сили земного тяжіння відсутні.

Одночасно зі заміною газового гідростатичного апарату рідинним сильно редукуються і жорсткі скелетні утвори, що має особливий сенс. Як плавці, кальмари зробили крок вперед порівняно зі своїми предками і сучасниками – наутілусами і каракатицями.

Перш за все заміщення сильно стиснутого газу практично зовсім не стиснутою рідиною відкриває для кальмарів необмежені можливості для вертикальних переміщень, оскільки усувається будь-яке порушення статичної рівноваги, яке викликається перепадом тиску на різних глибинах.

По-друге, зникнення жорсткої раковини виключає деформацію і руйнування окремих тканин і органів на будь-якій глибині. Лише завдяки відмові від газового гідростатичного апарату головоногі молюски змогли широко розселитися у Світовому океані і освоїти всі його глибини.

У найбільш рухливих, так званих нектонних кальмарів, - з одного боку, і придонних, - з іншого, гідростатика ще більше спрощується (третій тип). Роль гідростатичного апарату у них виконують різного роду жирові утворення і включення, які знижують загальну питому вагу тварини.

**37. У природі існують досить непрості відносини між рідинами і поверхнею твердого тіла. Так, наприклад, краплі води люблять вітрове скло автомобіля і скочуючись з нього залишають на ньому мокрі довгі смуги, а ось на поверхні лотоса, капусти, крил метеликів та багатьох комах залишити слід їм не вдається. Поясніть, від чого залежать «взаємні почуття» матеріалів?**

**Відповідь.** «Взаємні почуття» матеріалів залежать від параметрів явища змочування і адгезії. Змочування – явище, яке виникає у разі зіткнення рідини з поверхнею твердого тіла і є



результатом міжмолекулярної взаємодії цього контакту. Адгезія – прилипання.

Поверхня квітів і листків лотоса та крил метеликів й інших комах завжди чиста – краплі води стікають з їх покривів, які відштовхують воду й одночасно змиваючи частки пилу. Так, з'ясувалось, що поверхня листків лотоса густо вкрита мікропухирцями висотою біля 10 мкм, а самі



мікропухирці, в свою чергу, вкриті мікрОВОЛОКОНЦЯМИ.

Між мікропухирцями поверхні листка знаходиться повітря. Краплині води, яка потрапила на поверхню листка лотоса, схожого на масажну щітку, заважає великий поверхневий натяг рідини. Для того ж, щоб проникнути між мікропухирцями поверхні листка та крил комах краплині води треба збільшити свою поверхню, а це

енергетично не вигідно. Чим більший коефіцієнт поверхневого натягу рідини, тим з більшою силою вона намагається мінімізувати свою поверхню. Крапля згортається у кульку, демонструючи при цьому дуже високий крайовий кут. Поверхня, аналогічна масажній мікрощітці, зменшує адгезію (прилипання) не лише крапель води, але й будь-яких часточок, розміром більше 10 мкм, так як вони торкаються такої поверхні лише у кількох точках. Тому часточки бруду, які потрапили на поверхню лотоса й крил метеликів, або самостійно скочуються з неї, або захоплюються краплями води, що скочуються. Таке самоочищення називається ефектом лотоса.

Таким чином, вивідавши у природи ці секрети, вчені створили покриття, які самоочищуються. Ефект лотоса використовується при виготовленні водовідштовхуючих та самоочисних покриттів і фарб.

**38. Гідродинаміки давно приглядаються до кальмарів з метою оцінити їх морехідні якості на основі математичного аналізу, хоча нестационарний пульсуючий характер їхнього руху дуже утруднює здійснення розрахунків. При швидкому плаванні форма тіла кальмара сильно змінюється, що закономірно, супроводжується зміною умов обтікання. Що ж відбувається з однією з основних гідродинамічних характеристик форми тіла – місцем розміщення його найбільшої товщини, від якого у значній мірі залежить лобовий опір?**

**Відповідь.** На час наповнення водою мантийної порожнини точка найбільшої товщини знаходиться у передній половині тіла (при плаванні хвостом уперед кінець мантиї умовно приймається за передній кінець тіла). На час викиду струменю із лійки ця точка зміщується ближче до голови. Можна зробити висновок про те, що умови повздовжнього обтікання при реактивному плаванні кальмарів різко змінюється, наближаючись до ідеальних на поштовху і, навпаки, значно погіршується в момент заповнення мантийної порожнини водою. До цього необхідно додати періодичні

коливання загальної маси тварини за рахунок забору води і викидання її назад.

Так у чому ж секрет швидкості кальмарів? Невже лише в тому, що найбільша товщина їх тіла віднесена до середини мантиї? Чому ж підводні човни з формою корпусу, близької до форми тіла кальмарів, плавають під водою значно повільніше.

Детально аналізуючи весь процес від початку й до кінця можна побачити, що після кожного викиду струменю води із лійки настає всмоктування її у мантийну порожнину. Виникає закономірне питання: чи не керує кальмар своїм суміжним шаром, знижуючи таким чином лобовий опір?

Звернемося до гідродинаміки. При уповільненні швидкості обтікання частинок води навколо тіла створюються передумови для відриву суміжного шару. У кальмара ці умови особливо сприятливі на той момент, коли мантия розширюється, а місцезнаходження точки найбільшої товщини тіла переміщується ближче до хвоста. Товщина суміжного шару збільшується в міру його віддалення від переднього кінця тіла, ось-ось він повинен відірватися, але цього, очевидно, не відбувається, так як відкривається мантийна щілина, яка оточує голову. І вода через неї вривається у черевну порожнину. Нічого більш простого і разом з тим ефективного неможливо і уявити. У світлі гідродинаміки плавання різниця в будові мантийної щілини у кальмарів і восьминогів отримує переконуюче пояснення. Восьминогам кільцева, широко відкрита мантийна щілина зовсім не потрібна – вони не плавці. І дійсно, у цих головоногих, є лише зачаток щілини та й те не у всіх. Відомі восьминоги, у яких мантийна щілина зовсім заросла. А ось кальмарам без добре розвиненої мантийної щілини не обійтися. Лише достатнє відсмоктування води із суміжного шару може упередити утворення вихору позаду тіла.

Керування суміжним шаром успішно застосовується в авіабудуванні. З цією метою на крилах літаків просвердлюють спеціальні отвори через які повітря із суміжного шару відсмоктується всередину крила. У підводному суднобудівництві відсмоктування суміжного шару поки що конструктивно не здійснено. Кальмари у цьому відношенні продовжують залишатися недосяжним взірцем.

**39. Коли ми говоримо про кальмарів і гідродинамічні властивості їх тіла, ми цим самим як би порівнюємо їх з твердими тілами. Але ні в якому разі не можна забувати про те, що тіло кальмара м'яке, еластичне, і будь-яка аналогія його з твердим тілом буде досить наближеною. Як, на Вашу думку, чи може еластичність тіла кальмара обумовлювати гідродинамічні властивості?**

**Відповідь.** Шкіра у кальмарів дуже тонка і ніжна, при необережному поводженні з твариною вона легко знімається. Тому кальмари тралових виловів завжди сильно подерті, шкіра їх обідрана і висить шматками. Враховуючи це, навряд чи можна робити припущення, що саме шкіра виконує будь-які гідродинамічні функції, подібні тим, що виявлені у китів і дельфінів. А якщо подивитися глибше під шкіру, то можна виявити цікавий

феномен, а саме: мікроскопічні дослідження мантиї у кальмарів показали, що в її стінці є різні м'язи. Гістологічні зрізи стінки мантиї дозволили виявити декілька незвично розміщених м'язів і таким чином дозволили висловити деякі гіпотетичні судження щодо їх функціонального значення.

М'язи діляться на три групи: кільцеві, радіальні, поперечні, повздожні. У кальмарів сильно розвинені кільцеві м'язи: вони пронизують всю товщу мантийної стінки. Такий сильний розвиток кільцевих м'язів, безумовно, необхідний для створення сили тяги гідрореактивного рушія. При скороченні м'язів мантийна порожнина стискається, завдяки чому вода, що знаходиться всередині, викидається через лійку. Кільцеві м'язи не утворюють суцільного чохла, вони розділяються на окремі кільця або пучки. Очевидно, що подібне розділення викликано необхідністю певної послідовності у їх роботі: якщо при заповненні водою хвиля розслаблення кільцевих м'язів проходить у напрямку від голови до хвоста, то на момент викиду води із черевної порожнини хід скорочення повинен змінюватися на протилежний. Вода надходить від хвостового кінця мантиї до лійки і, на кінець, виштовхується через отвір назовні. Лише завдяки розділенню єдиного м'язового комплексу на окремі поперечні кільця можливий описаний ритм роботи кільцевих м'язів. Дослідження перетинок між кільцевими м'язами привели до несподіваних результатів, а саме: вони теж виявились м'язами. Так, справжніми радіальними м'язами, розміщеними поперек тіла. Називають їх радіальними тому, що вони спрямовані по радіусу до повздожньої вісі тіла кальмара. Радіальні м'язи пронизують всю товщу мантиї – від її внутрішньої стінки до зовнішньої. Присутність радіальних м'язів дивує: адже вони, на перший погляд, зовсім непотрібні і чому перетинки утворені м'язами, а не сполучною тканиною?

Як відомо, м'язова тканина побудована таким чином, що м'язи працюють тільки в одному напрямку – при скороченні. Розміщення радіальних м'язів через певні проміжки вздовж всієї мантиї дає нагоду припустити, що при їх скороченні навколо мантиї повинно виникнути кільце скорочення. При послідовному скороченні м'язів вздовж мантиї, безумовно, утворюється хвиля, поява якої не виключає наявності демперфуючого механізму (демпер – глушник). У даному випадку мається на увазі властивість еластичної шкіри погашати вихрові потоки, які виникають під час руху тіла.

При вивченні дельфінів американські дослідники спостерігали і сфотографували рухливу повздож тіла кільцеву мускульну хвилю, яка виникає лише в момент максимальної швидкості, зокрема, перед стрибком із води.

Третій мускульний шар стінки мантиї – це повздожні м'язи. Вони проходять вздовж поверхні у вигляді тонкої і ніжної плівки. Можливо, що призначення цих м'язів – участь у маневрах. При скороченні, наприклад, повздожних м'язів спини кінець мантиї (хвіст) вигинається.

Еластичність зовнішніх покривів дає живим організмам великі переваги перед створеними людиною конструкціями. Нелегко собі сьогодні



уявити підводний човен з м'якою оболонкою або літак з крилами, як у метелика. Шкіра кальмарів ідеально гладенька, так що тертя на її поверхні ледве досягає якої-небудь значної величини. Лише при мікроскопічних дослідженнях із збільшенням в тисячу разів можна розглянути окремі елементи (нерівності). Інша справа восьминоги: їх шкіра навіть на дотик нерівна. Крім того, тіло всіх головоногих моллюсків вкрито шаром білувато-прозорого слизу. Слиз, який виділяється шкірними залозами, не лише захищає моллюсків від паразитів, але й збільшує гладкість шкіри, сприяючи таким чином зниженню загального опору. Можна вважати, що слиз виконує функцію змазування.

**40. Відомо, що у донних восьминогів є пелагічні родичі, які населяють товщу води. Як вони влаштовані? У чому їх відмінність?**

**Відповідь.** Усі тканини у плаваючих восьминогів сильно просякнуті водою і прозорі, тому їх легко переплутати з медузами. Така схожість зовсім не випадкова. З одного боку, жалкі медузи достатньо добре себе зарекомендували як істоти, з якими краще не треба мати справу, а з іншої – обводнення, «полегшення» тканин створює додаткову плавучість. Крім плавців, у пелагічних восьминогів сильно розростається зонтик, завдяки чому вони можуть «мандрувати» в океані, хвилі і течії якого їх переносять.

Особливо великий зонтик у глибоководних пелагічних восьминогів. Його краї розростаються настільки широко, що досягають кінчиків «рук», і восьминіг збоку схожий на лісового гриба: тільки шляпка у цього гриба не проста – вона то відкривається, то закривається.

Зонтик восьминогів дуже нагадує дзвін медуз. І улаштовані вони багато в чому однаково: при розкритті зонтика вода заповнює простір між «руками». Щоб відштовхнутися, воду потрібно викинути. Восьминіг так і робить. Чергування періодів заповнення зонтика водою і виштовхування її назовні і складає процес плавання пелагічних восьминогів.

З точки зору фізики подібна будова зонтика досить зрозуміла і має пояснення: згідно другого закону механіки, імпульс сили прямо пропорційний величині зміни кількості руху. Іншими словами, чим більше ємність зонтика, тим сильніше поштовх.

Безумовно, конструктивно зонтик як ручний гідрореактивний рушій, значно примітивніший за мантийно-лійковий апарат кальмарів. Перш за все відсутнє сопло – основна частина будь-якого реактивного двигуна.

Можна припустити, що втрата зонтиком локомоторних якостей пов'язана з особливостями харчування пелагічних восьминогів. Вони харчуються в основному дрібним зоопланктоном, що населяє товщу води. Спіймати планктон нелегко. Для цього потрібна своєрідна сітка з дуже мілкими комітками.



У восьминогів їжа, перш ніж потрапити до рота, вловлюється зонтиком – адже ротовий отвір розміщений у центрі зонтика. Таким чином, зонтик восьминогів – це не лише орган руху, але й «ловильна сітка».

**41. Літаючі кальмари – це досить фантастичне і незабутнє видовище, як політ ракети. Образне порівняння кальмара з ракетою повністю виправдано. Чим можна пояснити здатність кальмарів до польоту?**

**Відповідь.** Літають, правда, не всі кальмари, а лише небагато з них – приблизно 10 видів.

Цікаво, що здатністю до польоту володіють лише невеликі особини. Довжина яких не перевищує 20-25 см. Більш крупних жодного разу не знаходили на палубах кораблів, не спостерігали у польоті.

Можливо, що це не випадковий збіг, а певна закономірність. Як свідчать дослідження, співвідношення між вагою і довжиною тварин характеризується певною математичною залежністю, тобто для кожного виду тварин можна скласти рівняння і вивести закон, якому це співвідношення підпорядковується. Загальний характер даної залежності криволінійний. Вага зростає у багато разів швидше, ніж довжина. Мабуть, до якоїсь межі довжини загальна вага тіла тварини така, що в момент викидання струменю із лійки сила поштовху достатня для повітряного старту. В міру подальшого росту сила м'язів вже стає недостатньою для підняття тварини над водою.

Досить часто кальмари залітають на верхні надбудови океанських лайнерів. А для цього потрібно піднятися на 5-8 метрів. Відстані, які пролітають кальмари над поверхнею океану, вимірюються вже не метрами, а десятками метрів: 50-60 м – звична дальність їх польоту.

Якою має бути початкова швидкість в момент стрибка, чи можна її розрахувати? Інженер В. Сафронов, проаналізувавши дані біологів, які спостерігали кальмарів у польоті, прийшов до висновку, що початкова швидкість стрибка досягає 70 км/час.

Стрибки і польоти кальмарів спостерігали лише вночі, що безпосередньо пов'язано з їхнім способом життя. Як і всі тварини, які живуть у товщі води, кальмари здійснюють добові вертикальні міграції, вдень – на глибину, вночі – до поверхні океану. Таким чином вони постійно йдуть услід за скупченнями планктону і риб, які складають їх основну їжу.

Здатність кальмарів до польотів, як і у летючих риб, виникла, очевидно, в процесі еволюції як пристосування, яке необхідне для порятунку від численних хижаків. Кальмар, якому вдалося вислизнути від переслідувача і, який опустився на воду у другому місці, десь через 30 м, вже стає недосяжним.

Характер польоту кальмарів – ширяючий. Розкинувши широко у сторони плавці, мов би спираючись на них, кальмар як би ширяє у потоці повітря. Розміри плавців літаючих цефалопод в основному не змінюються. Початкова стартова сила, яка розвивається гідрореактивним рушієм, вірогідно, настільки велика, що кальмар летить по інерції.

Відомо, що швидкість плавання водних організмів залежить не лише від ступеня розвитку рушії, його здатності розвивати достатньо велику силу тяги. Важливу роль відіграє і форма тіла, яка має бути ідеально обтічною, щоб створити найменший опір. Якщо у повітрі можна інколи і знехтувати силами опору, то у воді це виключено, тому що щільність води у 800 разів перевищує щільність повітря. Недарма всі гарні плавці (кальмари, риби, дельфіни, кити) мають досить визначену зовнішню будову – сильно витягнуте гладеньке тіло. Щоб стати такими, їм потрібно було не одне тисячоліття. Звернемось, наприклад, до кальмарів з їх феноменальними швидкостями плавання. Ці головоногі тварини все ще залишаються таємницею для зоологів і інженерів. Щоб розпізнати «секрет» кальмарів, вчені спробували вивчити особливості їх будови не лише у статиці, а й у динаміці.

**42. Неподалік від берега на спокійній поверхні води, описуючи кола та спіралі, з великою швидкістю рухається зграйка маленьких (5-7 мм) жуків-вертячок, кружляють разом з клопами, водомірами і полюють на різних тварин. Завдяки якому фізичному явищу і яким пристосуванням ці тварини тримаються на поверхні води?**

*Відповідь.* Завдяки поверхневому натягу води. Крім цього, тіло жука має хітиновий покрив, який не змочується водою, тому він легко тримається на поверхні води. Кожне його око поділяє хітинова перетинка, яка під час плавання лежить на межі води і повітря, і вітрячка пильнує здобич і в товщі води, і в повітрі водночас. Під час плавання все тіло вертячки розміщується на поверхні, лише ноги залишаються під водою. Ноги добре пристосовані до плавання у воді: задня та середня пари ніжок укорочені й розширені подібно до ластів і вкриті волосками. До того ж тіло покрите змазкою, що зменшує тертя у воді і сприяє пересуванню. Дихає жук за допомогою трахей атмосферним повітрям, через це при занурюванні забирає із собою бульбашку повітря, яка й міститься у задній частині черевця.

Також досить своєрідно рухаються по поверхні і довгоногі клопи-водомірки (ряд клопи, або напівтвердокрилі, родина водоміри). На голові у них досить великі очі, які виступають над бічною лінією. Черевце клопа і лапки довгих ніг покриті тонкими волосками, які змащуються жировими речовинами і зовсім не змочуються водою. Передні ноги хватального типу, задні й особливо середні – довгі, ними комаха відштовхується і швидко пливе по поверхні води. Широке ж розміщення ніг розподіляє масу тіла на значній поверхні.

**43. Відомо, що у павукоподібних 4 пари ніг, які вони використовують для ходіння, а у комах – 3 пари. Які переваги павукоподібним у порівнянні з комахами дає ця особливість? А які ж недоліки з нею пов'язані?**

*Відповідь.* Загалом можна визнати правильними такі міркування:

а) збільшення кількості кінцівок загалом знижує швидкість бігу;

б) проте збільшення кількості кінцівок збільшує і здатність пересуватися по нерівній поверхні (аналогія: гусенична машина замість коліс);

в) додаткова пара кінцівок може виконувати додаткові функції, наприклад, при полюванні за здобиччю у сплетенні павутиння;

г) оскільки кінцівки слугують також і органами дотику, збільшення їх кількості сприяє розширенню «дотикового поля» навколо тварини (аналогія: вібриси ссавців), для павуків, які виявляють здобич за коливанням павутиння, це особливо важливо;

д) збільшення кількості кінцівок робить для тварини більш легкою швидку зміну напрямку руху, зокрема, павукам значно легше рухатися вбік (існує група павуків – бокоходів);

е) підвищення кількості однорідних, в якійсь мірі дублюючих один одного елементів підвищує надійність системи;

є) з іншого боку, занадто велика кількість функціональних одиниць в межах однієї системи утруднює керування ними.

**44. Який «пристрій» у членистоногих тварин дозволяє їм жити у воді, ґрунті та на суші?**

**Відповідь.** Загальновідомо, що для всіх членистоногих характерним є зовнішній скелет, або кутикула, яка часто утворює твердий панцир. Тому тварині, яка закована у панцир, потрібно мати членисті органи пересування. М'язи членистоногих не утворюють шкірно-мускульного мішка, а представлені окремими пучками, кожен з яких відповідає за якийсь певний рух. А у багатьох комах на грудях, крім членистих ніг є й крила. Більшість ракоподібних вільно переміщуються по дну або у товщі води, але серед них є і прикріплені до опори тварини. Так, наприклад, річковий рак розгулює по дну головою вперед, а зіткнувшись із небезпекою, рак загрибає воду хвостовим плавником і швидко відпливає задом наперед. Циклопи, махаючи грудними ніжками, плавають у товщі води. Серед павукоподібних зустрічаються види, які живуть не лише на суші, а й у воді. Так, наприклад, водяний павук – сріблянка дуже добре плаває і спритно бігає по підводній рослинності. А дихає він під водою завдяки запасу повітря, що залишається між волосками, на його тілі, які не змочуються. Досить своєрідними тваринками серед павукоподібних є сольпуги. Це крупні павукоподібні від 1 до 7 см у довжину, більшість з них веде нічний спосіб життя. Сольпуги дуже швидко бігають, здатні підстрибувати на висоту до 1 м і лазити по вертикальним поверхням. Не менш цікавими серед павукоподібних є косарики. А цікавість викликає до них їх принцип керування рухом ніг. Так, ноги косариків настільки тонкі, що в них не змогли б поміститися і згинаючі й розгинаючі їх суглоби м'яза. Згинання ноги косарика викликається скороченням м'яза, який простягається через всю ногу, а розгинання – підвищенням тиску рідини всередині ноги. Згинаючись нога косарика може обвити своїм кінцем окремі травинки.

## Політ комах

**44. Крім ходильних кінцівок, більшість сучасних комах має крила, які розміщені на II і III сегментах грудей. У процесі еволюції у членистоногих відбувалося зменшення кількості сегментів їх тіла (особливо у високорозвинених). Поясніть механізм здійснення польоту у літаючих комах.**

**Відповідь.** У більшості комах підняття й опускання крил забезпечуються зміною форми грудних сегментів. Покриви комах складаються з окремих хітинових пластинок, зв'язаних гнучкими зв'язками. Верхня пластинка, опускаючись давить на основу крила і піднімає його вгору. М'язи, які зв'язані з основою крила, повертають їх «загрібаючи» повітря. Завдяки цьому комаха, що летить, просувається вперед. Серед комах лише бабки здійснюють незалежні рухи різними парами крил. У більшості комах крила діють як єдине ціле. Так, серед жуків, клопів, коників та інших у польоті бере участь лише одна пара крил. Метелики й бджоли, які мають однаково розвинені пари крил, у польоті зчіплюють їх і літають якби на двох складових крил. Швидкість зльоту у різних комах неоднакова. Всім відомо, як швидко злітає хатня муха, коли ми намагаємося її піймати. Під час злітання мухи велику роль відіграє задня пара її крил – дзигальця, які слугують органами рівноваги під час польоту. Ці невеликі булавоподібні утвори перед злітанням мухи починають рухатися з великою швидкістю. Вірогідно, це необхідно для того, щоб швидкість м'язових скорочень, що приводять в рух крила, стала достатньо високою. Таким чином, дзигальця якби «розігрівають» рухову систему мухи перед польотом.

**45. Політ у житті комах відіграє важливу роль. І добування їжі, і пошук статевого партнера, і розселення – всі ці життєві функції пов'язані з польотом. Дослідження вчених показали, що польотом сарни керує складна, багаторівнева нейронна система. Поясніть механізм польоту сарани з точки зору законів фізики.**

**Відповідь.** Відомо, щоб розпочати політ, сарани треба підскочити, відірватися від землі, в такому разі її почне обдувати зустрічний потік повітря. І зразу ж активуються чутливі до вітру рецептори, які розміщені на голові комахи. Далі сигнал надходить до головного мозку, від нього до нейронів крил і ніг, контролюючих політ. У забезпеченні польоту бере участь також командна підсистема, генераторна, яка формує ритм польоту, а також координуюча і моторна підсистеми, які забезпечують узгоджену роботу окремих генераторів ритму і м'язів крил. Все це – для прямолінійного польоту. А різні маневри у повітрі забезпечують спеціальні механізми, зокрема особливі рульові м'язи, які відділені від м'язів крила.

Важливо відмітити, що принципи, закладені в систему управління польотом (генератори ритму, командна система та ін.), використовується також і в інших видах руху комах, наприклад, при ходьбі.



Більш того, стає очевидним, що на цих принципах базуються ритмічно працюючі системи і хребетних тварин, у тому числі і ссавців. Так, наприклад, подібним чином контролюються крокуючі рухи кішок і собак.

**46. Ноги жаби – це своєрідна система важелів. У чому полягає відмінність у механізмі роботи важелів жаби і птахів й звірів з прямими стрункими ногами?**

*Відповідь.* Дійсно, ноги жаби – це система важелів, яка дає змогу їй зменшити зусилля, потрібні для переміщення тіла. Так, задні кінцівки жаби значно довші від передніх, вони призначені для відштовхування під час стрибків і загрибання при плаванні. Передні кінцівки виконують допоміжну функцію, слугуючи опорою під час приземлення. Проте кінцівки земноводних ще недосконалі: плече і стегно розташовані паралельно землі, а тому важіль не спрацьовує на повну силу, і жаба рухається на лапах повільно і незграбно. І навпаки: птахи й звірі з прямими стрункими ногами – дуже рухливі, бо у них найдовші важелі. Найшвидшими тваринами вважаються страуси, коні, антилопи, олені.

**47. З допомогою надчутливих приладів англійські вчені виявили, що в жару бджола, яка летить виробляє більше тепла, ніж може віддати її тіло у навколишнє середовище з допомогою тепловіддачі. Але разом з тим, температура тіла бджоли залишається постійною. Як таке може бути? Можливо, у бджоли є якийсь додатковий спосіб охолодження? Як ви думаєте, який? Як бджола уникає теплового удару?**

*Відповідь.* Бджола, яка несе у зобі нектар або воду, звіщує з хоботка крихітну краплинку рідини, яка, охолоджуючись, охолоджує її тіло.

### *Риби морських глибин і полярних морів*

**48. Щоб жити, рослини повинні отримувати світло для фотосинтезу, тварини – їжу для підтримання свого існування. Крім того, всі живі організми мають знаходитися в таких температурних умовах, за яких можуть відбуватися важливі процеси їх життєдіяльності. Вчені-біологи, які так вважали, до середини позаминулого століття були впевнені в тому, що тварини навряд чи зможуть вижити в умовах вічного холоду, величезного тиску і безпросвітної темряви. Тому, їх не може бути ні в морських глибинах, ні в полярних морях. Яке технічне відкриття надихнуло вчених-зоологів шукати життя на великих глибинах?**

*Відповідь.* Цим відкриттям був перший підводний телеграфний кабель, який проклали у 1858 році по дну Атлантичного океану, що зв'язав Європу і Америку. Кабель часто виходив з ладу і тому його доводилось підіймати на поверхню, щоб полагодити. На цьому кабелі вчені виявили живі організми, які мешкали на глибині. Це відкриття надихнуло зоологів, і вони почали шукати життя на ще більших глибинах. Так, англієць Уайвіл Томсон за допомогою драги дослідив глибину близько 4500 м. Прилади, які встановили на його драгах, показали, що на цій глибині дійсно стоїть льодовий холод і

тиск водяного стовпа відповідає від 120 кг на 1 см. Однак кожного разу драги постачали на поверхню живі організми, які мешкали у цих умовах. Правда, серед них домінували безхребетні, а риби зустрічались досить рідко.

У 1901 році князь Монако Альберт I, з борту корабля «Принцеса Аліса» спіймав у районі островів Зеленого мису на глибині 6000 м рибу, яку пізніше було віднесено до нового роду і виду *Glimaldichthys profundissimus* (зараз вона переведена до роду *Nalsomycteronus*, яку відносять до родини ошибнієвих). Протягом 50 років ця риба вважалась найглибоководнішою. Але в 1950-1952 рр. датській експедиції на кораблі «Галатя»



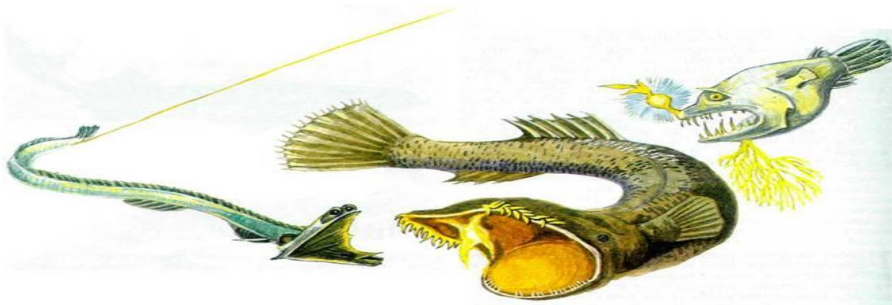
вдалось виявити екземпляр того ж виду у Яванському жолобі на глибині 7160, а на глибині 6700 м у жолобі Кермадек вчені спіймали рибу, яка відноситься до родини Liparidae. У 1953-1957 рр. декілька екземплярів двох видів ліпарид були спіймані на глибинах до 7500 м радянськими експедиціями на кораблі «Витязь» у Курило-Камчатському та Японському жолобах. І, насамкінець, у 1970 році американській експедиції у жолобі в Пуерто-Ріко вдалось спіймати ще одну рибу із родини ошибнієвих – на глибині 8370 м. На сьогодні цей екземпляр залишається найглибоководнішим екземпляром, який вдалось спіймати людині.

**49. Які особливості будови тіла, процесів життєдіяльності та поведінки глибоководних риб дозволяють їм пристосуватися до життя на глибинах океану?**

**Відповідь.** Ліпариди, або морські слизні, мають пуголовкоподібну форму – досить довге, стиснуте з боків тіло, голова широка і потовщена, хвостовий плавець дуже маленький, майже непомітний. Найглибоководніші представники абсолютно прозорі, крізь їх просвічують рожеві м'язи. Очі дуже маленькі, які практично не здатні бачити. Ліпариди пристосовані до існування на дні.

Безкольорові й практично сліпі і глибоководні представники родини ошибнієвих. Вони досить дрібні, біля 20-30 см. Замість відсутнього зору у них відмінно розвинені органи бічної лінії, за допомогою яких вони уловлюють найменші коливання води.

Багато глибоководних риб, які існують у товщі води, на дещо менших глибинах (до 6000 м), мають чудернацький вигляд. Їх паща величезна, а щелепи мають численні гострі зуби. Рот веде прямо до шлунку, який здатний розтягуватися настільки сильно, що риба може



проковтнути здобич у 2-3 рази більшу за неї. Знайти здобич у глибинах океану вдається рідко, і хижак має бути готовим проковтнути що завгодно, незалежно від розміру.

Відсутність світла не є для мешканців великих глибин проблемою. Глибоководні риби або сліпі, або майже сліпі, або ж мають величезні очі, які дозволяють їм вловлювати досить незначну кількість світла від органів, які світяться від інших глибоководних мешканців. Це, наприклад, риби із родини малокостеєвих, яких за зубастість назвали «рибами-драконами». Вони мають невеликі розміри – біля 15 см (лише чорний малокостей досягає півметрового розміру). У них подовжене, чорне тіло, без луски з численними дрібними органами, що світяться (фотофорами) біля очей і на череві. Щелепи малокостеєвих надзвичайно довгі – вони складають біля 30% довжини тіла, - мають численні гострі зуби. Права і ліва половина нижньої щелепи не з'єднані перетинкою, так що рот немає дна. Передні хребці не костеніють, а голова цих риб може рухатися вверх і вниз. Все це – пристосування для ловлі крупної здобичі. А для її знаходження є органи, які світяться - великі фотофори за очима і дрібні на череві випромінюють зеленувато-синє світло, а під очима – інтенсивний червоний.

Для чого ж така ілюмінація? Дослідження показали, що у надзвичайно прозорих глибинних водах світіння зелено-синіх фотофорів малокостеєвих можуть бачити на відстані до 37 м, а червоного – лише на відстані 2 м. Зеленувато-блакитне світло, яке відбивається від луски здобичі, ці хижаки помічають з 4-7-ми метрової відстані, а червоний – приблизно з 1 м. А ось анчоуси майже не бачать червоного світла. Зеленувато-синє світло вони здатні помітити з відстані 36 м, а червоний помічають лише з відстані в 1 см. Таким чином, малокостеєві – це мілкі зубаті хижаки океанічних глибин, здатні освітлювати свою здобич і розпізнавати один одного за «ліхтариками», залишаючись при цьому невидимими для своїх жертв і можливих хижаків.

Дивні ліхтарики мають глибоководні вудильники. Перший промінь їх спинного плавця сильно подовжений і перетворився на вудку (іліцій), на кінці якого знаходиться приманка (еска). Орган на есці являє собою залозу, яка заповнена слизом, у якому містяться бактерії, що світяться. Завдяки розширенню стінок судин, що постачають кров'ю цю залозу, риба може мимовільно викликати світіння бактерій, які потребують для цього надходження кисню, або призупиняти відповідно звужуючи судини. Зазвичай світіння відбувається у вигляді серії спалахів. Поступово притягуючи приманку, що світиться до свого рота, вудильник підманює здобич і проковтує її.

Але необов'язково приманка має знаходитися на «вудці», вона може бути розміщена і у роті, як у риби-мишоловки, або галатеатауми, яка повноє, на відміну від інших глибоководних вудильників, лежачи на дні. Приманка, що світиться, у цієї риби звисає з піднебіння, позаду гострих загнутих зубів. Галатеатаума лежить на дні з розкритою пащею, своєю приманкою, приваблюючи здобич. Коли риба або креветка підпливає щільно до



приманки, за нею змикаються величезні щелепи з гострими зубами. Все це відбувається блискавично.

Цікаво, що органи, які світяться мають тільки самки глибоководних вудильників, а їх самці, відрізняються дуже дрібними розмірами, живуть, присмоктавшись до їх тіла. Це дозволяє вудильникам уникнути зайвих клопотів, пов'язаних з пошуками і розпізнаванням партнера у вічній темряві.

**50. Умови існування риб в антарктичних водах, не менш сурові, ніж в океанських глибинах. Там, правда, немає такого гігантського тиску, але температура води нижча (від  $+1,4^{\circ}\text{C}$  до  $-2,15^{\circ}\text{C}$ ). Наявність у воді розчинних солей знижують точку замерзання. Океанічна вода замерзає при температурі нижче  $-2^{\circ}\text{C}$ , а плазма крові хребетних тварин – нижче  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , темрява приблизно така сама – навіть літом у воду під льодом проникає менше ніж 1% падаючого на поверхню сонячного світла, а протягом чотирьох зимових місяців світла немає взагалі.**

**Які ж особливості будови, процесів життєдіяльності та поведінки дозволяють риbam пристосуватися до життя в таких екстремальних умовах? Поясніть різноманітні адаптації і з точки зору фізичних явищ.**

*Відповідь.* Досить цікаві адаптації представників підряду нототенієвих. П'ять близькородинних родин цього підряду, який об'єднує біля 100 видів, поширено переважно в Антарктиці. Майже всі нототенієві – риби дрібних і середніх розмірів. Найкрупнішими видами є антарктичний і патагонський іклячі, які отримали свою назву за великий рот і іклоподібні зуби. Розміри їх досягають 1-2 м, а маса – декілька десятків кілограм.

Як живуть іклячі та інші, не настільки крупні, нототенієві в умовах постійного холоду? Риби холоднокровні, і температура тіла у них практично така, як і температура навколишнього середовища. Навіть, якщо їх кров охолоджується нижче точки замерзання, вони ще можуть вижити, якщо тільки до тіла ззовні не проникне лід, який стане центром кристалізації. Так що головною небезпекою для антарктичних риб є саме кристалики льоду, які плавають у воді – вони легко можуть проникнути через зябра і навіть через зовнішні покриви і викликати замерзання рідин тіла. Більшість риб тропічної і помірної зон за наявності льоду гинуть вже при температурі води –  $0,8^{\circ}\text{C}$ , а нототенієві, у крові яких концентрація солей приблизно така ж, витримують охолодження до  $-2,2^{\circ}\text{C}$ . Якщо ж до їх тіла кристали льоду не попадають ззовні, то риби не замерзають до температури  $-6^{\circ}\text{C}$ .

Така холодостійкість пояснюється наявністю у всіх рідинах тіла нототенієвих риб молекул особливих глікопептидів, які адсорбуються на дрібних кристаликах льоду і таким чином не дають їм рости. Ці ж глікопептиди якимось чином стають перепорою і попаданню зовнішнього льоду до тіла риби. Якщо почищену від луски шкіру риби промити з внутрішнього боку фізіологічним розчином, який містить молекули глікопептидів – антифризів, то вона стає непроникною для льоду, що знаходиться назовні. Який механізм цього явища – поки що невідомо.

Однак незалежно від того, як діють глікопептиди, нототенієвим вони потрібні цілий рік. Як відомо, синтез складних молекул – справа не проста і

потребує великих затрат енергії. А їжі у навколишньому середовищі для антарктичних риб обмаль, особливо у сурові зимові місяці. Яким чином їм вдається забезпечити необхідне поповнення запасу «антифризу»?

Вчені встановили, що у представників нототенієвих, які живуть в екстремальних холодних умовах, у нирках відсутні клубочки. А сеча утворюється шляхом секреції клітин стінок збиральних трубочок. За такого способу молекули глікопептидів не губляться з сечею, а залишаються в організмі, що і дозволяє економити енергію при їх додатковому утворенні.

Дуже цікавою адаптацією до життя у холодних водах з високим вмістом кисню мають білокровні риби, які відносяться до того ж підряду нототенієвих. Біля 15 видів окремої родини білокровних (Chaenichthyidae) мешкають в основному біля берегів Антарктиди. У крові в них практично немає еритроцитів (точніше – їх там небагато незрілих і нестійких), вміст заліза у 25 разів нижче норми. Органами дихання у білокровок слугують не стільки зябра скільки шкіра, яка має густу сітку капілярів. Наприклад, у кergеленської білокровки капілярна сітка настільки густа, що досягає довжини 45 мм в 1 мм шкіри (на грудних плавцях), а вся поверхня шкірних капілярів вдвічі перевищує загальну поверхню тіла риби. Майже повна відсутність гемоглобіну в крові білокровок і порівняно низьке насичення її киснем компенсується підвищенням швидкості кровообігу. Розміри серця білокровних риб збільшені у порівнянні з нототенієвими рибами з червоною кров'ю майже втричі. Відповідно цьому у них зростає і об'єм крові, що прокачується за одиницю часу.

**51. Відомо, що риби приблизно однакового розміру і виду плавають косяком й упорядковано. Вони подібно птахам шикуються таким чином, щоб використовувати «попутний» крок, який залишають ті, що пливають попереду. Слід складається з «вихору», який утворюється почергово то з одного, то з іншого боку від вісі, що проходить повздовж тіла риби. Обертання води у вихорі таке, що на самій вісі потік спрямований у бік, протилежний напрямку руху риби, а у вихорі, розміщеному збоку, рух води спрямований вперед. Як, з точки зору фізики пояснити рух риб у косяку?**



**Відповідь.** Остання риба, яка знаходиться дещо збоку попереду тієї, що пливе спереду, опиняється у спрямованому

вперед потоці води, що дає їй можливість пливати вперед і при цьому менше витратити енергії.

**52. Чому качки плаваючи мало занурюються у воду?**



**Відповідь.** Грудина й черевце, тобто частини тіла, які занурені у воду, покриті густим, теплим пухом, який зверху прикритий щільно зімкнутими покривними пір'їнами. Наявність товстого шару пір'їн і пуху, який не пропускає воду і в якому

міститься значна кількість повітря, є важливим фактором у житті водоплавних птахів. Завдяки цій «повітряній кулі», яка оточує все тіло птаха, а також підшкірному жиру і повітряним мішкам, його тіло стає легким на воді. Середня щільність тіла качки виявляється значно менше щільності води. Завдяки тому, що тіло качки дещо приплюснуто зверху вниз і лежить на воді широкою черевиною воно легко ковзає по водній поверхні і не може перекинутися на бік.

**53. Поясніть, чому, скакаючи з висоти, кішки не отримують болючих ударів і не пошкоджують свої лапи?**

*Відповідь.* У кішки м'які лапи з гнучкими і пружними кістками. При приземленні кістки згинаються, а це збільшує тривалість удару і зменшує його силу.

**54. Чому у хижаків, які харчуються м'ясом інших тварин, очі світяться у темряві, якщо на них спрямувати промінь ліхтарика?**

*Відповідь.* Очі хижака добре відбивають світло у напрямку, зворотному його надходженню, тому їх видно у темряві. Око цих тварин являє собою систему природних лінз і дзеркал, яка утворюється під сітківкою шаром кристалів цистеїну, який містить цинк. Це і забезпечує сильне відбиття світла.



**55. Відомо, що риби, збільшуючи і зменшуючи об'єм плавального міхура занурюються у глибини водного басейну і впливають на поверхню. У разі занурення об'єм міхура зменшується, а у разі спливу навпаки збільшується. Вчені довели, що ці дії з міхуром риби здійснюють без участі м'язів. Якщо це так, то яким чином риба змінює розміри свого плавального міхура?**

**Відповідь.** Відповідно ідеї американського вченого Роберта Волька, риба маніпулює розмірами свого плавального міхура, збільшуючи або зменшуючи в ньому кількість кисню. Додаткову порцію газу риба отримує із кров'яного руслу і виділяє його у плавальний міхур: той збільшується у розмірі. А коли риба переміщується на менші глибини, то знову кров всмоктує в себе кисень із міхура, і той зменшується у розмірі.

**56. Відомо, що серед водних тварин є досить багато прозорих форм, а ось серед мешканців поверхні ґрунту такі форми практично відсутні. Поясніть ці відмінності з точки зору фізики.**

**Відповідь.** Дійсно, серед водних тварин багато прозорих або напівпрозорих істот. В основному це організми, які мешкають у товщі води: найпростіші, коловертки, медузи, ракоподібні, а також їхні личинки. Зустрічаються і майже прозорі донні тварини: гідроїдні і коралові поліпи, турбеларії та інші.

Серед тварин, які мешкають на поверхні ґрунту, лише деякі з них ледь прозорі (тля, гусінь деяких видів), але справжні склоподібно-прозорі форми не зустрічаються. Ці відмінності можна пояснити кількома причинами. Головних причин дві. По-перше, багатьом водним тваринам прозорість дозволяє залишатись непомітними для хижаків (або для своїх жертв). Наприклад, прозорість рятує дафній від хижаків, які мають гарний зір, а прозорість медуз дозволяє їм залишатися непомітними для їхніх жертв – рачків або мальків риб. У воді зазвичай містяться різні домішки, тому майже часткова прозорість може забезпечити маскування.

На суші такий спосіб маскування неможливий. Річ у тім, що всі організми містять в собі великий відсоток води, тому коефіцієнт заломлення їх тіла може бути дуже близьким до коефіцієнта заломлення води. Це і означає, що у воді за відсутності у тілі пігментів організм буде не помітним. Щоб організм був не помітним у повітрі, необхідно, щоб коефіцієнт заломлення тіла був таким самим, як у повітря. Однак це неможливо: коефіцієнт заломлення визначається швидкістю світла у даному середовищі. Тому навіть прозорий організм на суші буде помітним (наприклад, через відбиття відблиску, через викривлення форми предметів, які видимі крізь його тіло).

Інша причина відсутності прозорих форм серед наземних тварин полягає в тому, що пігментація захищає їх від згубного впливу ультрафіолетового випромінювання. Вода дуже сильно поглинає ультрафіолетові промені, тому для водних тварин такої проблеми у захисті немає. Але у мілких і прозорих водоймах у високогір'ї, де інтенсивність ультрафіолетового випромінювання досить велика, водні тварини, які зазвичай мають прозорі покриви (наприклад, дафнії), набувають пігментацію і можуть стати майже чорними.

Безбарвні, напівпрозорі форми є і серед тварин, які мешкають у ґрунті й у темних печерах. Їм прозорість не дає ніяких переваг у маскуванні. Причини її виникнення вбачається в наступному. Ультрафіолетові промені цим тваринам не страшні. І пігменти, синтез яких вимагає додаткових витрат,

не утворюється, тим паче, що захисне або інше забарвлення у темряві втрачає сенс.

**57. Всім нам відоме твердження, що переїдати шкідливо. А ось для деяких тварин ненажерливість не лише корисна, але й просто необхідна. Чи згодні ви з таким твердженням? Відповідь аргументуйте.**

**Відповідь.** Ненажерливість необхідна, наприклад, ведмедам, для них життєво важливо нагуляти за літо солідний запас жиру для того, щоб благополучно пережити тривалу зимову сплячку. Подібні енергетичні запаси потрібні і птахам перед далекими сезонними перельотами, тому що на шляху підгодовуватися буде ніколи. Обростають жиром і мешканці пустель перед настанням безводного періоду, коли добування їжі перетворюється на важке завдання.

**58. Зграйні риби інколи утворюють величезні щільні косяки товщиною до 10 м і площею 15-20 м - це десятки мільйонів особин. При цьому косяк риб може поводитися як єдине ціле. Поясніть, яким чином риби у косяку координують свої рухи?**

**Відповідь.** При вивченні поведінки риб вчені виявили три простих правила, яких дотримується кожна особина в косяку. А. Кожна риба слідує лише за ближніми сусідами. Цей зв'язок забезпечується зором – сліпа на одне око риба прилаштовується до сусідів, які плывуть з боку її зрячого ока.

Б. Всі особини однаково зорієнтовані. Кожна риба створює навколо свого тіла електромагнітне поле. Риби, які плывуть у зграї поруч одна з одною, відчувають поля сусідів – варто лише одній рибині у зграї проявити занепокоєння і різко повернути, як останні миттєво роблять те ж саме.

В. Їх притягує одне до одного, але вони дотримуються певної дистанції. Риби у косяку тримаються дуже близько одна біля одної – зазвичай відстань між ними дорівнює довжині їх тіла і навіть менше.

**59. Останніми роками часто можна побачити рибалок біля брудної канави, маленького зарослого озера чи річкової стариці. Що, здавалося б, можна витягти тут? Та ось вудилище сіпнулося і на гачку тріпоче рибка. Це - ротан. Завезли його з Далекого Сходу. Ворогом ротана на його Батьківщині є хижак – змієголов, який досягає іноді метра у довжину і десяти кілограм ваги. У новому середовищі такого мисливця не знайшлося і ротан почав знищувати інші види риб, передусім карасів. Які ж пристосування дозволяють ротану виживати в дуже несприятливих умовах?**

**Відповідь.** Зайнявши екологічну нішу, непридатну для інших риб – стариці, ковбані, зарослі ставки, озера – ротан пристосувався виживати в дуже несприятливих умовах. Цікаво, що ці риби самі вмерзають у кригу. Згуртувавшись у щільні зграї, вони тримаються під нижньою поверхнею криги, ворухаються, не даючи воді навколо косяка замерзнути. Лід унизу врешті решт утворюється, а ротани опиняються у водяному просторі, де температура близько 0°. У порожнинних рідинах риб накопичуються солі, і вони стають чимось схожим на природний «антифриз» - внутрішнього

замерзання не відбувається, і лід не руйнує тканини. Іноді ротани зимують, ніби карасі, зариваючись у намул.

Коли влітку мілководні водойми пересихають, ротани вкриваються слизом і впадають у сплячку.

**60. У тривалому процесі пристосування до життя у воді кити дуже змінили свою організацію і тепер значно відрізняються від наземних тварин. Які ж саме пристосування дозволили китам вести водний спосіб життя?**

*Відповідь.* Найперше, тіло китоподібних набуло видовженої рибоподібної форми, найбільш зручної і вигідної для пересування (плавання) у щільному водному середовищі. Задні кінцівки зникли, від них залишилися тільки маленькі кісточки, сховані у м'язах. Хвіст перетворився на орган поступального руху, причому хвостовий плавець розміщений горизонтально, тоді як у риб він вертикальний. Передні кінцівки перетворилися на плавці, що служать рулями глибини. До життя у воді тіло китів пристосоване дуже добре. Воно має майже ідеальну обтічну форму, причому нерівності, які гальмують рух, зникли. Там, крім задніх кінцівок, зникли зовнішні вушні раковини наземних ссавців, але, незважаючи на це, чують кити добре, бо слуховий апарат у них розвинутий цілком достатньо. Зник зовнішній волосяний покрив, від нього залишилися тільки окремі волосинки, розкидані по краях щелеп і на поверхні голови, які виконують функцію дотику. Функція захисту організму від охолодження, яку в наземних ссавців виконує волосяний покрив, перейшла до підшкірного жирового шару, який у китоподібних надзвичайно розвинутий. Крім цього, підшкірний жир зменшує питому вагу величезного тіла кита, наближаючи його до питомої ваги води. Великої зміни зазнали очі китоподібних. Повіки в них нерозвинені, а саме око вкрите товстою прозорою роговою оболонкою, яка охороняє його від тиску води. Утворилися спеціальні залози, які виділяють густу змащувальну рідину, що захищає око від шкідливого впливу солоної морської води. Одночасно зникли слізні, потові й сальні залози. Однак, незважаючи на водний спосіб життя, кити зберегли легеневе дихання. Легені в китів величезні і вміщують до 10 тис. літрів повітря й більше. Це має велике значення для тривалого пірнання китів. Як і наземні ссавці, кити народжують живих малят, яких вигодовують материнським молоком. Самка народжує малят дуже великих, цілком сформованих, здатних до самостійного плавання. До того ж, у деяких видів китів новонароджене маля досягає однієї третини і навіть половини довжини матері. Тому вагітність у китів триває дуже довго – близько року.

**61. Тріпотіння горла у птахів – один із способів охолодження. У разі вібрації горла з тонкого еластичного дна ротової порожнини і верхньої частини глотки інтенсивно випаровується волога. Частота тріпотіння горла дуже висока і може досягти тисячі коливань на хвилину. Згідно теорії відомо, що, здійснюючи таку роботу, м'язи повинні виділяти тепло. Дослідники тривалий час вагались: їм здавалось, що кількість тепла, що утворюється при тріпотінні повинна**

зводити нанівець охолоджуючий ефект випаровування вологи. Але з'ясувалось, що кількість тепла, яке виділяється при тріпотінні горла значно менше, ніж передбачалось за теоретичними розрахунками. Спробуйте пояснити цей феномен.

**Відповідь.** Еластичне дно ротової порожнини птаха подібно натягнутій струні: у нього є власна частота коливань. М'язи птаха створюють коливання, які здійснюються у власному ритмі вібрації горла. При цьому, як пояснюють фізики, виникає резонанс. Для того, щоб підтримати коливання горла з власною частотою, не потрібно великих затрат енергії, а це означає, що м'язи птаха виділяють мало тепла.



**62. Тривалий час риб вважали глухими. Однак завдяки**

**ретельно проведеним експериментам, підґрунтям яких слугувало вироблення умовних рефлексів, було встановлено, що риби чують. Серед піддослідних були карасі, окуні, линки та інші прісноводні риби. Були визначені амплітудно-частотні характеристики і низка інших параметрів слуху риб. Які ж у риб є органи слуху? Чому у риб відсутні вушні раковини, які властиві наземним хребетним тваринам?**

**Відповідь.** У риб орган слуху добре захищений і вміщений у хрящову капсулу з окостенілими зовнішніми стінками. Перетинчастий лабіринт (власне внутрішнє вухо) утворений трьома добре розвиненими півколовими каналами, які відходять від овального мішечка (утрикулюса) і які лежать у взаємно перпендикулярних площинах. Під овальним мішечком розміщений круглий мішечок (сакулос), який має порожнистий виріст – лагену. Від круглого мішечка відходить тонка ендолімфатична протока, яка закінчується сліпо. Круглий мішечок і лагена є власне органом слуху. У порожнині, яка утворена лагеною, круглим і овальним мішечком, і заповненій ендолімфою розміщені отоліти, або слухові камінці, які утворені кристаликами карбонату кальцію, скріпленими органічною речовиною.

Епітелій на деяких ділянках круглого і овального мішечка та у напівколових каналах має чутливі (рецептори) клітини, що мають спеціальні волосинки, які входять у просвіт внутрішньої порожнини.

Основа грушоподібних рецепторних клітин обплетена розгалуженнями слухового нерва. Будь-яка зміна положення голови викликає переміщення ендолімфи і розміщених в ній отолітів, які подразнюють при цьому чутливі клітини. Звукові хвилі викликають коливання ендолімфи і включень, що знаходяться в ній, що також призводить до подразнення чутливих клітин. Однак слухову функцію у риб в основному виконують чутливі поля лагуни. Від рецепторних клітин збудження по слуховим нервам передається у вестибулярний і слуховий центри, які розміщені у головному мозку, де відбуваються процеси перетворення сигналів, що надходять, в образи і формування відповідної реакції.

Щодо відсутності у риб вушних раковин і середнього вуха, то це пояснюється тим, що середнє вухо з його барабанною перетинкою біологічно не виправдано в умовах великого тиску під водою, а зовнішнє вухо порушувало б обтічну форму риб, таку необхідну їм для швидкого руху.

**63. Відомо, що у риб є два основні типи слухових органів: органи, які не пов'язані з плавальним міхуром, і органи, у яких плавальний міхур є їх складовою частиною. Поясніть, з точки зору фізики, що слугує, у деяких риб, аналогом середнього вуха наземних хребетних.**

*Відповідь.* У риб, у яких слухові органи і плавальний міхур складає одне ціле, а саме: плавальний міхур з'єднується з внутрішнім вухом з допомогою веберова апарата – чотирьох пар рухливо з'єднаних кісточок. Таким чином, у деяких риб (карпових, сомових, харацинід, електричних вугрів) плавальний міхур з веберовим апаратом є аналогом середнього вуха, діючи при цьому як приймач і перетворювач звуків. Коливання його стінок передаються через веберів апарат у внутрішнє вухо риби і сприймаються як звук певної частоти і інтенсивності. Акустичний приймач типу плавального міхура наповнений повітрям і поміщений у воду, при поєднанні з діафрагмою мікрофону різко підвищує його чутливість. Внутрішнє вухо риби і є тим «мікрофоном», який працює разом із плавальним міхуром. Реально це означає, що хоча поверхня води досить сильно відбиває звуки, що доносяться з берегів, все ж більшість з них риби чують. Так, усім нам добре відомий лящ дуже чутливий і під час нересту лякається найменшого звуку. Тому у давнину, під час його нересту, навіть заборонялось дзвонити у дзвони.

**64. Чіткою ознакою гострого слуху є здатність розрізняти тони. Наприклад, вухо людини здатне розрізняти за висотою і гучністю біля півмільйона простих тонів. А яким же чином вчені виявили цю здатність у риб?**

*Відповідь.* Експерименти показали, що, наприклад, гольяни здатні розрізняти звуки за частотою. Вони можуть запам'ятати певний звуковий тон і реагувати на нього навіть через дев'ять місяців після тренування. А деякі, особливо обдаровані особини, можуть запам'ятати до п'яти тонів, наприклад, «до», «ре», «мі», «фа», «соль», і якщо їжею підкріплюється тон «ре», то гольян здатний відрізнити його як від сусіднього, більш високого тону «мі», так і від більш низького «ре». Крім того, у діапазоні частот 400-800 Гц гольяни здатні розрізняти звуки, які відрізняються на півтона. Як відомо, в музичній октаві (відношення частот дорівнює двом) звуки прийнято ділити на 12 напівтонів. Так що, можливо, гольяни володіють музичним слухом. На відміну від гольяна, макропод зовсім немає музичного слуху, однак і він розрізняє два тони, якщо вони віддалені одне від одного на 1-3 октави.

Вугрі ж здатні розрізняти звуки, які відрізняються за частотою лише на октаву.

**65. Загалом риби краще чують низькі звуки ніж високі. Однак із загального шуму вони здатні виділяти сигнали, які несуть життєво важливу інформацію. І, зрозуміло, особливо важливі звукові сигнали, які надходять від родичів. Які ж звуки можуть подавати риби?**



**Відповідь.** На цей час відомо, що багато риб можуть видавати звуки. Морський півень, наприклад «квокче», а ставрида «гавкає», риба-барабанщик видає голосний звук, який дійсно схожий на бій барабана, морський налім виразно «хрюкає» і «буркоче».

Сила звуку, що подається деякими морськими рибами, така велика, що під час другої світової війни вони викликали вибухи акустичних мін, що були призначені для підриву ворожих кораблів, а не морських мешканців. Як тільки людина винайшла гідроакустичне «вухо» як німі риби заговорили.



Цікаво, що багато риб можна почути і без всіляких приладів-посилувачів. Наприклад, якщо стривожити у спальному гнізді протоптера, то він видає звук, який нагадує одночасно писк і скрипіння. Поза водою розбуркана риба здатна видавати звуки, які схожі на голосний зойк, що, вірогідно, пов'язано з різким викидом з легень повітря. У природі, при диханні атмосферним повітрям, протоптер видає голосне зітхання, яке переходить у своєрідний вереск. А на Амазонці багато риб подають різноманітні голосні звуки, які можна прийняти за спів. Наприклад, один із видів сомів-пірарара, який досягає метрової довжини і маси тіла 100 кг, видає трубний звук, який схожий на ревіння слона і чути його на відстані до 100 метрів. Звуки ці видаються сомом шляхом виштовхування суміші води і повітря через щільно зімкненні зяброві щілини і, можливо, слугують для відлякування хижаків. Харакі (хараксоподібні) під час нересту видає з допомогою плавального міхура сильний ревучий звук, який нагадує роботу двигуна мотоцикла.

**66. Плавальний міхур у риб є одним із головних спеціалізованих органів звукоутворення. Поясніть, з точки зору фізики, від чого залежить характер звуку, який видають риби?**

**Відповідь.** Характер звуку, які видають риби, залежить від улаштування міхура і механізму, який запускає його в дію. У багатьох випадках для цього слугують так звані барабанні м'язи (мускули), що прилягають до стінок плавального міхура. У разі скорочення мускулатури, стінки міхура починають колитися, випускаючи імпульси звуку. Так утворюється стукіт (звичайно, за допомогою гідрофона) під час нересту налімів. Звуки, які видаються з допомогою плавального міхура, нагадують барабанний дріб, або серію ударів. Або низьке каркання, або хрюкання і хрипи, як у судака, і навіть гудки сирени пароплава, як у атлантичної риби-жаби. Численні варіації в характері «голосу» породжується несхожістю у будові звукоутворюючого апарату у різних видів риб. З віком риби ростуть і розміри плавального міхура збільшуються. «Високий» голос молодняку риб «ламається» і поступово стає низьким. Тому по голосу можна судити про розміри риб, і немає потреби їх навіть бачити.



Зазвичай у риб, самці видають більш інтенсивні звуки, ніж самки, а у деяких видів голосом взагалі володіють лише самці. Крім плавального міхура, у деяких прісноводних і морських риб, в утворенні звуку беруть участь стридуляційні органи. В утворенні стридуляційних звуків беруть участь щелепні і глоткові зуби. Ці звуки нагадують шипіння, скрип, свист тощо. Так, Риба-місяць видає специфічний скрип при терті кісткових пластинок дзьобоподібного рота. Морські коники «клацають» з допомогою



спеціального «з'єднання» черепа з хребтом. В Амурської касатки-скрипуна цей пристрій складається з перших променів грудного плавця. При терті цих променів один з одним виникає звук, який нагадує різкий скрип високого тону. Досить часто стридуляційні звуки бувають триваліше тих, джерелом яких слугує

плавальний міхур.

На відміну від механічних звуків, які викликані рухом, «голос» риб подається мимовільно, під контролем особливого нервового центру, розміщеного у головному мозку. Цей «голос» може означати певний сигнал : загрозу, заклик самки, наближення небезпеки або наявність їжі і т. ін. – і викликає у риб відповідні цілеспрямовані фізіологічні реакції.

**67. Важливим розділом сучасної біології є вивчення механізмів комунікації у тварин, зокрема у риб. У класичному уявленні сигнали тварин є сигналами емоцій на відміну від сигналів-символів предметів і дій, якими є слова людини (друга сигнальна система). У риб найбільший інтерес викликають комунікації у зграї, агресивні і ієрархічні взаємовідносини, міжстатеві комунікації під час підготовки до нересту, а також взаємодія між батьками і нащадками у період батьківської турботи. По яким каналам може здійснюватися у риб передача інформації? Чи змінюється роль окремих комунікаційних каналів у різні періоди життя у риб?**

**Відповідь.** Передача інформації у риб може здійснюватися по різним каналам: оптичному, акустичному, сейсмоденситивному, хімічному й електричному. При цьому роль окремих комунікаційних каналів може змінюватися. Наприклад, у період переднерестових ігор у чорносмугастої цихлазми (*Cichlasoma nigrofasciatum*) електричні сигнали використовуються активніше, ніж акустичні, а під час власне нересту (відкладання й запліднення ікри) ситуація змінюється на протилежну. Однак, при цьому, головна роль незмінно належить зоровій сигналізації.

У період турботи про нащадків, роль сенсорних систем також змінюється з часом. До появи личинок турбота про ікру полягає головним чином у чищенні, вентиляції і охороні від хижаків. Для реалізації подібної поведінки батьки повинні перш за все розпізнавати власну ікру, відрізнити її від предметів навколишнього середовища і від чужої ікри.

**68. На сьогодні не існує єдиної думки щодо здатності риб розпізнавати своїх нащадків, в тому числі і на стадії ікри. Якщо ж риби здатні до розпізнавання, то які органи чуття вони при цьому використовують? На чому ґрунтується розпізнавання ікри?**

**Відповідь.** 50 років тому етологи вважали, що риби не можуть відрізнити власну ікру від чужої і навіть штучної. У деяких роботах вказувалось, що хеміхроміси (*Hemichromis bimaculatus*) впізнають свою кладку, ґрунтуючись виключно на зоровому сприйнятті – за топографією субстрату, тобто місця, в якому була відкладена ікра.

Однак у подальших працях доведено протилежне. На цей час вчені більше схиляються до думки про те, що всі риби, які проявляють турботу про нащадків, у тому числі і хемохроміси, здатні розпізнавати свою ікру. Розпізнавання ґрунтується не лише на зоровій інформації, але в значній мірі здійснюється і за допомогою нюху – за індивідуальним запахом кладки. Це особливо важливо, якщо врахувати, що зорова орієнтація у водоймах з каламутною водою буває утрудненою.



У проведених експериментах із штучними моделями ікри цихлазоми чорносмугастої було встановлено, що штучні воскові ікринки, які навіть ззовні не можна розпізнати від натуральних все-таки викликають зміни у природній поведінці батьків. Виникає питання: якщо батьки розпізнають заміну, то чому вони взагалі не кидають фальшиву ікру, а якщо ні, то чому виражено часткове згасання турботи. Стверджуючої відповіді на це питання поки що немає.

Що ж стосується штучних ікринок, які відрізнялися за розміром від природних, то вони відразу відкидалися батьками. З цього можна зробити висновок про ключову роль у впізнаванні ікри їх зовнішнього вигляду, а не особливостей навколишніх предметів.

**69. В етології відомо таке явище як імпринтинг. Воно пов'язано з наявністю в онтогенезі багатьох тварин чутливих періодів, під час яких вони вчаться реагувати на певний комплекс подразників, наприклад – запам'ятовують образ батьків. Подібне явище відомо і у риб, причому таке запам'ятовування не обов'язково відбувається у ювенільному періоді. Так, за спостереженнями деяких дослідників, пара моногамних цихлід, яка нереститься вперше запам'ятовує образ своєї ікри. Якщо зразу ж після нересту кладку ікри підмінити на ікру іншого виду, риби будуть доглядати за нею, як за власною. Відкладена ж ними самими при наступних нерестах ікра сприймається вже як чужа, і не тільки не стимулює батьківську турботу, а найчастіше просто з'їдається. Провідну роль у процесі запам'ятовування відіграє зоровий образ. Однак, на думку деяких етологів, певне значення в цьому у цихлід відіграє і хімічне чуття.**

**Серед етологів немає єдиної думки щодо питання: чи впізнають риби власних вільноживучих мальків. Частково це пов'язано з тим, що за класичними уявленнями, здатність до такого розпізнавання визначається на основі того, чи видаляються чужі мальки із зграї. Однак може бути й таке, що риби відрізняють чужаків, але разом з тим не поїдають їх? Чим можна пояснити таке явище?**

**Відповідь.** Виникаючі у природі змішані виводки мальків риб, як внутрішньовидові, так і міжвидові, відомі досить давно. Їх спостерігали і у лабораторних умовах, і у природі. Це явище пояснюється в рамках соціобіологічної концепції. У цьому випадку можливість турботи про виводок, до складу якого входять як власна, так і чужа молодь, оцінюється з точки зору енергетичної вигоди, яку отримують батьки-донори і батьки-реципієнти.

Вигода для тих, кому поталанило вдало перекласти турботу про частину своїх нащадків на інших і таким чином витратити на тих мальків, що залишились більше енергії, очевидна. А у чому вбачається вигода для батьків, які приймають на виховання чужу молодь?

Пояснення такої поведінки було отримано вченими під час спостереження за сомом-каساتкою (*Baqrus meridionalis*), що мешкає в озері Малаві в Африці. У двадцять одному із сорока одного досліджуваних виводків цієї риби були мальки різних видів цихлід. Такі змішані виводки часто охороняються від хижаків спільними зусиллями дорослих касаток і цихлід. Однак так відбувається не завжди. З'ясувалось, що якщо цихліди не виявляють інтересу до власних дітей, то касатки, які дали їм притулок, все одно мають з цього вигоду за рахунок того, що нападаючі на змішану зграйку хижаки в першу чергу схоплюють саме прийомних мальків. А відбувається це тому, що мальки цихлід завжди тримаються на периферії зграйки. До мальків касаток, які утворюють її центр, хижак зазвичай не добирається.

Подібна ситуація спостерігалась у чорноносмугастій цихлазومی, яка теж може приймати у свою зграйку чужих мальків, але тільки меншого, ніж її власні діти, розміру. У даному випадку така «благочинність» пояснюється тим, що хижаки виїдають мілких мальків інтенсивніше, ніж крупних.

Таким чином, риби, які утворюють сімейні пари, все-таки досить добре розрізняють власних і чужих мальків. Для цього вони можуть використовувати весь комплекс аналізаторних систем або окремі органи чуття. Наприклад, доведено, що деякі риби впізнають свій виводок на основі зору або за допомогою одного хімічного чуття.

Один із найбільш складних типів організації сімейних груп демонструють риби *Neolamproloqus brichardi*, відомі у акваріумістів під назвою «принцеса Бурунді» або лампрологус Брішара.

Унікальною особливістю соціальної організації цих риб є те, що молоді особини, які досягли самостійності, часто не покидають сімейну групу, а залишаються з батьками і на далі допомагають їм доглядати за наступними виводками. Сімейна група лампрологусів може складатися із декількох поколінь, які різняться за віком, помічників, або хелперів, між якими існує

складна система взаємовідношень і розділення функцій. При цьому дорослі риби не тільки розрізняють хелперів різного віку і хелперів зі своєї і чужої групи, але вміють визначити, чи не є сторонні риби хелперами в якійсь іншій групі, тобто розпізнають помічників як особливий соціальний прошарок в популяції.

**70. Зв'язок між дорослими рибами і виводком припускає і впізнавання мальками своїх батьків. Чи має місце таке впізнавання у поведінці мальків? Які стимули були виявлені дослідниками з боку батьків, орієнтуючись на які молодь коректує власні дії?**

**Відповідь.** Те, що впізнавання мальками своїх батьків має місце у житті риб, підтверджено багаторазово. Дослідники виявили основні візуальні стимули з боку батьків, а саме: характерні типи руху і пози, такі як зигзагоподібний рух, зависання вниз головою. Пізніше було проаналізовано сигнальне значення кольору і форми тіла батьків, розміщення на ньому плям і смуг, швидкості руху дорослих риб.

Наприклад, у плямистих етроплюсів (*Etroplus maculatus*) батьки подають сигнал до збору молоді посіпуванням черевних плавців.

Пельматохроміси Гюнтера (*Pelmatochromis guntheri*) сповіщають мальків про небезпеку, посіпуючи всім тілом і розправляючи спинний плавник. Значна роль належить і хімічному чуттю. Так, молодь цихлових риб не лише пізнає запах своїх батьків, але може знаходити їх, орієнтуючись виключно на характерні хімічні речовини, які приносяться струмом води, при цьому вони їх не бачать.

Деякі праці щодо питання розпізнавання мальками риб своїх батьків виконано з використанням моделей. Так, у багатьох риб з розвиненим почуттям батьківської турботи відбувається закарбування образу своїх нащадків. Таким чином, і мальки з початком вільного плавання закарбовують образ батьків. Замінюючи батька на спеціальні імітуючі моделі, можна виявити, які ознаки є ключовими для мальків у цей період. Моделі подаються малькам, яких тримають без батьків, і чим вік їх менший, тим залюбки мальки приймають модель. З'ясувалось, що до сигналів, які відіграють найбільш важливу роль, відноситься в першу чергу характер руху моделі. Імпринтинг у риб на відміну, наприклад, від птахів ґрунтується головним чином на закарбуванні рухових сигналів, а не власне образа батька. До інших ключових ознак відносяться форма моделі, наявність об'ємності, тип розміщення смуг і плям на тілі, і в останню чергу – колір.

Можливо рухова активність батьків відіграє помітну роль у сприйнятті їхніми мальками тому, що здійснює двоякий вплив: крім того, що рух риби є зоровим сигналом для виводка, він ще супроводжується механічним збуренням водного середовища. Значення такого збурення було проаналізовано з допомогою скляної трубки з резиною грушою на кінці. Вільний кінець трубки, який сам по собі не мав ніякої схожості з дорослою рибою і не викликав у мальків ніякої реакції, занурювався у воду. Після цього експериментатор легкими надавлюваннями на грушу створював слабкі коливання і збурення води. З'ясувалось, що подібні сигнали приваблюють

молодь майже так, як наближені до натуральної форми моделі. Було також показано, що на ранніх стадіях розвитку, в період імпринтингу, навіть падаючі у воду краплі води приваблюють мальків, хоча пізніше вони викликають в них панічний страх. Мальки, що підрости виявляють цікавість до падаючих крапель, яка обумовлена дослідницькою активністю.

Разом з тим, дослідниками доведено, що імпринтинг виражений не у всіх видів риб, які утворюють сімейні групи. Наприклад, мальки деяких цихлід із роду *Aristogramma* здатні прямувати за будь-яким із батьків або навіть за сторонньою особою того ж виду, що, вірогідно, надає їх поведінці більшу адаптивність.

Таким чином, узгоджені дії сімейної групи забезпечуються системою сигналізації, роль окремих комунікаційних каналів в якій може змінюватися залежно від конкретної екологічної ситуації.

### *Тварини-прогнозисти*

**71. Більшість наземних тварин задалегідь відчують наближення землетрусу. Наприклад, ящірки і змії перед цим кидають нори; домашні тварини (кози, свині, корови) передчують наближення землетрусу за два дні. Крім наземних тварин прогнозувати землетрус можуть і риби. Глибоководні риби океанів перед землетрусом виходять у поверхневий шар води або у прибережну зону. На жаль, людина у процесі еволюції втратила цю здатність. Як пояснюють учені-фізики та геофізики механізм передчуття землетрусу тваринами?**

**Відповідь.** Учені по-різному пояснюють передчуття землетрусу тваринами. Геофізики вважають, що перед наближенням землетрусу виділяється газ радон, і концентрація його зростає у десятки разів. При цьому він спрямовується з великих глибин до поверхневих шарів землі. Можливо тварини здатні уловлювати підвищення його концентрації в атмосфері і у воді.

Фізики припускають, що тварини можуть уловлювати флуктації в електромагнітному полі, що викликані напруженням земної кори перед землетрусом. З'являються блукаючі струми, які поступово наростають, і це наростання сприймається тваринами, особливо рибами, так як у їх боковій лінії є електричні рецептори.

**72. Відомо, що Земля – це величезний постійний магніт, що обертається і який має навколо себе магнітне поле. Люди не відчують магнітного поля Землі, і тому, щоб визначити його напрям, користуються компасами. Тварини ж мають свої «прилади», за**



допомогою яких вони орієнтуються у магнітному полі. Ця орієнтація потрібна їм для того, щоб певним чином відповідати на вплив цього поля. Найбільш високочутливими до слабких магнітних полів визнано риб. Як і для чого використовують цю здатність риб?

**Відповідь.** Найбільш високочутливими до слабких магнітних полів виявились риби, які використовують їх в основному, для орієнтації у воді і лоцируванні жертви.

Так, у щуки навколо голови створюється змінне магнітне поле з частотою 8-9 Гц, обумовлене електричною дією мозку і його алгоритмів. Це поле допомагає щуці відшукувати рибок, які заховались у траві. Щуки наводять електричний потенціал на жертву, а потім сприймають її електричними рецепторами. Зубатий хижак діє за законом Фарадея, а саме: він пересікає магнітними лініями тіло риби, індукує в ньому електричні потенціали між хвостом й головою і визначає, де знаходиться риба і у який бік спрямовані її хвіст і голова.



### *Екстрасенсорика у тварин*

Жителям Філіппін давно відомо, що дикі кабани і мавпи здатні передбачати наближення виверження вулкану заздалегідь. Так, за кілька днів до виверження вулкану Майон, на Філіппінах, яке відбулося 10 вересня 1984 року, численні стада диких кабанів і мавп зійшли з гір і розмістились на селянських полях. Звісно, вони причинили збитки, але разом з тим завчасно попередили місцевих жителів про наближення стихійного лиха.

За два дні до катастрофічного за своїми наслідками землетрусу 1948 року в Ашхабаді місто заповнили полчища ящірок і гадюк. Гадюки, особливо ядовиті, у передчутті землетрусу вже за декілька діб покидають обжиті нори. Те ж саме роблять і ящірки.

Деякі вчені пояснюють цей незаперечний факт високою чутливістю шкіри цих тварин до температурної зміни ґрунту.

Щодо екстрасенсорики не поступаються ящіркам й гадюкам і крокодили. Вони теж якимось чином «навчені» передбачати землетруси, виверження вулканів і навіть великі снігопади. Так, японські вчені, які спостерігали за поведінкою крокодилів у розсаднику на острові Консю, відмітили, що перед сильним землетрусом у середній частині острова, яке відбулося 17 грудня 1987 року, стадо крокодилів раптово влаштувало справжній концерт. Десятки особин почали видавати ричання і, вигнувшись дугою, виконувати чудернацький танок. І цього разу вчені знайшли досить правдоподібне пояснення крокодилячої екстрасенсорики: тварини надзвичайно тонко сприймають коливання земного магнетизму.

А що ж людина? Гомо сапієнс – «Людина розумна» - не є виключенням у живій природі, ось тільки в процесі еволюції в міру розвитку розуму її «біологічна антена» втратила чуттєвість властиву тваринам. Єдине, на що має покладатися людина у передчутті наступаючого лиха, так це на роботу підсвідомості (і те не у кожної), і на «феномен снів». Цікаво, що як і у багатьох тварин, екстрасенсорне сприйняття уві сні майбутніх неприємностей відвідують людину за 4-5 годин.

### **Біоритми**

**73.** Для значної частини тварин біологічні ритми задаються циклічними змінами навколишнього середовища. До таких факторів можна віднести добові, місяцеві і річні цикли. Саме за ними живі організми перевіряють свої власні ритми або внутрішні коливальні системи. Що ж слугує тваринам циферблатом, а що стрілками? Як



улаштований біологічний годинник тварин?

**Відповідь.** Для багатьох тварин циферблатом біологічного годинника слугує величезне небо, а стрілками – сонячний промінь. Маятником біологічного годинника може бути молекула білка. Коливання білкових молекул, які задають ритм часу, пов'язані, в основному, з рухом скручування і розкручування, які нагадують складні пружини.

Кожен ланцюг, з якого складається білкова молекула, несе електричні заряди. Достатньо розтягнути білкові молекули, як заряди починають обертатися, створюючи магнітне поле, молекула стиснеться, заряди і полюси магнітного поля повернуться у вихідне положення і цим самим створюється змінне магнітне поле. Магнітами у живій клітині є атоми металів, які входять до складу білкової молекули.



Безпомилково відчують час кози, собаки, кішки та інші тварини.

**74.** Фізіологи Андерсен і Сколандер, вивчаючи особливості дихання на алігаторах зоопарку Сан-Дієго (США), встановили, що ці тварини можуть регулювати живлення важливих органів і тканин киснем. Поясніть механізм дихання цих тварин?

**Відповідь.**

З'ясувалось, що молочна кислота, яка утворюється у м'язах під час занурення, не потрапляє в кров до тих пір, поки алігатор не винирне на поверхню води. Це свідчить про те, що циркуляція крові у м'язах при перебуванні алігаторів під водою або обмежується, або повністю призупиняється.





Коли під водою у крокодила закінчується запас кисню, в легенях, у його організмі спрацьовують своєрідні біологічні регулятори, які зупиняють вільний доступ повітря до всіх органів і тканин, окрім серця і мозку. Через деякий час може припинитися вільний доступ повітря і до серця, ритм якого в такому разі уповільнюється до двох ударів за хвилину. Лише мозок продовжує отримувати кисень у тій самій кількості, як і на поверхні.

Тривалість перебування алігаторів під водою досягає двох годин. Особливість цього механізму полягає в тому, що половину запасу повітря вони витрачають за 20 хвилин, а іншої половини достатньо на наступні 100 хвилин.

**75. Більшість плазунів сприймають лише доволі низькі звуки, однак верхня межа їх слухового діапазону може бути різною. З чим це може бути пов'язано?**

*Відповідь.* Доведено, що звичайні сухопутні і коробчасті черепахи зазвичай чутливі до низьких звуків частотою 105-115 Гц, а взагалі вони сприймають звуки в діапазоні від 80 до 130 Гц. За межами цього діапазону вони чують лише дуже голосні звуки. Один із видів водних черепах досить чутливий до звуків у діапазоні 130-500 Гц, але може чути і більш високі звуки (до 1000 Гц).

Такий самий діапазон сприйняття звуків і у алігаторів. Виявлено, що ящірки тахидромус суттєво відрізняються одна від одної за ступенем сприйняття звуків: одні чують звуки з частотою до 12500 Гц, а інші – лише до 4600 Гц.

Однак дані про велику різницю у сприйнятті тваринами одного виду частково пояснюється тим, що дослідникам невідомо було про залежність слуху холоднокровних тварин від навколишньої температури. Так, наприклад, ставкові (озерні) жаби при температурі 8°C не чують навіть досить голосних звуків (у повітрі), якщо частота вище 100 Гц, а при температурі 20°C їм доступні звуки з частотою 256 Гц.

Каролінські черепахи також при температурі 6°C сприймають звуки з частотою не більше 130 Гц, а при 30°C – до 500 Гц. Це пов'язано з тим, що проведення нервових імпульсів по волокнах слухових нервів залежить від температури. Коли холодно провідність волокон знижується і вони не здатні передавати швидкі сигнали звуків високої частоти. Внаслідок цього виникає дивне явище: при низьких та середніх температурах холоднокровні не здатні уловлювати різницю між підвищенням тону звуку і зменшенням його гучності.

**76. Загальновідомо, що живі істоти здатні захищатися від холоду. Реакція тварин на різний тепловий режим життєзабезпечення різноманітна. Поясніть механізм регулювання рівня тепловіддачі у тварин з точки зору фізики.**



**Відповідь.** Тварини з високим рівнем процесів обміну – птахи і ссавці підтримують сталу температуру тіла навіть при значних коливаннях температури навколишнього середовища. Тепло виділяється при біохімічних реакціях усередині організму. Зниженню тепловитрат сприяють опушення, пір'яний та вовняний покрив, жирові поклади, темний окрас покривів.

Так дрібні птахи – горобці, синиці, снігурі – взимку схожі на пухнасті грудочки з гострими дзьобиками. Вони розпушують своє пір'ячко і таким чином оточують себе нерухомим шаром повітря яке погано проводить тепло.



Мудра природа розпорядилась так, що відносна довжина пір'я у дрібних птахів більша, ніж у великих. Дрібні птахи витрачають більше тепла, тому їм потрібен кращий захист від холоду.

Здатність живих істот утворювати тепло залежить від об'єму тіла, а втрати тепла – від площі їхньої поверхні. У дитинчат дрібних тварин і співвідношення втрат тепла до його надходження більше, ніж у великих, тобто вони знаходяться у гірших умовах. Дитинчата мають замерзнути швидше але їх рятує велика рухливість.

Людина, яка знаходиться поза житлом, захищається від холоду аналогічно: з допомогою теплого одягу, висококалорійної їжі і рухової активності.

**77. Відомо, що проростаючи насіння потребує тепла, а у природних умовах воно зазвичай проростає, коли ґрунт ще має відносно низьку температуру. Як ви вважаєте, завдяки чому насіння проростає навіть за низьких температур?**

**Відповідь.** Проростаючи насіння в процесі дихання виділяє тепло і завдяки цьому навколо нього виникають зони особливого мікроклімату, де можливе підвищення температури на декілька градусів. Збереженню тепла сприяє і низька теплопровідність ґрунту. Так, спостереження за процесом виділення тепла проростаючим насінням рису показало, що найбільш інтенсивно воно продукується протягом першої години. Після 18 годин росту цей процес майже призупиняється і знову посилюється лише у кінці другої доби. Насіння ранніх сортів, як правило, виділяють більше тепла, ніж пізні.

**78. У свій час французький натураліст Ж.Б. Ламарк першим звернув увагу на те, що температура суцвіть або окремих частин рослин родини аронникових на 10, 16 і навіть 30°C вище температури навколишнього середовища. Вкажіть причину цього явища?**

**Відповідь.** Причина у різкому підвищенні процесу дихання. Так, наприклад, у білокрильника, який росте на болотах, топких берегах рік, озер, дихання квітконоса напередодні розпускання квіток активізується у 25-30 разів, внаслідок чого всього за декілька годин рослина витрачає значну кількість вуглеводів (від 15 до 30%), які містяться в його тканинах. Інтенсивність дихання призводить до підвищення температури чоловічих і жіночих органів статевого розмноження. У цьому випадку підвищення температури суцвіття має важливе пристосувальне значення. Річ у тім, що

більшість представників родини ароннікових ростуть у болотистих місцях, де порівняно холодно. У цих умовах підвищення температури квіток сприяє нормальному протіканню запліднення. Наприклад, у аронніка італійського, який поширений у Серенъоземномор'ї, вона досягає 40-44°C, у той час як повітря прогрівається всього до 15°C. А квітка Вікторії гігантської, що росте в річці Амазонка, в міру того, як розпускається, вона поступово розігрівається, причому різниця між температурою всередині квітки і навколишнім повітрям буває більше 10°C. Таке явище – далеко не поодиноким. Воно властиве не лише водним і болотним рослинам. У похмуру і безвітряну погоду на гірських луках температура квітки дзвоника досягає 16,6°C, у той час як навколишнє повітря прогрівається лише до 13,2°C. Не дивно, що мошара радо використовує ці квіти в якості «готелю»: тут тепло і сухо.

**79. Чим можна пояснити скорочення енергії у ланцюгах живлення? Який загальний закон природи при цьому проявляється?**

**Відповідь.** В екологічних системах в процесі еволюції склалися ланцюги взаємозв'язаних видів, які послідовно добувають речовину і енергію від вихідної харчової речовини. Так, зелені рослини у харчовому ланцюзі створюють первинну органічну речовину, використовуючи енергію Сонця. Лише біля 1% енергії, яка падає на рослини, перетворюється у потенційну енергію хімічних зв'язків синтезованих органічних речовин і на далі використовується у харчуванні гетеротрофів. У разі вживання цієї їжі тваринами до них переходить лише 5-20% енергії їжі, решта енергії витрачається на різні процеси життєдіяльності, перетворюючись у тепло і частково розсіюється. У випадку поїдання рослиноїдної тварини хижаком частина накопиченої енергії витрачається. Внаслідок втрати корисної енергії ланцюги живлення не бувають довгими, зазвичай вони складаються з 3-5 ланцюгів. Виконаємо такі розрахунки: якщо взяти за основу те, що у речовину тіла тварини переходить у середньому 10% енергії вжитої їжі, то з однієї тонни рослинної маси може утворитися 100 кг маси хижака. Реально ці цифри можуть бути й іншими, оскільки коефіцієнт використання енергії неоднаковий у різних видів. Таким чином, у природних угрупованнях при переході з одного трофічного рівня на інший витрачається 90% енергії і лише біля 10% її переходить до наступного споживача.



**80. Пінгвін, який відійшов далеко від місця, де він насиджує яйце, може його позбутися: яйце «усиновлять» інші пінгвіни. Чому інстинкт «усиновлення» кинутого яйця розвинений саме у пінгвінів?**

**Відповідь.** Пінгвіни живуть у холодному кліматі. Тому вони «розуміють», що пташеня у покинутому яйці може загинути від холоду.

**81. Тіла більшості тварин, які живуть на Землі, у звичайному стані розміщені горизонтально, тому головний мозок і серце – два найважливіших органа – знаходяться на одному рівні. Чи є цьому факту фізичне пояснення?**

**Відповідь.** У сполучених посудинах тиск рідини на одному рівні однаковий, тому серцю, розміщеному на одному рівні з мозком, не треба створювати додатковий тиск для надходження крові у мозок.

### **Звуки тварин**

У тропічних лісах Нової Гвінеї і північній частині Австралії мешкає крупний нелітаючий птах казуар, голова якого прикрашена потужним гребнем-«шоломом». Його функція була загадкою для орнітологів.



Періодично птах подає голосні розкотисті звуки. Проаналізувавши їх магнітофонний запис, спеціалісти виявили, що частково ці звуки потрапляють до ультразвукового діапазону (частота 21-23 Гц). Крім цього, вчені дійшли висновку, що гребінь слугує приймачем звуку. Шолом складається із зовнішнього і внутрішнього рогового шару, всередині якого знаходиться напіврідка речовина, зв'язана з внутрішнім вухом. Здатність видавати й сприймати ультразвуки допомагає казуару вижити – акустичні хвилі цього діапазону добре поширюються у гушавині, в якій він мешкає.

Нещодавно американські дослідники встановили, що тигри не лише ревуть і нявкають, але видають і інфразвуки, які змушують конкурентів триматися на великій від них відстані або закликають родичів до збору. Вимірявши у сплячих хижаків рівень реакції слухових нейронів, вчені з'ясували: тигри чутливі до низькочастотних звуків. Це пояснюється еволюційною адаптацією організму: хвилі інфрадіапазону поширюються на значну відстань (до 8 км) і не затухають при великій вологості повітря або накладанні звуків більш високих частот.

### **Соноцитологія**

Так називають нову науку, яка вивчає звучання живих клітин. Виникла вона майже випадково. Одного разу американський вчений Дж. Гімзевський побачив у лабораторії знайомого біолога експеримент, який його дуже зацікавив. Клітини, які були взяті із серця пацюка, продовжували пульсувати у поживному середовищі. У вченого виникло питання: а чи можуть пульсувати інші клітини? Оскільки у будь-якій клітині відбувається упорядковане переміщення молекул, працюють складні молекулярні механізми, є скорочувальні елементи, мембрана клітини повинна вібрувати. Але яким чином можна вловити коливання?

Вчений мав досвід роботи з атомним силовим мікроскопом і вирішив використати голку цього мікроскопу як голку програвача. При цьому він не водив нею по поверхні досліджуваної клітини, а торкався однієї точки. З'ясувалось, що поверхня живої клітини дріжджів дійсно вібрувала у середньому 1000 разів на секунду, піднімаючись, то опускаючись на 3 нм.

Хоча амплітуда цих коливань настільки мала, що почути їх не можна, частота 1000 Гц лежить у межах чутності. Якщо до зонду атомно-силового мікроскопу підключити достатньо потужний посилювач низької частоти, то звучання клітин стає чутним. Так вивчають на цей час звуки клітин.

### *Морські ссавці*



Калан (або морська видра) досить дивний звір. Все життя його тісно пов'язано з морем. Цікавий цей звір особливостями будови тіла та поведінки. Наприклад, своєрідні кінцівки калана. Передня лапа закінчується пласкою подушечкою, на нижній голій поверхні якої окреслена округла ділянка підшви і чотири пальцеві лопасті. Кігті на пальцях у молодих загнуті майже кільцеподібно, а у дорослих через швидке зношення перетворюються у «пеньки». Будова передніх кінцівок пристосована до добування ласощів каланів – морських їжаків і молюсок. Задні кінцівки сильно зміщені назад і схожі на ласти. Голова у калана крупна, з затуленою мордою і жорсткою щіткою вібрис, розміщених над верхньою губою. Дуже виразні очі, горіхово-коричневі і блискучі. Вушні раковини, зазвичай сховані у волосяному покриві, але коли тварина прислуховується, виступають назовні і добре помітні. Харчуючись, калани часто використовують засоби праці: лежачи на спині, кладуть собі на груди каміння або велику раковину, об які і розбивають її.

Часто своїми діями калан нагадує людину. Наприклад, характерна поза, яку займає звір під час сну, така: він лягає на спину і прикриває очі передніми лапами або лягає на бік і підкладає лапу під щоку.

Відомо і про дивне ставлення каланів до своїх дитинчат. Самка ніжно пестить своє дитя, яке зазвичай знаходиться у неї на грудях, - розтирає його шкіру, плече на нього водою, щоб змити прилиплі частки їжі. Якщо ж дитинча противиться діям матері, вона застосовує силу – товче його носом, хапає за гриву, якщо хоче витягнути з води на сушу. Одного разу спостерігачі бачили, як мати заспокоїла малюка, який занадто розігрався, кількома ляпасами. Ось так, майже як у людей.

У каланів дуже добре розвинені органи чуття. Вони відмінно відчують запахи, добре орієнтуються з допомогою органів дотику, мають гарний зір і впізнають знайомі предмети, людей. Надзвичайно цікава їх реакція на музику. Почувши музику, тварини, які лежать на суші, швидко кидаються у воду і починають перевертатися або обертатися навколо своєї вісі в ній до тих пір, поки музика не стихне.

**82. Протягом тривалого часу дослідники не могли зрозуміти, для чого, перебуваючи на поверхні води, калан час від часу декілька разів обертається навколо своєї вісі. Після ретельного дослідження будови**

**тварин і їх хутра вдалось зрозуміти особливість його поведінки. Що ж виявили дослідники?**

**Відповідь.** На відміну від багатьох морських ссавців, калани не мають товстого шару підшкірного жиру. Тому їм потрібен інший теплоізолятор, щоб не замерзнути в тих холодних водах у яких вони мешкають. Коли калани крутяться у воді, між довгими волосинками їхнього щільного хутра потрапляє велика кількість дрібних пухирців повітря, яке будучи дуже гарним теплоізолятором, допомагає тваринам зігрітися.

**83. Як пов'язані особливості кровоносної системи птахів і ссавців з появою гомойотермії?**

**Відповідь.** Гомойотермний тип теплообміну ґрунтується на високому рівні метаболізму, притаманному птахам і ссавцям. Швидкість метаболічних процесів у цих тварин набагато вища, ніж у всіх інших живих організмів. Тому всі особливості кровоносної системи гомойотермних тварин пов'язані з високою швидкістю метаболізму. По-перше, у птахів і ссавців повністю розмежовані кола кровообігу, тому всі тканини і органи отримують із системного кров'яного плинину лише артеріальну кров. По-друге, у цих тварин дуги сильно збільшуються відносно маси серця (до 1-1,5% від маси тіла). Потужний міокард дозволяє серцю скорочуватися частіше і з великою силою (тобто переганяти більше крові за одиницю часу), створюючи таким чином, ще й високий артеріальний тиск. А високий тиск, у свою чергу, необхідний для функціонування численних капілярних мереж, у противному разі швидкість кров'яного плинину у капілярах впаде і не зможе забезпечити швидкого газообміну у тканинах. Великі капілярні мережі – це ще одна особливість кровоносної системи гомойотермних тварин. Вони необхідні для підтримки у тканинах постійної температури тіла. І, по-третє, не останню роль тут відіграють характеристики самої крові. Кров гомойотермних тварин на відміну від інших хребетних має велику кисневу ємність, більш насичена глюкозою, характеризується великою буферністю (буферність – це стійкість до змін показника кислотності середовища (рН)). Таким чином, велика киснева ємність забезпечується збільшенням концентрації еритроцитів. Крім того, еритроцити гомойотермних спеціалізовані набагато краще, ніж у інших тварин. Спеціалізація еритроцитів виявляється у втраті більшості клітинних органел і здатності до поділу. Це значно знижує кисневі витрати еритроцитів на власний обмін, і, таким чином збільшує об'єм кисню, що переноситься. Підвищений вміст глюкози в крові дозволяє підтримувати високий рівень обміну в тканинах (глюкоза – основне «паливо» організму). Буферність є корисною властивістю крові, тому що при інтенсивному газообміні часто виникають підкислення або залуження крові. Такі зміни рН шкідливі для організму, так як багато ферментів рН залежні і можуть функціонувати лише при певному значенні рН. Крім загальних особливостей, можна вказати низку рис, притаманних лише ссавцям. Наприклад, еритроцити ссавців не мають ядер і більшості органел, тому в них дуже низький рівень власного обміну і їх втрати при транспортуванні кисню мінімальні. До того ж, за рахунок розвитку досконалої системи зворотного всмоктування ссавці

остаточно розпрощались з воротною системою нирок, яка, як і кожна капілярна мережа, суттєво уповільнює кров'яний плин в інших хребетних.

**84. Легені у птахів практично не змінюють свій об'єм при вдиху і видиху. Яким же чином тоді здійснюється вентиляція дихальних шляхів? Порівняйте її з механізмом вентиляції ссавців.**

*Відповідь.* Повітря само собою нерухоме. Для того, щоб воно переміщувалося, потрібна відмінність у фізичних показниках ділянок, які стикаються між собою. Для того, щоб повітря перемістилось у середину тіла, треба створити у дихальних шляхах більш низький тиск. Легені ссавців – це великий мішок, який розтягується, з тонкими стінками і вузькою горловиною. Вентилюється він двома протилежними потоками повітря при вдиху-видиху. Достатньо створити невеликий знижений тиск вздовж стінок легеневого мішка (в альвеолярному просторі), за рахунок об'єму легень, як повітря направляється всередину. Легені птахів пружні і порівняно не дуже розтягуються. Якщо їх відділити від грудної клітки, то на повітрі вони не спадають і зберігають свій об'єм. Легені птахів являють собою систему тонких трубочок, відкритих з обох кінців, через які проходить повітря. Велику роль у створенні «повітряного насоса» відіграють повітряні мішки. Розглянемо детальніше роботу «повітряного насоса». Головну активну роль у вентиляції дихальних шляхів і у птахів, і у ссавців відіграють рухи ребер. Їх м'язи складаються з двох груп: зовнішніх й внутрішніх. При вдиху зовнішні міжреберні м'язи скорочуються, а внутрішні розслабляються. Внаслідок цього ребра відходять вперед, віддаляючись від хребта. У ссавців одночасно скорочується і діафрагма, стаючи при цьому більш плоскою. Рух ребер і діафрагми збільшують об'єм грудної клітки. До чого це приводить? Легені з'єднані з ребрами плеврою, еластичною оболонкою, яка вистилає замкнену плевральну порожнину у грудній клітці між легень і ребрами. Тиск у плевральній порожнині на 3-4 мм рт. ст. нижче, ніж у легнях. Таким чином, при вдиху діафрагма відходить вниз, а ребра – від хребта, об'єм грудної порожнини збільшується і легені пасивно рухаються за ребрами, при цьому вони з'єднані з ними плеврою. Об'єм легень також збільшується, отож, тиск у них падає, і повітря ззовні спрямовується у дихальні шляхи. При видиху все відбувається у зворотному порядку.

У птахів механізм вентиляції інший. Ребра, які з'єднані з грудиною, при вдиху, відходять від хребта і відсувають її вперед (діафрагма у птахів відсутня). Об'єм грудної клітки, особливо у задній її частині, дуже збільшується. Тут розміщуються задні повітряні мішки. Вони безпосередньо з'єднані з головним бронхом. Задні повітряні мішки прикріплені до ребер і грудини. Тому, коли ребра і грудина відсовуються, мішки пасивно рухаються за ними і розпрямляються. Об'єм їх збільшується, тиск всередині них падає, і повітря направляється всередину задніх мішків. У легені при вдиху потрапляє лише незначна частина повітря, що вдихається, основна – при видиху із задніх мішків, які напряму з'єднані з легень додатковими бронхами. Легені і повітряноносні шляхи птахів не мають будь-яких клапанних систем (на відміну від земноводних). Напрямок потоку повітря

повністю визначається відносною орієнтацією вхідних отворів окремих повітряноносних структур і змінами діаметру цих отворів, а також ступенем кривизни повітряноносних судин. Отже, в момент вдиху, при збільшенні об'єму задньої частини грудної клітки відкриваються і розширюються отвори саме у задні повітряні мішки. Таким чином, у механізмі повітряного насоса птахів велике значення мають повітряні мішки, у яких газообмін не відбувається.

**85. Які проблеми, пов'язані з диханням, виникають у водоплавних тварин, які дихають атмосферним киснем? Як тварини їх розв'язують?**

**Відповідь.** Для водоплавних тварин, які дихають атмосферним киснем, функціонування органів дихання у воді неможливе. Тому в разі занурення їм приходится відмовлятися від легеневого дихання. Щоб вода не потрапляла в легені і в дихальні шляхи, у водоплавних тварин ніздрі при зануренні у воду закриваються клапанами. У китів взагалі ніздрі винесені на спину і вода з них видаляється скороченням м'язів. Чемпіонами по перебуванню під водою серед вторинноводних видів є рептилії. Наприклад, бородавчасті змії *Acrochordus granulatus* можуть перебувати під водою до двох годин, а тихоокеанська Зелена черепаха *Chelonia mydas* витримує занурення до п'яти годин. В інших водних рептилій перебування під водою не перевищує 20-25 хвилин. Водні рептилії мають додатковий до легеневого механізм дихання – з допомогою судинних сплетень у шкірі й слизових оболонках порожнини глотки і анальної порожнини. При цьому, як свідчать дослідження, під час пірнання у бородавчастої змії кров тече лише по системному кров'яному плинну, не затікаючи в капіляри легень.

Ссавці й птахи, як правило, здатні провести під водою значно менше часу: від 15 сек. (оляпка) до години (кашалот). Вони використовують кисень, який вони запасли різними способами. Деякі розвивають спеціальні пристосування, які дозволяють їм затримувати повітря. Так, наприклад, у китів існують м'язи, які при зануренні перетискають виходи з альвеол. Тюлені можуть залишатися під водою 15 хвилин, їхня кров переносить більше кисню. При пірнанні відбувається перерозподіл кисню і його більш ефективного використання. При цьому рефлекторно знижується частота серцевих скорочень і уповільнюється плин крові, однак кров'яний тиск залишається на тому ж рівні, так як судини звужуються (деякі – звужуються повністю, відключаються взагалі); кров'ю постачається лише серце і головний мозок, деякі частини нервової системи. Всі ці перебудови дихання і кровообігу приводять до повільної витрати кисню. У цьому разі у м'язах відбувається процес анаеробного дихання, в них накопичується молочна кислота, але через обмеженість кровоплину вона не поширюється по тілу тварини. При першому вдиху збільшується частота скорочень серця, відновлюється нормальна швидкість кровоплину, молочна кислота надходить з м'язів у печінку, і там руйнується. Крім того, у м'язових клітинах тварин наявний спеціальний білок – міоглобін. Цей білок, як і гемоглобін у крові, здатний зв'язувати кисень. Таким чином, створюється запас кисню, який



можна використовувати при м'язовій роботі. Можна просто створювати резерв кисню, підвищуючи запаси гемоглобіну у крові і міоглобіну у м'язах.

**85. Відомо, що у шлуночку амфібій і рептилій кров змішується, і, по артеріям тече змішана кров. Тим часом у риб у серці кров чисто венозна, а після виносних зябрових артерій чисто артеріальна, тобто майже все тіло отримує чисто артеріальну кров. Чи означає це, що газообмін у тканинах амфібій і рептилій відбувається менш інтенсивно, ніж у риб? Якщо ні, то чому?**

**Відповідь.** Звісно, ні. По-перше, треба розглянути різну кисневу ємність крові у представників цих класів. Виходить, що за рахунок спеціалізації еритроцитів змішана кров амфібій і рептилій за вмістом кисню суттєво не відрізняється від чистої артеріальної крові риб (якщо брати середні показники у типових представників). По-друге, не дивлячись на те, що у амфібій і рептилій надходить до тканин і органів змішана кров, наявність другого кола кровообігу робить їх газообмін у багато разів швидше, ніж у риб. Це пояснюється тим, що чим тонкіша судина, по якій тече кров, тим більша протидія кровоплину (оскільки більша площа дотику крові і стінок судини, а тому і більше тертя). Це означає, що якщо ми один і той же об'єм крові пропускаємо спочатку по одній великій судині, а потім по багатьом маленьким, то у другому випадку кровоплин уповільниться набагато сильніше, ніж у першому. Крім того, площа поперекового перерізу всіх капілярів більша, ніж у однієї великої судини, і це теж вносить свій внесок в уповільнення кровоплину. Уявімо собі кровоносну систему риб. Після виходу із серця, черевна аорта утворює велику капілярну сітку в зябрах. Потім судини збираються у спинну аорту (або сонні артерії) і утворюють другу капілярну сітку у тканинах і органах. Але ж швидкість кровоплину суттєво впала вже у першій капілярній сітці. І виходить, що швидкість кровоплину на підході до тканин і органів суттєво уповільнена. А саме високий тиск крові – це необхідна умова ефективного газообміну. Загалом, рептиліям і амфібіям є сенс спрямовувати кров із легень до серця, а не одразу в тканини, не дивлячись на змішану артеріальну і венозну кров. Адже за наявності двох кіл колообігу в кожному з них артерії розгалужуються на капіляри лише 1 раз.

**86. Чому для збільшення газообміну при швидкому русі риби плавають із відкритим ротом, а птахи не літають з відкритим? Які особливості дихальних систем лежать в основі цієї відмінності?**

**Відповідь.** Якщо риба пливе на великій швидкості, то рух зябрових кришок утруднено (через зустрічний потік води). Тобто оперкулярний механізм дихання не забезпечує необхідний рівень газообміну. Однак на великій швидкості можна відкрити рот і в такому разі вода буде надходити до зябер пасивно через зустрічний потік. Це механізм напірної вентиляції, він ефективний на великих швидкостях, коли оновлення води біля зябер відбувається швидко, і, відповідно, інтенсивніше йде газообмін.

У птахів напірна вентиляція легень неможлива. Це пов'язано з відмінностями в побудові дихальної системи риб і птахів. У риб вода

проходить наскрізним потоком до зябер через ротовий отвір, а видаляється через зяброві щілини, які при русі спрямовані назад. Тому сильний зустрічний потік не заважає вентиляції зябер, а навпаки, сприяє їй. У птахів повітря надходить до організму через ротову порожнину й ніздрі, і через них і виводиться. Таким чином, зустрічний потік буде заважати виведенню відпрацьованого повітря на видиху в тій же мірі, в якій сприятиме надходженню свіжого. Це приведе до застою повітря у легенях, що згубно відіб'ється на газообміні.

### *Мова тварин*

**87. Серед численних систем передачі інформації, існуючих у світі тварин, жодна не викликала стільки суперечливих думок як система, що ґрунтується на знаках-звуках. Людина теж користується звуками. Але чи можна назвати мовою спілкування у тварин з допомогою звуків? Наведіть приклади висловлювань вчених щодо наявності мови у тварин.**

*Відповідь.* Відповісти на це питання намагалися ще великі мислителі стародавнього світу. Так, Аристотель говорив, що тварини здатні сприймати звуки і розрізняти різноманітність знаків. Плутарх також визнавав, що «тварини мають голос, але не мають мови». Монтань не такий розважливий, він думав, що «у тварин є мова, якої ми не розуміємо, але хто ж у цьому винний?». Дюпон де Немур уявляв, що «тварини володіють здібностями говорити, і, що ще гірше, уявляв, що він розуміє їх мову...». Цитат, у яких би висловлювались зовсім протилежні точки зору, можна знайти досить багато. Але, що думають з цього приводу лінгвісти? У сучасних лінгвістів відповідь на поставлене питання досить визначена. Вони вважають, що мова – це знакова система, яка складається із знаків одного роду. Звідси – звукова мова, мова малюнків, жестів, запахів і тому подібне. Навіть саму поведінку тварин вони розглядають як «мову слабкого ступеня».

Так, самець триголкової колючки, побачивши самку з розбухлим від ікри черевцем, починає танцювати. Але самець танцює і побачивши модель самки з розбухлим черевцем. І виходить, що для самця важливе явище в цілому – самка. Однак для інформації достатньо небагато: форми і об'єму черевця, які стають об'єктом всього явища, сигналом про нього, його знаком. Поведінка тварин, особливо нижчих, нехай не вся, але розпадається на ланцюг відмежованих один від одного «кадрів». Таким чином, деякі ланки цього ланцюга є знаками, які відтворюються регулярно. І доктор філологічних наук Ю.С. Степанов робить висновок: «До цього часу однобічно ставили питання про мову тварин. Разом з тим, з точки зору сучасної семіотики, питання треба ставити не так: «Чи є «мова тварин» і в чому вона проявляється?», або по-іншому: безпосередньо інстинктивна поведінка тварин є рід мови, який ґрунтується на знаковості нижчого порядку. У гаммі мовних або мовоподібних явищ вона, по суті справи, ні що інше, як «мова слабкого ступеня».

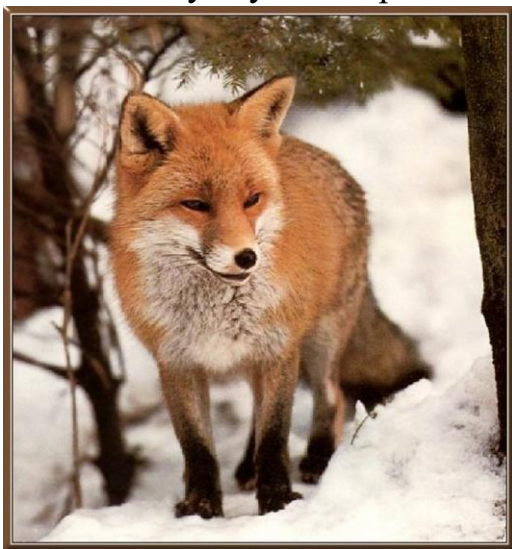
**88. Тварини, які не мають хребта і які його мають, спілкуються між собою знаками-жестами, знаками-запахами, знаками-яскравими плямами, знаками-звуками... Тварини-поліглоти, вони знають не одну мову, кожна тварина користується кількома способами передачі інформації. Таким чином, тварини – не безсловесні істоти. Але що ж собою являють їхні «слова»?**

**Відповідь.** Зовсім недавно не було сумнів: єдине, для чого потрібні звуки тваринам, - це для того, щоб виражати свої емоції та інформувати інших про свій внутрішній стан. Так, наприклад, слони можуть багато сповістити один одному вухами і хоботом. Якщо слон виставляє вперед вуха – це означає, що він збуджений; якщо піднімає хобот уверх – це означає, що він відчуває страх; якщо почне обмацувати хоботом голову – означає, що він хоче перебороти страх.

Якщо ж, наприклад, почнуть з'ясовувати відносини між собою лисиці або макаки-резуси, то за їхніми звуками можна багато чого пізнати.

У лютому й березні, коли у розпалі лисячі «весілля», конфлікти між самцями виникають досить часто. Загарчить лисиця – вона роздратована, вона застерігає свого суперника. А свій напад на суперника лис супроводжує гавканням. Гавкають і макаки. Але у них гавкіт лунає в тому разі, якщо мавпа недостатньо агресивна. Щоб атакувати суперника, якому він загрожує, макак, який не дуже впевнений в собі, бажає під час нападу на співбрата отримати підтримку окремих членів стада, видає інші звуки: неначе його мучить сильна задуха. А мавпа, яка захищається і сили якої вичерпані, пищить.

Однак у звуках тварин міститься інформація і зовсім іншого роду.



Ось що писав крупний спеціаліст у галузі психології мови і мислення М.І. Жинкін, який вивчав мову павіанів гамадрілів:»Поширена думка, що звуки тварин, у тому числі і мавп, не мають предметного значення. Зазвичай їх розглядають як виявлення емоційного стану. Насправді це не так. Дійсно, розгортається ряд змінних експресивних станів, але звук сигналізує про ситуацію, а не лише виявляє стани. Якщо, заховавшись за великою кам'яною скелею недалеко від стада, раптово висунути довгу палицю із ловильною сіткою для мавп, роздадуться голосні крики «ак, ак, ак». У гамадрілів вигук «ак, ак» має предметне сигнальне значення. З'являється він у новій, несподіваній ситуації і є сповіщенням про небезпеку. Ці тварини наділені механізмом прийому і видачі сповіщень. При цьому очевидно, що вони інформують не про свій емоційний стан, а про змінену предметну ситуацію. На виході системи сповіщення видається, як завжди, постійний акустичний ефект типу «ак, ак, ак». На прийомі це сповіщення переробляється по-різному окремими індивідуумами. Деякі шаркають

передньою лапою, в інших з'являється орієнтовна реакція – озирання навколо себе, Матері забирають до себе на спину дитинчат і не завжди відповідають на крик. Якщо одна з мавп «обшукувала» іншу, то це заняття призупиняється. Таким чином, отримана інформація переробляється по різних каналах і по-різному у членів стада.

Здавалосьь, на перший погляд, яку інформацію можна добути, почувши вереск? Саме ці звуки роздаються, коли макаки-резуси не можуть щось поділити між собою. Але у макак існує п'ять різновидів вереску, і у кожному з них – інформація про ситуацію. Звучить вереск, і стає ясно: розділяє суперників відстань чи вони вже наблизились впритул один до одного. За вереском мавп, які сваряться, інші визначають, які в них ранги, чи існують між ними зв'язки по материнській лінії.

Також хто є хто, неважко пізнати і за криками лисиць. Ось почали таякати дві лисиці. Одна з них – глухо, а друга – гучніше і до того ж скавчить, крутить хвостом, притискує вуха, розтягує губи. Вона – підлегла. У найвідповідальніший момент бійки така лисиця верещить і скавчить. Дві лисиці, що конфліктують інколи скавчать. Але у домінуючої звуки нижчі, ніж у підлеглої.

Однак, про щоб не інформували звуки, виникає питання: скільки ж всього «слів» говорять лисиці, мавпи та інші тварини?

Серед всіх живих істот, які населяють Землю, комахи займають перше місце за кількістю видів. А вся ця величезна армія користується лише тридцятьма звуковими сигналами. Найбільш говірки серед комах – бджоли, у їхньому словнику 11 звуків. Комахам на «розмови» відведено не дуже багато часу. Майже все життя проводять вони у мовчанні, лише деякі з них видають звуки у дитинстві. Однак таких одиниць, а інші – хто більше, хто менше, але мовчать. Перш ніж заспівають визнані співаки – цикади, може пройти не один місяць. Одна з цикад може чекати свого часу – два роки, друга – чотири.

Серед риб перше місце з мовчання належить оселедцю, хамсі, плотві. В озерної жаби – 6 криків, а у жаби-бика – сім.

Словник птахів різноманітний. Кулик кроншнеп – задовольняється трьома криками, двома видами трелей і однією піснею. До його репертуару входять і стукіт, який утворюється при роботі пір'я крил і хвоста. У малої чайки – 13 криків. Стільки ж і у снігурів. Але у нього є ще й три різні пісні. Повний словник у чижа – 29 звукових сигналів. А у коноплянки їх 42. Синиці залишають далеко позаду коноплянок: у них 90 сигналів. В той же час синицям не наздогнати шпаків. У шпаків – 120 криків. Однак перше місце, поки що, займають сірі ворони. Каркання ворони досить виразне. Почувши «квар» можна не сумніватися: кричить холостяк. А якщо роздається «ак», яке часто повторюється, то це вже крик ревнощів, «курра» означає: дана територія зайнята. Для того, щоб оголосити тривогу, ворони використовують крики, які відносяться до десяти і більше груп сигналів. Всього ж у цих птахів понад трьохсот криків.

Серед звірів мовчунами вважаються жирафи, окапі, єхидни, качкодзьоби. Домашній віслюк видає лише три звуки. А ось домашні собаки

у спілкуванні з людиною надають перевагу мові звуків. Але використовують лише частину сигналів найближчих родичів – вовків, і ці сигнали не призначені для передачі інформації на далекі відстані. Кабани видають різні звуки, однак, спілкуючись між собою, вони пізнають необхідне головним чином за особливими рухами один одного.

А домашні свині в основному покладаються на звуки. Їх словник складає 23 крики.

Таким чином, звукові сигнали домашніх тварин набагато простіші.

Стихія дельфінів -афалін– океан, і вони зовсім не мовчуни: нявчать, скавчать, викрикують. Якщо дельфін – афаліна почне переслідувати іншого дельфіна, то донесуться звуки, які нагадують гавкання собаки. А якщо відстане від нього самка, яка пливе за ним і до якої він залицяється, то теж роздається гавкіт. Дельфін перестане гавкати лише тоді, коли самка його наздожене.



Дельфіни-афаліни свистять на всі лади. У них 31 вид свисту. Звуки, що видають афаліни, різноманітні. Зараз виділено 11 груп сигналів, а у кожній групі від однієї до дев'яти підгруп. Але, хоча розшифровка мови дельфінів визнана досить важливою проблемою, словник мови дельфінів ще й досі не складено.



Летючі миші - бурі вечірниці користуються лише 10 сигналами.

Мешканець Африки – сенегальський галаго (напівмавпа) – з великими вухами, який зі сходом сонця згортає їх, щоб не чути шуму, - передає своїм родичам, все, що потрібно, 18



криками.

У павіанів гамадрилів не менше сорока звукових сигналів. У койотів – біля тридцяти. У лисиць – тридцять шість звукових сигналів.

### **Розділ 3. Фізичні явища і біологічні процеси в організмі людини** **3.1. Пізнавальні й творчі завдання, розрахункові й кількісні задачі**

#### ***Можливості людини***

Найдивнішим рекордом античності був стрибок у довжину. Близько 650 років до н.е. спартанець Ехіон стрибнув на 16,66 м, що вдвічі більше сучасного світового рекорду. Зауважимо, що стрибали греки, тримаючи в руках спеціальні гантелі, вагою від 1,5 до 4,6 кг, у польоті стрибун переміщав гантелі назад і використовував додаткову енергію, хоча напевно техніки такого стрибка ми не знаємо, а деякі фахівці вважають, що це був результат у потрійному стрибку.



На перших Олімпіадах у змаганнях з бігу на 100 м суддям було складно визначати, хто із спортсменів випередив суперника, оскільки їх відділяли частки секунди.

Проблему взявся розв'язати французький фізіолог Ет'єн Жюль Марей, який ще в 1887 році винайшов хронофотограф – прообраз сучасного фотофінішу, що сполучає зйомку з точним вимірюванням часу. Через кілька років він удосконалив свою систему, створивши апарат вповільненої зйомки, що працював зі швидкістю 700 кадрів за секунду.

Уперше хронофотограф для реєстрації фінішу був застосований у 1912 році на Олімпійських іграх у Стокгольмі і відтоді світові рекорди з бігу на 100 м стали реєструватися офіційно.

У 1968 році на Олімпійських іграх у Мехіко механічні секундоміри замінили електронні, що здатні вимірювати час з точністю до 0,001 секунди, однак, в офіційній статистиці Міжнародної федерації легкої атлетики було прийнято округляти тисячні частки до сотих.

Сучасні стартові колодки – це складна електронна система з датчиками, що фіксують момент старту з точністю до 0,001 секунди. Створено цю систему для оцінювання фальстартів, які є бичем всіх змагань бігунів.

У 1996 році була розв'язана проблема, що усувала нерівність спортсменів перед стартовим пістолетом.

Як відомо, у момент пострілу звук швидше досягає першої бігової доріжки, а до восьмої доходить із запізненням у 0,052 секунди. Зрозуміло, що у разі фіксації рекордів із точністю до сотої частки секунди така «нерівність» була неприпустимою. Тому з 1996 року старт бігу на 100 м дають «тихим пострілом», коли сигнал за допомогою електроніки подається на всі бігові доріжки одночасно.

**89. Тур Хейєрдал, який мандрував протягом десятків років по Атлантиці, з сумом писав, що останніми роками чиста поверхня океану трапляється дуже рідко, а от веселкові плями нафтопродуктів є всюди. Яким чином це відіб'ється на життєдіяльності зелених водоростей та функціональних системах людини?**



**Відповідь.** Через надмірне забруднення поверхні океану сонячне проміння відбивається від поверхні води і в зелених водоростях порушується процес фотосинтезу, що призводить до зменшення насиченості киснем вод океанів і морів. При цьому зменшується нагромадження органічних речовин, від яких залежать ланцюги живлення.

Не можна забувати про те, що від водоростей Світового океану надходить до 75% кисню до повітря тропосфери – місця проживання людства.



**90. Внаслідок нерозумної виробничої діяльності людини нашу планету огортають**

тумани. Яким чином це відбивається на функціональних системах людини?

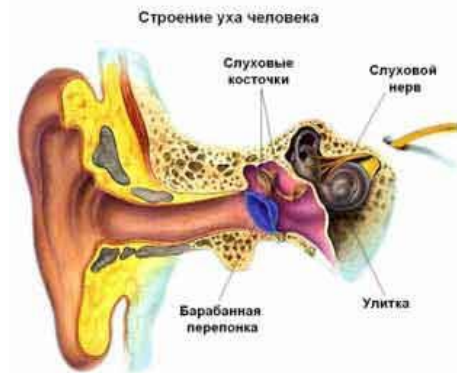
**Відповідь.** Тумани спричинюють менше потрапляння сонячних променів на поверхню Землі, а, як відомо, що саме під їх дією у шкірі людини синтезується вітамін D, що «контролює» формування кісткової та м'язової систем, а його нестача спричинює рахіт немовлят.

### Коливання і рухи

**91. За рахунок якої енергії здійснюються незатухаючі коливання в живій природі? Чи діє закон збереження і перетворення енергії в реальних процесах життєдіяльності?**

**Відповідь.** За рахунок механічної. Для підтримання незатухаючих коливань в реальних «живих» коливальних системах необхідний перехід якого-небудь виду енергії в механічну.

Відомо, що кожний внутрішній орган складних організмів (а також системи органів) має власну частоту коливань. Так, для системи людини «черевна порожнина – грудна клітка» вона лежить у межах 40-60 Гц; резонанс грудної клітки при одномірних коливаннях настає на частоті 4-8 Гц. Якщо людина тривалий час піддається періодичному механічному впливу, то внаслідок резонансу її внутрішніх систем із зовнішніми коливаннями може погіршитися самопочуття, а при тривалих і сильних впливах людина може навіть померти.



**92. Резонанс відіграє велику роль у роботі органів слуху. Серед фізичних явищ розрізняють затухаючі й вимушені коливання. Так, до вимушених коливань належать і коливання в органах слуху (барабанна перетинка, завитка). Чим пояснюється здатність людини сприймати різні звуки?**

**Відповідь.** Основна мембрана, натягнута вздовж завитки (внутрішнього вуха), складається з еластичних волоконць, загальна кількість яких досягає майже 24000. Біля основи завитки ці волоконця короткі (0,04 мм), тонкі й натягнуті, а біля вершини – довгі (до 0,5 мм), товсті й менш натягнуті. Потрапивши у вуха, звукові хвилі викликають вимушені коливання рідини, яка заповнює внутрішнє вуха, і внаслідок явища резонансу – дрижання волоконць певної довжини. Чим вищий звук, тим сильніше резонують коротші волоконця; чим сильніший звук, тим більша амплітуда коливань волоконць. Саме цим і пояснюється здатність людини сприймати різні звуки.



**93. Влітку 1932 року група вітчизняних вчених проводила запуски метеорологічних куль-зондів з палуби криголаму «Таймир».**

**Якось один із співробітників випадково торкнувся обличчям гумової оболонки кулі і відчув нестерпний біль у вухах. Від чого?**

**Відповідь.** Припускають, що наповнена воднем оболонка кулі послугувала резонатором, який підсилює інфразвукові коливання частотою 6-12 Гц, викликані десь вируючим штормом. Пізніше цей факт був використаний для створення інфразвукового приладу, який показує наближення буревію.

### *Закони механіки і організм людини*

**94. Більшість рухів у тілі людини відбувається за законами механіки, згідно з якими сила, прикладена до одного плеча важеля, передається через вісь обертання на інше плече важеля. М'язи розвивають силу, кістки служать важелями, а суглоби – осями руху частин тіла. Які вам відомі типи важелів? Поясніть механізм їхньої роботи.**

**Відповідь.** Відомо три типи важелів, які характерні для організму людини. Важіль першого типу працює за принципом гойдалки, де вісь розміщена між точками прикладання сили і ваги. Прикладом є дія м'язів задньої ділянки шиї, завдяки якій можна закидати голову назад. Атланти-потиличний суглоб служить при цьому віссю обертання.

У важелі другого типу вага діє між точкою прикладання сили і віссю. Підіймання п'яти над землею є прикладом цього типу системи. М'язи литки розвивають силу для підіймання тіла, більша частина стопи утворює важіль, а плесно-фалангові суглоби служать віссю.

У важелі третього типу (найпоширенішому) сила прикладається між точкою дії ваги і віссю обертання. Прикладом є згинання в лікті при скороченні біцепса з метою підіймання передпліччя і кисті.

**95. Закриті травми голови, без ушкодження черепа, виникають внаслідок падіння чи удару. При цьому часто спостерігається втрата свідомості та порушення функції мозку, яке може бути короткочасним або тривати все життя. Поясніть, як травмується мозок при раптовій зупинці людини, котра швидко рухалася та у разі удару по голові під час поєдинку боксерів?**

**Відповідь.** Дійсно, травма мозку можлива, якщо людина, котра швидко рухалася, раптово зупиниться, як під час падіння. Мозок при цьому вдаряється об тверду поверхню черепа, а потім рикошетом б'є об протилежну поверхню. У разі ж удару по голові, як у боксі, поверхня черепа у місці удару вдаряється об мозок, а мозок під дією ударної хвилі – об протилежну поверхню черепа.

**96. Переломи кісток – це ушкодження, що трапляються у будь-якому віці. Ступінь таких ушкоджень коливається від незначної тріщини на поверхні до повного перелому кістки. Чим можуть бути спричинені переломи? Які вам відомі види переломів та від чого залежить їх характер?**



**Відповідь.** Переломи можуть бути спричинені раптовим ударом або стисканням. Так звані переломи напруження виникають внаслідок тривалого впливу сили, а іноді навіть від довготривалої ходьби.

Зазвичай характер перелому залежить від кута, ступеня дії сили та місця ураження. Так, сильний прямий чи під кутом удар може спричинити поперечний перелом кістки. А різке раптове скручування може зламати тіло кістки по діагоналі, іноді з утворенням зазубрених кінців. Такий перелом називають гвинтоподібним.

Осколковий перелом виникає при сильному прямому ударі, який роздроблює кістку з утворенням декількох відломків. Цей вид перелому трапляється внаслідок автомобільної аварії.

Існує також і перелом типу «зеленої гілки». Цей перелом виникає у тому разі, коли значна сила діє на довгу кістку і може спричинити її деформацію і тріщину з одного боку. Найчастіше такий перелом трапляється у юному віці.

### **Автоколивання**

**97. Серце являє собою одну з найдосконаліших систем, створених природою. Поясніть, з точки зору фізики, що керує роботою серцевих м'язів.**

**Відповідь.** Роботою серцевих м'язів керує природне синхронізуюче джерело електричної напруги (генератор) – так званий синусний вузол, в якому є особливі клітини, розташовані в правому передсерді, поблизу місця впадання верхньої порожнистої вени. Імпульси, що виробляються ним, «керують» скороченням серця, задаючи останньому певний ритм. Частота серцевих скорочень визначається природним «генератором» і піддається регулюючому впливу нервової системи.

Регулятором надходження енергії в серцево-судинну систему є автономна нервова система, яка керує скороченням серцевого м'яза; вона перебуває під впливом вищих відділів головного мозку, але за відсутності цих впливів може працювати й автономно.



**98. Серце вважають досить працездатним у світі двигуном. Наприклад, робота серця за добу дорівнює 192240 Дж, а за 8,5 год. бігу на лижах серце людини перекачує з артеріальної до венозної системи цілу цистерну крові – 30 т. Що ж дозволяє цьому дивовижному «насосу» працювати все життя без зупинок й ремонту?**

**Відповідь.** Причина не втомлюваності серця в тому, що половина життя людини його м'яз знаходиться у розслабленому стані.

**99. Голосовий апарат – це автоколивальна система, яка складається з: а) розташованих у гортані голосових зв'язок; б) кількох повітряних порожнин – носової, ротової й горлової; в) дихального апарату – трахея, бронхи, легені. Доведіть, що голосовий апарат є автоколивальною системою. Від чого залежить частота коливань**

**голосових зв'язок та яким чином відбувається формування звуку у повітряних порожнинах?**

**Відповідь.** Частота коливань голосових зв'язок залежить як від власних параметрів, так і від впливу ЦНС. Під час утворення звуків щілина між зв'язками звукується, їх м'язові волокна напружуються, а вільні краї зв'язок приходять у коливальний рух. При цьому у стовпчику повітря, що проходить крізь щілину, утворюються згущення й розрідження – основа звукової хвилі. Остаточне формування звуку відбувається в повітряних порожнинах, що розміщені вище (переважно ротової), які є резонаторами. На цей процес суттєво впливає зміна об'єму і форми ротової порожнини, яка залежить від взаємного розташування язика, губ і зубів. При утворенні приголосних звуків (які ближче до шумів) у коливаннях беруть участь також м'яке піднебіння, кінчик язика. Частота коливань звукової хвилі визначає висоту звуку, а її амплітуда (визначає гучність звуку) залежить від ступеня напруги і довжини голосових зв'язок, а також від швидкості й тиску потоку повітря, створеного дихальною системою, яке проходить крізь щілину. Механізм виникнення багатьох звуків суттєво залежить від утворення вихорів у потоці повітря, яке проходить через мовний тракт.

**100. Яким чином властивості ультразвуку використовують у діагностиці захворювань та лікуванні хвороб людини?**

**Відповідь.** Енергія ультразвуку поглинається тканинами організму: в результаті він викликає механічну, теплову й нервово-рефлекторну дію, підвищуючи інтенсивність обмінних процесів, підсилюючи крово- і лімфообіг. Ультразвукові хвилі виявляють болезаспокійливу, протизапальну і судинно розширювальну дію. Ультразвук розрізає і «зварює» кісткову тканину (ультразвукова пилка – один із найсучасніших хірургічних інструментів). Крім того, він застосовується у діагностиці деяких захворювань очей, для обстеження головного мозку (так званім «ехоскопом»), допомагає виявляти ущільнення в м'яких тканинах і тромби в кровоносних судинах; його використовують для розсмоктування рубців і сольових відкладень, для з'єднання зламаних чи розсічених кісток. Біологічна дія ультразвуку невеликої потужності широко застосовується у лікуванні невритів, екземи, фурункульозу, радикуліту. Потужними ультразвуками руйнують злякисні пухлини, камені в нирках. Механічну дію ультразвуку використовують для мікромасажа глибоких тканин, а фокусування ультразвукових променів за допомогою параболічного дзеркала дає можливість вибірково руйнувати осередки хвороб у цих тканинах.

**101. Чи можуть надмірні дози ультра – та інфразвуку, електромагнітних та ультрафіолетових випромінювань, шумів шкідливо впливати на організм людини?**



**Відповідь.** Так. Доведено, що надмірні дози ультразвуку викликають головний біль, розлад серцевого ритму. А також можуть стати причиною відшарування сітківки ока.

Сонячне світло може бути причиною різних захворювань. Ультрафіолетові промені за надмірного перебування на сонці можуть спричинити рак шкіри. На сьогодні отримані докази того, що сонячне світло може викликати й інші шкідливі для здоров'я людини наслідки, зокрема: інтенсивне опромінення значно послаблює імунну систему, людина стає більш вразливою до бактеріальних та вірусних інфекцій, можуть активізуватися віруси, що знаходяться в її організмі, які до цього себе не проявляли.

Інфразвуки у воді, повітрі та інших середовищах майже не поглинаються. Тому вони поширюються на великі відстані. Вони шкідливо діють на людину і тварин, від них дуже важко захиститися.

Ученими виявлено декілька напрямків впливу електромагнітних випромінювань на організм людини. Один з них – це збудження нервових клітин і клітин тканин струмами, які виникають у самому організмі під дією зовнішніх електромагнітних випромінювань. Ці ж зовнішні випромінювання можуть призвести до збою елементів нервової системи – нейронів, оскільки останні взаємодіють один з одним.

Другий напрямок впливу електромагнітних випромінювань – нагрівання тканин організму за рахунок поглинання ними енергії поля. Крім того, електромагнітні поля можуть впливати на процеси обміну речовин в клітинах, на їх розмноження, функціонування окремих органів.

Вченими виявлено й те, що поглинання електромагнітної енергії організмом дитини набагато вище, ніж дорослого.

Разом з тим, стандарти безпечності щодо користування мобільними телефонами, зовсім не враховують особливості дитячого організму. У дітей, які активно користуються мобільними телефонами, висока вірогідність послаблення пам'яті і уваги, часто виникає дратівливість й порушення сну. Тому батькам рекомендується максимально скоротити використання мобільних телефонів дітьми й підлітками.

**102. Вченими доведено, що людина здатна розрізняти напрямки звуку. Чим це можна пояснити?**

**Відповідь.** Це пояснюється тим, що якщо джерело звуку розміщено збоку, то звук надходить до обох вух неодноразомно. У цьому випадку подразнення рецепторів одного вуха відбувається раніше, ніж іншого. Людина може визначити, напрямок звуку з точністю до 2-3°С.

**103. Чи можуть надмірні дози інфразвуків та шумів шкідливо впливати на організм людини? Поясніть, якими параметрами визначається вплив шуму? Для відповіді використайте дані таблиці №1.**

Слух постійно піддається подразненню, тому що не має ніяких захисних пристосувань. Зазвичай для позначення того, що ми чуємо, використовуються два близьких по суті поняття: «звук» і «шум». Звук – це фізичне явище, яке викликане коливальними рухами часток середовища. Шум являє собою хаотичне, незлагоджене зміщення звуків, які в більшості випадків негативно діють на нервову систему. Вплив шуму на людину

визначається його рівнем (гучністю, інтенсивністю) і висотою складових його звуків, а також тривалістю впливу.

Так, звуки – шуми певного діапазону (2-3 кГц) і потужності шкідливі для людини. Постійний шум є побічною причиною розладу нервової системи людини, погіршення чи втрати слуху. Сильний неочікуваний шум може спричинити в дітей глухоту чи заїкання.

За висновками проведених досліджень скандинавські вчені констатують такий факт: кожний п'ятий підліток погано чує, хоча й не завжди догадується про це.

У діапазоні, в якому людина чує звуки, найбільш несприятливий вплив здійснює шум, у спектрі якого переважають високі частоти (вище 800 Гц). Звуки наднизьких частот, які ми навіть і не чуємо (інфразвуки), також небезпечні для організму людини. Частота у 6 Гц може викликати відчуття втоми, тугу, морську хворобу, при частоті у 7 Гц може навіть наступити смерть від раптової зупинки серця. Доведено, що попадаючи в природний резонанс роботи якого-небудь органа, інфразвуки можуть зруйнувати його, наприклад, частота у 5 Гц руйнує печінку.

**Таблиця №1**

**Рівні шумів від різних джерел і реакція організму на акустичні впливи**

| <b>Джерело шуму, приміщення</b>   | <b>Рівень шуму, дБ</b>              | <b>Реакція організму на тривалий акустичний вплив</b>   |
|---|-------------------------------------|---|
| Шелест листя, прибіл<br>Середній шум у квартирі, класі  | 20<br>40                            | Заспокоює<br>Гігієнічні норми   |
| Шум усередині приміщення поруч з магістраллю<br>Телевізор<br>Потяг метро<br>Людина, яка кричить<br>Мотоцикл             | 60<br>70<br>80<br>80<br>90          | З'являється почуття роздратованості, втоми, головний біль   |
| Реактивний літак (на висоті 300 м)<br>Цех текстильної фабрики   | 95<br>100                           | Поступове послаблення слуху, нервово-психічний стрес (пригніченість, збудливість, агресивність), виразкова, хвороба, гіпертонія |
| Плеєр<br>Ткацький станок<br>Відбійний молоток<br>Реактивний двигун (при піднятті, на відстані 25 м)<br>Шум на дискотеці | 114<br>120<br>120<br>140-150<br>175 | Викликає звукове сп'яніння подібне алкогольному, порушує сон, руйнує психіку, призводить до глухоти                             |

**104. Чому вважають, що шум для людини є повільним вбивцею?**

**Відповідь.** Тривалий вплив шуму викликає складний комплекс функціональних і органічних змін в організмі людини. Наприклад, вплив шуму на ЦНС (центральну нервову систему) спричинює скорочення часу активної уваги, призводить до зниження працездатності, порушення ритму дихання і серцевих скорочень, підвищенню рівня кров'яного тиску. При цьому змінюється рухова і секреторна діяльність шлунково-кишкового тракту, гіперсекреція окремих залоз внутрішньої секреції. Тривала дія шуму на людину може підвищити пігливість, пригнічувати діяльність імунних реакцій людини, що призведе до зниження захисних функцій людини. Нарешті, постійний шум може стати причиною туговухості – стійкому зниженню чутливості до різних тонів мови і шепоту.

**105. Чому людина не може передбачити настання шторму на відміну від тварин, які здатні до цього?**

**Відповідь.** Слуховий аналізатор людини спроможний уловлювати звукові коливання з частотою від 16 до 20000 Гц, а інфразвуки мають частоту 8-13 Гц. Це означає, що вухо людини не сприймає інфразвуки, які передують шторму. Однак інфразвуки здатні чути деякі тварини, наприклад, медузи.

Вони сприймають інфразвукові хвилі з частотою 8-13 Гц, які виникають при штормі внаслідок взаємодії потоків повітря з гребнями морських хвиль. Досягаючи медуз, ці хвилі напередодні (приблизно за 15 годин) «попереджають» їх про наближення шторму. Відомі лише поодинокі випадки, коли деякі люди, мешканці узбережжя володіють здатністю сприймати інфразвуки й відчувати зниження атмосферного тиску (друга ознака шторму) і на цій основі передбачати наближення шторму.



**106. На яких властивостях ультразвуку ґрунтується метод ультразвукової діагностики?**

**Відповідь.** Застосування ультразвуку у діагностиці обумовлено його значним відображенням на межі між тканинами з різною акустичною опірністю. Ультразвуковий метод дозволяє розрізняти м'які тканини, які відрізняються за щільністю всього на 0,1%.

*Людина та основи термо – і електродинаміки*

**107. У медицині застосовують метод діатермії, що ґрунтується на тепловій дії електричного струму. Яким чином медики застосовують тепло і холод для лікування різних захворювань?**

**Відповідь.** Нагрівання внутрішніх органів стало можливим з появою такого методу як діатермія. Цей метод широко застосовується для підсилення кровообігу, зниження тиску, лікувального впливу на той чи інший ушкоджений орган – шлунок, сечовий міхур та ін.

При місцевій анестезії (знеболюванні) лікарі використовують явище зниження температури внаслідок випаровування ефіру, хлороформу, при переході яких у газоподібний стан досягається температура нижче 0°C. У хірургії стали застосовувати і дуже низькі температури. Вперше кріохірургічну операцію провів американський нейрохірург І. Купер за допомогою спеціального зонда, на кінці якого створювалась температура -196°C. Такий зонд дає змогу при захворюваннях нервової системи видаляти окремі нервові ядра, навіть якщо їх розмір не перевищує 10 мкм. Якщо зонд точно потрапив у хворе ядро, то у людини швидко зникають усі больові відчуття. Низькі температури використовуються і під час видалення кришталика ока, що помутнів.

### **108. Як реагує організм людини на переохолодження?**

**Відповідь.** При зниженні температури повітря ззовні і збільшенні тепловіддачі організму людини вжита нею їжа починає «згорати» швидше, виділяючи при цьому велику кількість теплоти, ніж компенсується втрата тепла. Крім цього, відбувається звуження кровоносних судин у шкірі, що



призводить до зменшення приливу крові, а разом з цим і тепла до відкритих ділянок шкіри. Знижується частота дихання, і, як наслідок, зменшується втрата тепла з повітря, що видихається, скорочується кількість ударів серця за хвилину, зменшується конвекційний потік крові в організмі людини. Якщо охолодження організму продовжується, людина починає активно рухатися, тому температура тіла зазвичай не знижується більш ніж на 1-2°C. Якщо ж людина довго знаходиться на морозі, а організм ослаблений, то температура тіла буде знижуватися. При зниженні температури до 30°C і більше виникає тремтіння; при цьому організм виділяє значно більше тепла ніж зазвичай. При зниженні температури нижче 27°C більшість людей впадає в кому, а у разі зниження температури до 22,5°C настає смерть.

### **109. Як змінюється виділення енергії організмом теплокровних тварин і людини при змінах у навколишньому середовищі?**

**Відповідь.** До зниження температури гомойотермні тварини пристосувалися завдяки декільком пристосуванням: пір'яний і волосяний покрив; з допомогою тремтіння (мікроскорочення зовні нерухомих м'язів зменшують тепловитрати); при окисненні бурої жирової тканини у ссавців утворюється додаткова енергія, що підтримує обмін речовин.

Пристосування теплокровних до високих температур багато в чому подібні аналогічним пристосуванням холоднокровним: потовиділення і випаровування води зі слизової ротової порожнини і верхніх дихальних шляхів; розширення кровоносних судин, які розміщені близько до поверхні шкіри, що посилює тепловіддачу.

Світлова енергія Сонця трансформується організмами в інші форми: у хімічну, механічну і теплову енергію. У відповідності з законами

термодинаміки такі перетворення завжди супроводжуються розсіюванням частини енергії у формі тепла.

**110. На що витрачається енергія, що отримана в наслідок скорочення шлуночків серця.**

*Відповідь.* Значна частина енергії крові, що рухається, витрачається на роботу по подоланню опірності судин малого й великого кола кровообігу. Частина кінетичної енергії переходить у потенціальну енергію пружної деформації еластичних стінок аорти і крупних артерій. При цьому повна енергія крові, що рухається залишається відносно постійною величиною. При пересуванні крові по судинах відбувається перетворення одного виду механічної енергії в інший у відповідності із законом збереження енергії.

**111. Чому, у разі надання першої допомоги, при травмах, як правило, використовують лід та сніг?**

*Відповідь.* Холод – лікарський засіб. Під впливом холоду відбувається спазм дрібних судин, знижується нервова збудливість, уповільнюється рух крові, знижується проникність дрібних судин. Холодний компрес зменшує біль у разі забиття м'яких тканин, суглобів, розтягнень зв'язок.

**112. Яка кількість теплоти витрачається на випаровування 12 кг поту, який організм людини виділяє за добу під час важкої фізичної роботи, якщо відомо, що на випаровування 1 г поту витрачається  $2,4 \cdot 10^3$  Дж?**

*Відповідь.* Випаровування – це явище переходу молекул із рідкого стану у газоподібний (пар). Випаровування поту при важкій фізичній праці забезпечує збереження постійної температури тіла. Кількість енергії, необхідна для перетворення у пар 1 кг рідини без зміни температури, називається питомою теплотою пароутворення (а).

Обчислення кількості теплоти виконують за формулою:

$Q = a m$ , де а – питома теплота пароутворення, m- маса.

$Q = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot 12000 \text{ г} = 2,9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$

*Відповідь:* За добу людина витрачає  $2,9 \cdot 10^6$  Дж теплоти.

**113. Чому водолази використовують термін «кров кипить»?**

*Відповідь.* Кров «закипає» у разі швидкого підняття людини із води з великих глибин. Зазвичай це відбувається тоді, коли водолази – вловлювачі перлин, працюючи на значній глибині тривалий час, піднімаються дуже швидко. Азот у повітрі у разі занурення людини на велику глибину інтенсивно розчиняється у крові. При швидкому піднятті на поверхню бульбашки азоту виділяються з крові, вона починає «кипіти».

**114. Чому людина при піднятті у гори відчуває нестачу кисню, хоча його вміст у повітрі (%) залишається практично незмінним?**

*Відповідь.* При піднятті на висоту тиск кожного газу, що входить до складу повітря, в тому числі і кисню, зменшується. Низький тиск кисню стає перешкодою його надходженню в організм людини. Внаслідок цього починається сильне кисневе голодування, з'являється запаморочення і прискорене дихання.

**115. Якому фізичному явищу ми зобов'язані тим, що можемо відчувати багато запахів, наприклад, ніжний аромат квітів?**

**Відповідь.** До складу нектару, що міститься у квітці, крім цукрів, органічних і мінеральних речовин, входять складні й прості ефіри. Саме вони надають квітам специфічний аромат, який приваблює комах. Випаровування цих ефірів, їх дифузія в повітрі обумовлює аромат цих рослин.

**116. Поясніть, чому людині набагато важче виконувати важку фізичну роботу при високій вологості повітря?**

**Відповідь.** Для людини найбільш сприятливою вважається вологість в межах від 40 до 60%. При високій вологості повітря процес випаровування з поверхні тіла уповільнюється, а при 100% повністю припиняється (за такої вологості на предметах з'являється роса). Це приводить до перегрівання організму й утруднює виконання важкої фізичної праці. Варто відмітити, що при низькій вологості людині важко здійснювати фізичну роботу тому, що вологість менше 40% приводить до посилення втрати вологи організмом, до його зневоднення.

**117. Через люті зимові морози люди інколи замерзають і гинуть. Причому при сильному охолодженні існує така стадія, коли людина ще жива, а врятувати її дуже важко. Для того щоб врятувати замерзлу людину, її тіло треба розігріти. Водночас будь-яка спроба її зігріти, наприклад, розтираючи частини тіла або за допомогою гарячого напою, алкоголю призводить до того, що кров посилено прибуває до зігрітої частини тіла, а переохолоджене серце тим часом може зупинитися. Яким чином можна врятувати переохолоджену людину?**

**Відповідь.** Потрібно якомога швидше подати тепло до серця, мозку та інших життєво важливих органів. Так, відомий лікар Татті запропонував у якості ресурсу, що переносить тепло до серця, саму кров. Він порадив класти гарячі грілки на місця виходу до поверхні шкіри крупних артерій у пахвах. Ці грілки будуть зігрівати кров, яка прямує до серця, а потім кров вже сама буде розносити по тілу живильне тепло. Цей простий метод дозволив врятувати чимало людей, а також послугував основою для конструювання зігріваючих комбінезонів для полярників і пілотів.



**Відповідь.**

чим на

збуджуються, що призводить до розширення кровоносних судин, збільшення приливу крові до поверхні шкіри – шкіра червоніє. При зниженні температури тіла людини зменшується відтік тепла від внутрішніх органів у навколишнє середовище за рахунок звуження кровоносних судин зменшення приливу крові до зовнішнього покриву шкіри – шкіра блідніє.

**118. Чому людина у жарку погоду стає червоною, а коли холодно стає блідою?**

При підвищенні температури навколишнього середовища більше 25°C нервові закінчення шкіри, які сприймають тепловий подразник,



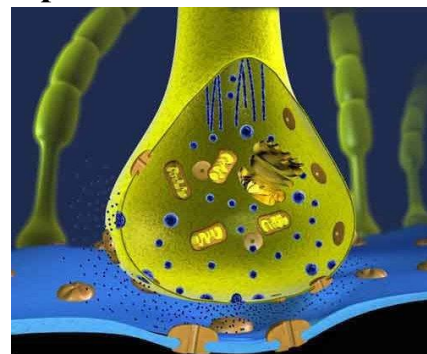
## Дифузні процеси

**119. На якому фізичному явищі ґрунтується процес проникнення молекул кисню з органів у кровоносні судини та проникнення поживних речовин крізь стінки кишечника в кров?**

**Відповідь.** Будь-яка хімічна реакція протікає лише за наявності контакту реагуючих речовин. Тому умовою інтенсивного протікання реакції може бути подрібнення реагуючих речовин.

У газах і рідинах процес дифузії проходить швидше, ніж у твердих тілах.

Завдяки процесу дифузії молекули кисню проникають крізь мембрани пухирців легень у кровоносні судини, і так само виходять із крові молекули вуглекислого газу, які потім видихаються. Крізь стінки кишечника у кров переносяться поживні речовини. Якщо хоч на мить зупиниться тепловий рух речовин, усе живе задихнеться в найчистішому повітрі, загине від голоду за наявності найсмачнішої їжі.



## Космонавтика

**120. Під час аварії на орбітальній станції «Салют -7» не функціонувало багато приладів і агрегатів, в тому числі і вентилятори. Космонавтам В. Джанібекову і В. Савіних, які проводили ремонт і «оживляли» станцію, було заборонено працювати всередині удвох в одному місці. Чи мають до цієї заборони відношення вентилятори? Врахувати, що всередині станції міститься звичайне «земне» повітря.**

**Відповідь.** У невагомості відсутня конвекція. Людина видихає в основному вуглекислий газ, який у вигляді хмари окутує її і не «випаровується», як на Землі за природного руху повітряних мас. Дві людини, які довго працюють разом, можуть отруїтися вуглекислим газом

**121. Скляна частина герметичного шолому скафандра, призначеного для перебування у відкритому космосі, покрита тонким шаром чистого золота. Для чого?**

**Відповідь.** Шар золота відбиває яскраві сонячні промені і цим захищає очі людини від засліплення.

**122. У якому положенні тіла відносно вектора руху космонавтам легше переносити перевантаження, що виникають під час виходу космічного корабля на орбіту та під час повернення його на Землю?**

**Відповідь.** Найкраще положення – горизонтальне, або напівлежаче, перпендикулярне напрямку руху. У такому положенні як опорно-рухова, так



і кровоносна система найменше піддаються дії перевантаження, бо ширина тулуба набагато менша довжини тіла. Якби положення довгої осі тіла співпадало з напрямком польоту, то навіть незначні перевантаження припиняли б рух крові до головного мозку, а від ніг і тулуба вона не піднімалася б до серця.

### *Тиск*

**123. Відомий такий спосіб, який дозволяє експериментально викликати у людини колапс: піддослідного фіксують на спеціальному столі і дуже повільно підіймають, переводячи із горизонтального положення у вертикальне. Поясніть, чому при цьому різко падає артеріальний тиск.**

**Відповідь.** Тиск у кровоносних судинах визначається їх тонусом. Як відбувається регуляція тону судин? При різкій зміні положення (наприклад, горизонтального на вертикальне), кров під дією сили ваги спрямовується у нижні кінцівки. При цьому верхня частина тулуба зазнає нестачі кровопостачання. Артеріальні барорецептори (розміщені у дузі аорти і сонних артеріях) реагують на падіння тиску. Що викликає активацію симпатoadреналової системи, що в свою чергу приводить до спазму артеріол на периферії, збільшенню викиду крові, і артеріальний тиск нормалізується (він підвищується, забезпечуючи нормальне кровопостачання головного мозку як найбільш чутливого до ішемії органа). Відбуваються вказані процеси за лічені секунди (кожному з нас відомі короточасні легкі запаморочення голови, дзвін у вухах і «мушки» перед очима, коли ми різко зіскакуємо з ліжка).



За умов завдання механізм компенсації не спрацьовує. У разі дуже повільної зміни положення тіла рецептори не уловлюють ледь фіксованих багатоступеневих змін тиску. Барорецептори «оцінюють» швидкість зміни тиску (тобто зміни тиску на одиницю часу). У даному досліді швидкість зміни тиску дуже мала. Внаслідок цього верхня частина тулуба вже відчуває нестачу кровопостачання, а тонус судин так і залишається на початковому рівні. Внаслідок подібних маніпуляцій може настати навіть смерть піддослідного через нестачу кровопостачання мозку.

**124. Як ви вважаєте, що є причиною кровотечі рани – тиск крові у судинах чи атмосферний тиск, який рівномірно діє на весь організм і витискує кров через порізану шкіру?**

**Відповідь.** Причиною кровотечі, звичайно, є тиск крові, причому, не тільки артеріальної, ф й венозної, коли при скороченні м'язів у венах підвищується тиск.

**125. Назвіть причини різного тиску крові в різних ділянках кровоносної системи.**

**Відповідь.** У зв'язку з тим, що кров є в'язкою рідиною, рух її по судинній системі поступово сповільнюється в результаті тертя і витрачення кінетичної енергії.

**126. Відомо, що за одиницю часу до серця притікає стільки ж крові, скільки воно виштовхує в аорту. Чи однакові тиск і швидкість крові в аорті і венах?**

**Відповідь.** У зв'язку з тим, що загальна ширина венозного русла поступово зменшується з наближенням до серця, рух крові в венах прискорюється. Просвіти кінцевих двох порожнистих вен дорівнюють розмірам просвіту аорти. Тому і швидкість крові в них удвічі менша, ніж в аорті, а тиск крові практично відсутній.

### *Процес співу*



Лікарями встановлено, що спів покращує кровопостачання голосових зв'язок. Але не менш благотворно спів впливає на стан розташованих у ротоглотці язика, піднебінних мигдалин і численних лімфатичних вузлів. Причиною цьому є все те ж покращення кровопостачання, яке у даному випадку здійснює виражений оздоровчий ефект.

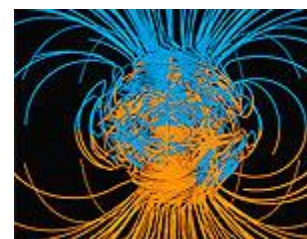
Лімфатичні вузли й мигдалини починають більш посилено працювати, внаслідок у любителів співати або просто наспівувати, стан імунітету у ротовій порожнині й горлі помітно покращується на відміну від стану у тих, хто любить мовчати. Існує версія, згідно якої покращення кровопостачання при співі веде до активізації діяльності головного мозку.

### *Людина і фізичні поля навколишнього світу*

Організм людини, як і будь-який інший, в процесі життєдіяльності створює навколо себе різні фізичні поля і випромінювання (електричне, магнітне і електромагнітне поле, акустичне й інфрачервоне випромінювання). Вивчення їх з допомогою сучасних методів дозволяє багато пізнати як про стан організму в цілому, так і про роботу окремих його органів і систем.

Для виявлення й вимірювання фізичних полів та випромінювань використовується метод пасивного дистанційного зондування, який застосовується також для дослідження земних надр, океанів і інших планет.

Раніше вчені займалися дослідженнями у цій галузі з якимось одним із видів полів. Однак будь-який функціонуючий орган впливає на характеристики різних полів, тому лише комплексний підхід дозволяє виявити закономірності, які притаманні організму в цілому. Завдяки такому підходу



була отримана зовсім нова інформація про досить складні процеси, які відбуваються в організмі людини.

Так, інфрачервоне (теплове) випромінювання несе інформацію про температуру шкіри, яке визначається капілярним рухом крові. Інфрачервоне тепловачення застосовується у медицині біля 40 років, однак спочатку воно давало статистичну картину температури шкіри. Це дозволяло виявляти захворювання лише на пізніх стадіях, яке вже не підлягало лікуванню. Однак капілярний рух крові у шкірі дуже динамічний і постійно змінюється, а відповідно, змінюється і картина теплового випромінювання. Виявивши закономірності цих змін у здоровому організмі, можна ідентифікувати порушення мікроциркуляції на ранніх стадіях захворювання, а також визначати межу ділянок, які вже вражені цим захворюванням. Наприклад, зміни руху крові рук й обличчя відображають стан центру терморегуляції, дихальної системи та інших внутрішніх органів. Так, рання стадія розсіяного склерозу проявляється у вигляді порушень синхронності руху крові у кистях різних рук.

Вивчення інфрачервоного випромінювання покладено в основу термоенцефалоскопії – методу, з допомогою якого вивчають функціональну динаміку кори головного мозку.

Радіотеплове випромінювання дає інформацію про абсолютну температуру тіла, розподілення її по глибині і відображає функціональну мінливість температури мозку, внутрішніх органів і м'язів. Взагалі активація будь-якого внутрішнього органу супроводжується збільшенням теплопродукції і приливом крові, що виражається у збільшенні яскравості його радіотеплового світіння. Наприклад, виявлено підвищення температури абдомінальної ділянки шлунку і печінки, у відповідь на прийом глюкози або фармакологічних стимуляторів. Це дозволяє виявити відхилення у функціонуванні органів на ранніх стадіях захворювань.

Для аналізу функціонування головного мозку можна використати затримку дихання на видиху, що викликає збільшення вмісту вуглекислого газу у крові (гіперкапнію). При цьому у нормальних ділянках спостерігається збільшення яскравості світіння, а у патологічних – зменшення.

Встановлено, що під час природного сну температура мозку зменшується більш ніж на 1°C і на цьому фоні спостерігаються сплески яскравого світіння, які пов'язані зі сновидіннями. На відміну від природного, під час гіпнотичного сну спостерігається виражена асиметрія: права півкуля світиться набагато яскравіше, ніж ліва.

Магнітне поле, яке створює організм людини, дуже слабке, однак з допомогою чутливої апаратури вдається реєструвати магнітні поля серця і головного мозку. Вибудовуються динамічні магнітні карти, які являють собою послідовність із приблизно 400 зображеннями з часовими інтервалами в 2 мс. Динамічні магнітні карти можна використовувати для виявлення таких захворювань як екстрасистоля, ішемічна хвороба серця тощо. При цьому локалізація патологічної ділянки на серці визначається з точністю до 1 см. Динамічне магнітне картування головного мозку також дає цікаві

результати. Наприклад, у відповідь на звукову стимуляцію спостерігається збудження двох ділянок головного мозку. Подібні дослідження дозволяють зрозуміти, як відбувається обробка сенсорної інформації у корі мозку.

Зовнішнє електричне поле людини створюється в основному трибоелектричним зарядом, який накопичується на поверхні шкіри. Трибозаряд може проникати вглиб тіла внаслідок дифузії води через мікрокапіляри у роговому шарі епідермісу. Цей процес зв'язаний з терморегуляцією, тому динаміка електричного поля навколо тіла відображає терморегуляторні реакції організму. Крім того, робота внутрішніх органів викликає вібрацію зарядженої поверхні тіла, тому електричне поле частково відображає функціонування внутрішніх органів.

Для медичної діагностики методи, що ґрунтуються на реєструванні власних полів й випромінювань людини, цінні тим, що являються абсолютно чистими і не інвазійними і можуть бути покладені в основу ранньої функціональної діагностики, тому що функціональні порушення зазвичай з'являються задовго до виникнення не оберненої патології.

Описані дослідження мають не лише медичне, але й важливе пізнавальне значення, тому що розширюють можливості нашого бачення, дозволяють зазирнути вглибину організму, спостерігати фізіологічні процеси в динаміці.

### *Радон*

**127. Зовсім недавно вчені-фізики зрозуміли, що найбільш вагомим з усіх природних джерел радіації є невидимий, без смаку і запаху важкий газ радон, який належить до радіоактивної родини урану. Він утворюється внаслідок альфа-розпаду радія-226. Оскільки радій міститься практично у всіх ґрунтах, то скрізь з нього в атмосферу виділяється радон. Яким шляхом радіоактивний радон і продукти його розщеплення надходять в організм людини?**

**Відповідь.** Радон разом зі своїми супутніми продуктами радіоактивного розщеплення відповідальний приблизно за  $\frac{3}{4}$  річної індивідуальної дози опромінення, яке отримує населення від земних джерел радіації, і приблизно більше половини цієї дози від усіх природних джерел радіації.

Радіоактивний радон і продукти його розщеплення надходять до організму людини при диханні, тобто опромінення радоном є внутрішнім, тому і є найбільш небезпечним.

Людина за допомогою своїх органів чуття не здатна відчути не лише малі, а й небезпечні для неї дози радіоактивного опромінення. Доведено, що концентрація радону підвищується у закритих приміщеннях, які погано провітрюються, у підвалах й на нижніх поверхах приміщень. Підвали зазвичай мають земляну підлогу. У землі знаходиться радій – безпосереднє джерело радону. Крім того, через свою велику вагу, радон осідає вниз.

У воді зазвичай міститься мало радону. Однак вода із деяких джерел (особливо із глибоких криниць або артезіанських свердловин) може містити радон. У цьому можна впевнитися, після прийняття душу, коли підвищується концентрація парів води у повітрі, а разом з цим підвищується і радіоактивність повітря. До того ж вдихання парів з високим вмістом радону легенями становить найбільшу небезпеку для людини.

**128. Чому на кухні підвищений рівень радіоактивності, особливо після приготування їжі?**

**Відповідь.** Їжа готується при згоранні газу. А газ – це природне сполучення. Його добувають з-під землі, тому у ньому міститься радон. І хоча радон частково розпадається за час транспортування газу, деяка його кількість все таки залишається і тому рівень радіоактивності після згорання газу залишається.

### *Механічні характеристики людини: кінематичні, динамічні, енергетичні. Біомеханіка рухів людини*

#### *Особливості механізму опорно-рухової системи людини*

**129. Для чого потрібні людині зв'язки? Чому м'язи людини безпосередньо не з'єднані з кісткою або клапаном? Поясніть механічну модель м'яза.**

**Відповідь.** Спрощено м'яз можна уявити як систему скорочувальних і пружних елементів, послідовно з'єднаних один з одним і прикріплених на обох кінцях до міцних кісткових елементів. Скорочувальний елемент складається із м'язових клітин: кардіоміоцитів у серцевому м'язі і м'язових волокон у скелетних м'язах.



Відомо, що при скороченні м'язові клітини укорочуються (інколи до 1/3 своєї довжини) завдяки ковзання актин-міозинових міофібрил відносно одна одної. При розслабленні довжина м'яза збільшується за рахунок зворотного процесу. Це означає, що скорочувальний елемент (СЕ) – еластичний елемент, який легко піддається зворотній пружній деформації на стиснення й розтягнення. Такий еластичний елемент не може мати велику механічну міцність, тому що ці дві властивості – еластичність і міцність – сумісні лише до певної межі. Якщо скорочувальний елемент (СЕ) буде безпосередньо прикріплений до пружного елемента, то при певному механічному навантаженні може відбутися розрив скорочувальних елементів (СЕ). Тому в системі потрібен посередник – пружний елемент – у передачі м'язової сили (тяги) до кісток скелету (або до клапанів серця). У м'язовій системі пружний елемент – це зв'язки. Зв'язки утворені сполучною тканиною. Відмінність від міцних типів тканин у тому, що між клітинами зберігаються великі проміжки, заповнені великою кількістю міжклітинної речовини, яка виділяється цими клітинами і складає основну масу сполучної

тканини. Міжклітинна речовина зв'язок в основному містить особливий білок колаген, молекула якого складається з трьох спіральних згорнутих білкових ланцюгів. У зв'язках молекули колагену з'єднуються між собою поперечними зв'язками у пучки, утворюючи фібрили, які в свою чергу з'єднуються одна з одною ще додатковими речовинами, які мають здатність скріплювати. З одного боку, така структура характеризується великою механічною міцністю, а, з іншого, деякою пружністю, здатністю дещо зворотно розтягуватися. Одним кінцем зв'язки прикріплюються до м'яза. Між м'язовими волокнами також є тонкі прошарки колагену у складі сполучної тканини, і весь м'яз теж оточений сполучнотканинною капсулою. Так що подібні структури легко й надійно з'єднуються (зростаються) між собою. Другий кінець зв'язки прикріплений до міцного елемента (кістки, клапани). Серцеві клапани – це похідні ендокарду. Ендокард вистилає внутрішню поверхню серця, який утворений сполучною тканиною. У нашій системі вони відіграють роль міцних елементів, так як являють собою міцні колагенові утворення, правда, на відміну від кісток, які мають значну пружність. У серці вони з'єднані з сосочковими м'язами стінок шлуночків за допомогою хорд (сухожиль). Тому, тут, як і у скелетно-м'язовій системі, реалізується механічна модель, яку ми щойно розглядали. З іншого боку, зв'язки маючи компактний об'єм, зменшують площу поверхні з'єднання м'яза і кістки. Чому це важливо? Відомо, що сила, яку розвиває м'яз пропорційна сумі сил окремих волокон. Чим товщій м'яз і більша фізіологічна площа її поперечного перерізу, тим він сильніший. Тому там, де потрібні сильні й потужні м'язи зв'язки поступово зменшують їх об'єм до місця прикріплення на кістці. Поверхня кістки обмежена. Крім того, є типи суглобів: блокоподібні (ліктьовий, колінний, міжфаланговий) і кулясті (плечовий), еліпсоподібні (до кісток яких прикріплено декілька або багато м'язів), сідлоподібні (один із суглобів великого пальця руки), циліндричні (один із суглобів передпліччя). Зрозуміло, що саме зв'язки дозволяють кріпитися багатьом м'язам на сусідніх точках поверхні кістки.

Отже, можна сказати, що роль зв'язок у скелетно-м'язовій системі – це створення максимальної міцності (на момент скорочення) при мінімальному об'ємі (у місці прикріплення).

**130. Назвіть види насосів, які можна знайти в організмі людини?**

**Відповідь.** Скорочення міжреберних м'язів, опускання діафрагми приводить до збільшення об'єму грудної порожнини і забезпечення дихальних рухів (розріджувальний насос). Розрідження створюється також і у ротовій порожнині, коли язик м'язами відтягується назад. Прикладом нагнітальних насосів можуть бути: ротова порожнина, легені, що стискаються діафрагмою або ребрами, передсердя і особливо шлуночки серця, зрідка – спазматичні скорочення шлунку.

**131. Чому в кінці стрибка спортсмен опускається на зігнуті ноги?**

**Відповідь.** Для того, щоб пом'якшити, амортизувати удар Землі по ногам, виникаючий за третім законом Ньютона під дією удару людини об Землю.

**132. На парашутиста, який спускається діє сила земного тяжіння, виходить, що рух має бути рівноприскореним. Однак насправді він рухається практично рівномірно. Чому?**

**Відповідь.** На рух парашутиста впливають в основному дві сили, рівні по модулю, але спрямовані протилежно: сила тяжіння землі і сила опору повітря, залежна від швидкості руху.

**133. Чи змогла б людина-невидимка бачити оточуючі її предмети в повітрі?**

**Відповідь.** У такої людини всі тканини повинні бути прозорими, а їх оптична щільність відповідати оптичній щільності повітря. За цих умов кришталик ока не буде виконувати своєї функції – заломлювати промені світла.

**134. Паперову гільзу, яку підвісили на шовкову нитку, зарядили. Коли до неї піднесли руку, гільза притягнулась до руки. Чому?**

**Відповідь.** Тіло людини є провідником електричних зарядів, при торканні відбувається перерозподіл зарядів і заряди різних знаків притягуються (електростатична індукція).

**135. О.М. Ігнат'єв, біолог за освітою, замислився над питанням: чому ікла й кігті тварин завжди залишаються гострими?**

**Відповідь.** У процесі досліджень з'ясувалось, що ікла й кігті мають різну твердість із зовнішнього й внутрішнього боку. Це забезпечує природну здатність тварин постійно гострити власні зуби.

#### *Кількісні задачі*

**136. Якщо розглядати передпліччя руки як важіль, то плече цього важеля, на яке діє м'яз, значно коротше від плеча, на яке діє вантаж, що знаходиться в руці, їх відношення становить приблизно 1:12. Визначити силу м'яза, який утримує вантаж, якщо ця сила прикладена під кутом  $90^\circ$  до поздовжньої осі передпліччя. Маса вантажу в руці дорівнює 10 кг.**

**Відповідь.** 1176 Н.

**137. Зв'язки завдовжки 0,12 м і площею поперечного перерізу  $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  при навантаженні в 68,6 Н видовжилися на  $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Визначити для цього модуль Юнга.**

**Відповідь.**  $1,42 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ .

**138. Щоб викликати одиничну мутацію, треба до молекули ДНК підвести енергію приблизно  $5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ . Обчислити, у скільки разів енергія теплового руху за температури тіла людини ( $37^\circ\text{C}$ ) менша від тієї, яка здатна викликати зміну генетичної програми.**

**Відповідь:** у 60 разів.

**139. Під час важкої фізичної роботи серце людини скорочується до 150 разів за 1 хв. При скороченні воно виконує роботу, яка дорівнює підніманню вантажу масою 0,5 кг на висоту 0,4 м. визначити потужність, яку розвиває серце в цьому випадку.**

**Відповідь:** 4,9 Вт.

**140. Скільки води можна нагріти від  $37^\circ\text{C}$  до кипіння, якщо використати всю теплоту, яка необхідна для випаровування поту з тіла**



людини за день важкої фізичної роботи (10 л). Питома теплота випаровування становить  $24,36 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**Відповідь:** 92 кг

**141.** Яку кількість теплоти виділяє організм людини за добу, якщо цієї теплоти достатньо для того, щоб довести до кипіння 33 л крижаної води?

*Розв'язок.* Для розрахунку кількості теплоти, необхідної для нагрівання тіла, потрібно питому теплоємність речовини помножити на масу тіла і на різницю між кінцевою і початковою температурами. Розрахунки здійснюються за формулою:  $Q = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot 33 \text{ кг} \cdot (100 - 0) \text{ град} = 1,39 \cdot 10^7$  Дж.

**Відповідь:** За добу організм людини виділяє  $1,39 \cdot 10^7$  Дж.

**142.** Порогом подразнення називається найменша густина струму, що викликає відчуття. Для людини ця величина складає  $0,5 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup> поверхні шкіри. Чи викличе подразнення струм між електродами площею  $35 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, якщо напруга джерела дорівнює 50 В, а опір тканини між ними – 10000 Ом?

**Відповідь:**  $0,14 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>, не викличе.

**143.** При загальній гальванізації хворого (лікування постійним струмом) протягом 1200 с підтримувалася сила струму  $5 \cdot 10^{-2}$  А. Яка кількість позитивних йонів утворилася в електроліті, якщо всі йони одновалентні?

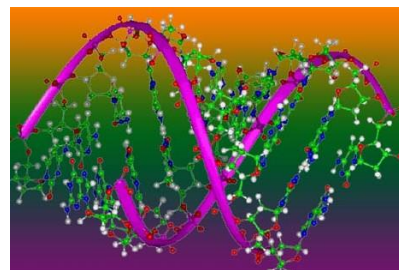
**Відповідь.**  $N = 37,5 \cdot 10^{19}$ .

**144.** Електроємність тіла людини складає приблизно  $33,4 \cdot 10^{-12}$  Ф. якого розміру ізолюваний кулеподібний провідник має таку саму електричну ємність?

**Відповідь:**  $R = 30$  см.

**145.** Чи впливає тепловий рух частинок організму на зміну його спадкових ознак? Чому у навколишньому світі можна знайти безліч прикладів, коли спадкові ознаки передаються із покоління в покоління без змін?

**Відповідь.** Відомо, що ознаки організму передаються з покоління в покоління за допомогою молекул ДНК. Матрицею для побудови ДНК організмів наступного покоління є ДНК статевих клітин даного організму. Ділянка ДНК, яка містить інформацію про структуру одного білка, що відповідає за ту чи іншу ознаку в організмі називається геном. Якщо відбудеться зміна гена, генетична програма для наступних поколінь буде змінена, що може призвести до виникнення нових ознак організму – мутацій. Змінити ж структуру гена можна підведенням до нього енергії (тепловим рухом, випромінюванням, хімічними речовинами). Енергія теплового руху частинок за температури



тіла організму значно менша, ніж енергія хімічного зв'язку атомів у молекулі ДНК.

У живій клітині ДНК постійно перебуває в оточенні частинок, енергію яких можна обчислити за формулою  $E=3/2 kT$ .

## Лазери в медицині

**146. Мільйони людей у всьому світі страждають від пошкодження хрящових структур організму (викривлення носової перегородки, хребта, «стирання» хрящових прокладок у колінних суглобах). Лікуванню ж хрящі піддаються досить складно. Яким чином вчені-фізики розв'язали цю проблему?**



**Відповідь.** Обдумуючи цю проблему, медики у тісній співпраці з вченими-фізиками дійшли до такої ідеї: локально і короткочасно нагрівати хрящову тканину лазерним промінням,

змінюючи її форму і при цьому не руйнуючи біологічних структур. Реалізації цієї ідеї передували численні медико-фізичні дослідження, зокрема: встановлений інтервал температур, при яких хрящова тканина набуває властивостей отримувати задану форму без не обернених її змін, а також інтервал довжини хвиль лазерного випромінювання, яке інтенсивно поглинається хрящовою тканиною і нагріває її як би з середини (без лазера досягти такого ефекту практично неможливо: відбувається перегрівання поверхні тканини і, відповідно, її руйнування). Підлягало вивченню і можливість небажаних наслідків впливу лазерного випромінювання: по-перше, повернення хрящової тканини у початковий стан (з'ясовано, за яких умов це може відбутися); по-друге, відторгнення організмом (дослідження його реакції на деформовану тканину – чи не стане вона сторонньою?).

Експерименти з кролями підтвердили можливість збереження хрящем після лазерного опромінення заданої форми, після чого фізики-ядерники розробили, крім самого лазера потрібних параметрів, ще й методи контролю за всіма процесами зміни форми хрящової тканини під впливом лазерного опромінення, щоб спростити лікування й забезпечити його результативність.

Приблизно 15 років тому російські фізики у співпраці з лікарями розробили метод хірургічного лікування лазером аритмії. Зазвичай серце працює з частотою 60-80 ударів на хвилину. Цей ритм обумовлений роботою певних клітин тканини правого передсердя. Виникнувши у них, він поширюється на ліве передсердя і шлуночки – частини серця скорочуються синхронно. Але якщо змінено або пошкоджено місце виникнення ритму або порушені шляхи проходження сигналів, то з'являється аритмія – захворювання, при якому елементи серця починають скорочуватися не синхронно, і воно погано постачається кров'ю. Раніше аритмію в основному лікували лікарськими препаратами; в деяких важких випадках робили операцію: вилучали той вузол, який обумовлював неправильний ритм. Потім

у серцевий м'яз зашивали електроди, які були з'єднані з приладом, що задавав новий ритм серцю, - кардіостимулятором. Людині рятували життя, але вона ставала заручником обставин, скажімо, випадкові травми, закінчення терміну дії стимулятора.

### **Сучасні методи лікування з використанням лазера**

Дослідження впливу лазерного випромінювання на живі тканини показали, що з його допомогою можна вибірково впливати на структури клітин і тканин серця. Виникла ідея лазерного лікування аритмії, а наслідком її реалізації було створення спеціального лазерного комп'ютерного комплексу.

Першочергово лазерне лікування потребувало хірургічного утворення у грудній клітці «вікна», через яке світловод підводиться до аритмогенної зони. По ньому промінь лазера попадає на пошкодженні тканини серця. Спеціальна комп'ютерна програма регулює потужність світлового променя, який діє на тканину: частина його розсіюється, частина перестає брати участь у формуванні ритму, а ритмоутворюючий вузол продовжує працювати, нормалізуючи серцебиття, і кардіостимулятор у такому випадку не потрібен. Зараз цей метод принципово модернізується для того, щоб не розрізати грудну клітку. Останні досягнення фізики і техніки дозволяють вставляти світловод у мікрокатетер і спрямовувати його до серця по судинам.

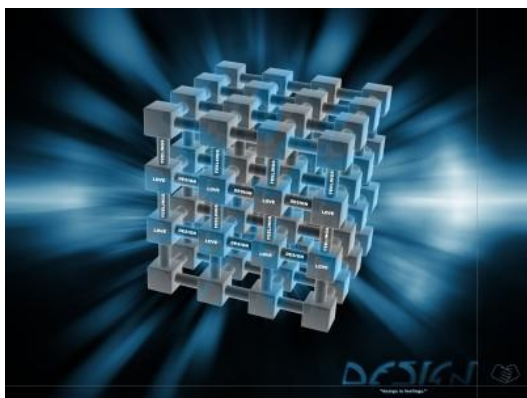
Понад 30 років лазери використовують в медицині. Потреба у світі на лазери надзвичайно велика. Лазери застосовуються сьогодні для лікування більш як 100 захворювань – від досить поширених (наприклад, пародонтоз) до рідкісних (наприклад, майже повна втрата імунітету). Крім того, благотворна дія лазерного випромінювання на багато процесів в організмі людини дозволяють використовувати його для знеболювання й загоювання ран. Крім того, лазерам притаманні не лише лікувальні функції, але й інші: ним знезаражують хірургічний інструмент, слугують хірургу скальпелем, роблять доступними складні науково-медичні дослідження.

Так, сучасний метод лікування шкірних захворювань ґрунтується на вибіркового (певної довжини хвилі) поглинанні лазерного випромінювання різними компонентами біологічних тканин, що викликає вибіркоче руйнування одного із компонентів без нанесення шкоди іншим. Однак широкому впровадженню цього методу у медичну практику довгий час заважала відсутність спеціальної медичної апаратури. На цей час виявлено, що судинні і пігментні дефекти шкіри найкраще лікує лазерне випромінювання на парах міді. На основі такого лазера створений зручний у роботі апарат, який має низку характеристик (короткочасність впливу, «точкова» концентрація світлового потоку).

### **Кристали в живих системах**

Кристали в живих системах можуть перебувати у двох функціональних станах – як «сторонні» тіла та як структурні елементи самої живої природи.

У першому випадку це кристалічні відкладення неорганічних (гіпсу) або органічних (білків, каротину, антоціану, шавлевокислого кальцію та ін.) речовин у клітинах або у порожнинах відмерлих клітин рослин. Найчастіше кристали шавлевокислого кальцію зустрічаються всередині клітин (у вакуолях) сполучної тканини різних органів рослин. Кристали гіпсу відкладаються в клітинах стебел та листків рослин родини Тамариксові. Кристали білка зустрічаються в ядрах, пластидах, алейронових зернах, кристали каротину – у хромопластах, антоціану – у вакуолях. Наявність або відсутність та форма кристалів є характерною ознакою певних систематичних груп рослин.



Кристалічні відкладення можуть зустрічатися і в тілі людини і тварин: жовчні камені в печінці та жовчному міхурі, камені в нирках та сечовому міхурі, мікроскопічні відкладення холестерину на внутрішніх стінках кровоносних судин та в судинній оболонці очного яблука, які спричиняють серйозні захворювання.

Тверді кристали можуть бути складовою частиною тіла деяких організмів. Наприклад, клітини діатомових водоростей вкриті панциром з дрібних кристаликів кремнезему, а черепашка молосків складається із кристалів вапняку. Деякі тварини являють собою справжні фабрики кристалів. Корали, наприклад, утворюють цілі острови, складені з мікроскопічних кристалів вуглекислого вапна. Дорогоцінні перлини складаються з дрібних кристалів, які виробляє моллюск перлівниця.

Але домінуюче положення у структурі живих систем займають рідкі кристали. Так, майже всі функціональні структури живої клітини – це мембрани. Мембраною вкриті зовні як сама клітина, так і численні її органоїди – ядро, мітохондрії, пластиди. А «скелет» цитоплазми є не що інше, як складна розгалужена система мембран. Системою розгалужених мембран є також апарат Гольджі.

Вивчення мембрани живої клітини показало, що вона має шарову будову і є рідким кристалом смектичного типу. Мембрани в клітинах живого організму регулюють обмін речовин. На них здійснюється синтез органічних речовин, а мембрани нервових волокон забезпечують передачу по них нервових імпульсів на будь-яку відстань без зменшення їх потенціалів. За сучасними уявленнями, біологічна мембрана складається з двох фосфоліпідних шарів, у які вмонтовані великі молекули білка. Ці молекули можуть «прошивати» мембрану наскрізь, занурюватися в неї або взагалі лежать на поверхні подвійного шару. Рідкокристалічні структури з водою утворюють, крім ліпідів, різноманітні білки (гемоглобін, міозин, трипсин, білок вірусу тютюнової мозаїки тощо), ліпоїди (жироподібні речовини:

мієлін, кефалін та ін. ), деякі амінокислоти, ДНК та РНК. Скоротливі білки м'язової тканини теж мають властивості рідкого кристалу.

**147. Чому, на Вашу думку, інтерес вчених-біологів і учених-фізиків до рідких кристалів зростає?**

**Відповідь.** Рідкі кристали відзначаються особливими властивостями, які допоможуть зрозуміти механізми процесів, що становлять функціональну основу живих систем, наприклад, синтез органічних речовин (у першу чергу білків), функціонування мембран, спіралізація біополімерів, морфогенез, модифікаційна мінливість організмів, функціонування рецепторів тощо.

Перелічимо ці властивості

а) рідкі кристали поєднують у собі впорядкованість, характерну для твердого тіла, та рухомість, що є властивістю рідини;

б) молекули рідких кристалів здатні до самоорганізації, тобто для формування впорядкованих структур;

в) рідкі кристали відзначаються високою чутливістю до дії зовнішніх факторів (температури, домішок, світла, електричних та магнітних полів тощо).

Перелічені властивості, а саме: орієнтувальна здатність, електрооптичність та термооптичність широко використовують у науці й технології рідких кристалів.

З точки зору фізики рідкі кристали орієнтують завислі в їх товщі видовжені молекули або колоїдні частинки. Ці системи працюють як молекулярні матриці, якими легко керувати зовнішнім полем.

Орієнтувальні властивості рідких кристалів знайшли широке застосування в спектроскопії ядерного магнітного резонансу (вимірювання намагніченості речовин, зумовлені магнетизмом атомних ядер), електронного парамагнітного резонансу (поглинання енергії змінного поля речовиною), у виготовленні особливих фарбників для орієнтації молекул у процесі структурування полімерів.

Електрооптичні властивості рідких кристалів застосовуються для виготовлення модуляторів світла, наприклад, оптичних індикаторів та екранів, які керуються полем. Рідкокристалічні дисплеї (від англ. display – вияв, показ) є пасивними системами, оскільки не випромінюють світла, а лише пропускають чи відбивають падаюче світло. Крім того, рідкокристалічні елементи можуть керуватися електростатично через зв'язок з логічними елементами приладу. Електрооптичні властивості рідких кристалів застосовуються в годинниках, калькуляторах, рекламних пристроях, дорожніх знаках тощо.

Термооптичні властивості рідких кристалів полягають у тому, що їх забарвлення змінюється під впливом температури. Цими властивостями відзначаються холестерини.

Плівки з холестеричних речовин слугують для одержання термограм у медицині та техніці.

Термооптичні властивості рідких кристалів використовуються для виявлення неоднорідності та пошкоджень у товщі матеріалів, у приладах

нічного бачення, для візуалізації ультразвукових та акустичних полів (підводні дослідження, дефектоскопія), у технологіях термічного запису інформації за допомогою лазерного променя.

**148. Г. Уелс описав у своєму творі людину-невидимку, яка стала невидимою завдяки тому, що тканини її тіла не заломлювали і не поглинали проміні світла. В оповіданні людина-невидимка нічим, крім невидимості, не відрізнялася від інших людей.**

**Чи насправді це так? Які небажані ефекти можуть приховуватися у феномені невидимості. Які тканини тіла мають заломлювати і поглинати проміні світла, щоб виконувати свою функцію?**

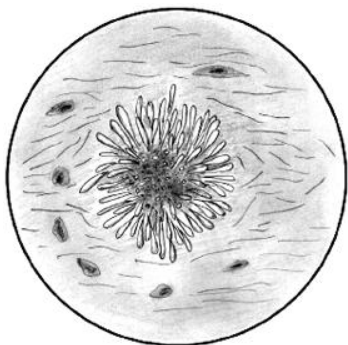
*Відповідь.* Людина-невидимка, яка описана Уельсом має бути абсолютно сліпою. Кришталік не заломлює промінів світла і таким чином, збереження предметів не фокусується на сітківці ока.

Сітківка не поглинає промінів світла і тому ніякого зображення на ній не буде. Крім того, у людини-невидимки швидко розвинеться дефіцит вітаміну D, оскільки він синтезується у шкірі під впливом сонячних променів.

## Кріобіологія

Людині давно було відомо про явище анабіозу. Це призупинення життєдіяльності організму за несприятливих умов існування (наприклад, при низьких температурах) з наступним відновленням при настанні сприятливих умов.

Знаменитий італійський природодослідник XVIII Ладзаро Спаланцані займався вивченням впливу негативних температур на живі організми. Він встановив важливий зв'язок між виживанням і охолодженням. Без води немає життя. Але та ж сама вода може перетворитися у ворога для будь-якої істоти, яка піддалась замерзанню. Вода, із якої на  $\frac{3}{4}$  складається тіло людини, приховує в собі дві небезпеки, які проявляються на клітинному рівні при низьких температурах. Перша – об'ємне розширення. Хто не бачив пляшку з водою, що тріснула на морозі? Проти такої небезпеки клітини могли б ще боротися – адже їх поверхневі плівки (мембрани) достатньо еластичні. По-справжньому страшною є друга небезпека – кристали льоду. Саме вони як скальпелем розрізають клітини – розривають мембрани, руйнують вакуолі. Після розмороження така клітина вже нежиттєздатна. Тому і не дивно, що



клітина, яка піддається повільному охолодженню прагне в першу чергу звільнитися від води. Вже одноклітинні організми (наприклад, амеби), які боролися з труднощами земного життя ще задовго до появи перших багатоклітинних, виробили механізм дегідратації (зневоднення). Різні види амеб, джгутикові й інфузорії здатні утворювати цисти спокою з багаточисельними щільними зовнішніми оболонками. У таких капсулах вони

переносять низькі температури і зберігаються там роками. На перших етапах утворення такої цисти із клітин активно відкачується вода. Зневодненій клітині вже нічого не страшно. Вона може сміливо замерзати. Клітинам вищих теплокровних тварин в житті рідко загрожує переохолодження. Але вони теж зберегли здатність дегідратації при охолодженні. Цей своєрідний рудиментарний процес полегшує роботу кріобіологів. Але як би ж єдиною небезпекою були тільки гострі кристали льоду.

Кристалізація води всередині і поза клітиною викликає дегідратацію і макромолекул, які при цьому нерідко випадають в осад. При заморожуванні відбувається безліч інших неприємних подій, зокрема, зміна концентрації солей, що тягне за собою денатурацію (зміни природних властивостей) білків. Подібний процес спостерігаємо і при варінні яєць. Зварений круто білок вже ніякими силами не зробиш знову рідким, розчинним у воді. Таким чином, життя у такого яйця зникло назавжди.

Підвести ризику щодо розглянутого явища можна однією фразою. Заморожування – серйозне випробування клітини на стійкість.

Природа досить часто демонструє нам оригінальність і мудрість у розв'язанні складних завдань і проблем. Досліднику залишається лише виявити шлях, який був прокладений еволюцією протягом мільйонів років. Так трапилось і з кріопротекторами – речовинами, які захищають організм від негативних наслідків при охолодженні. Давно помічено, що деякі холонокровні істоти здатні без особливої для себе шкоди буквально вмерзати в лід. Так, всім відомо про «скляних» жаб, яких викопували в зимку із замерзлого намулу. Без особливої шкоди переносять замерзання й багато нижчих ракоподібних. Всі ці дуже небезпечні для теплокровних трюки їх холонокровні брати роблять за рахунок накопичених у них у крові спеціальних речовин – кріопротекторів. До них відносяться гліцерин і різні цукри.

Так, у жаб перед зимівлею різко підвищується кількість глюкози у крові, так що вони перетворюються на деякий час у діабетиків. Таким чином, додаючи до клітин звичайну глюкозу або гліцерин, можна убезпечити їх від дії льодових кристалів, які утворюються у воді при замерзанні.

Клітина – це колоїдна система. Її вміст схожий на густий клейстер і для того, щоб клітину заморозити, потрібні дуже низькі температури, нижче -150°C. Найпотужніші холодильники не в змозі забезпечити такого холоду. А ось рідкий азот, який кипить при -196°C, є основою будь-якого кріокомплексу.

Наднизькі температури не лише блискавично призупиняють біологічні процеси в клітинах, але й дозволяють уникнути травмування кристалами льоду. Вміщувати клітини у рідкий азот треба дуже швидко, буквально «вистрілювати» у нього мікрокаплями рідини, в якій знаходяться клітини. Швидкість падіння температури 500-1000°C в секунду. При такій швидкості кристали льоду просто не встигають утворитися. Наступає так зване склування – утворення своєрідного аморфного стану замороженої цитоплазми. Але зворотний процес (розморожування) ніяк не вдається

провести з такою ж швидкістю. В результаті відбувається утворення кристалів льоду з усіма витікаючи ми з цього наслідками.

Вважається, що у рідкому азоті клітини можна зберігати дуже довго. Однак це не зовсім так. Якись, поки що невідомі процеси відбуваються і за низьких температур. Частка виживших після розморожування клітин через 10 років збереження складає 2/3 від їх вихідної кількості. В зв'язку з цим у світовій практиці прийнято переаморожувати клітинні лінії через кожні 5-7 років.

## Відеоурбоеккологія

Відомо, що зорове сприйняття навколишнього середовища досягається завдяки спільній роботі сенсорного і рухового апаратів ока. Рухова система працює в активному режимі, забезпечуючи неперервне сканування видимого простору. Чим гірше видно об'єкт – або через слабе освітлення, або внаслідок погіршення зору, - тим вище амплітуда автоматичних рухів очей, так званих саккад. Тому амплітуду саккад можна вважати критерієм оцінки видимого середовища. Амплітуда руху очей збільшується і при однорідності видимого поля з малою насиченістю зоровими елементами. Такі поля називаються гомогенними. При тривалому перебуванні у затемненому приміщенні або у гомогенному середовищі порушується механізм швидкого руху очей, з'являється відчуття дискомфорту, погіршується самопочуття. У дітей, у віці 3-18 місяців, які живуть у затемненому приміщенні, виникає ністагм – швидкі рухи, які часто повторюються, очних яблук, або дрижання очей.

У сучасному індустріальному градобудівництві у видимому середовищі міського жителя дуже багато гомогенних полів – стіни величезних розмірів, підземні переходи, асфальтові простори вулиць і площ. При одноманітності видимого поля важко орієнтуватися: виникає таке ж відчуття, як і при зникненні у темряві точки, що світиться. Рухова система очей переходить на екстремальний режим роботи для пошуку «точки опори» у цьому просторі. Але й це не допомагає, і у міського жителя виникає почуття дискомфорту. У такому одноманітному оточенні не можуть повноцінно функціонувати зорові аналізатори, тому що в мозок не надходить достатньої кількості інформації. Утруднюється робота бінокулярного апарату: імпульсом до злиття двох зображень правого і лівого ока є розбіжність їх контурів, якого немає у гомогенному полі. Це приводить до порушення узгодженої дії двох очей, вони як би відокремлюються і деякий час кожний з них працює сам по собі. В разі переведення погляду з гомогенної поверхні на чіткий об'єкт виникає двоїння. Архітектурні надмірності, знижуючи зорову одноманітність міського середовища, усувають і відчуття дискомфорту.



Ще однією бідою для міських жителів є агресивні поля. Робота зорової системи порушується в разі великої кількості у полі зору однорідних елементів. При автоматичному русі очей людина бачить одне й те ж саме. Порушення викликані, вірогідно, перенасиченням мозку однорідною інформацією, яку складно розмежувати на ділянки. Прикладом може слугувати картина Г. Юккера розміром 1,54x2 м, яка виконана із вбитих у дошку цвяхів (на половину їх довжини) на відстані у 2 см один від одного. Назва картини – «Агресивне поле» - відповідає емоціям, які виникають при ознайомленні з цим твором. Але це всього лише картина. І глядач може вибрати: дивитися йому не неї чи ні. А сучасний міський житель мусить щоденно знаходитися в оточенні агресивних полів. І вибрати дивитися чи ні – йому не приходитьсь. Людина в разі постійного перебування в оточенні агресивних полів, відчуває напругу і гнітючу нудьгу. Тому і виникає у жителів сучасних мікрорайонів бажання куди-небудь поїхати. Агресивним вважається поле з великою кількістю паралельних ліній. А таких будинків у сучасних містах достатньо. Розглядаючи їх, рябить в очах і з'являється виключно неприємне відчуття. Однак, будівництво їх продовжується: воно дешевше і простіше при монтажу. І жителі страждають від одноманітності видимого середовища.



**149. У 20-і роки серед шахтарів досить поширеним було професійне захворювання – вуглекопний ністагм. Кількість хворих на цю хворобу серед забійників була більшою, ніж серед відкатчиків. Як ви думаєте, чому?**

**Відповідь.** Вуглекопний ністагм, це захворювання, яке зв'язано з тривалим перебуванням у гомогенному зоровому середовищі. Воно приводило до зниження гостроти зору, супроводжувалось головними болями, нудотою та блюванням. Кількість хворих серед забійників на багато більша тому, що вони працюючи з дрібним вугіллям багато часу знаходились у більш гомогенному, видимому середовищі. Для боротьби з цією хворобою вугілля посипали вапном, і таким чином видиме середовище ставало менш одноманітним.

#### **Розділ 4. Загальні властивості живої природи, процеси й явища на різних рівнях її організації**

##### ***Живе і інформація***

**150. Подвійна спіраль ДНК, в якій записані всі дані про будову і роботу організму, багатьом здається вершиною упорядкованості. Говорять навіть про особливий порядок, притаманний живій матерії**

взагалі. Разом з тим, фізики висловлюють думку про те, що будь-яка біологічна система упорядкована не більше, ніж шматок гірської породи тієї ж ваги. І все-таки відмінність в упорядкованості живої і неживої природи є. Поясніть, у чому ж проявляється ця відмінність? Яким чином у біологічних системах виникає такий доцільний порядок?

**Відповідь.** Сучасна фізика дозволяє оцінити ступінь упорядкованості у будь-яких системах, включаючи і біологічні. Організм дорослої людини містить біля 150 г ДНК, що відповідає  $3 \cdot 10^{23}$  нуклеотидів. Щоб створити єдину послідовність ДНК, необхідно приблизно  $6 \cdot 10^{23}$  біт інформації. Це у 200 разів менше упорядкованості амінокислотних залишків у молекулах білків. Відомо, що витрати енергії на утворення будь-якої органічної речовини супроводжується підвищенням упорядкованості (тобто, зниженням ентропії), що компенсують найпростіші хімічні процеси, наприклад, окиснення глюкози. Таким чином, організм без зусиль створює складні структури – білки і нуклеїнові кислоти.

Відмінність упорядкованості живої і неживої природи полягає в тому, що інформація, яка міститься в ДНК, має сенс. Можна сказати, що вона слугує визначеній меті.

Як виникає такий доцільний порядок, можна продемонструвати на прикладі валізи з кодовим замком. Кодовий замок зазвичай складається з трьох чисел. Господар валізи, відправляючись у мандрівку, вибирає ці числа і вводить їх у вигляді коду в замок валізи. Три числа наповнюють одну з їх послідовностей смислом: вона дозволяє відкрити валізу, а інші – ні. Те ж саме відбувається і з нуклеїновими кислотами. Створити усвідомлену упорядкованість можна запам'ятавши випадкову послідовність трьох чисел що була введена у замок валізи, інформації про те, що саме ці послідовності «кращі» за інших, просто не існувало. У впорядкованість був вкладений смисл, інформація була створена. Непередбачуване перетворилось у неминуче, що саме по собі і є творчістю.

Можливо, в основі будь-якої творчості лежить принцип запам'ятовування випадкового вибору. Для біологічних систем – систем з осмисленою впорядкованістю – визначальним стає не кількість, а якість, цінність інформації. Здатність створювати нову інформацію, надавати смисл впорядкованості – це, мабуть, обов'язкова властивість живої матерії. Грунтуючись на таких міркуваннях, біофізик Л.О. Блюменфельд дав таке визначення життю: «Живими називаються самовідтворюючі системи, які здатні до створення інформації, безпосередньо або побічно впливаючи на їх відтворення».

### *Вода в живому організмі*

**151.** У 1858 році знаменитий французький фізіолог Клод Бернар сформулював принцип сталості внутрішнього середовища організму – дещо схожий на закон збереження маси – енергії для живих істот. Цей принцип трактується так: надходження до організму різних речовин

повинно бути рівним їхньому виділенню. Зрозуміло, що і вживання води повинно дорівнювати витратам. Поясніть, яким чином людина витрачає воду?

**Відповідь.** Водні витрати організму врахувати досить важко, тому що чимала її частина припадає на долю так званих невідчутних витрат. Наприклад, вода у вигляді пару міститься у повітрі, що ми вдихаємо – це приблизно 400 мл на добу. Біля 600 мл на добу її випаровується з поверхні шкіри. Небагато води виділяють і слізні залози (і не лише тоді, коли ми плачемо: рідина, яку вони виділяють постійно омиває очне яблуко); вода також витрачається з краплями слини при розмові, кашлі і т. ін. Інші шляхи виділення води краще піддаються обліку: це 800-1300 мл на добу, що виділяються із сечею і біля 200 мл – з фекаліями. Якщо скласти всі перераховані числа, то виходить біля 2-2,5 л; це число, середнє, тому що витрати води можуть коливатися в залежності від зовнішніх умов, індивідуальних особливостей обміну або внаслідок його порушення.

Відповідно цього і добова потреба організму дорослої людини щодо води складає в середньому біля 2,5 л. Це зовсім не означає, що людина повинна кожного дня випивати не менше 10 стаканів води: основна частина вжитої нами води міститься в їжі.

Частина води утворюється безпосередньо в організмі в процесі життєдіяльності – при розщепленні білків жирів і вуглеводів (ендогенна вода). Наприклад, при окисненні 100 г жирів утворюється 107 мл води, 100 г вуглеводів – 55 мл.

**152.** Немає жодної речовини на Землі, крім води, яка б могла знаходитися одразу в трьох станах: рідкому, твердому і газоподібному. Так, наприклад, при нагріванні лід починає танути: рух молекул під впливом температури посилюється, кристалічна решітка слабне, зв'язки між молекулами руйнуються, лід перетворюється у воду. Але, як виявилось, тала вода ще довго зберігає залишки кристалічної структури, і приховані від очей мікроскопічні крижинки зникають лише при  $t^{\circ} + 4^{\circ}\text{C}$  і вище. При нагріванні талої води від 0 до  $4^{\circ}\text{C}$  її об'єм зменшується. За допомогою інфрачервоної спектроскопії вченим вдалось розглянути структуру талої води: вона нагадує крижаний палац з пустими залами. При нагріванні льоду стіни палацу руйнуються – об'єм зменшується.

Останнім часом фізики і біологи, медики і агрономи досить ретельно вивчають властивості талої води. Поясніть, чому виник такий інтерес саме до талої води.

**Відповідь.** Ще здавна люди помічали, що вода після танення льоду деякий час відрізняється від звичайної. Так, ранньою весною горобці з насолодою купаються у свіжих калюжах. А мешканцям Півночі знайома така картина: величезні стада оленів пасуться у місцях накопичення талої води.

Агрономи проводили досить цікаві дослідження пов'язаних з талою водою. Так, вони засіювали рівноцінні ділянки злаками: одну низькосортним насінням пшениці, а іншу – точнісінько таким, але витриманим 1,5 години, у день сівби у «сніговій ванні». Досліджувані рослини значно перевершили

контрольні за висотою і товщиною стебла та величиною колосу. З кожного гектару дослідної ділянки отримали 18,3 ц пшениці, а з контрольного – лише 11 ц.

Учені встановили, що талу воду можна вважати своєрідним біологічним стимулятором. Досліджуючи фізико-хімічні властивості цієї води, спеціалісти виявили відхилення в ній як за в'язкістю, так і за діелектричною проникністю. Лише через декілька діб вода «приходить у норму». Причина цього явища поки ще невідома. Але назва цьому вже дана – «структурна пам'ять води». За висунутою гіпотезою таємниця талої води криється у тонких змінах структури її молекул.

Про важливість біологічної ролі свіжої талої води свідчать також численні спостереження і спеціальні дослідження. Так, наприклад, у Томському медичному інституті вчені-медики проводили такий експеримент: 25 хворим, котрі страждали серцево-судинними захворюваннями і порушенням обміну речовин, запропонували протягом 3-х місяців пити лише талу воду. Після експерименту, у них було зареєстровано зниження кількості холестерину у крові і відмічено покращення процесу обміну речовин.

У експериментальних дослідженнях, проведених О.А. Ластковим (1977), групі щурів і мишей вводили під шкіру фізіологічний розчин, який був виготовлений на свіжій талій дистильованій воді або напували їх цією водою. На кінець експерименту ці тварини виявились набагато життєздатнішими, ніж ті, яким вводили фізіологічний розчин на звичайній дистильованій воді або напували нею.

За іншими спостереженнями експериментатора, у робітників «гарячого» виробництва, котрі вживали для пиття свіжу талу воду, знижувалась температура шкіри і тіла, в той час як у робітників, котрі користувалися звичайною водою, цього не відбувалось.

**153. Вченими встановлено, що вода, яка зв'язана з клітинною протоплазмою і вода, яка входить до складу міжклітинної рідини та інших утворів організму, має структуру, що нагадує лід. Як вчені назвали таку воду? Яке біологічне значення талої води?**

**Відповідь.** Таку воду прийнято називати структурованою. Вона замерзає при температурі мінус 20°C (у тканинах живого організму існує і вільна вода, яка замерзає при 0°). Структурована вода більш важлива для збереження функції і життєздатності тканин людини, ніж вільна. При температурі 36°C «пусті» зали крижаних палаців структурованої води заповнюються живими біомолекулами – білками, нуклеїновими кислотами. Завдяки такій щільній упаковці білок не деформується і не гине, вода з впорядкованою структурою бере участь у синтезі живої речовини – у біоенергетичних процесах клітини. І якщо ця гіпотеза справедлива, то тала вода може не тільки підвищувати фізичні ресурси живого організму, але й стати перепорою синерезису – зменшенню вмісту води в клітинах у похилому віці.

**154. Відомо, що перехід води з крові у міжклітинну рідину повністю підлягає фізичним законам. Чи насправді це так? Поясніть механізм цього процесу.**

**Відповідь.** Робота серця створює всередині судин гідростатичний тиск, який прагне виштовхнути рідину крізь стінку судини. Цьому протидіє осмотичний тиск, який створюють розчиненні у крові речовини.

Таким чином, головну роль в цьому процесі відіграє не осмотичний тиск, а лише та невелика його частина (приблизно  $1/226$ ), яку утворюють білки плазми крові – це так званий онкотичний тиск. Річ у тім, що і воду і низькомолекулярні розчинні речовини, які утворюють основну частину осмотичного тиску, стінки капілярів пропускають вільно, але для білків вони практично непроникні. І саме онкотичний тиск, який утворений білками, утримує воду всередині капіляра.

У початковій, артеріальній частині капіляра гідростатичний тиск великий – він набагато більший за онкотичний. Тому вода разом з розчиненими в ній низькомолекулярними речовинами витискується крізь стінки капіляра у міжклітинний простір. У кінцевій, венозній частині капіляра гідростатичний тиск значно менше, тому що тут капіляр розширюється. Онкотичний же тиск, утворений білками, тут, навпаки, підвищується, оскільки частина води вже залишила капіляр і об'єм плазми зменшився, а концентрація білків у ній збільшилась. Тепер, онкотичний тиск стає більше гідростатичного. І вода, яка несе з собою продукти життєдіяльності клітин, надходить з міжклітинного простору знову у судинне русло.

Такою є загальна картина обміну води між кров'ю і тканинами. Але цей механізм застосовується не у всіх випадках, наприклад, з його допомогою не можна пояснити обмін рідини у печінці. Гідростатичний тиск у печінкових капілярах недостатній для того, щоб викликати перехід рідини із них у міжклітинний простір. Тут вже відіграють роль не стільки фізичні закони, скільки ферментативні процеси.

**155. Відомо, що явище гутації у рослин є показником того, що корені рослин інтенсивно поглинають воду і під тиском нагнітають її у надземні органи. А яка ж роль гутації у житті рослин?**

**Відповідь.** Значення цього процесу перш за все у забезпеченні рівноваги між поглинанням і витратою води. Засвоєна коренями волога у великій кількості випаровується. Чим сильніше рослина випаровує воду, тим швидше вона рухається разом з розчиненими речовинами вгору по судинам. Однак процес випаровування різко гальмується у туманну і дощову погоду. У цих умовах уповільнюється і рух води по рослині. Завдяки гутації є можливість звільнитися від надлишку вологи, яка нагнічується кореневою системою, і здійснювати, хоча й досить наближено, рух води з необхідними рослині розчиненими речовинами.

Відомий австрійський фізіолог Г. Моліш встановив, що молоді пагони бамбука, які пробиваються крізь твердий сухий субстрат, розм'якшує його краплями, які виділяють кінчики його пагонів.

Не виключено, що такий самий механізм зволоження сухого ґрунту використовують при проростанні і злаки. Крім того, при гутації рослина позбавляється надлишків деяких солей, наприклад, хлоридів натрію і кальцію.

**156. Відомо, що із міжклітинної рідини вода проникає у клітини. Якими фізичними законами визначається цей процес?**

*Відповідь.* Цей процес визначається не лише законами осмосу, але й властивостями клітинної мембрани. Така мембрана, крім пасивної проникності, що залежить від концентрації тієї чи іншої речовини по різні її сторони, володіє ще й властивістю активно переносити певні речовини навіть проти градієнта концентрації, тобто із більш розбавленого розчину у менш розбавлений. Іншими словами, мембрана діє як «біологічний насос». Регулюючи таким шляхом осмотичний тиск, клітинна мембрана керує й процесами переходу крізь неї води із міжклітинного простору всередину клітини і навпаки.

**157. Лісники давно помітили, що на місці зрубаних лісів нерідко утворюються болота, які зникають лише в тому випадку, коли на них виростуть нові дерева, які висмокчуть з ґрунту надлишкову вологу. Так, наприклад, ще у минулому столітті виникла думка про використання евкаліптів для осушення болотистих територій у південних широтах, де велика вірогідність появи малярії. Евкаліпти вважаються найвищими квітковими рослинами (були описані екземпляри висотою до 155 м, при діаметрі стовбура 25 м). Завдяки яким процесам вода здатна піднятися на таку висоту?**

*Відповідь.* Дійсно, щоб підняти воду на значну висоту, одного кореневого тиску замало, зазвичай його вистачає, щоб доставити її на десятиметрову висоту. Випаровування є тим рушієм, який дозволяє транспортувати вологу на більш високий рівень, і чим інтенсивніше цей процес, тим легше дереву постачати водою листя. Тому зовсім не випадково евкаліпти транспірують так інтенсивно. Виникає питання, чому випаровування води сприяє її підняттю по стеблу. У природі ми можемо спостерігати таке явище: листки дерева випаровують воду і одночасно піднімають рідину, яка знаходиться у судинах стебла.

Таким чином, евкаліпти, корені яких досягають глибини 30 м, наче гігантські помпи викачують воду з ґрунту, безперервно постачаючи нею величезну крону.

**158. Жодним органічним сполукам не притаманні такі різноманітні функції, як білкам. Серед основних функцій білків виділяють здатність їх зберігати онкотичний тиск у клітинах і крові. Яким чином створюється в клітині та крові онкотичний тиск та яке його значення?**

*Відповідь.* Онкотичний тиск, колоїдно-осмотичний тиск – частина осмотичного тиску, що створюється високомолекулярними компонентами – білками розчину. Онкотичний тиск у крові людини й тварин порівняно із

загальним осмотичним тиском (7-8 атм) незначний, але має велике значення для процесів всмоктування і переходу рідини з капілярів у тканини і навпаки.

Швидкість фільтрації рідини крізь стінки капілярів залежить від різниці між онкотичним тиском білків плазми крові та гідростатичним тиском крові, що створюється роботою серця. Зниження онкотичного тиску (особливо у випадку зменшення концентрації альбумінів) спричиняє нагромадження рідини в міжклітинному просторі, внаслідок чого утворюються набряки.

**159. Як і все живе, клітини перебувають у постійному русі. Вони безперервно змінюють свою форму, переміщують вміст, створюють течії цитоплазми, вигинають мембрани, повзають, обертаються, плавають, протискуються крізь вузькі шпарини і отвори. Завдяки чому клітина рухається і разом з тим зберігає свої чіткі межі? Поясніть механізм переміщення внутріклітинних органел? Як клітина долає простір всередині багатоклітинних організмів?**

*Відповідь.* Клітина не змогла б рухатися так вільно і разом з тим зберігати власні чіткі межі, якби не мала б цитоскелету. У багатьох клітин еукаріотів цитоскелет – це гнучкий каркас, що складається із трьох компонентів: мікротрубочок, мікрофіламентів і мікротрабекулярної сітки. Це якби «кістки» і «м'язи» клітини. З їхньою допомогою відбувається переміщення внутріклітинних органел. Загалом цитоскелет надає клітинам характерного зовнішнього вигляду й форми, є місцем прикріплення органел та різних тілець, фіксуючи їх розміщення у клітині та забезпечує можливість зв'язку між складовими частинами клітини. Цитоскелет – це не постійний каркас клітини, а динамічна структура, що змінюється в часі. Так, мікротрубочки у клітинах еукаріотів входять до складу центріолей, утворюють мітотичне веретено поділу під час мітозу, регулюють розходження хроматид і хромосом під час поділу клітини. З них побудовані базальні тільця, які знаходяться біля основи війок і джгутиків. У веретені поділу клітини, а також у війках і джгутиках рух здійснюється за рахунок ковзання мікротрубочок. У першому випадку хромосоми або хроматини розходяться, а другому – відбувається рух війок і джгутиків.

Мікротрубочки беруть участь у переміщенні інших клітинних органел, наприклад, міхурців Гольджі, які безперервно транспортуються до мембрани, та міхурців від ендоплазматичної сітки, які прямують до комплексу Гольджі.

У багатьох клітинах відбувається переміщення й більших органел, наприклад, лізосом і мітохондрій. Пересування органел може бути впорядкованим або невпорядкованим. Вважають, що такий рух характерний майже для всіх клітинних органел. Рухи припиняються, якщо пошкоджена система мікро трубочок.

Мікрофіламенти – ниткоподібні структури, діаметр яких становить близько 5 нм. Це полімери глобулярного білка актину з відносною молекулярною масою 43000.

Методом імуофлуоресцентної мікроскопії встановлено, що актиновий цитоскелет подібний до цитоскелета з мікротрубочок. Часто мікрофіламенти утворюють переплетення або пучки безпосередньо під плазматичною

мембраною, а також на межі поділу між рухомою та нерухомою частинами, як і мікротрубочки, беруть участь в ендо й екзоцитозі. Під час мітозу клітини численні мікрофіламенти виявляються в зоні, де відбувається поділ клітини. Мікрофіламенти утворюють так зване «скорочувальне кільце». Встановили також, що молекули актину перебувають у тісному взаємозв'язку з веретеном клітин, які діляться. Можливо, вони взаємодіють з мікротрубочками веретена поділу під час руху хромосом. У клітинах виявляються також нитки міозину, подібного до міозину м'язів, хоча кількість його значно менша. Це дає підставу вважати, що роль мікрофіламентів у клітині пов'язана з рухами або всієї клітини, або окремих її структур всередині клітини.

Відомо, що скорочення м'язів відбувається в результаті взаємодії між нитками актину й міозину, а необхідну для цього енергію постачає АТФ.

Основою руху клітин і внутрішньоклітинних структур є, очевидно, взаємодія актину й міозину, як і під час м'язового скорочення. Однак цей рух регулюється зовсім не так, як у м'язах. У деяких випадках функціонують лише актинові філаменти, а інших - актин разом з міозином. У клітинах, яким властивий рух, збирання й руйнування мікрофіламентів відбувається безперервно.

Трабекулярна система складається з тонких фібрил (завтовшки 2-3 нм), яка пронизує цитоплазму в різних напрямках і зв'язує всі внутрішньоклітинні компоненти: мікро трубочки, різноманітні фібрилярні структури, мембранні органели та плазматичну мембрану. Функціональна роль трабекулярної системи полягає не тільки у створенні та підтриманні внутрішньоклітинного каркасу, а й у відповідній організації ферментів в об'ємі цитоплазми: ферменти можуть бути вміщені в сітку й орієнтовані таким чином, що попередній фермент передає субстрат наступному в ланцюгу метаболізму. Це система дуже динамічна, вона розпадається у разі зміни зовнішніх умов, чутлива до пониження температури тощо.

Сама ж клітина еукаріот долає простір завдяки роботі війок й джгутиків на своїй поверхні. Часто всередині багатоклітинних організмів також зустрічаються війки. З їхньою допомогою, наприклад, переміщуються яйцеклітини у яйцєводах ссавців, слиз у дихальних шляхах – робота війок там дозволяє видаляти часточки пилу.

### *Електричні явища в рослинних організмах*

**160. Сучасні вчені-фізіологи проводячи численні експерименти встановили, що в будь-якій рослині можна виявити електричні потенціали. Завдяки якому механізму в рослинах виникає електричний потенціал?**

**Відповідь.** Встановлено, що у нормальному стані цитоплазма заряджена негативно по відношенню до своєї зовнішньої поверхні. Причина цього вбачається у нерівномірному розподілі іонів: всередині клітин знаходиться більше іонів  $Cl$  і  $K$ , але менше  $Ca$ , ніж ззовні. Такий розподіл іонів, що визначає величину потенціалу спокою, пов'язано з тим, що у



мембранах клітин знаходяться особливі молекули-переносники, які подібно насосу, перекачують іони всередину клітини. Так, наприклад, величина потенціалу спокою мімози дорівнює 160 мВ. Після подразнення відбувається швидке зменшення цієї величини до 20 мВ. У відповідь на подразнення виникає потенціал протилежного знаку, або потенціал дії. У клітинах мімози він дорівнює приблизно 140 мВ, а у комахоїдних рослин Венериної мухоловки і Альдрованди складає біля 100 мВ.

Поява потенціалу дії пов'язується з виходом іонів  $Cl$  з клітини, а можливо, з надходженням  $Ca$  всередину її. Особливо детально це явище вивчено на гігантських клітинах водоростей Хара і Нітелла. В них потенціал дії виникає під впливом механічних, хімічних і електричних подразників. Від клітини, яка піддавалась подразненню, потенціал дії поширюється у Мімози зі швидкістю 2-5 м/с, у Венериної мухоловки – 20 см/с, у Соняшника – 1,3 см/с.

Переміщення його відбувається, вірогідно, таким чином: потенціал дії однієї клітини збуджує сусідню, в якій виникає власний потенціал дії, і т.д. Збудження передається головним чином по судинним елементам. Якщо повністю видалити із стебла провідні тканини, рослини не будуть відповідати на подразнення генеруванням електричного потенціалу дії. Важливу роль у виробленні електричних імпульсів у провідній тканині відіграють іони калію. В разі нестачі калію потенціал дії не виникає у відповідь на подразнення. Не випадково у провідних тканинах рослин міститься велика кількість цього елемента. У вищих рослин чітко проявляється здатність генерувати електричні імпульси, що періодично повторюються у відповідь на дію постійного подразника.

**161. Вчені-фізіологи довели, що електричні сигнали причетні до виконання різноманітних функцій. Так, наприклад, механічне подразнення нектарників квіток липи викликає появу електричного імпульсу, який сприяє посиленню утворення і виділення нектару. Як ви вважаєте, яке ж значення біострумів у заплідненні квіткових рослин?**

**Відповідь.** Роль електричних сигналів у квіткових рослин полягає у стимуляції процесу запліднення. Зазвичай пилочок заряджений позитивно, а приймочка – негативно. Ця обставина, вірогідно, відіграє чималу роль у потраплянні пилку на приймочку маточки і в заплідненні.

Виміри електричного поля навколо проростаючих пилкових зерен, які проведені з допомогою спеціального електрода, показали, що вони генерують постійний електричний струм у декілька сот пікоампер. У пилковій трубці, яка росте, струм досягає досить високої щільності (біля 60 мкА/см<sup>2</sup>) і реєструється протягом усього періоду їх росту.

**162. Відомо, що застосування електрофізіологічних методів дозволило вченим-фізіологам з вивчення тварин досягти значного прогресу в цій галузі знань. Ними було встановлено, що в організмах тварин постійно виникають електричні струми (біоструми), поширення яких і приводить до рухливих реакцій. Ч. Дарвін у свій час припустив, що подібні електричні явища мають місце і у листках комахоїдних**

**рослин, які мають досить виражену здатність до руху. Яким вченим вдалось довести цю гіпотезу?**

**Відповідь.** Вчений-фізіолог Оксфордського університету Бурдан Сандерсон провів експерименти з Венериною мухоловкою. Так, приєднавши листок цієї рослини до гальванометра, він відзначив, що стрілка миттєво відхилилась. Отже, це свідчило про те, що у живому листку цієї комахоїдної рослини виникають електричні імпульси. Коли дослідник викликав подразливість листків, доторкнувшись до розміщених на їх поверхні щетинок, стрілка гальванометра відхилилась у протилежний бік.

Німецький фізіолог Герман Мунк, який продовжив експерименти Сандерсона, у 1876 році прийшов до висновку, що листки Венериної мухоловки в електромоторному відношенні подібні нервам, м'язам і електричним органам деяких тварин.

Електрофізіологічні методи були використані сучасним дослідником М.К. Леваковським для вивчення явищ подразнення у мімози. В експериментах вченого найсильніші електричні сигнали спостерігались у тих екземплярах мімози, які найбільш енергійно відповідали на зовнішні подразники. якщо ж мімозу швидко нагрівали, то змертвілі частини рослин не виробляли електричних сигналів. Згодом виникнення електричних сигналів спостерігали також у тичинках будяка і чортополоха, у черешках листків росянки.

**163. Електричне поле впливає не лише на дорослі рослини, але й на насіння. Якщо їх на деякий час помістити у штучно створене електричне поле, то вони швидше дадуть дружні сходи. Як ви вважаєте, в чому причина цього явища?**

**Відповідь.** Учені припускають, що всередині насіння внаслідок впливу електричного поля розривається частина хімічних зв'язків, що й приводить до виникнення осколок молекул, у тому числі часток з надлишковою енергією – вільних радикалів. Чим більше активних часток всередині насіння, тим вища енергія їх проростання. На думку вчених, подібні явища виникають при дії на насіння й інших випромінювань: рентгеновського, ультрафіолетового та радіоактивного.

### **Фотосинтез**

**164. Якщо сонячний спектр, який ми спостерігаємо у спектроскопі, спроектувати на екран, то це дає можливість вивчати швидкість фотосинтезу у різних променях – синіх, жовтих, зелених, червоних.**

**Вперше інтенсивність фотосинтезу у різних променях спектра досліджував фізик В. Домені. Яке відкриття зробив цей вчений?**

**Відповідь.** У 1836 році В. Домені зробив важливе відкриття: зелений лист може здійснювати фотосинтез в окремих променях спектра, причому в залежності від характеру променів він протікає з неоднаковою швидкістю. Але на питання, в яких саме променях спектра фотосинтез протікає найбільш інтенсивно вчений не відповів. Причиною цьому були методичні огріхи під

час проведення експерименту. По-перше, вчений отримував промені, пропускаючи сонячне світло крізь кольорові скельця або забарвлені розчини. По-друге, він застосовував дуже примітивний метод інтенсивності фотосинтезу. Так, учений вміщував частину пагона водної рослини елодеї у пробірку з водою зрізом вверху і рахував, скільки бульбашок кисню відривається з поверхні зрізу за одиницю часу. В. Домені дійшов висновку, що інтенсивність фотосинтезу пропорційна яскравості світла, а найбільш яскравими променями на той час вважались жовті. Проте це твердження заперечувало закону збереження енергії. Адже жовті промені мало поглинаються хлорофілом, тому вони не можуть бути головною рушійною силою процесу фотосинтезу.

**165. Вагомий внесок щодо вивчення процесу фотосинтезу зробив російський вчений К.А. Тімірязєв. Що саме довів учений у своїх дослідженнях?**

*Відповідь.* К.А. Тімірязєв стверджував, що яскравість променів залежить від суб'єктивного сприйняття світла оком (сині промені здаються нам неясковими, а жовті навпаки) і тому не може визначати інтенсивність засвоєння вуглекислого газу зеленими рослинами. Найбільш дієвими у процесі фотосинтезу можуть бути тільки ті промені, які поглинаються хлорофілом. Сконструйовані вченим прилади дозволяли значно підвищити точність досліджень. З допомогою цих удосконалених приладів К.А. Тімірязєв довів, що найбільш активно фотосинтез відбувається у червоних променях спектра, які інтенсивніше за інших поглинаються хлорофілом. У напрямку до зеленої частини спектра інтенсивність фотосинтезу послаблюється. У зелених променях вона мінімальна. І це цілком зрозуміло: адже хлорофілом вони майже не поглинаються. У синьо-фіолетовій частині спостерігається новий підйом інтенсивності фотосинтезу. Таким чином, К.А. Тімірязєв встановив, що максимум засвоєння листком вуглекислого газу співпадає з максимумом поглинання світла хлорофілом. Тобто, він вперше експериментально довів, що закон збереження енергії справедливий і у відношенні до фотосинтезу. Зелений колір рослин зовсім не випадковий. У процесі еволюції вони пристосувались до поглинання саме тих променів сонячного спектра, енергія яких найбільш повно використовується у процесі фотосинтезу.

Сучасні дослідження цілком підтвердили правильність поглядів К.А. Тімірязєва відносно важливості для фотосинтезу саме червоних променів сонячного спектра. З'ясувалось, що коефіцієнт використання червоного світла в процесі фотосинтезу вище, ніж синіх променів, які також поглинаються хлорофілом. Червоні промені, за уявленнями К.А. Тімірязєва, відіграють основоположну роль у процесі побудови всесвіту і творення життя.

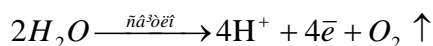
**166. Відомо, що в хлоропластах молекули хлорофілу розміщуються не хаотично, а утворюють так звані фотосинтетичні одиниці. Що являють собою фотосинтетичні одиниці? Яке мають улаштування та які функції виконують?**

**Відповідь.** Фотосинтетичні одиниці являють собою пастки для квантів. Кожна така фотосинтетична одиниця складається із 200-250 молекул хлорофілу, але тільки одна з них безпосередньо бере участь у передачі енергії світла для синтезу органічної речовини. Усі інші служать для сприйняття світлової енергії і передачі її на цю молекулу. Таке улаштування фотосинтетичної одиниці дозволяє повніше використовувати енергію світла і забезпечує неперервність процесу фотосинтезу. Якщо б кожна молекула хлорофілу безпосередньо передавала кванти світла на синтез органічних речовин, процес протікав би переривчасто. Цікаво відзначити, що молекула-пастка, до якої стікаються кванти від молекул-сусідок, відрізняється від них тим, що поглинає світло з великою довжиною хвилі. Це пояснюється тим, що, хоча передача енергії від однієї молекули пігменту до іншої проходить з великою швидкістю, частина її все ж втрачається. У зв'язку з цим запас енергії в квантах зменшується, а довжина хвилі збільшується. Для того, щоб кванти з меншим запасом енергії були сприйняті і задіяні у фотосинтезі, існують молекули хлорофілу, які сприймають саме ці «полегшені» кванти. Переміщення енергії у зворотному напрямку у фотосинтетичних одиницях неможливе.

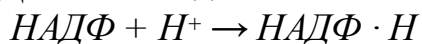
Фотосинтез – складний багатоступеневий процес. На якому саме етапі необхідна енергія світла? З'ясувалось, що реакції синтезу органічних речовин, включення вуглекислого газу до складу їх молекул безпосередньо енергії світла не потребують. Ці реакції назвали темновими, хоча протікають вони не лише у темноті, але й на світлі, просто світло для них не є обов'язковим. А ось для перебігу так званих світлових реакцій фотосинтезу, в основі яких лежить світловий розклад (фотоліз) молекул води, виділення кисню, утворення аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ) і відновленої речовини нікотинамідаденіндинуклеотид (НАДФ Н) воно необхідне. НАДФ Н утворюється внаслідок приєднання до НАДФ водню, який виділяється при фотолізі молекул води (фотоводню).

Коли квант світла сприйнятий молекулою хлорофілу фотосинтетичної одиниці, передається на центральну молекулу, вона збуджується, її електрон переміщується на більш високий енергетичний рівень, покидає молекулу-пастку і надходить до ланцюга транспорту електронів, з'єднаного з фотосинтетичною одиницею. Ланцюг переносу електронів складається з окисно-відновних ферментів, розміщених у певній послідовності. З їх допомогою електрони поступово звільняються від надлишку енергії, яка переходить в енергію макроергічних зв'язків молекул АТФ, які утворюються шляхом приєднання залишків молекул фосфорної кислоти до АДФ кислоти. Після цього електрон повертається до вихідної молекули хлорофілу (молекули-пастки). Такий тип утворення АТФ у процесі фотосинтезу називається циклічним. Але в електрона, який надійшов від молекули-пастки до ланцюга транспорту, може бути й інший шлях – до НАДФ, якому він передає негативний заряд. У цьому випадку молекула хлорофілу, яка віддала електрон, заповнює електронну вакансію за рахунок іншої молекули пігменту, збудженого квантом світла. Коли електрон рухається на місце, що

звільнилось, утворюється АТФ, відбувається розклад молекул води і виділення кисню.



Електрони, які звільнились у процесі цієї реакції, заповнюють електронну вакансію другої молекули хлорофілу а ось протони Н рухаються до НАДФ і взаємодіють з ним:



Таким чином, в разі руху збуджених електронів від молекул-пасток по ланцюгу транспорту відбувається утворення АТФ і НАДФ Н – речовин, багатих енергією. Ось вони і використовуються безпосередньо у процесі синтезу органічних речовин із неорганічних, у так званих темнових реакціях фотосинтезу.

**167. Взимку нам здається, що ліс немає ознак життя. У цю пору року у рослин різко загальмований обмін речовин, інтенсивність дихання у 200-400 разів менше, ніж влітку, призупиняється видимий ріст. Однак процеси життєдіяльності протікають, і крохмаль перетворюється у цукри й жири, а цукор витрачається у процесі дихання. Як ви вважаєте, чи можливий процес фотосинтезу в рослин взимку? (Зважте на те, що це не відноситься до листопадних рослин, а мова йде про хвойні дерева і деяких кущах, які зберегли свій фотосинтетичний апарат).**

**Відповідь.** Так можливий. Вчені встановили, що озимі злаки, хвойні і деякі листяні вічнозелені рослини засвоюють вуглекислий газ навіть при температурі -1-5°C. Використання методу мічених атомів дозволило вченим більш детально з'ясувати це питання. Так, при зниженні температури до -12°C швидкість фотосинтезу у різних рослин знижувалась у 3-17 разів. Найбільш стійкими виявились Ялина звичайна, Сосна звичайна, Ліннея північна - низькорослий кущ, лишайник – Леканора темна. Деякі мохи продовжували засвоювати вуглекислий газ навіть при температурі -14°C, причому цей процес протікав успішно під порівняно товстим сніговим покривом, який досягав 26 сантиметрів. Хоча інтенсивність світла, що проникало через такий шар снігу, послаблювалась приблизно у 20 разів, швидкість фотосинтезу і у вкритих й не вкритих снігом рослин майже однакова. Цей дивний факт можна пояснити таким чином: під снігом рослини знаходились у більш сприятливих температурних умовах, які і дозволили їм компенсувати падіння фотосинтезу, яке було викликано зниженням освітленості. Ці досліді переконливо свідчать про те, що в умовах тривалої зими фотосинтез не лише можливий, але й необхідний для нормального енергозабезпечення зимових зелених рослин.

**167. Які можливі способи захисту клітин рослин від температурного ушкодження?**

**Відповідь.** Різноманіття температурних умов на Землі призвело до виникнення екологічних груп рослин, які по-різному пристосувалися до дії цього фактору.

Розрізняють пристосованість двох типів:

- пристосованість до перенесення короткотривалого впливу крайніх температур і «незвичних» для даної рослини;
- пристосованість до постійного впливу високих або низьких температур, характерного для природного місця зростання рослин.

У разі значних відхилень від «звичних» температур рослини гинуть. За низьких негативних температур всередині клітин або у міжклітинному просторі починається утворення льоду. Кристали льоду, що ростуть всередині клітини пошкоджують мембрану, від чого порушується вибіркова проникність клітини, мембранопов'язані білки і метаболіти виходять у цитоплазму і неконтрольовано взаємодіють між собою. Що приводить до дезорганізації всіх життєвих процесів. Кристали льоду, які утворюються між клітинами, відтягують воду з клітин, внаслідок чого скорочується клітинний об'єм, клітина натягується між цитоплазмою, яка стягується, і клітинною стінкою і лопається.

Високі температури також впливають головним чином на мембрани, при цьому порушуючи їх проникність для різних речовин, із «клітинних депо» в цитоплазму виходять ферменти, гідролізуючі білки, і аміак, який при цьому виділяється, згубно впливає на клітину. До дії високих температур дуже чутливі фотосинтезуюча система й дихальні ферменти. Фотосинтез придушується, дихання посилюється.

Захист клітин від таких пошкоджень здійснюється на фізіолого-біохімічному рівні. При екстремальних високих температурах у клітин рослин призупиняється основний синтез і починають синтезуватися так звані білки теплового шоку. Припускають, що вони оберігають клітину від перегрівання, перешкоджаючи руйнуванню мембран, розпаду основних клітинних білків. Такі ж самі білки-захисники з'являються і при низьких температурах. Починають синтезуватися осмотично активні речовини. Мембрани клітин теж здатні швидко перебудовуватися: при низьких температурах вони стають більш текучими, а при високих, навпаки, жорсткими, що дозволяє зберегти цілісність клітини.

У рослин, які ростуть у північних широтах, пристосованість до перенесення низьких температур обумовлена особливою структурною організацією клітини. Клітини паренхіми у північних рослин містять різноманітні включення: олії, слиз, цукри, інулін – справжні «рослинні антифризи», які упереджують утворення криги у клітині.

Стовпчастій асиміляційній тканині північних рослин притаманна дрібноклітинність, що також має пристосувальне значення. Як відомо, у дрібних клітин відношення площі поверхні до об'єму більше, ніж у великих клітин, тому в разі зниження температури дрібні клітини можуть швидко зневоднитися, і крига у них не утвориться. До того ж ці клітини мають жорстку і товсту клітинну стінку, що перешкоджає стисканню протопласта і пошкодженню мембрани, що може відбутися в разі втрати води. У північних рослин каналці плазмодесм клітин, в разі зниження температури, здатні швидко закриватися спеціальними білками, що також упереджує утворення криги (при відкритих каналцях, у випадку виникнення центру кристалізації

в одній клітині, крига швидко утворюється у всіх клітинах тканини). Крім того, у цитоплазмі між мікрофіламентами утворюються додаткові точки скріплення, тобто збільшується кількість комірок, заповнених «антифризами», тому центр кристалізації не виникає, і вода переходить у скловидний стан. Всі ці способи пристосування реалізуються у різних організмів у різній мірі.

У рослин, які ростуть у кліматичних зонах з високими температурами, також є низка пристосувань. У них, як правило, дуже розвинені механічні й провідні тканини. Клітини епідермісу виділяють на поверхню листка воскову речовину, яка утворює захисний шар – кутикулу. Цитоплазма клітин відрізняється великою в'язкістю. Фотосинтетична і дихальна системи термостійкі. Зовнішні лусочки бруньок дуже щільні, шкірясті, що захищає чутливі молоді клітини, які активно діляться, від впливу високих температур.

Усі пристосування рослин, які ростуть в умовах високих чи низьких температур, краще було б назвати не захисними, а адаптаційними, тому що дані температури навіть необхідні для існування багатьох з цих «екстремальних» рослин.

### *Обмін речовин і енергії*

**168. При окисненні 1 г жиру вивільняється 38,9 кДж енергії, а при окисненні 1 г вуглеводів – 17,6 кДж. Поясніть, чому при окисненні органічних сполук вивільняється енергія? Використайте знання про будову молекул цих речовин.**

*Відповідь.* Електрони у складі молекул органічних сполук мають значний запас енергії, вони ніби підняті на вищий енергетичний рівень. Енергія вивільняється у той час, коли електрони переміщуються з вищого рівня на нижчий у своїй чи іншій молекулі або атомі, які здатні бути приймачами електронів. Таким приймачем електронів є кисень. У цьому й полягає його головна біологічна роль.

Вільного ж кисню в клітинах практично немає, оскільки, потрапивши в клітину, він одразу ж вступає в реакцію окиснення. Це й має велике біологічне значення, тому що кисень хімічно дуже активний і діє згубно на живу матерію.

**169. Окиснення глюкози може відбуватися як при горінні, так і у живому організмі. Перелічіть риси подібності і відмінності цих процесів.**

*Відповідь.* Подібним у цих процесах є те, що кінцевими продуктами є вуглекислий газ і вода. Але процес окиснення глюкози у живому організмі суттєво відрізняється від її горіння. Так, процеси біологічного окиснення проходять поетапно, з участю ряду ферментів. При згоранні органічних речовин майже вся енергія виділяється у вигляді теплоти. При окисненні глюкози в живому організмі близько 50% енергії перетворюється в енергію АТФ, а також інших молекул – носіїв енергії. Інші 50% окиснення перетворюються в теплоту. Оскільки ферментативні процеси окиснення проходять поетапно, теплова енергія виділяється поступово і встигає

розсіюватись у зовнішньому середовищі, не пошкоджуючи чутливих до нагрівання білків та інших речовин клітини.

**170. Відомо, що зниження температури до 10°C уповільнює швидкість більшості хімічних реакцій у 2-3 рази (правило Вант-Гоффа). А у людини це приводить до катастрофічних наслідків. Наприклад, небезпечним є навіть короткочасне зниження температури тіла замерзаючої людини до 15-20°C. Але ж відповідно правилу Вант-Гоффа при цьому хімічні реакції лише уповільнюються у декілька разів. Якими ж причинами викликаються важкі наслідки зниження температури тіла людини?**

*Відповідь.* Всі хімічні реакції, які відбуваються в живому організмі залежать від температури. У холонокровних тварин інтенсивність процесів перетворення енергії збільшується пропорційно зовнішній температурі у відповідності з правилом Вант-Гоффа. Це правило частково стосується і теплокровних, але така залежність маскується у них іншими ефектами. Для підтримання постійної температури тіла, теплопродукція повинна відповідати тепловіддачі. При охолодженні організму тепловіддача збільшується.

Необхідна додаткова теплопродукція забезпечується такими способами:

- довільна активність локомоторного апарату;
- прискорення обмінних процесів, не пов'язаних з скороченням м'язів;
- звуження периферичних кровоносних судин і зниження потовиділення.

Названі механізми ефективні лише в певних рамках зміни температури. У цьому випадку патологічних порушень не спостерігається – організм сам регулює свій стан.

Перейдемо до розгляду гіпотермії. Переглядаючи безпосередньо гіпотермію, будемо звертатися до вищеназваних нормальних механізмів підтримання температури тіла і побачимо, що саме вони в більшості випадків викликають патологію.

Чому ж організм людини неспроможний перенести зниження температури на 20°C ? Так, спочатку в охолодженому організмі процеси терморегуляції включаються на повну потужність (фаза компенсації): активізується ЦНС, інтенсивно виділяються гормони гіпоталамусом, гіпофізом і наднирниками, відбувається мобілізація депонованих ліпідів і глікогену. Але ресурси цих молекул – регуляторів обмежені, і з подальшим зниженням температури швидкість процесів обміну знижується. Однак забезпечити адекватне уповільнення всіх біохімічних реакцій у рівній мірі неможливо. Наступає фаза декомпенсації, під час якої відбуваються численні серйозні (незворотні) зміни в організмі. На цій стадії спостерігається виснаження клітин нервової системи і ендокринних залоз. Енергетичні ресурси вичерпуються, пригнічується мікросомальне окиснення субстратів, як наслідок – знижується теплоутворення. Відмічається підвищене утворення продуктів перекисного окиснення ліпідів, порушення проникності мембранних структур. Знижується тонус артеріальних судин, падає середній



капілярний тиск, шунтується кровоток через артеріовенозні анастомози. Ефективність роботи серця знижується через зменшення притоку крові і внутрішньоклітинних змін (при температурі тіла біля 28°C людина може загинути через фібриляції серця). Підвищене виведення нирками K, Na, Ca порушує водно-сольову рівновагу, склад крові, міжклітинних і внутрішньоклітинних рідин. Поглиблюється гіпоксія, накопичується молочна кислота.

**171. У звивистих каналцях нирок при утворенні вторинної сечі відбувається обернене всмоктування глюкози і йонів натрію у кров. Який механізм має місце при зворотному русі йонів? Який вид транспорту речовин має місце в цьому процесі?**

*Відповідь.* У цьому процесі має місце такий вид транспорту речовин як фільтрація. Фільтрація – це явище, яке відбувається при різниці тиску руху молекул через мембрану, в напрямі протилежному осмотичному тиску. У нирках відбувається фільтрація крізь стінки тоненьких капілярів.

**172. Відомо, що йонів натрію ззовні клітини більше, ніж всередині, а йонів калію навпаки. Який механізм має місце при зворотному русі йонів? Яка речовина бере участь у цьому процесі і чому?**

*Відповідь.* Встановлено, що в клітинах з обох боків плазматичної мембрани підтримується різниця потенціалів. Усередині клітини переважають йони (K<sup>+</sup>) і хлорид-йони (Cl<sup>-</sup>), а ззовні – йони натрію (Na<sup>+</sup>). Ці йони можуть пасивно дифундувати через плазматичну мембрану, але в нормі, за рахунок енергії, який забезпечується процесом дихання відбувається їх активний транспорт.

У плазмалемі більшості клітин діє натрій-калієвий насос (НКН), який активно викачує йони натрію з клітини і вводить до неї йони калію. Такий насос діє завдяки енергії АТФ. Більше третини АТФ, яка поглинається тваринною клітиною у стані спокою, витрачається на перенесення йонів Na і K. Це необхідно для збереження клітинного об'єму, підтримки електричної активності в нервових і м'язових клітинах та для активного транспорту деяких інших речовин – цукрів і амінокислот.

Натрій-калієвий насос являє собою білок, який пронизує всю товщину мембрани. З внутрішнього боку мембрани до нього надходить Na і АТФ, а ззовні – калій. Перенесення Na і K через мембрану здійснюється завдяки зміні форми цього білка.

Одночасно цей білок діє і як АТФ-гідролаза, каналізуючи гідроліз АТФ з вивільненням енергії, яка і приводить в рух насос. Цікаво, що на кожні два йони калію, що поглинаються припадає три виведених з клітин йони натрію. Тому вміст її стає більш від'ємним відносно зовнішнього середовища і по бокам мембрани виникає різниця потенціалів.

Сполуки та йони, необхідні для життєдіяльності клітини, а також продукти обміну, перетинають мембрану за допомогою дифузії, активного або пасивного транспорту, а також через пори в ній.

Дифузія різних речовин відбувається завдяки різниці концентрації речовин ззовні та всередині клітини і залежить від її проникності для них.

Вибірковість проникнення речовин через мембрани забезпечує процес пасивного транспорту, а саме:

- транспорт речовин з участю рухомих білків-переносників, які на одній поверхні мембрани приєднують транспортну речовину, а на іншій вона звільняється;
- перенесення речовин за рахунок зміни конфігурації внутрішніх білків, що перетинають мембрану, наприклад, коли молекула білка обертається навколо своєї осі.

Пасивний транспорт, як і дифузія, триває до тих пір, поки не зрівняються концентрації речовин ззовні та всередині клітини.

Біологічне значення механізму калієво-натрієвого насоса величезне, адже завдяки йому енергетично сприятливе (тобто за градієнтом концентрації) переміщення іонів Na в клітину полегшує енергетично несприятливий (проти градієнта концентрації) транспорт низькомолекулярних сполук (глюкози, амінокислот).

## Використана література

1. Алексеева Т.И. Урбоэкология / Т.И. Алексеева, Л.С. Белоконь, Е.З. Година - М.: Наука, 1990. 208 с.
2. Барна І.В. Біологія: довідник школяра та абітурієнта / І.В. Барна. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2016. 786 с.
3. Беляев Г.М. Глубоководные океанические желоба и их фауна / Г.М. Беляев – М.: Наука, 1989. 245 с.
4. Всесвятский Б.В. Системный подход к биологическому образованию в средней школе: кн. для учителя / Б.В. Всесвятский. – М.: Просвещение, 1985.
5. Гин А.А. 150 творческих задач для сельской школы: учеб.-методич. пособие / А.А. Гин, И.Ю. Андржеевская – М.: Народное образование, 2007. 234 с.
6. Гришко Т. Екологічні аспекти розділу «Людина» / Т. Гришко, І. Бичкова // Біологія і хімія. 1997. №2. С.26-27.
7. Елагина В.С. Биофизические задачи на уроках биологии. / В.С. Елагина, Т.В. Уткина // Биология в школе. 2009. №3. С.26-29.
8. Жиллов Ю.Д. Биология света / Ю.Д. Жиллов, Е.Н. Назарова // Биология в школе. 2009. №4. С. 9-15.
9. Зуев Г.В. Живые ракеты / Г.В. Зуев – Киев.: Наукова думка, 1970. 81 с.
10. Иваницкий Г.Р. Мир глазами биофизика / Г.Р. Иваницкий – М.: Педагогика, 1985. 250 с.
11. Истмэн Т.Д. Антарктические рыбы / Т.Д. Истмэн, А.Я. Де Фриз // В мире науки. 1987. №1. С.28-36.
12. Краткая медицинская энциклопедия в 2-х т. под ред. акад. РАМН В.И. Покровського, Москва «Медицинская энциклопедия», «Крон-пресс», 1994. 658 с.
13. Наумов Н.П., Зоология позвоночных. Т.1. / Н.П. Наумов, Н.Н. Карташов - Издательство «Высшая школа», М., 1979. 567 с.
14. Петрова Е.Б. Интеграция в науке и образовании: история и современность / Е.Б. Петрова // Физика в школе. 2007. №3. С.13.
15. Пинкин С.А. Жидкие кристаллы / С.А. Пинкин, Л.М. Блинов – М.: Наука, 1982. 208 с.
16. Протасов В.Р. Голоса в мире безмолвия / В.Р. Протасов, И.Д. Никольский - Издательство «Пищевая промышленность», М., 1989. 68 с.
17. Рева Ю. Людина – невичерпний об'єкт фізики / Ю. Рева, Є. Семенов // Фізика. 2004. №3. С.2-7.
18. Стишковская Л.Л. О чем говорят животные. 2-е изд. перераб. – М.: Агропромиздат, 1989. – 192 с.
19. Сугаков В.Й. Фізика рідкокристалічного стану / В.Й. Сугаков – К.: Вища школа, 1992. 58 с.

20. Теремов А.В. Интегративный потенциал биологического образования / А.В. Теремов // Биология в школе. 2009. №4. С.23-25.
21. Физиология человека в 3-х т., под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса, Москва.: Мир, 1996. 890 с.
22. Шаскольская М.П. Кристаллы / М.П. Шаскольская – М.: Наука, 1978. 208 с.