

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ ПІДСУМКОВОГО МОДУЛЬНОГО
КОНТРОЛЮ ЗІ СТУДЕНТАМИ МЕДИЧНИХ 1, 2, 3, 4 ТА ФПЛЗСУ
ФАКУЛЬТЕТІВ**

1. Класифікація явищ. Ймовірність випадкових явищ, теорема додавання ймовірностей.

Явища можна поділити на 3 типи:

- Достовірні – ті, які відбуваються завжди
- Неможливі – ті, які ніколи не мають місця
- Випадкові – ті, які можуть виникати або не виникати при виконанні певного комплексу умов.

Ймовірністю $P(A)$ випадкової події A (статистичне визначення) називається границя, до якої наближається частота події A при необмеженому зростанні повного числа випробувань, тобто

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m(A)}{n}$$

Ймовірністю події A (класичне визначення) називають відношення кількості сприятливих для цієї події випадків до загального числа випадків, що можуть реалізуватися;

$$P(A) = \frac{m(A)}{n}$$

Об'єднання двох випадкових подій A_1 і A_2 – це така подія A , при якій відбувається хоча б одна з цих подій, тобто A_1 або A_2 . Символічно позначають: $A_1 \cup A_2$. Ймовірність об'єднання подій залежить від їхньої сумісності.

Події називаються **несумісними**, якщо поява однієї з них виключає появу іншої в одному і тому ж досліді; в протилежному випадку – події **сумісні**.

Теорема додавання ймовірностей для несумісних подій. Ймовірність об'єднання двох випадкових несумісних подій дорівнює сумі ймовірностей кожної події окремо, тобто

$$P(A_1 \text{ або } A_2) = P(A_1 \cup A_2) = P(A_1) + P(A_2).$$

Теорема додавання ймовірностей для сумісних подій.

$$P(A_1 \text{ або } A_2) = P(A_1) + P(A_2) - P(A_1 \text{ і } A_2).$$

Сума ймовірностей протилежних подій дорівнює одиниці.

2. Теорема множення ймовірностей для незалежних випадкових явищ, умовна ймовірність, теорема множення ймовірностей для залежних випадкових явищ.

Перетином (добутком) подій A і B називається така подія, при якій одночасно реалізується випадкова подія A і випадкова подія B . Символічно позначають $A \cap B$.

Подія A називається **незалежною** від події B , якщо ймовірність появи події A не залежить від того, реалізувалась подія B чи ні. В протилежному випадку подія називається **залежною**. Для залежних подій користуються поняттям **умовної ймовірності $P_A(B)$** – ймовірність реалізації події B , за умови, що подія A відбулася.

Теорема множення ймовірностей для незалежних випадкових явищ:

Ймовірність перетину двох незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій, тобто

$$P(A_1 \text{ і } A_2) = P(A \cap B) = P(A) * P(B).$$

Теорема множення ймовірностей для залежних випадкових явищ:

Ймовірність перетину двох залежних подій дорівнює добутку умовної ймовірності $P_A(B)$ на ймовірність $P(A)$ реалізації події A , тобто:

$$P(A \cap B) = P(A) * P_A(B).$$

3. Розподіл випадкових явищ, математичне очікування, дисперсія,

середнє квадратичне відхилення.

Випадкові явища бувають:

- **Дискретними**, тобто такими, які набувають зліченої множини значень і їх можна пронумерувати
- **Неперервними**, тобто такими, які набувають будь-яких значень заданому скінченному або нескінченному інтервалі.

Математичне очікування дискретної випадкової величини X називається сума добутків всіх можливих значень величини X на відповідні ймовірності:

$$M(X) = \sum_{i=1}^n P_i X_i = P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_n X_n$$

Математичне очікування дискретної випадкової величини X при достатньо великому числі випробувань приблизно дорівнює середньому її значенню.

Дисперсією D(X) випадкової величини X називається математичне очікування квадрата відхилення випадкової величини X від її математичного очікування:

$$D(X) = M[(X - M(X))^2], \text{ або } D(X) = M(X)^2 - M^2(X).$$

Отже, дисперсія – це різниця математичного очікування квадрата випадкової величини і квадрата математичного очікування цієї величини.

Середнє квадратне відхилення пов'язане з дисперсією формулою:

$$\sigma = \sqrt{D(X)}$$

Видно, що розмірність σ співпадає з розмірністю самої випадкової величини X.

4. Основні закони розподілу випадкових величин (нормальний закон, розподіл Пуассона, біноміальний розподіл та інші).

Нормальний розподіл (розподіл Гаусса). Закон розподілу випадкової величини X називається нормальним, якщо щільність розподілу дорівнює

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Розподіл Пуассона. Для визначення ймовірності того, що подія, ймовірність якої мала ($p < 0,1$), відбудеться m разів у серії з n випробувань (n достатньо велике) використовують формулу Пуассона:

$$P_n(m) = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda},$$

де $\lambda = np$ – середнє значення числа випадків, в яких реалізується дана подія.

Біноміальний розподіл. є дискретним ймовірним розподілом, що характеризує кількість успіхів в послідовності експериментів, значення яких змінюється за принципом так/ні, кожен з яких набуває успіху з ймовірністю p . Ймовірність цих значень визначаються за формулою Бернуллі:

$$P_x(m) = C_n^m p^m q^{n-m},$$

де p – ймовірність появи події A в одному досліді; $q = 1 - p$ – ймовірність того, що подія A не з'явиться в одному досліді; C_n^m – число можливих сполучень із n елементів по m :

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

Отже, біноміальним називають розподіл ймовірностей, які визначаються формулою Бернуллі.

5. Деформації, їх види. Пружність та пластичність. Закон Гука. Модуль Юнга. Коефіцієнт Пуассона. Деформаційні властивості біологічних тканин.

Деформація — зміна розмірів і форми твердого тіла під дією зовнішніх сил (навантажень) або якихось інших впливів.

Види:

1. Лінійна
2. Деформація зсуву
3. Об'ємна деформація
4. Згин
5. Кручення
6. розтяг-стиск

Пружність — властивість тіл відновлювати свої форму й об'єм (тверді тіла) або лише об'єм (рідини й газу) після припинення дії зовнішніх сил (або причин, наприклад нагрівання), що спричинили їхню деформацію.

Пластичність — здатність матеріалу незворотно змінювати свою форму й розміри при деформації.

Закон Гука: напруження в пружно деформованому тілі прямо пропорційне до його відносних деформації.

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

σ — напруження розтягу-стиску,

ϵ — деформація розтягу-стиску в точці,

E — модуль Юнга

Модуль Юнга - відношення нормального напруження до відповідної лінійної деформації за лінійного напруженого стану до границі пропорційності.

Модуль Юнга для випадку розтягу-стискання стрижня осьювою силою розраховується наступним чином:

$$E = \frac{F/S}{\Delta l/l} = \frac{Fl}{S\Delta l},$$

F — осьова сила;

S — площа поверхні (перерізу), по якій розподілена дія сили;

l — довжина стрижня, що деформується;

Δl — модуль зміни довжини стрижня в результаті пружної деформації.

Коефіцієнт Пуассона — це міра зміни поперечних розмірів ізотропного тіла при деформації розтягу.

позначається грецькою літерою ν або грецькою літерою μ і є величиною безрозмірною.

Деформаційні властивості біотканин

Кістка поводить себе як "гуківське тіло", кістка краще "працює" на стиснення, ніж на розтяг. межа міцності **колагену** менша за межу міцності Кістки, деформація подібна до деформації кістки.

Еластинові волокна

Еластин являє собою гумоподібний матеріал, відрізняється значною розтяжністю та гнучкістю. Сітка легко деформується під впливом зовнішніх навантажень.

6. Поверхневий натяг. Коефіцієнт поверхневого натягу та методи його визначення. Газова емболія.

Поверхневий натяг — фізичне явище, суть якого в прагненні рідини скоротити площу своєї поверхні при незмінному об'ємі.

Коефіцієнт поверхневого натягу визначається як сила, що діє з боку рідини на одиницю довжини контуру, що її обмежує. Позначається маленькою літерою γ .

Одиниця вимірювання Н/м або дина/см.

Методи визначення поверхневого натягу:

1. Капілярний
2. Метод сталагмометра (відриву краплі)
3. Метод відриву кільця(пластинки)

Газова емболія – явище попадання бульбашки повітря в кровоносну судину малого діаметру і закупорка її, тобто повна зупинка руху крові по судині.

7. Внутрішнє тертя. В'язкість. Формула Ньютона для внутрішнього тертя. Ньютонівські та неньютонівські рідини. В'язкість крові.

Внутрішнє тертя — властивість рідких речовин чинити опір переміщенню однієї відносно іншої. Одиниця вимірювання динамічного коефіцієнта в'язкості — Пуаз.

В'язкість – динамічна властивість, яка характеризує здатність тіла протидіяти зміні його форми при її тангенціальних напружень.

Формула Ньютона для внутрішнього тертя:

$$\frac{F\tau}{S} = \eta \frac{dv}{dy} \quad \text{або} \quad F\tau = \eta S \frac{dv}{dy}$$

Для **ньютонівських рідин** коефіцієнт в'язкості η залежить тільки від температури і природи рідини і не залежить від умов течії (розчин електролітів, ртуть, гліцерин, спирти).

Для **неньютонівських рідин** коефіцієнт в'язкості залежить від умов течії, а саме – змінюється зі зміною швидкості деформації зсуву dv/dy в результаті зміни внутрішньої структури, зумовленої напругою зсуву при течії рідини (розчини білків, полімерів, деякі суспензії).

В'язкість крові:

Кров є суспензією формених елементів у водному колоїдному розчині – плазмі, сумарна концентрація білків у яких становить 6-9%.

В'язкість крові визначається показником гематокриту, який дорівнює відношенню формених елементів крові V_{ϕ} до об'єму плазми крові $V_{пл}$:

$$He = \frac{V_{\phi}}{V_{пл}}$$

Коефіцієнт в'язкості крові пов'язано з показником гематокриту:

$$\eta = \eta_0 \times (1 + \alpha He)^{\beta} \quad \text{або} \quad \eta = \eta_0 \times e^{\gamma He}$$

де η_0 – в'язкість плазми, α, β, γ – емпіричні константи, значення яких залежить від концентрації і форми суспендованих елементів.

Кров відноситься до не ньютонівських рідин.

8. Стаціонарний плин рідин. Рівняння неперервності. Лінійна та об'ємна швидкості. Основне рівняння динаміки рідин.

Стаціонарний плин рідини – плин рідини, при якому траєкторії частинок залишаються не змінними. Швидкість частинки може змінюватися при її русі вздовж лінії течії, але в кожній точці лінії течії вона не змінюється за величиною і напрямком.

Рівняння нерозривності струменя. Розглянемо стаціонарну течію рідини. Позначимо через v середню швидкість течії рідини для довільно обраного перерізу S трубки струму. Маса рідини, що протікає через цей переріз за одиницю часу,

залишається постійною, через те що рідина не розривається і не стискається у звичайних умовах, тобто

$$dm/dt = \text{const}$$

Оскільки $dm = \rho S v dt$, з рівняння отримаємо:

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

Для рідини, що не стискається ($\rho = \text{const}$), рівняння нерозривності встановлює зв'язок між площею перерізу струменя і середньою швидкістю течії рідини:

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

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Величина $Q = dV/dt = S v$ [м³/с], яка дорівнює об'єму рідини, що протікає через переріз трубки потоку за одиницю часу, називається об'ємною швидкістю течії рідини. При стаціонарній течії вона залишається величиною постійною.

При русі крові по еластичних судинах, внаслідок їх деформації при зміні тиску, лінії потоку залишаються постійними. У цьому випадку рівняння нерозривності потоку може бути представлено таким чином:

$$dV/dt = Q_1(t) - Q_2(t), \quad \text{або} \quad \Delta V = \int [Q_1(t) - Q_2(t)] dt$$

де $Q_1(t)$ і $Q_2(t)$ – відповідно приплив і відтік крові для ділянки судини.

Лінійна швидкість кровотоку – відстань, яку долає будь-яка часточка крові за одиницю часу (см/с), залежить від об'ємної швидкості кровотоку і площі поперечного перерізу судин/

Об'ємна швидкість кровотоку – кількість (об'єм) крові, що проходить через певну судину за одиницю часу (мл/с, л/хв).

Основне рівняння динаміки рідин – рівняння Бернуллі

$$w = \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const}$$

Фізичний зміст рівняння Бернуллі полягає в тому, що об'ємна густина енергії в ідеальній рідині при її стаціонарному потоку залишається величиною постійною.

$\rho v^2 / 2$ – динамічний тиск, ρgh – гідростатичний тиск, P – статичний тиск

9. Ламінарний та турбулентний плин. Число Рейнольдса. Рівняння Бернуллі. Плин в'язких рідин. Формула Пуазейля. Гідрравлічний опір.

Течія, що відбувається без утворення вихорів, називається ламінарною.

Турбулентний плин – рух рідини, при якому поле швидкостей і лінії течії змінюються з часом (утворюються вихри)

Число Рейнольдса (Re) – характеристичне число та критерій подібності у гідродинаміці, що базується на

відношенні інертності руху течії флюїда до його в'язкості.

$$Re = \frac{\rho u l}{\eta} = \frac{u l}{\nu}$$

Рівняння Бернуллі:

$$w = \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const}$$

Фізичний зміст рівняння Бернуллі полягає в тому, що об'ємна густина енергії в ідеальній рідині при її стаціонарному потоку залишається величиною постійною. Зауважимо, що розмірність об'ємної густини енергії дорівнює $[w] =$

$[E]/[V] = \text{Дж}/\text{м}^3 = \text{Н}/\text{м}^2$, тобто вона співпадає з розмірністю тиску $[P] = \text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$. Тому в гідравліці компоненти об'ємної густини енергії w називають: $\rho v^2 / 2$ – динамічним, ρgh – гідростатичним, P – статичним тиском.

Для в'язких рідин коефіцієнт в'язкості залежить від умов течії, а саме – змінюється зі зміною швидкості деформації зсуву dv/dy в результаті зміни внутрішньої структури, зумовленої напруженою зсуву при течії рідини. Плин в'язких рідин ідентичний плину будь-якої не ньютонівської рідини.

Закон Пуазейля – фізичний закон, що встановлює для ламінарної течії зв'язок між середньою швидкістю протікання рідини через капіляр та в'язкістю флюїду у залежності від перепаду тиску:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 \eta L}$$

де Q – об'єм флюїду, що протікає в одиницю часу (об'ємна витрата) через капіляр радіусом R та довжиною L при різниці тисків на кінцях капіляра $\Delta p = p_1 - p_2$, η – коефіцієнт динамічної в'язкості.

Гідрравлічний опір – сили тертя, які виникають в рідині при її русі й спричиняють втрати напору (тиску) або опір руху тіла з боку оточуючої його рідини:

$$F = C_x \cdot \left(\frac{\rho V^2}{2} \right) \cdot S,$$

де:

ρ – густина рідкого середовища;

V — швидкість;
 S — характерна для даного тіла площа.

10. Основні положення рівноважної термодинаміки. Ентропія. Принцип Больцмана. Значення термодинаміки в проблемі охорони навколишнього середовища.

Термодинаміка — розділ теоретичної фізики, що стосується законів явищ поширення та збереження тепла.
Перший закон термодинаміки стверджує, що надана термодинамічній системі кількість теплоти дорівнює сумі роботи, виконаної системою над зовнішніми тілами, та зміни внутрішньої енергії системи: $Q = A + \Delta U$, де Q — кількість теплоти, ΔU , A — робота. Встановлений експериментально перший закон термодинаміки є термодинамічним формулюванням закону збереження енергії.

Другий закон термодинаміки є твердженням про те, що термодинамічна система прагне до збільшення ентропії. Другий закон термодинаміки стверджує, що при такій еволюції значення ентропії може лише зростати: $\delta S > 0$. Наслідком другого закону термодинаміки є неможливість перетворення всього тепла у роботу.

Третій закон термодинаміки (теорема Нернста) стверджує те, що при нульовій температурі ентропія термодинамічної системи має мінімальне значення.

Ентропія - термодинамічна величина, міра розсіювання тепла. Внаслідок ентропії, частина енергії термодинамічної системи, не може бути використана для виконання роботи, оскільки пов'язана з незворотними процесами розсіювання. Вона також є мірою безладу в термодинамічній системі.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Принцип Больцмана - загальна енергія газу, що визначається як сума кінетичних енергій атомів, дорівнює певній величині (принцип суперпозиції).

$$S = k_B \ln \Omega$$

де константа $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К відома тепер як стала Больцмана, а Ω є числом мікроскопічних станів, можливих у заданому макроскопічному стані.

11. Основні положення нерівноважної термодинаміки (лінійний закон, виробництво ентропії, спряження потоків). Стаціонарний стан відкритих систем. Теорема Пригожина.

Лінійний закон зв'язує потоки і термодинамічні сили, він формулюється так: *Потоки являють собою лінійні функції термодинамічних сил в відкритих системах, що знаходяться поблизу рівноваги:*

$$I_i = \sum_k L_{ik} X_k$$

Де L_{ik} - кінетичні коефіцієнти. Основною термодинамічною характеристикою в нерівноважній термодинаміці являється швидкість виробництва (продуктування) ентропії в часі. В загальному випадку ентропія системи складається з двох частин: dS_i - зміна ентропії, зумовлена необоротними процесами в системі; dS_e - потік ентропії, зумовлений взаємодією з оточуючим середовищем, так що $dS = dS_i + dS_e$. Феноменологічна теорія лінійних необоротних процесів була розроблена на початку 30-х років Л. Онзагером. Основне рівняння цієї теорії виражає швидкість виробництва ентропії в одиниці об'єму системи:

$$\sigma = 1/V * dS/dt = 1/T * \sum_i X_i I_i$$

де X_i - термодинамічні сили, які діють в системі. Це інтенсивні фактори, різноманітні градієнти (температури, тиску, концентрації, хімічного потенціалу), її потоки викликані цими силами. В ізолюваній системі виробництво ентропії завжди додатне $\sigma \geq 0$, $I_i X_i + I_j X_j \geq 0$. Суттєво те, що окремі члени цієї суми можуть бути від'ємними.

Спрямованість потоків називається таке співвідношення між ними, при якому додатне виробництво ентропії від одного потоку компенсує зменшення ентропії від другого потоку, який був би неможливий в ізолюваній системі. А приклад можна розглядати явище термодифузії в посудині, що містить однорідну суміш двох газів. Внаслідок різниці температур відбувається розділення суміші - у більш гарячій стінки посудини зростає концентрація одного з газів, у більш холодній - другого. Причому рух молекул газу може відбуватися в напрямі зростання концентрації, що неможливо при звичайній дифузії.

Стаціонарний стан - це такий стан системи, в якому параметри не змінюються з часом, але в різних частинах системи можуть відрізнятися, тобто в таких системах існують і постійно підтримуються градієнти параметрів. Це можливо тільки за рахунок потоку енергії або речовини з оточуючого середовища. Наприклад, Na - K насос.

Теорема Пригожина:

в стаціонарному стані при фіксованих зовнішніх параметрах швидкість виробництва ентропії в системі постійна в часі і мінімальна по величині.

12. Структурна організація біологічних мембран. Фізичні властивості біомембран. Рідкокристалічний стан біомембран. Динамічні властивості мембран.

Біомембрана - тонка напівпроникна оболонка, яка відокремлює вміст клітини від навколишнього середовища, або від інших клітин.

Основними структурними компонентами біомембран є білки та ліпіди. Фосфоліпіди переважно організовані у плоский бішар (ліпідний матрикс), у який занурені численні білки, які утворюють рідинно-мозаїчну структуру (гідрофільні «голівки» обернені до зовнішнього та внутрішнього боку мембран, а гідрофобні неполярні «хвости» - всередину). Між молекулами білків або їхніми частинами часто є каналні. Молекули, які входять до складу біологічних мембран, здатні пересуватись, завдяки чому за незначних пошкоджень мембрани швидко оновлюються.

Рідкі кристали - це особливий стан деяких речовин, переважно органічних, яким притаманна текучість (як рідини), але молекули при цьому зберігають упорядкованість в розташуванні, що призводить до анізотропії ряду фізичних властивостей (як у кристалів) (бішар, наприклад).

Фізичні властивості:

1. Взаємодії:

- Ван-дер-Ваальсові

- Водневі

2. Обмежують рух ліпідів

3. Упорядковують структуру клітини

4. Збільшують в'язкість

5. Утворюють захисний покрив

6. Утворюють міжклітинні контакти

Динамічні властивості:

1. Латеральна дифузія – переміщення молекул вздовж мембрани

2. Внутрішня молекулярна рухомість:

А) коливний рух фосфоліпідів (n= 10-13)

Б) обертання хвоста відносно головки (n= 10-12)

В) обертальний рух молекул в цілому (n= 9-10)

Г) flip-flop – перехід ліпідів на інший бік бішару

13. Пасивний транспорт речовин крізь мембранні структури. Рівняння Фіка. Швидкість дифузії. Рівняння Нернста-Планка. Електрохімічний градієнт і потенціал. Рівняння Теорелла.

Пасивний транспорт відбувається мимовільно без затрати енергії шляхом дифузії, осмосу та полегшеної дифузії.

Рівняння Фіка: $J = -D \frac{dc}{dx}$, де D-коефіцієнт дифузії (знак "-" вказує на напрямок потоку від більших концентрацій до менших)

Швидкість протікання дифузії залежить від декількох факторів, а саме:

1. від стану речовини (твердої, рідкої чи газоподібної). Явище дифузії у твердих тілах проходить повільно і відбувається швидше при вищій температурі.

2. від температури. Чим вищою є температура речовини, тим швидше протікає явище дифузії.

Рівняння Нернста-Планка:

$$J = -D \left(\frac{dc}{dx} + \frac{zF}{RT} c \frac{d\phi}{dx} \right)$$

Для розведених розчинів:

$$j_{\text{ж}} = -URT \frac{dC}{dx} - UCZF \frac{d\phi}{dx}$$

Електрохімічний градієнт — градієнт електрохімічного потенціалу, зазвичай для іона, який може проникати через мембрану

Електрохімічний потенціал — термодинамічна функція, що характеризує стан якого-небудь компоненту, що складається із заряджених частинок (електронів, іонів), у фазі даного складу:

$$\mu_i = \mu_i^0 + z_i e \phi$$

де μ_i — хімічний потенціал i-того компоненту, z_i — заряд частинки, ϕ — електростатичний потенціал, e — елементарний заряд.

Рівняння Теорелла:

$$j_{\text{ж}} = -UC \frac{d\mu_i}{dx}$$

14. Активний транспорт, основні види. Молекулярна організація активного транспорту на прикладі роботи K-Na-насосу. Спряження потоків.

Активний транспорт – опосередкований транспорт біомолекул, неорганічних іонів та малих молекул через цитоплазматичну або будь-яку іншу мембрану клітини. На відміну від пасивного транспорту, цей процес вимагає витрат хімічної енергії у формі АТФ або різниці концентрацій іншої речовини з двох боків мембрани. У цій формі транспорту, молекули рухаються проти або електричного потенціалу, або концентраційного градієнту (електрохімічного потенціалу).

Види активного транспорту:

1. первинний (енергія АТФ безпосередньо використовується для перенесення бажаної молекули або іону через мембрану незалежно від будь-яких інших молекул) - **K-Na насос**, наприклад.

2. вторинний (вимагає використання дифузії іншої молекули через мембрану для того, щоб перенести бажану молекулу, енергія береться за рахунок різниці електрохімічних потенціалів інших молекул):

А) Антипорт. Під час антипорту, два різних іона або молекули проходять мембрану у протилежний напрямках

Б) Симпорт. дві солекули рухаються у одному напрямку

В) Уніпорт – транспорт однієї речовини в одному напрямку в залежності від градієнта.

Натрій-кальційний насос - фермент із групи транспортних **аденозинтрифосфатаз**, яка відповідає за перенесення іонів Na^+ та K^+ через клітинну мембрану.

15. Природа мембранного потенціалу спокою (рівноважні потенціали Нернста для різноманітних іонів, дифузійний потенціал, потенціал Доннана).

Рівноважний потенціал Нернста:

Якщо мембрана проникна для певних іонів, то рушійною силою пасивного транспорту іонів крізь мембрану є градієнт електрохімічного потенціалу. Дифузія крізь мембрану певних іонів триватиме доти, поки величина $d\mu/dx$ не перетвориться на нуль, тобто електрохімічні потенціали по обидві сторони мембрани стануть рівними між собою. Потік іонів крізь мембрану припиниться. Тоді рівноважна різниця потенціалів дорівнює

$$\mu_{0i} + RT \ln c_i + zF\phi_i = \mu_{0e} + RT \ln c_e + zF\phi_e$$

Оскільки хімічний потенціал розчинника залишається незмінним, то зрівняння випливає формула

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

Мембранний потенціал Нернста для іонів Калію $\phi_e - \phi_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_e}$

Для аксона кальмара:

$[K^+]_i = 392$ мМоль, $[K^+]_e = 22.4$ мМоль, $T = 293K$ ($= 20^\circ C$), тої з урахуванням числових значень констант $R = 8.3$ Дж/мольК, $F = 96500$ Кл/моль отримуємо $\varphi_e - \varphi_i \approx 73$ мВ

Дифузійний потенціал

При неоднорідності концентрацій для двох іонів при однакових градієнтах концентрації обидва типи іонів почнуть переміщатися проти концентраційного градієнта. Якщо наприклад рухливість аніона перевищує рухливість катіона, то в результаті виникає електричне поле, яке буде прискорювати позитивні іони і гальмувати негативні доти, поки швидкості обох іонів не стануть позитивними. При цьому на мембрані виникне різниця потенціалів, зумовлена різною рухливістю іонів, тобто дифузійний потенціал.

$$\varphi_e - \varphi_i = \frac{b_+ + b_- RT}{b_+ + b_- zF} \ln \frac{c_i}{c_e}$$

Отже, дифузійний мембранний потенціал визначений різними значеннями рухливості $b^+ \neq b^-$ та концентрації $c \neq c_e$ для іонів, що дифундують крізь мембрану.

Потенціал Доннана - різниця електричних потенціалів між розчинами електролітів, розділених проникною мембраною.

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{P(+)(c + \frac{\delta}{2}) + P(-)c}{P(+c + P(-)(c - \frac{\delta}{2})}$$

Якщо $P(+)=P(-)$, то :

$$\Delta\varphi = -\frac{RT}{zF} \frac{n\delta}{2c}$$

16. Природа мембранного потенціалу спокою (стаціонарний потенціал Гольдмана-Ходжкіна-Катца, умови стаціонарності, основні рівняння електродифузії іонів в стаціонарному стані, проникності мембрани для іонів в стані спокою).

Стаціонарний потенціал Гольдмана-Ходжкіна-Катца :

Повний потік, зумовлений потоками всіх йонів, дорівнює нулю, при чому кожен з потоків відмінний від нуля.

У теорії стаціонарного потенціалу, розвиненої Д. Гольдманом, А. Ходжкіним і Б. Катцем, враховувалися внески в сумарний потік лише одновалентних іонів натрію, калію і хлору.

Розраховуючи мембранний потенціал, що виникає за цих умов, автори виходили з таких положень:

1) здійснюється умова стаціонарності

$$\Phi = \sum \Phi_i = 0;$$

2) у мембрані спостерігається сталість градієнта електричного потенціалу

$$\frac{d\varphi}{dx} = \text{const};$$

3) потік кожного сорту іонів підпорядковується рівнянню Нернста-Планка

$$\Phi_i = -D_i \nabla c_i - c_i b_i \nabla \varphi, \quad (5.57)$$

де i - індекс сорту іонів, $i = Na^+, K^+, Cl^-$.

$$(\varphi_e - \varphi_i)_{\text{стат}} = \frac{RT}{Fz} \ln \frac{P_{Na} [Na^+]_i + P_K [K^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_e}{P_{Na} [Na^+]_e + P_K [K^+]_e + P_{Cl} [Cl^-]_i}, \quad (5.58)$$

де P_{Na} , P_K , P_{Cl} - проникності мембрани для відповідних іонів. Це і є формула для *стаціонарного потенціалу Гольдмана-Ходжкіна-Катца*, яку ще називають *рівнянням Гольдмана*. Це рівняння значно краще узгоджується з експериментальними даними, ніж рівняння Нернста (див. рис. 5.32). Легко переконатись, що рівняння Нернста є частинним випадком рівняння Гольдмана. Дійсно, в спокої у гігантському аксоні кальмара $P_{Na}:P_K:P_{Cl} = 1:0,04:0,045$, тобто $P_K \gg P_{Cl}$, $P_K \gg P_{Na}$. У цьому випадку

$$(\varphi_e - \varphi_i)_{\text{стат}} = \frac{RT}{Fz} \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_e} = (\varphi_e - \varphi_i)_{\text{Нернста}} \quad \text{для іонів } K^+.$$

Формула стаціонарного потенціалу:

$$(\varphi_e - \varphi_i)_{\text{стац}} = \frac{RT}{Fz} \ln \frac{P_{\text{Na}}[\text{Na}^+]_i + P_{\text{K}}[\text{K}^+]_i + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}^-]_e}{P_{\text{Na}}[\text{Na}^+]_e + P_{\text{K}}[\text{K}^+]_e + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}^-]_i},$$

тобто шукану формулу для стаціонарного потенціалу.

У стані спокою мембрана стає непроникною для йонів.

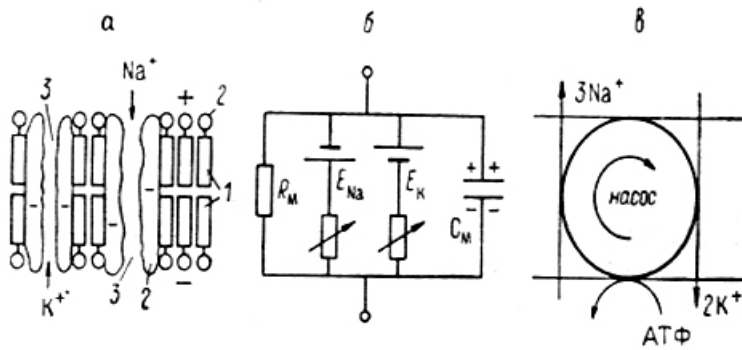
17. Потенціал дії (ПД). Гіпотеза виникнення ПД. Еквівалентна електрична схема мембрани. Феноменологічні рівняння Ходжкіна-Хакслі.

Поняття про воротні іонні струми.

Потенціал дії (ПД) — це короточасні амплітудні зміни мембранного потенціалу спокою (МПС), що виникають при збудженні живої клітини. По суті це електричний розряд — швидка короточасна зміна потенціалу на невеликій ділянці мембрани збудливої клітини (нейрона або м'язового волокна), в результаті якого зовнішня поверхня цієї ділянки стає негативно зарядженою по відношенню до сусідніх ділянок мембрани, тоді як його внутрішня поверхня стає позитивно зарядженою по відношенню до сусідніх ділянок мембрани

По ходу ПД канали переходять зі стану в стан: у Na^+ -каналів основних стани три — закритий, відкритий і інактивований (в реальності все складніше, але цих трьох станів достатньо для опису), у K^+ каналів два — закритий і відкритий.

Еквівалентна електрична схема мембрани



Феноменологічні рівняння Ходжкіна-Хакслі

$$\dot{V}_m = -\frac{1}{C_m} \left(\sum_i I_i \right),$$

де I_i означає величину електричного струму, що генерується окремим видом іонів.

Електричний струм, що проходить через іонні канали, може бути математично виражений наступним рівнянням:

$$I_i(V_m, t) = (V_m - E_i)g_i,$$

де E_i — рівноважний потенціал i -го іонного каналу.

В термінах моделі Ходжкіна-Хакслі провідність потенціал-залежних каналів ($g_n(t, V)$) описується таким чином:

$$\begin{aligned} g_n(V_m, t) &= \bar{g}_n \varphi^\alpha \chi^\beta \\ \dot{\varphi}(V_m, t) &= \frac{1}{\tau_\varphi} (\varphi_\infty - \varphi) \\ \dot{\chi}(V_m, t) &= \frac{1}{\tau_\chi} (\chi_\infty - \chi), \end{aligned}$$

де φ та χ є константами швидкості реакції закриття та відкриття каналів, відповідно. Вони чисельно дорівнюють частці від максимальної можливої провідності через даний вид каналів, що наявна в кожний момент часу при кожній величині мембранного потенціалу. \bar{g}_n є максимальним можливим значенням провідності. α та β - константи, τ_φ та τ_χ - часові константи процесів активації та деактивації каналів, відповідно. φ_∞ та χ_∞ є стабілізованими значеннями φ та χ при величині часу, що прямує до нескінченності, і звичайно розраховуються з рівняння Больцмана як функція V_m .

для кожного значення мембранного потенціалу V_m , величина електричного струму описується наступним рівнянням:

$$I_n(t) = \bar{g}_n \varphi^\alpha \chi^\beta (V_m - E_n).$$

Воротний струм - зміщення негативного заряду всередині мембрани.

18. Поширення потенціалу дії в біологічних мембранах. Телеграфне рівняння. Швидкість поширення потенціалу. Особливості поширення потенціалу дії в мієліновому волокні.

Телеграфні рівняння - система диференціальних рівнянь з частинними похідними, що описують розповсюдження сигналу в довгій лінії. Характерною особливістю довгих ліній є те, що для них необхідно враховувати ефекти запізнювання - скінченну швидкість розповсюдження електромагнітного поля.

Телеграфні рівняння з урахуванням втрат мають вигляд:

$$\frac{\partial V(x,t)}{\partial x} = -L \frac{\partial I(x,t)}{\partial t} - RI(x,t)$$

$$\frac{\partial I(x,t)}{\partial x} = -C \frac{\partial V(x,t)}{\partial t} - GV(x,t)$$

де $I(x,t)$ - залежна від координати та часу сила струму в лінії, а $V(x,t)$ - різниця потенціалів між провідниками. Телеграфні рівняння належать до хвильових рівнянь. Швидкість розповсюдження сигналу в лінії, для якої можна знехтувати втратами, визначається розподіленими ємністю та індуктивністю і дорівнює:

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Особливості поширення потенціалу дії в мієліновому волокні

Аксони більшості соматичних нервів мієлінізовані. Лише дуже незначні їх ділянки, так звані перехоплення вузла (перехоплення Ранв'є), укріті звичайною клітинною мембраною. Такі нервові волокна характеризуються тим, що на мембрані лише в перехопленнях розміщені потенціал-залежні іонні канали. Крім того, ця оболонка підвищує електричний опір мембрани. Тому при зрушенні мембранного потенціалу струм проходить через мембрану перехоплювальної ділянки, тобто стрибками (сальтаторно) від одного перехоплення до іншого, що дозволяє збільшити швидкість проведення нервового імпульсу, яка становить від 5 до 120 м/с

19. Незатухаючі та вимушені коливання, диференційні рівняння та їх розв'язок. Резонанс. Автоколивання.

Незатухаючі коливання - це коливання, які продовжуються нескінченно довго, тобто передана при збудженні коливач енергія системи не змінюється (не розсіюється) з часом.

Вимушені коливання виникають в системах, які зазнають періодичної зовнішньої дії. Це може бути сила, напруга і т. ін. Диференціальне рівняння вимушених коливачів:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dy}{dt} + \frac{k}{m} \cdot y = \frac{F_0}{m} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Розв'язок :

$$y = C \cdot \sin(\omega t + \gamma)$$

Резонанс - явище сильного зростання амплітуди вимушеного коливання у разі, коли частота зовнішньої сили збігається з власною частотою коливачів.

$$I(\omega) \propto \frac{\Gamma/2}{(\omega - \omega_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$$

де ω — частота зовнішньої сили, ω_0 — частота власного коливання, Γ — стала затухання, яку називають також шириною лінії. Часто приводиться також $\gamma = \Gamma/2$ — півширина лінії.

Автоколивання — коливання, амплітуда і період яких залежать від властивостей самої системи і не залежать від початкових умов, наприклад від початкового запасу енергії. Цим автоколивання відмінні від власних і вимушених коливачів.

20. Затухаючі коливання. Диференційне рівняння затухаючих коливачів, його розв'язання. Коефіцієнт затухання, декремент і логарифмічний декремент.

Затухаючі коливання - коливання, енергія яких зменшується з плином часу.

Диференціальне рівняння затухаючих коливачів:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dy}{dt} + \frac{k}{m} \cdot y = 0$$

Розв'язання:

$$y = A_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Декремент затухання - величина, яка визначає швидкість зменшення амплітуди гармонічних коливачів з часом при затуханні.

$$D = \left(I_m e^{-\beta t} \right) / I_m e^{-\beta(t+T)} = e^{\beta T}$$

Логарифмічний декремент:

$$\Delta = \ln D = \beta T$$

21. Механічні хвилі. Рівняння хвилі. Потік енергії. Вектор Умова.

Механічна хвиля - процес розповсюдження коливального руху в середовищі.

Хвильові рівняння — рівняння, яке описує розповсюдження хвиль у просторі:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{s^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0,$$

$$u = u_0 \cos(kx - \omega t - \varphi),$$

де u_0 — амплітуда хвилі, k — хвильове число, ω — циклічна частота, φ — фаза хвилі.

Процес розповсюдження хвилі супроводжується переносом енергії коливань. Кількість енергії, що переноситься хвилею через поверхню S за одиницю часу, називають потоком енергії через дану поверхню

$$\Phi = \Delta E / \Delta t, [\Phi] = \text{Дж/с} = \text{Вт}.$$

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{wS\Delta t}{\Delta t} = wSv.$$

Вектор Умова чисельно дорівнює густині потоку енергії і збігається за напрямком з вектором швидкості розповсюдження хвилі.

$$W = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$

$$W = m \frac{A^2 \omega_0^2}{2}$$

$$w = nW = \frac{nm}{2} A^2 \omega_0^2 = \frac{\rho}{2} A^2 \omega_0^2,$$

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

22. Акустика. Фізичні характеристики звуку. Фізика слуху, характеристики слухового відчуття. Закон Вебера-Фехнера.

Акустика — вчення про звук, тобто про пружні коливання та хвилі в газах, рідинах і твердих тілах, чутних людським вухом (частоти таких коливань знаходяться в діапазоні від 16 Гц до 20 кГц); у широкому сенсі — область фізики, що досліджує пружні коливання та хвилі, їхню взаємодію з речовиною і застосування цих коливань (хвиль).

Фізичні характеристики звуку:

Об'єктивні:

1. Інтенсивність (сила звуку) ($I = \text{Вт/м}^2$)
2. Частота звуку ($\nu = \text{Гц, кГц}$)
3. Частотний спектр

Суб'єктивні:

1. Гучність звуку ($E = \text{Б, дБ}$)
2. Висота звуку
3. Тембр.

Систему передачі звуку, яка зосереджена в зовнішньому і середньому вусі, можна вважати механічним перетворювачем (підсилювачем), який володіє змінним, здатним регулюватися коеф. передачі тиску з барабанної перетинки на рідину вн. вуха. Вн. вухо має складну будову. Основна функція – формування нерв. імпульсів у волокнах слух. нерва у відповідь на подразнення слухових рецепторів. Подразнення рецепторів відбувається в місцях максимального зміщення базилярної мембрани при виникненні в ній поширення хвилі. Базилярну мембрану можна розглядати як нелінійну коливальну систему, що функціонує подібно системі механічних мікрорезонаторів, в якій локальне розташування максимального зміщення залежить від частоти коливань. Це локальне подразнення призводить до виникнення серії електричних імпульсів у певному нервовому волокні, що входить до складу слухового нерва. Отже, в цілому по слуховому нерву в мозок передається серія імпульсів, які несуть інформацію про амплітуду та частоту коливань або інфу про спектральний склад звуку, яка піддається аналізу в слухових центрах кори головного мозку, де остаточно і формується суб'єктивне відчуття звуку.

Закон Вебера — Фехнера — психофізіологічний закон, що описує сприйняття різних фізичних величин органами чуттів: відчуття пропорційне логарифму інтенсивності стимулювання.

$$dE = k(v) \frac{dI}{I}$$

dE – зміна гучності звуку $k(v)$ - коеф. пропорційності dI -зміна інтенсивності звуку

$$E = k(v) \ln I / I_0$$

23. Аудиометрія. Шкала інтенсивності та шкала гучності звуку, одиниці.

Пороги чутності та больового відчуття. Аудиограма.

Аудиометрія — в медицині (оториноларингологія) один із методів дослідження гостроти слуху, тобто визначення найменшої сили звуку, при якій він сприймається пацієнтом.

Шкала інтенсивності - графік залежності гучності E (дБ,Б) від частоти звукових коливань ν (Гц).

Шкала гучності – графік залежності рівня інтенсивності L (Б) від частоти звукових коливань ν (Гц).

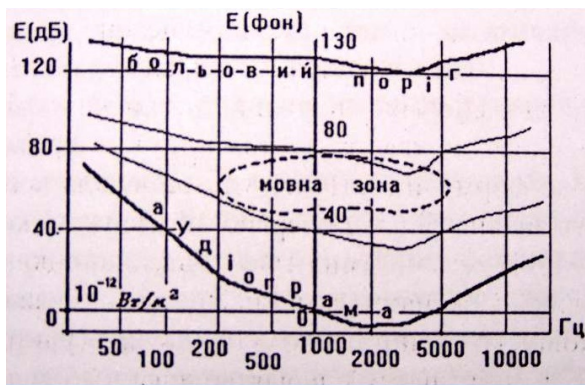
Пороги чутності:

$$I = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2 - \text{поріг чутності}$$

$$I = 10 \text{ Вт/м}^2 - \text{поріг больового відчуття}$$

Аудиограма — це графічне зображення слухової функції, яке дозволяє оцінити ступінь порушень у слуховому аналізаторі.

Аудиограма — це графічне зображення слухової функції, яке дозволяє оцінити ступінь порушень у слуховому аналізаторі.



24. Ультразвук. Основні властивості та особливості поширення ультразвуку. Інфразвук, фізичні характеристики інфразвуку. Дія ультразвуку та інфразвуку на біологічні тканини та органи людини.

Ультразвук — акустичні коливання, частота яких більша, ніж височастотна межа чутного звуку (близько 16 кГц). частота ультразвуку $20\text{кГц} < U < 10^4\text{Гц}$. Його вплив спостерігається на віддалі 25-50 м від обладнання.

Основні властивості та особливості поширення ультразвуку. Будь-які зміни в середовищі, через яке проходить УЗ-хвиля, призводять до зміни до зміни швидкості поширення і поглинання цієї хвилі, відбивання хвилі від меж поділу, акустичної кавітації - поява мікропорожнин у матеріальному середовищі під дією коливань тиску.

Механізми дії ультразвуку на живі організми різноманітний. Він викликає функціональні порушення нервової системи, головний біль, зміни кров'яного тиску та складу і властивостей крові, зумовлює втрату слухової чутливості, підвищену втомлюваність. Ультразвук впливає на людину через повітря а також через рідке і тверде середовище. Ультразвукові коливання поширюються у всіх згаданих вище середовищах з частотою понад 16000 Гц. Допустимі рівні ультразвуку в місцях контакту частин тіла оператора з робочими органами машин не повинні перевищувати 110 дБ.

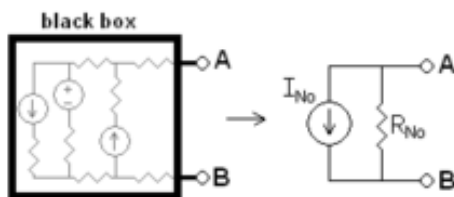
Інфразвук - це коливання в повітрі, в рідкому або твердому середовищах з частотою менше 16 Гц. Всі механізми, котрі працюють при частотях обертання менше 20 об/с, випромінюють інфразвук. Завдяки великій довжині інфразвук поширюється в атмосфері на великі відстані.

Дослідження довели, що **звук, якого не чути**, також шкідливо впливає на здоров'я людини. Так, інфразвуки особливий вплив роблять на психічну сферу людини: уражають усі види інтелектуальної діяльності, погіршують настрій, іноді з'являється відчуття розгубленості, тривоги, переляку, страху, а при високій інтенсивності - почуття слабкості, як після сильного нервового потрясіння. Навіть слабкі інфразвуки можуть робити на людину істотний вплив, особливо якщо вони носять тривалий характер. На думку вчених, саме інфразвуками, що нечутно проникають крізь самі товсті стіни, викликається багато нервових захворювань жителів великих міст. Високий рівень інфразвуку викликає порушення функції вестибулярного апарату, зумовлюючи запаморочення, біль голови. Знижується увага, працездатність.

25. Електричні характеристики біологічних тканин. Закон Ома в диференційній формі. Провідність біологічних тканин. Ємнісні властивості. Еквівалентна електрична схема.

Біологічні тканини по різному проводять електричний струм. Основним механізмом, який характеризує протікання електричного струму в живих організмах, є електрична провідність, яка обумовлена іонною провідністю. Електропровідність окремих ділянок організму істотно залежить від опору шкіри і підшкірних шарів. Опір шкіри визначається фізіологічним станом, віком, товщиною, місцем вимірювання, температурою і вологістю шкіри. В організмі струм поширюється, в основному, кровоносними і лімфатичними судинами, м'язами і нервовими стовбурами.

закон Ома у диференціальному вигляді: $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$, де j — густина струму, σ — питома провідність матеріалу, E — напруженість електричного поля.



Провідність біологічних

тканин-здатність живих тканин і організмів пропускати електр. струм під впливом електр. напруги. Зумовлюється наявністю в клітинах і міжклітинних просторах іонів. У живих тканинах

електричний струм проходить через міжклітинну рідину, оскільки мембранам клітин властивий дуже високий опір (омічний опір), але змінний струм може проходити й через клітину (їй властивий ємнісний опір). Тканини характеризуються певними величинами електропробності, зміни яких є показниками фізіол. стану тканин. Велика величина зарядної ємності мембран, а, отже, і ємнісні властивості біологічних тканин обумовлені значною поляризаційною здатністю діелектрика мембран, яка залежить від її відносної діелектричної проникності. На високих частотах вимикаються механізми поляризації з уповільненням часу релаксації, тому, з підвищенням частоти, ємність тканин зменшується, так само як і при підвищенні діелектричної проникності.

Еквівалентна схема (схема заміщення, еквівалентна схема заміщення) — це спрощена модель електричного кола, у якій всі реальні елементи заміщені ідеальними.

Схема

26. Біофізичні основи електрографії. Поняття про еквівалентний електричний генератор. Концепція Ейнтховена про генез ЕКГ (інтегральний електричний вектор серця, дипольний потенціал, система відведень).

інформацію використовують з діагностичною метою та з метою вивчення природи електричних явищ у біологічних тканинах. Реєстрація різниці потенціалів між точками середовища, яке оточує електрично активні тканини, називається електрографією, а результат цієї реєстрації – електрограмою (ЕГ).

Основні положення теорії Ейнтховена

1. Серце являє собою генератор струму. Збуджена ділянка міокарда має негативний потенціал по відношенню до незбудженої ділянки (рис. 4.19). Просторовий розподіл потенціалів на поверхні тканин, що оточують серце, аналогічний до просторового розподілу потенціалів поля, створеного електричним диполем.

2. Генератор струму розміщений в однорідному провіднику нескінченно великих розмірів.

3. Електричне поле, що створене серцем, можна характеризувати інтегральним електричним вектором серця $\vec{E} = \sum \vec{D}_i$, де $D=Il$, I – сила струму у колі генератора, l – відстань між полюсами генератора.

4. Величина потенціалу в кожній достатньо віддаленій від інтегрального електричного вектора точці середовища ($r \gg l$) дорівнює:

$$\varphi_a = \frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{E \cos \alpha}{r^2}.$$

де ρ – питомий опір середовища.

5. Вибір стандартної системи відведень. Ейнтховен запропонував знімати різницю потенціалів між вершинами рівностороннього трикутника, у центрі якого знаходиться вектор E (рис. 4.20). Можна показати, що в цьому випадку різниця потенціалів між вершинами трикутника пропорційні до відповідних проекцій вектора E на сторони трикутника:

$$\Delta\varphi_I : \Delta\varphi_{II} : \Delta\varphi_{III} = E_{ab} : E_{ac} : E_{bc},$$

де

$$E_{ab} = E \cos \alpha; E_{ac} = E \cos \beta; E_{bc} = E \cos \gamma.$$

27. Серце як струмовий електричний диполь (струмовий диполь та його характеристики, дипольний потенціал серця).

Струмовий диполь

У провідному середовищі електричний диполь екранується, або навіть

нейтралізується рухомими зарядженими частинками. Щоб зберегти диполь, до нього можна підключити джерело напруги. Така двополюсна система називається струмовим диполем, або дипольним електричним генератором. Він складається з додаткового полюса (стоку струму), які розташовані на деякій відстані один від одного. Полюси називають уніполями. Еквівалентна схема струмового диполя показана на рис.

Потенціал (f_0) Електричного поля серця складається з дипольних потенціалів елементарних диполів. Оскільки в кожен момент часу кардіоцикла збуджується порівняно невелику ділянку міокарда, відстані r від всіх диполів до точки вимірювання потенціалу приблизно рівні один одному, і f_0 наближено описується виразом: $f_0 = R \cdot a \cdot D_j \cdot \cos a_j / 4P \cdot r^2$.

Суму проєкцій в цьому виразі можна розглядати як проєкцію вектора дипольного моменту (D_0) Одного токового диполя, у якого $D_0 = a \cdot D_j$.

Цей диполь називають еквівалентним диполем серця. Таким чином, потенціал зовнішнього електричного поля серця можна представити у вигляді дипольного потенціалу одного еквівалентного диполя: $f_0 = R \cdot D_0 \cdot \cos a / 4P \cdot r^2$,

где a - Кут між D_0 і напрямком реєстрації потенціалу; D_0 - Модуль вектора D_0 .

28. Ланцюг змінного струму, що містить активний, ємнісний та індуктивний опір. Поняття про векторну діаграму. Імпеданс.

Ємнісний опір конденсатора обернено пропорційний зміні частоти коливань струму.

$$R_c = \frac{1}{\omega C}$$

Індуктивний опір прямо пропорційний зміні частоти коливань струму.

$$R_L = L \omega$$

При проходженні змінного струму через провідник, що має індуктивність, виникає ЕРС самоіндукції, яка за правилом Ленца перешкоджає змінам струму, що її спричинили. Це призводить до зменшення швидкості зміни сили струму.

Активний опір згідно класичної електронної теорії виникає внаслідок непружних зіткнень електронів з іонами ґратки металу. Внаслідок цього виділяється теплота

$$Q = I^2 R t, \text{ а потужність } P = I^2 t, \text{ тоді активний опір } R = \frac{P}{I^2}$$

Активним опором можна вважати будь-який провідник з дуже малою індуктивністю і ємністю. У такому провіднику перетворюється енергія, наслідком чого є виділення тепла. Наприклад, активний опір мають нитки ламп розжарення, елементи нагрівальних приладів, реостати тощо.

Індуктивним опором можна вважати провідник з великою індуктивністю, малою ємністю і малим активним опором. Наприклад, індуктивний опір мають будь-які пристрої з котушками або обмотками із осерддями з феромагнетика, тобто обмотки трансформаторів, двигунів.

Про **ємнісний опір** говорять тоді, коли активний опір та індуктивність не відіграють істотної ролі в розглядуваних явищах і єдиний параметр, що визначає характер перебігу процесів у системі, є ємність.

Імпеданс - це повний опір даної ділянки тіла змінному струмові. Позначається здебільшого Z , вимірюється в Омх.

$$\text{Імпеданс визначається, як } Z = R + iX,$$

де R — активний опір, X — реактивний опір.

Імпеданс можна записати у тригонометричній формі:

$$Z = |Z|(\cos \varphi + i \sin \varphi),$$

де $|Z|$ — це абсолютна величина імпедансу, а φ — фаза.

Абсолютна величина імпедансу дорівнює $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$.

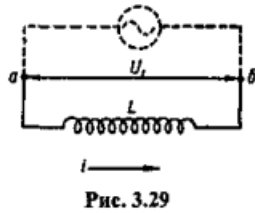


Рис. 3.29

$$U_L = IR - \mathcal{E}_{\text{вт}}$$

За відсутності активного опору ($R=0$)

$$LdI/dt = U_L$$

Якщо сила струму в колі змінюється за законом $I = I_m \sin \omega t$, то для U_L отримуємо:

$$U_L = I_m \omega L \cos \omega t = U_{mL} \sin(\omega t + \pi/2),$$

де $U_{mL} = I_m \omega L$. (3.73)

Порівнюючи відношення для амплітудних значень I_m та U_m із законом Ома, бачимо, що роль опору відіграє величина $X_L = \omega L$, яку називають **індуктивним опором**.

Також видно, що сила струму I та напруга U зсунуті за фазою одна відносно іншої (рис. 3.30) на величину $\varphi = \pi/2$, причому напруга в будь-який момент часу випереджає силу струму. На векторній діаграмі це зобразиться так, як показано на рис. 3.31.

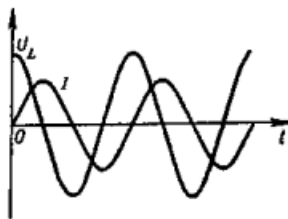


Рис. 3.30

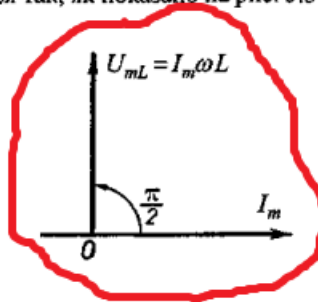


Рис. 3.31

29. Імпеданс біологічних тканин. Дисперсія імпедансу. Фізичні основи реографії.

Як правило, індуктивністю біологічних об'єктів нехтують (при частотах $n < 10^{10}$ Гц) і вважають, що їхній імпеданс дорівнює геометричній сумі активного R і ємнісного X_C опорів.

Коефіцієнт дисперсії K , який дорівнює відношенню імпедансу при низьких частотах ($10^2 - 10^4$ Гц) до імпедансу при високих ($10^6 - 10^8$ Гц) частотах:

$$K = \frac{Z_{\text{нч}}}{Z_{\text{вч}}} \quad (4.9)$$

У нормальних тканинах K залежить від положення організму в еволюційному ряді. Наприклад, коефіцієнт дисперсії печінки ссавців дорівнює приблизно 9-10, печінки жаби - 3-4. При відмиранні тканин вказаний коефіцієнт наближається до одиниці.

Імпеданс тканин залежить також від їх функціонального стану, і це використовується в діагностиці. Імпеданс кровоносних судин залежить від їх кровонаповнення, а значить і від серцево-судинної діяльності. На цьому базується діагностичний метод, який називають **реографією**. Реографія вивчає залежність активної складової імпедансу біологічної тканини від її деформації в процесі серцевої діяльності. Отримують реограми серця, головного мозку, магістральних судин, легень тощо. Відповідно до методики Кедрова вважається, що відносна зміна об'єму ділянки кровоносної судини (чи іншої біологічної тканини) DV/V прямо пропорційна зміні опору DR/R :

$$DV/V \sim DR/R.$$

Співвідношення між активною та реактивною складовими опорів може змінюватись при зміні фізіологічного стану та деяких патологіях. Наприклад,

при запаленні на перших стадіях спостерігається збільшення активного опору тканин. Цей ефект обумовлений тим, що струм низької частоти йде переважно через міжклітинну рідину, яка володіє суто омичним опором. При запаленні клітини набухають і переріз міжклітинних ділянок зменшується, що й призводить до підвищення омичного опору. Ємнісний опір при цьому практично не змінюється, оскільки не змінюється структура клітин. Очевидним є той факт, що за незмінного ємнісного опору збільшення омичного опору свідчить про набухання клітин, а зменшення омичного опору, навпаки, свідчить про зменшення об'єму клітин. Зворотний ефект спостерігається на ранніх стадіях онкологічних захворювань. Перетворення нормальних клітин у ракові супроводжується появою молодих клітин і підвищенням ємнісного опору.

30. Магнітне поле та його характеристики. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітні властивості речовин. Фізичні основи магнітобіології.

Магнітне поле – силове поле, яке діє на рухомі електричні заряди і на об'єкти у яких є магнітний момент. До джерел магнітного поля відносяться: змінне електричне поле; намагнічені тіла, провідники з струмом і рух зарядів. Природа цих джерел єдина: магнітне поле обумовлене рухом заряджених мікрочастинок (електронів, протонів, іонів), а також наявністю у мікрочастинок власного магнітного моменту.

Магнітний момент – одна з найосновніших магнітних характеристик.

Можна показати, що магнітний момент електрона

$$P_e = \frac{q \cdot U \cdot R}{2}$$

, де q - заряд електрона, v - його швидкість, R -радіус орбіти.

Одиницею магнітного моменту в СІ є $A \cdot m^2$.

$$B = \frac{M_{max}}{P_{ш}}$$

Цю величину називають **магнітною індукцією**(індукцією магнітного поля). Індукція магнітного поля – векторна величина і є силовою характеристикою поля. Одиниця магнітної індукції в СІ – Тесла (Тл), $1Тл=1Вс/м^2$.

2. Закон Біо-Савара-Лапласа

Згідно закону Біо-Савара-Лапласа – малий відрізок провідника Δl – (мал.1), по якому протікає струм I , утворює в т.М, яка знаходиться на відстані r від Δl , магнітне поле напруженістю ΔH :

$\Delta H = \frac{I \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha}{4\pi \cdot r^2}$	(4.28)
--	--------

тут α - кут утворений між напрямком I і вектором r .

Індукція магнітного поля безмежно довгого провідника із струмом, у будь-якій точці визначається за формулою:

$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi \cdot r}$	(4.29)
---------------------------------------	--------

Розділ біофізики, який вивчає вплив магнітного поля на живі організми, називається **магнітобіологією**.

Магнітні властивості біологічних тканин характеризуються досить низькою величиною магнітної проникності ($\mu \approx 1$), оскільки основні хімічні компоненти біосередовищ (білки, вуглеводи, ліпіди, вода) належать до діаманетиків.

Магнітні властивості речовини характеризуються не лише магнітною проникністю μ , а й індуктивністю L , величина якої залежить від

геометричної форми і розмірів тіла. Навіть діамагнетики можуть мати значну індуктивність, якщо вони мають форму котушки і по них тече електричний струм. Тоді

$$L = \mu\mu_0 n^2 V, \quad (2.65)$$

де n - кількість витків, що припадають на одиницю довжини ($n = N/l$), V - об'єм котушки.

31. Теорія електромагнітних хвиль Максвелла (струм зміщення, рівняння Максвелла, швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль).

В її основі лежать чотири рівняння (рівняння Максвелла в інтегральній формі).

1. Перше рівняння Максвелла

Максвелл узагальнив теорему Гауса для електростатичного поля. Він стверджував, що вона є справедливою для довільного електричного поля: як стаціонарного, так і для змінного.

$$\oint_S D_n dS = \sum q_i$$

Фізичний зміст:

Електричний заряд – джерело потенціального електричного поля.

2. Друге рівняння Максвелла

Максвелл стверджував, що теорема Гауса є справедливою і для довільного магнітного поля.

$$\oint_S B_n dS = 0$$

Фізичний зміст:

1. Магнітних зарядів в природі не існує.
2. Не існує потенціального магнітного поля.

3. Третє рівняння Максвелла

Дане рівняння є узагальненням закону електромагнітної індукції Фарадея.

$$\oint_l E_t dl = - \int_S \frac{\partial B_n}{\partial t} \cdot dS = - \frac{d\Phi_m}{dt};$$

Фізичний зміст:

Змінне магнітне поле породжує змінне вихрове електричне.

Це рівняння показує, що джерелами електричного поля можуть бути не тільки електричні заряди, але і змінні магнітні поля: в кожній точці простору, внаслідок зміни з часом індукції магнітного поля, утворюється вихрове електричне поле, напруженість якого E лежить в площині, перпендикулярній B .

4. Четверте рівняння Максвелла

Це рівняння показує, що магнітні поля можуть створюватись як електричним струмом, так і змінним електричним полем. Змінний

струм, на відміну від постійного, проходить через конденсатор; але цей струм не за своєю сутністю струмом провідності; він називається струмом зміщення.

Струм зміщення представляє собою змінне електричне поле; його густина

$$J_{зм} = \epsilon \epsilon_0 \cdot dE/dt.$$

$$\oint_l H_l dl = \int_S (j_{пров} + \frac{\partial D}{\partial t})_n dS;$$

Фізичний зміст:

Змінне магнітне поле породжується струмами провідності та змінним електричним полем.

Величини, що входять в рівняння Максвелла зв'язані між собою співвідношеннями

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

Де ϵ_0, μ_0 – відповідно електрична та магнітна сталі; ϵ, μ – діелектрична та магнітна проникності; σ – питома електропровідність.

ВИСНОВКИ

1. Взаємодія між зарядами здійснюється через електромагнітне поле; поділ на електричне та магнітне поле є доволі умовний, оскільки величини E та B залежать від вибору інерціальної системи відліку (ІСВ).

2. Електромагнітне поле може існувати самотійно – без електричних зарядів та струмів.

3. Будь-яка зміна електромагнітного поля з часом супроводжується його зміною в просторі – тобто поширюється у просторі у вигляді електромагнітних хвиль.

4. Електромагнітні хвилі поширюються у вакуумі зі швидкістю $c = 300\ 000$ км/с. Швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі залежить від властивостей середовища

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

$$c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

5. Електромагнітні хвилі поглинаються провідниками.

6. Електромагнітні хвилі – поперечні (мал. 3).

Скупність змінних електричного та магнітного полів, що нерозривно зв'язані одне з одним, називається електромагнітним полем.

32. Фізичні процеси в біооб'єктах під дією електричних, магнітних полів та електромагнітного поля (поляризація, струми провідності, індуктивні та зміщення).

З наукової точки зору, поляризація світла - це орієнтованість в просторі світлових коливань, що є перпендикулярними щодо напрямку руху хвилі. Світловий промінь складається з безлічі простих елементів, які називаються квантами. Напрямок їх коливань може бути найрізноманітнішим. У тому випадку, коли кванти відрізняються ідентичною орієнтацією, світловий потік називається поляризованим. Залежно від частки таких частинок в тому чи іншому випромінюванні змінюється ступінь поляризації.

Струм провідності - це такий струм, який обумовлений коливаннями електронів та іонів у середовищі.

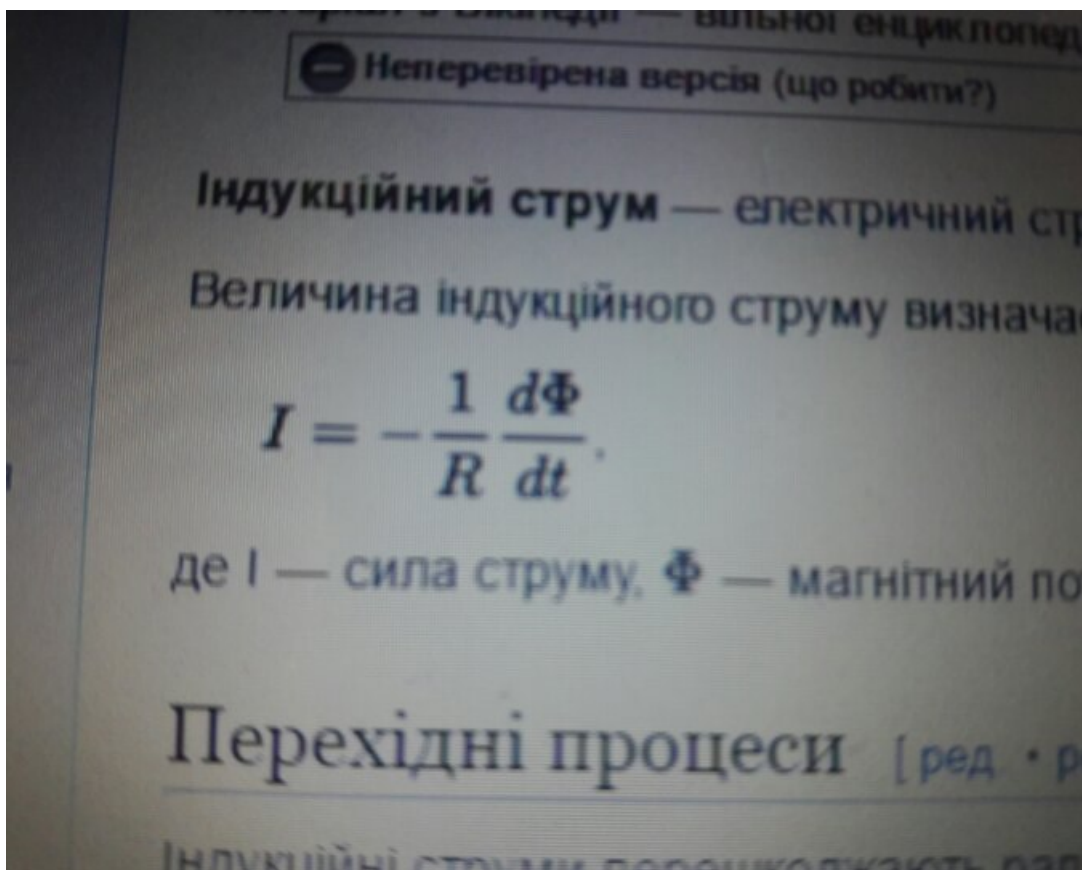
- Електричний струм провідності

Інтенсивність електричного струму оцінюється фізичною величиною, яка називається силою електричного струму. На практиці цю величину називають електричним струмом або просто струмом.

Струм провідності визначається електричним зарядом усіх частинок, які проходять крізь поперечний переріз провідника за одиницю часу. Припустімо, що крізь поперечний переріз провідника S за час t рівномірно проходить n електронів. Заряд кожного електрона e , тому загальний заряд частинок, які пройшли крізь переріз за цей час, $Q = enS$.

- Індукційний струм — електричний струм, що виникає у провідному контурі при зміні магнітного потоку через цей контур внаслідок явища електромагнітної індукції.

Величина індукційного струму визначається швидкістю зміни



Згідно Максвеллу, якщо будь-яке змінне магнітне поле збуджує в навколишньому просторі вихрове електричне поле, то має існувати і зворотнє явище: всяка зміна електричного поля повинно викликати появу в навколишньому просторі вихрового магнітного поля. Для встановлення кількісних співвідношень між постійно змінюваним електричним полем і що викликається ним магнітним полем Максвелл ввів в розгляд так званий струм зміщення.

33. Фізичні основи терапевтичних методів (гальванізація, франклінізація, діатермія, індуктотермія, дарсонвалізація, УВЧ- та

НВЧ-терапія, мікрохвильова резонансна терапія). Теплова та специфічна дія.

1. Франклінізація (електростатичний душ) - метод лікування легкими аероіонами, що утворюються в постійному електричному полі високої різниці потенціалів ().

Лікувальна дія надають аероіони і невелика кількість озону, які викликають роздратування рецепторів, що стимулює обмінні процеси.

2. Гальванізація - метод впливу постійним електричним струмом .

При дії постійного струму іони (Na^+ , K^+ , Cl^- , Mg^+) Рухаються, накопичуються близько мембран, що призводить до поліпшення обмінних процесів.

7. УВЧ-терапія - лікувальний метод, при якому на тканини хворого впливають дистанційно змінним електричним полем ультрависокої частоти (27,12 МГц і 40,68 МГц).

Фізіотерапевтичний ефект: селективний глибокий нагрів біологічних тканин збагачених ліпідами. Відбувається виділення тепла:

в які проводять тканинах , - Електропровідність, E - напруженість електричного поля,

в діелектриках , - Кут діелектричних втрат (зрушення фаз між струмом і напругою), ϵ - відносна діелектрична проникність середовища, ν - Циклічна частота електричного поля.

8. Дарсонвалізація - метод лікування за допомогою складних модульованих імпульсів. Частота несучої дорівнює 110 кГц, а низька частота - 50 Гц. .

Чинним фактором є не тільки імпульсні змінні струми високої напруги середньої частоти, а й іскровий розряд. Висока різниця потенціалів призводить до виникнення розрядів, стимулює обмінні процеси, подразнює.

9.

Діатермія (синонім: ендотермія, термопенетрація) - це метод [фізіотерапії](#), який полягає в нагріванні тканин і органів проходять через них електричним струмом високої частоти (1,0-1,65 МГц) при силі до 2 а і напрузі до 150 Ст.

10. Індуктотермія - це метод [фізіотерапії](#), заснований на застосуванні магнітного поля високої частоти.

Магнітне поле (з частотою 13,56; 27,12; 40,68 МГц) утворюється при проходженні по провіднику індуктора (що представляє собою плоску, конічну, циліндричну спіраль або петлю) змінного струму зазначеної частоти, що підключається до апаратів для індуктотермії і [УВЧ-терапії](#).

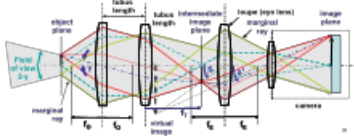
11. Мікрохвильова резонансна терапія - потік сформованих електромагнітних коливань, основною точкою прикладання яких є мембрана - клітинна оболонка.

Ефекти від впливу на біологічні тканини людини електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону малої потужності поділяються на теплові й нетеплові. Тепловий ефект може виявлятися у людини або підвищенням температури тіла, або вибірково (селективним) нагріванням окремих його органів, терморегуляція яких утруднена (жовчного і сечового міхурів, шлунка, кишок, яєчок, кристаликів, склистого тіла та ін.). Дія електромагнітного випромінювання на біологічний об'єкт виявляється тоді, коли інтенсивність випромінювання нижча від теплових порогових його значень, тобто спостерігаються нетеплові ефекти або специфічна дія радіохвиль, яка визначається інформаційним аспектом електромагнітного випромінювання, що сприймається організмом

34. Елементи геометричної оптики. Центрована оптична система. Оптична мікроскопія. Характеристики мікроскопу.

Мікроскопія - зорове дослідження різних дрібних об'єктів (від 0,2 до 0,0000002 мм) за допомогою мікроскопа (із збільшенням від декількох десятків до сотень тисяч разів). **Оптичні мікроскопи** працюють за рахунок фокусування, дифракції і відбиття електромагнітних хвиль видимого діапазону на препараті. Різновидами оптичної мікроскопії є [флуоресцентна](#), [конфокальна](#), багатофотонна мікроскопія.

Будова і принцип дії [ред. • ред. код]



Схематичне зображення шляху променів у сучасному мікроскопі

Найпростіший мікроскоп складається із двох лінз — об'єктива і окуляра, з'єднаних трубою — тубусом. Об'єктив — лінза із дуже малою фокусною віддалю. Він підноситься близько до об'єктної площини, на якій лежить призначений для вивчення об'єкт. Об'єктив забезпечує велике збільшення і створює обернене дійсне зображення. Це зображення ще раз перевертається окуляром, через який його розглядає дослідник. В сучасних мікроскопах як об'єктив, так і окуляр — складні оптичні системи. Сучасні мікроскопи мають також додаткову систему освітлення об'єкта спостереження, що лежить на предметному столику. Основну роль в системі освітлення відіграє конденсор.

Закони відбивання світла - падаючий і відбитий промені, а також перпендикуляр до межі двох середовищ, проведений із точки падіння променя, лежать в одній площині; - кут падіння дорівнює куту відбивання. Падаючий та відбитий промінь оборотні. Закони відбивання можна використовувати для побудови зображення у плоскому дзеркалі. Дзеркальну відбиваючу поверхню називають плоским дзеркалом, якщо пучок паралельних променів, який падає на неї, після відбивання залишається паралельним. Зображення предмета в плоскому дзеркалі уявне, пряме, однакове за розміром із предметом, розташоване на такій же відстані від дзеркала за ним, як і сам предмет перед дзеркалом. Закони заломлення світла - падаючий і заломлений промені, а також перпендикуляр до межі двох середовищ, проведений із точки падіння променя, лежать в одній площині; - відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для даних двох середовищ є сталою величиною, залежною від оптичних властивостей цих середовищ. Цю сталу величину називають показником заломлення. Він показує, у скільки разів відрізняється швидкість світла у першому і другому середовищах. Абсолютний показник заломлення – це величина, яка показує, у скільки разів швидкість світла в даному середовищі менша, ніж швидкість світла у вакуумі. –

Центрована оптична система – це така система, всі поверхні якої (заломлючі та відбиваючі) є поверхнями обертання, що мають спільну вісь обертання, яка називається оптичною віссю.

Центрована оптична система симетрична відносно оптичної вісі, тому всі явища, пов'язані з проходженням світла крізь таку систему, також підкоряються законам симетрії.

Для центрованої оптичної системи повинні виконуватися наступні умови:

1. всі плоскі поверхні перпендикулярні оптичній осі;
2. центри всіх сферичних поверхонь лежать на осі;
3. всі діафрагми круглі, центри діафрагм лежать на осі;
4. всі оптичні середовища однорідні або розподіл показника заломлення є симетричним відносно оптичної осі.

Центровані оптичні системи можуть містити в своєму складі плоскі дзеркала та відбиваючі призми, які ламають оптичну вісь, але по суті не впливають на симетрію оптичної системи.

35. Поляризація світла. Способи одержання поляризованого світла. Подвійне променезаломлення. Призма Ніколя. Закон Малюса.

Поляризоване світло одержують наступними *способами*: під час відбивання або заломлення природного світла на межі поділу двох діелектриків; під час проходження світла анізотропною прозорою речовиною; під час розсіювання світла. Оскільки в процесах взаємодії світла з речовиною основну роль відіграє вектор напруженості електричного поля, тому далі буде вестись мова саме про цей вектор. Площина, яка проходить через напрям поширення хвилі й напрям коливань вектора, називається **площиною поляризації** хвилі.

Згідно закону Малюса інтенсивність світла, що проходить аналізатором, визначається формулою (1). Враховуючи формулу (2), закон Малюса для системи поляризатор – аналізатор набуває вигляду:

де α – кут між площинами поляризатора та аналізатора. Коли площини поляризатора і аналізатора паралельні ($\alpha = 0^\circ$), то система поляризатор – аналізатор пропускає плоско поляризоване світло максимальної інтенсивності

Подвійне променезаломлення означає, що всередині анізотропної речовини світлова хвиля поділяється на дві хвилі. промені, які виходять з кристала, паралельні між собою й до падаючого променя. Поділ променя на два відбувається навіть при нормальному його падінні на поверхню кристала Один з променів є продовженням падаючого, а другий відхиляється на деякий кут.

Перший промінь підпорядковується закону заломлення, його показник заломлення не залежить від кута падіння, тобто швидкість поширення цього променя всередині кристала не залежить від напрямку поширення. Такий промінь називається *звичайним*. Другий промінь не підпорядковується закону заломлення, його показник заломлення залежить від кута падіння, тобто швидкість його поширення всередині кристала залежить від напрямку поширення. Такий промінь називають *незвичайним*. **Призма Ніколя** — оптичний елемент, призначений для поляризації світла, поляризатор. Призма складається з паралелепіпеда, вирізаного із ісландського шпату, розрізаного під кутом 68° і склеєного прозорою рідиною канадським бальзамом.

Неполяризований промінь світла входить в кристал і роздвоюється завдяки явищу подвійного променезаломлення. Звичайний промінь зазнає повного внутрішнього відбиття, а незвичайний промінь проходить далі. Внаслідок утворюється поляризований пучок світла. Призма Ніколя поляризує світло, кут апертура якого не перевищує 30° .

36. Оптично активні речовини. Кут обертання площини поляризації. Закон Біо. Концентраційна поляризація.

Всі речовини і розчини можуть бути поділені на дві категорії залежно від їх відношення до поляризованого світла. Речовини, які здатні змінювати (обертати) площину поляризації світла, є оптично активними речовинами; речовини не здатні змінювати площину поляризації світла, є оптично неактивними.

При проходженні поляризованого світла крізь анізотропне оптично активне середовище може виникнути два ефекти:

1. Зміна напрямку коливань – обертання площини поляризації;
2. Розклад плоскополяризованого променя на дві компоненти, що мають обертання в різні сторони.

Оптична активність речовин зумовлена двома факторами:

1. Особливостями кристалічної решітки речовини;
2. Особливостями будови молекули речовини.

Поява світла пов'язана з тим, що промінь, який вийшов з розчину, коливається вже не в площині, перпендикулярній до площини поляризації. Промінь може пройти крізь аналізатор. Для того, щоб поставити поляризатор і аналізатор „на темноту”, необхідно аналізатор повернути так, щоб його площина стала перпендикулярною до площі променя, тобто на деякий кут β .

Таким чином визначається кут обертання площини поляризації. Цей кут залежить від товщини шару, концентрації розчину і індивідуальних властивостей оптично активної речовини. Всі ці величини зв'язані між собою рівняннями:

$$\alpha = [\alpha] \cdot b \cdot C \quad (7.11)$$

$$\alpha = [\alpha] \cdot M \quad (7.12)$$

– питоме обертання площини поляризації; b – товщина шару, см; C – концентрація, г/100 мл; M – молярна маса речовини; Φ – мольне обертання площини поляризації. **а** Де

α і Φ характеризують природу досліджуваної речовини. **а** Величини

вважають від'ємною. **а** вважають позитивною, а в другому випадку – лівим і величину

а Обертання площини поляризації може відбуватися за годинниковою стрілкою і проти. **В**

першому випадку обертання називають правим і величину

залежить від природи речовини, довжини хвилі світла, що поляризується, і температури. Зі збільшенням довжини хвилі питоме обертання площини поляризації зменшується. Зі зростанням температури питоме обертання збільшується, причому залежність від температури звичайно виражається ступеневим рядом. **А** Питоме обертання площини поляризації

Для розчинів оптично активної речовини з концентрацією C для монохроматичного світла (5) переходить у відомий закон Біо

$a = [a]Cl$, де $[a]$ - питоме обертання, що залежить від типу речовини.

Застосування закону Біо дозволяє визначати концентрацію активної речовини в розчині шляхом вимірювання кута обертання площини коливань a . Такий метод називають поляриметричним методом кількісного аналізу.

37. Поглинання світла. Закон Бугера. Поглинання світла розчинами. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Концентраційна колориметрія.

Світлова хвиля, проходячи через речовину, викликає вимушені коливання електронів та іонів. Внаслідок цього спостерігається дисперсія, поглинання і розсіяння світла. Поглинання світла – зменшення інтенсивності оптичного випромінювання (світла), що проходить через матеріальне середовище, за рахунок процесів його взаємодії з середовищем. Коефіцієнт поглинання – кількісна характеристика зменшення інтенсивності випромінювання при проходженні через середовище. Коефіцієнт поглинання може характеризувати затухання випромінювання будь-якої природи, наприклад світла чи звуку. Вимірюється в обернених сантиметрах.

$$-\frac{dI}{I} = \alpha dx$$

Якщо про інтегрувати дану рівність, то можна отримати $I = I_0 e^{-\alpha L}$. Отримана рівність називається законом **Бугера**. Вона описує експоненційне зменшення інтенсивності світла при проходженні через шар речовини товщиною L . Коефіцієнт поглинання залежить від частоти. Особливо сильно поглинання на частотах, які відповідають характерним частотам процесів, що відбуваються в середовищі. Якщо атоми і молекули практично не взаємодіють між собою (гази, пари, невеликі тиски), то коефіцієнт поглинання відмінний від нуля лише на дуже вузьких спектральних ділянках. Ці максимуми відповідають резонансним частотам коливань електронів усередині атомів. Розширення смуг поглинання є наслідком взаємодії атомів між собою. Якщо поглиненою речовиною виступає розчин, то коефіцієнт поглинання пропорційний концентрації розчиненої речовини: $\alpha = \alpha_1 C$, де α_1 – коефіцієнт поглинання в розчині **о** диничної концентрації. У цьому випадку закон поглинання світла набуває вигляду $I = I_0 e^{-\alpha_1 cL}$. Величину $\tau = I/I_0$ називають коефіцієнтом пропускання, а величину $D = -\lg \tau = \lg I_0/I$ – оптичною густиною розчину. Закон Бугера-Ламберта-Бера лежить в основі методу концентраційної колориметрії – фотометричного методу визначення концентрації речовини у забарвленому розчині. Будова колориметра. Світло від джерела S , проходячи через конденсорну лінзу, падає на дві склянки, одна з яких наповнена стандартним розчином $C_{ст}$, а інша – досліджуванім розчином C_x . Висоти шарів розчинів регулюються за допомогою скляних стовпчиків – плунжерів. Проходячи через рідини і плунжери, світло потрапляє на призму, а потім - у поле зору спостерігача.

38. Розсіяння світла в дисперсних середовищах. Молекулярне розсіяння світла. Закон Релея. Нефелометрія.

Коли світлова хвиля проходить через речовину, електрони всередині атомів і молекул здійснюють вимушені коливання з частотою падаючого випромінювання. У цьому випадку вони самі стають вторинними випромінювачами. Розрахунки свідчать про те, що в однорідних середовищах вторинні хвилі в результаті інтерференції гасять одна одну в усіх напрямках, крім напрямку поширення світла, що проходить крізь речовину. Для повного гасіння однорідності середовища, тому що необхідна не тільки когерентність, але й рівність інтенсивних хвиль. За наявності неоднорідності інтенсивність вторинних хвиль у різних місцях і напрямках матиме різні значення, а тому повного гасіння не відбудеться і спостерігатиметься явище розсіяння світла.

Розрізняють два види неоднорідності:

1. Неоднорідності, зумовлені присутністю дрібних сторонніх часток (туман, дим, емульсія). Такі середовища, о складаються з дрібних сторонніх часток, завислих в однорідному середовищі, називаються каламутними. Розсіяння світла в каламутному

середовищі називається ефектом Тиндала.

2. Неоднорідності середовища, зумовлені флуктуаціями діелектричної проникності або показника заломлення речовини, називається оптичними. Розсіяння світла на флуктуаціях показника заломлення речовини, викликане молекулярними.

Релей встановив, що під час розсіяння світла в каламутному середовищі на частинках, менших за розміром, ніж $0,2\lambda$, а також при молекулярному розсіюванні інтенсивність розсіяного світла обернено пропорційна четвертому степеню довжини хвилі (закон Релея):

$$I_{\text{розс}} = \frac{\text{const}}{\lambda^4}$$

Якщо розміри неоднорідності значно перевищують довжину хвилі випромінювання, то

$$I_{\text{розс}} = \frac{\text{const}}{\lambda^2}$$

У результаті розсіяння світла по всіх напрямках інтенсивність світла в напрямку поширення зменшується швидше, ніж у випадку одного лише поглинання. Зменшення інтенсивності в цьому випадку описується такими формулами:

$$I = I_0 e^{-\mu'z}$$

$$I = I_0 10^{-\mu'z}$$

Де $\mu = k + \alpha$ – коефіцієнт ослаблення $\mu' = 0,43\mu$; k – коефіцієнт розсіяння, α – коефіцієнт поглинання, поділений на одиницю довжини шляху в речовині.

Інтенсивність розсіяного світла в різних напрямках (у наближенні Релея) можна визначити за формулою:

$$I_{\alpha} = I_{\pi}(1 + \cos^2 \alpha)$$

Світло, розсіяне під кутом $\alpha = \pi/2$ до напрямку випромінювання, що падає на речовину, виявляється поляризованим, а за інтенсивністю – вдвічі меншим від розсіяного під кутами $\alpha = 0$ і $\alpha = \pi$. Методи вимірювання параметрів (інтенсивності, ступеня поляризації) розсіяного світла з метою отримання інформації про концентрацію, розміри часинок і макромолекул у розчинах і характер міжмолекулярної взаємодії називаються нефелометрією, а самі пристрої – нефелометрами.

39. Основні уявлення квантової механіки: хвильові властивості мікрочастинок, формула де Бройля, хвильова функція та її фізичний зміст, співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Поняття про електронний мікроскоп.

Квантова механіка – це наука, описує рух мікрочастинок, тобто елементарних частинок, ядер атомів, молекул і систем, що складаються з них.

Існує чотири механіки:

1. Класична механіка Ньютона-Галілея
2. Механіка теорії відносності
3. Квантова механіка
4. Релятивістська квантова механіка

Постулати Бора:

1. Із нескінченної множини електронних орбіт реалізується тільки дискретні

«стаціонарні» орбіти, для яких момент кількості руху кратний $\hbar = h/2\pi$, де $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж*с- стала Планка.

2. Випромінювання або поглинання атомами електромагнітних хвиль відбувається при переході електронів з однієї стаціонарної орбіти на іншу. Частота хвиль, які випромінюються атомами при таких переходах, визначається різницею енергій стаціонарних станів до і після випромінювання відповідно до такого рівняння:

$$h\nu = E_{n_2} - E_{n_1}$$

Теорія Бора не тільки дала наочну картину руху електрона в атомі водню, але й дозволила розрахувати можливі значення його енергії:

$$E_n = \frac{-me^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 2n^2 \hbar^2} = -\frac{R\hbar}{n^2}$$

Гіпотеза де Бройля

Корпускулярно-хвильовий дуалізм є особливістю не тільки оптичних явищ, але притаманний усім рухомих матеріальним часткам або предметам. Дуалізм оптичних явищ означає, що світло це:

1. електромагнітні хвилі

2. потік фотонів, що характеризуються енергією E_{Φ} та імпульсом p_{Φ}

Значення цих характеристик фотонів визначаються частотою ν (довжиною хвилі λ), а саме:

$$E_{\Phi} = h\nu \quad p_{\Phi} = \frac{h\nu}{c} = h/\lambda$$

$$\lambda = h/p_{\Phi}$$

Відповідно до гіпотези де Бройля, не тільки фотон, але й будь-яка рухома атеріальна частинка або тіло мають як корпускулярні, так і хвильові властивості і можуть бути охарактеризовані довжиною хвилі λ , що пов'язана зі швидкістю руху v :

$$\lambda = h/mv$$

відкриття хвильових властивостей електронів сприяло створенню електронного мікроскопа. На відміну від оптичних мікроскопів, формування зображення в електронному мікроскопі створюється за допомогою електростатичних або магнітних лінз.

Межа роздільності електронних мікроскопів складає $3 \cdot 10^{-2}$ м

Співвідношення невизначеностей Гайзенберга

У класичній механіці можна одночасно вказати положення тіла в просторі і його імпульс, що дозволяє вказати просторове положення тіла в наступний момент часу, визначаючи тим самим траєкторію його руху. Завжди існують невизначеності в значеннях і координати й імпульсу, пов'язані певним співвідношенням, яке було встановлено німецьким фізиком Гайзенбергом.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Із цього співвідношення випливає, що, чим точніше ми спробуємо визначити координату частинки, тим з меншою точністю зможемо охарактеризувати її імпульс:

$$\Delta p \approx \frac{\hbar}{\Delta x \rightarrow 0} \rightarrow \infty$$

Належність електрона до атома вимагає, щоб невизначеність у значенні його координати відповідала атомним розмірам, тобто $\Delta x \sim 10^{-10}$ м, тоді

$$\Delta v \geq \frac{\hbar}{m \Delta x} = 1.05 \cdot 10^{-34} / 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-10} \approx 10^6 \text{ м/с}$$

Звідси випливає, що невизначеність у значенні швидкості електрона дорівнює самій швидкості.

Аналогічним чином пов'язані між собою невизначеності енергії частки часу її життя в даному енергетичному стані:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

Наведені співвідношення називаються співвідношеннями невизначеностей Гайзенберга. Вони становлять одне з основних положень квантової механіки.

40. Квантовомеханічна модель атома водню. Рівняння Шредингера.

Квантові числа. Енергетичні рівні. Принцип Паулі.

Квантово-механічна модель атома припускає, що в ядрі атома знаходяться не мають заряд нейтрони і позитивно заряджені протони. Навколо нього розташовані негативно заряджені електрони. Але з квантової механіки, електрони не рухаються за задалегідь заданими певними траєкторіями.

Квантово-механічна модель атома довела, що основна його маса припадає на ядро, а частка електронів при цьому залишається незначною. Вона вимірюється в атомних одиницях маси, яка дорівнює 1/12 маси атома ізотопу вуглецю C12.

Найпростіший атом – атом водню – являє собою позитивно заряджена куля, усередині якого перебуває електрон.

Ядро атома водню (протон) має точно такий же електричний заряд, як і електрон, але протилежного знака (позитивний заряд замість негативного)

Загальне рівняння Шредингера має вигляд:

$$-\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + U(x, y, z, t) \Psi.$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} - \text{постійна Планка};$$

$\Psi(x, y, z, t)$ – хвильова функція частинки, стан якої описує дане рівняння;

m – маса частинки;

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \text{оператор Лапласа};$$

$U(x, y, z, t)$ – потенціальна енергія частинки в силовому полі; $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця.

Квантові числа - це енергетичні параметри, що визначають стан електрона і тип атомної орбіталі, на якій він знаходиться. Квантові числа необхідні для опису стану кожного електрона в атомі. Всього 4-ри квантових числа. Це: головне квантове число - n , орбітальне квантове число - l , магнітне квантове число - m_l і спінове квантове число - m_s .

Енергетичний рівень — це сукупність орбіталей, які характеризуються однаковим значенням головного квантового числа n

Сукупність енергетичних рівнів називають енергетичним спектром

1925-го р. Паулі встановив квантово - механічний принцип (принцип заборони Паулі).

У кожному атомі може бути двох електронів, що у однакових стаціонарних станах, визначених набором чотирьох квантових чисел: n, l, m, m_s .

Наприклад, на енергетичному рівні може бути трохи більше двох електронів, але з протилежним напрямом спінов.

Принцип Паулі дозволив теоретично обґрунтувати періодичну систему елементів Менделєєва, створити квантові статистики, сучасну теорію твердих тіл та інших.

Принцип Паулі

Стан кожного електрона в атомі характеризується чотирма квантовими числами:

1. Головне квантове число n ($n = 1, 2 \dots$).

2. Орбітальне (>азимутальное) квантове число l ($l = 0, 1, 2, \dots, n-1$).

3. Магнітне квантове число m ($m = 0, +1, -1, +2, -2, \dots, +l, -l$).

4. Спінове квантове число m_s ($m_s = +1/2, -1/2$).

Для одного фіксованого значення головного квантового числа n існує $2n^2$ різних квантових станів електрона.

Одне з законів квантової механіки, званий принципом Паулі, стверджує:

У першому й тому самому атомі може бути двох електронів, які мають однаковим набором квантових чисел, (тобто. може бути двох електронів в однаковому стані).

Принцип Паулі дає пояснення періодичної повторюваності властивостей атома, тобто. періодичної системи елементів Менделєєва.

41. Випромінювання та поглинання світла атомами та молекулами.

Спектри випромінювання і поглинання. Спектрофотометрія.

Виходячи з постулатів Бора, можна пояснити процес поглинання і випромінювання енергії атомами. Якщо атом поглинає енергію, то при цьому він переходить у збуджений стан. Його електрон може підніматися на вищу орбіту. Якщо існують вакансії для електрона ближче до ядра, то з часом електрон займає їх, переходячи на більш низький енергетичний рівень. Енергія, яка при цьому вивільняється, випромінюється атомом у вигляді кванта світла.

Вивчення атомних і молекулярних спектрів випромінювання і поглинання покладено в основу спеціального методу дослідження складу і будови речовини — спектрального аналізу. Він ґрунтується на кількісних і якісних методах дослідження спектрів електромагнітного випромінювання речовин, які спостерігають за допомогою спеціальних приладів — *спектрографів і спектрометрів*.

Спектри випромінювання

Для одержання спектра випромінювання атоми речовини слід перевести у збуджений стан, наприклад нагріти тіло до високої температури. Спектральний склад випромінювання

у різних речовин досить різноманітний. Однак усі спектри поділяються на три типи: суцільний (неперервний); лінійчатий (атомний); молекулярний (смугастий).

а) Суцільний (неперервний) спектр. Розжарені тверді й рідкі тіла та гази (за великого тиску) випускають світло, розкладання якого дає суцільний

спектр, у якому спектральні кольори безперервно переходять один в одного.

Характер неперервного спектра та сам факт його існування визначаються не тільки властивостями окремих

випромінюючих атомів, а й взаємодією атомів один з одним.

Суцільні спектри однакові для різних речовин, і тому їх не можна використовувати для визначення складу

речовини.

б) Лінійчатий (атомний) спектр. Збуджені атоми розріджених газів або

пари випускають світло, розкладання якого дає лінійчатий спектр, який складається з окремих кольорових

ліній. Кожний хімічний елемент має характерний для нього лінійчатий спектр. Атоми таких речовин не

взаємодіють один з одним і випромінюють світло тільки певних довжин хвиль.

Ізольовані атоми даного хімічного елемента випромінюють хвилі строго визначених довжин. Це дозволяє за

спектральними лініями робити висновок про хімічний склад джерела світла.

в) Молекулярний (смугастий) спектр. Спектр молекули складається з великої кількості окремих ліній, які

зливаються в смуги, чіткі з одного краю та розмиті з іншого. На відміну від лінійчатих спектрів смугасті спектри

створюються не атомами, а молекулами, не зв'язаними або слабо зв'язаними одна з одною. Серії дуже

близьких ліній групуються на окремих ділянках спектра та заповнюють цілі смуги.

Спектри поглинання.

Якщо біле світло від джерела, котре дає суцільний спектр, пропускається крізь пару досліджуваної речовини й потім розкладається на спектр, то на фоні суцільного спектра спостерігаються темні лінії поглинання. Такі

спектри дістали назву атомних спектрів поглинання.

Усі речовини, атоми яких перебувають у збудженому стані, випромінюють світлові хвилі, енергія яких певним

чином розподілена за довжинами хвиль. Поглинання світла речовиною також залежить від довжини хвилі. Так,

червоне скло пропускає хвилі, що відповідають червоному світлу, та поглинає всі інші.

Атоми поглинають випромінювання хвиль лише тих довжин, які вони можуть випускати за даної температури.

Спектрофотометрія — сукупність методів визначення кількісних характеристик монохроматичного

випромінювання. Спектральна фотометрія дає методи отримання спектрів випромінювання, відбивання,

пропускання, поглинання і розсіювання. Вони виражаються графічними залежностями розподілення

відповідних величин за довжинами хвиль або частотами випромінювання.

Спектрофотометрія широко застосовується при вивченні будови і складу різних сполук (комплексів, фарбників,

аналітичних реагентів тощо), для якісного і кількісного аналізу речовин (визначення

слідів елементів в металах, сплавах, технічних об'єктах). Прилади спектрофотометрії — *спектрофотометри*.

42. Теплове випромінювання тіл, його характеристики. Абсолютно чорне та сірі тіла. Закон Кірхгофа. Теплове випромінювання тіла людини.

Поняття про термографію.

Теплове випромінювання - це електромагнітне випромінювання тіл, що виникає за рахунок зміни їх внутрішньої енергії (енергії теплового руху атомів і молекул).

Характеристики теплового випромінювання

1. **Потік випромінювання (Φ)** - Кількість енергії, яке випромінюється (поглинається) з обраної площі (поверхні) в усіх напрямках за одиницю часу

2. **Інтегральна випромінювальна здатність (R)** - потік випромінювання з одиниці площі поверхні.

3. **Спектральна випромінювальна здатність (ϵ)** - Інтегральна випромінювальна здатність, яка відноситься до одиниці спектрального інтервалу

де інтегральна випромінювальна здатність;

- Ширина інтервалу довжин хвиль ($\Delta\lambda$).

4. **Інтегральна поглинальна здатність (коефіцієнт поглинання)** - відношення поглиненої тілом енергії до падаючої енергії.

- Потік випромінювання, який поглинається тілом;

- Потік випромінювання, що падає на тіло.

5. **Спектральна поглинальна здатність** - коефіцієнт поглинання, що відноситься до одиничного спектрального інтервалу:

Абсолютно чорне тіло - це тіло, яке поглинає всю падаючу енергію.

Коефіцієнт поглинання абсолютно чорного тіла ϵ не залежить від довжини хвилі.

Приклади абсолютно чорного тіла: сажа, чорний оксамит.

Сірі тіла - тіла, у яких поглинання коефіцієнт менше 1 (коефіцієнт чорноти С. т.) і не залежить від довжини хвилі і випромінювання

Приклад: тіло людини вважають сірим тілом .

Чорні та сірі тіла - це фізична абстракція.

Теплове випромінювання тіла людини відноситься до інфрачервоного діапазону електромагнітних хвиль.

інфрачервоні промені займають діапазон електромагнітних хвиль з довжиною хвилі від 760 нм до 1-2 мм.

Джерело теплового випромінювання: Будь-яке тіло, температура якого перевищує температуру абсолютного нуля.

Закон Кірхгофа - випромінювальна здатність ϵ будь-якого тіла дорівнює його коефіцієнту поглинання при заданих температурі T і довжині хвилі λ : $\epsilon(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T)$.

Термографія (тепlobачення) дозволяє по-новому вимірювати температуру шкіри людини, її реакцію на будь-який патологічний процес.

43. Закон випромінювання абсолютно чорного тіла: закон випромінювання Планка, закон Стефана-Больцмана, закон зміщення Віна.

28.2.1. Закон Планка

Енергія, випромінювана тілом, однозначно визначається його температурою. Але розподіл енергії за довжиною хвилі відбувається нерівномірно. Крім цього, випромінювання енергії дискретне, воно здійснюється окремими порціями – квантами.

Ще в 1900 р. М. Планк опублікував закон розподілу інтенсивності за довжиною хвилі при різних температурах

$$I_{\lambda, T} = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]} \quad (28.7)$$

де $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка; $k = 1,380 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана; λ – довжина хвилі, м; $c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с – швидкість світла у вакуумі; T – температура, К; всі величини, які стосуються абсолютно чорного тіла, позначаються підстрочним індексом “0”. Усі константи в рівнянні (28.7) об’єднують у комплекс $C_1 = 2\pi^5 k^4 / 15 h^3 c^2 = 3,74 \cdot 10^{-16}$ Вт/м; $C_2 = hc/k = 0,01438$ м/К.



Формула Планка

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^3}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1}$$

Черное тело излучает и поглощает энергию квантами

h - постоянная Планка

c - скорость света в вакууме

k - постоянная Больцмана



Закон Стефана-Больцмана дає залежність енергії випромінювання з одиниці площі поверхні в одиницю часу від ефективної температури тіла, що випромінює.



Закони излучения черного тела

$$R_e = \sigma T^4 \quad \text{закон Стефана-Больцмана}$$

$$\sigma = 5,66 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 K^4} \quad \text{постоянная Стефана-Больцмана}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad \text{закон (смещения) Вина}$$

$$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \cdot МК \quad \text{постоянная Вина}$$

 MyShared

44. Фотоефект та його застосування. Внутрішній та зовнішній фотоефекти. Фотоелектричні прилади в медицині.

Фотоефектом називають явище вивинання електронів із речовини під дією світла. Розрізняють:

- **зовнішній фотоефект** - явище вивинання електронів з поверхні тіла під дією електромагнітного випромінювання;
- **внутрішній фотоефект** - явище збільшення електропровідності напівпровідника або діелектрика за рахунок електронів, вивинаних з молекул або атомів під дією світла;
- **вентильний фотоефект** - збудження ЕРС на межі метал-напівпровідник чи на межі різнорідних напівпровідників.

Фотоефект застосовується в ряді аналізаторів речовини. Явище фотоефекту покладено в основу дії фотоелементів. За допомогою фотоефекту «заговорило» кіно: можна передавати рухомі зображення (телебачення). Застосування фотоелектронних приладів дало можливість створити верстати, які без участі людини виготовляють деталі за кресленнями. Прилади, що ґрунтуються на фотоефекті, контролюють розміри виробів краще від людини, вчасно вмикають і вимикають маяки та вуличне освітлення і т. д.

Фотоелектричними приладами називають електронні прилади, у яких здійснюється перетворення світлового випромінювання в електричний струм.

По виду робочого середовища фотоелектричні прилади можна поділити на електровакуумні (електронні та іонні) і напівпровідникові.

45. Люмінесценція: види, основні закономірності, властивості. Закон Стокса. Застосування люмінесценції в медицині.

Люмінесценція — спонтанне світлове випромінювання збудженими молекулами абсорбованої ними енергії з електронного чи коливального збудженого стану, який не є в термічній рівновазі з середовищем. При цьому випромінювання відбувається протягом часу після поглинання енергії молекулою, не коротшого, ніж період світлових хвиль. Люмінесцентне випромінювання виникає за рахунок квантових переходів **атомів, іонів, молекул** зі збудженого стану в основний чи менш збуджений, тому кожен атом, іон чи молекула **люмінофора** є центром люмінесценції.

За механізмом розрізняють такі різновиди люмінесценції: резонансну, спонтанну, вимушену та рекомбінаційну. За типом збудження розрізняють фотолюмінесценцію, рентгенолюмінесценцію, катодолюмінесценцію, хемолюмінесценцію, кріолюмінесценцію, електролюмінесценцію, триболлюмінесценцію, радіолюмінесценцію, термолюмінесценцію тощо. Речовина, у якій спостерігається люмінесценція, називається люмінофором. Довготривалу люмінесценцію називають фосфоресценцією, а короткотривалу – флуоресценцією.

Закон Стокса – твердження, що сила опору F , яку зустрічає тверда кулька радіусом R при повільному рівномірному поступальному русі із швидкістю у необмеженому в'язкому середовищі з динамічним коефіцієнтом в'язкості (або в ламінарному потоці рідини), дорівнює $F = 6\pi\eta r v$,

У деяких медичних дослідженнях застосовуються спеціальні люмінофори, що вводяться в організм і розподіляються по тканинах у відповідності зі своїми властивостями. Такі люмінофори отримали назву флуоресцентних зондів. Наприклад, при введенні розчину такого люмінофора в кров він розноситься по всьому організму і дифундує в дерму і епідерміс. Люмінесценція збуджується довгохвильовим ультрафіолетовим випромінюванням і спостерігається у видимому світлі. У поверхневих тканинах з пониженим кровопостачанням люмінесценція з'являється пізніше, ніж у тканинах з нормальним

кровопостачанням.

46. Індуковане випромінювання. Рівноважна та інверсна заселеність енергетичних рівнів. Лазери, принцип дії та застосування в медицині. Вимушене або **індуковане випромінювання** - перебуваючи у збудженому стані, частинка може перейти на нижчий енергетичний рівень під впливом зовнішнього фотона. Під час поглинання квант світла зникає, а у процесі вимушеного випромінювання утворюється ще й новий квант. Новий утворений квант має таку ж частоту, фазу і напрям поширення як первинний, тобто випромінювання когерентне і підсилене. Ці два фотони можуть зумовити й нові індуковані переходи, далі процес йтиме лавиноподібно.

Рівноважна заселеність — із збільшенням енергії заселеність рівня(к-сть атомів чи молекул в даному стані) зменшується

Інверсна заселеність – підсилення випромінювання шляхом створення у речовині зворотної, по відношенню до рівноважної. Примусове випромінювання буде перевищувати поглинання, внаслідок чого зовнішнє випромінювання при проходженні чере речовину буде підсилюватись. Оптичними квантовими генераторами, або **лазерами**, називають пристрої, що створюють когерентні електромагнітні хвилі в оптичному діапазоні на основі вимушеного випромінювання.

Властивості лазерного випромінювання: висока монохроматичність (гранично висока світлова частота), гостра просторова спрямованість, величезна спектральна яскравість.

Лазер є джерелом світла, з допомогою якої може бути отримано когерентний електромагнітне випромінювання, відомим нас з радіотехніки і техніки надвисоких частот, соціальної та короткохвильовою, особливо інфрачервоної і видимої, областях спектра.

Використовуються: безкровна хірургія, офтальмологія, мікрохірургія, гастроскопія

47. Резонансні методи квантової механіки, їх застосування в медицині. Електронний парамагнітний та ядерний магнітний резонанси.

Атоми складаються з ядра та електронів. Ядро несе позитивний заряд, кратний заряду протона. Обертання ядра, еквівалентне коловому електричному струму, створює магнітне поле, спрямоване вздовж осі обертання. Отже, ядро нагадує маленький магніт з певним магнітним моментом.

Якщо носіями магнітного моменту є ядра, то резонансне поглинання енергії називається **ядерним магнітним резонансом**.

Ядерним магнітним резонансом називають вибіркоче поглинання ЕМ-хвиль певної частоти речовиною у постійному магнітному полі, зумовлене переорієнтацією магнітних моментів ядер.

Магнітний момент і спін ядра пов'язані залежністю:

$$P_S = \gamma S g,$$

де P_S – магнітний момент, γ – гіромагнітне відношення, S – спін ядра. Ядра з парним числом протонів не мають спіну, магнітний момент їх $= 0$.

ЯМР може відбутися на ядрах, які мають спін $1/2$. У зовнішньому магнітному полі вони можуть перебувати у двох енергетичних станах, орієнтуючись у напрямі поля ($m_s = +1/2$) або проти нього ($m_s = -1/2$) (рис. 7.3)

У постійному магнітному поля ядра обертаються навколо силових ліній. Ці обертання називають **прецесією**, характеризується певною частотою для різних типів ядер і залежить від напруженості магнітного поля.

Відстань між енергетичними рівнями залежить від магнітного моменту ядра, індукції магнітного поля і визначається:

$$\Delta E = g \mu B_0.$$

Під час дії високочастотного імпульсу, якщо його частота збігається з частотою прецесійного руху ядер, ці ядра переходять у збуджений стан, це і є явищем ЯМР.

ЯМР-сигнал характеризується інтенсивністю і часом релаксації, тобто часом

повернення збуджених ядер у вихідний енергетичний стан. Тривалість релаксації залежить від типів енергетичної взаємодії між ядрами. За рахунок енергії падаючої хвилі можуть відбуватись переходи між сусідніми підрівнями. Це явище називається **електронним парамагнітним резонансом**. Носіями магнітного моменту є електрони. Резонансний характер цього явища пояснюється чітко визначеною довжиною падаючої хвилі. При індукції $B = 10^3$ мТл резонансна частота дорівнює 10^{11} с⁻¹, що відповідає довжині хвилі $\lambda = 3$ см. Отже, резонансні частоти знаходяться в радіодіапазоні.

Під впливом ЕМ-хвилі атоми з однаковою ймовірністю можуть переходити у вищий енергетичний стан або нижчий. У першому випадку енергія поглинається, у другому – випромінюється. Якщо парамагнетик перебуває у стані термодинамічної рівноваги, то на нижньому рівні завжди знаходиться більше неспарених електронів, ніж на верхньому (розподіл Больцмана):

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

де N_1 – кількість електронів на верхньому рівні, N_2 – кількість електронів на нижньому рівні.

Співвідношення між N_1 і N_2 визначає значення поглинутої енергії. Чим менше N_1 / N_2 , тим більше енергії поглинається. Отже, ЕПР – це вибіркове поглинання енергії радіочастотного поля в парамагнітних речовинах, які знаходяться в постійному магнітному полі.

ЕПР-спектрометрія. Для дослідження методом ЕПР використовують ЕПР-спектрометр. Він складається з генератора ЕМ-хвиль, хвилеводів, об'ємного резонатора, розміщеного між полюсами магніту, приймача та реєструючого пристрою. Приймач настроюють на частоту генератора, а зразок розміщують в резонатор. Плавно змінюючи магнітне поле, підбирають таку індукцію, за якої виконується умова резонансу:

ЯМР-томографія. З усіх видів комп'ютерних томографів найбільш перспективною є система, де використовують явище ядерного магнітного резонансу. Ця система дає змогу одержати зображення будь-яких перерізів людського тіла.

48. Рентгенівське випромінювання, спектр та характеристики, застосування в медицині. Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною. Закон послаблення рентгенівського випромінювання.

Рентгенівське випромінювання - це електромагнітне іонізуюче випромінювання, яке займає спектральну область між гам-ма і ультрафіолетовим випромінюванням у межах довжин хвиль від 10^{-5} нм до 100 нм. Рентгенівські промені з довжиною хвилі $<0,2$ нм умовно називаються жорсткими, з довжиною хвилі $>0,2$ нм - м'якими рентгенівськими променями. Найпоширенішим джерелом рентгенівських променів є рентгенівська трубка. Природними джерелами рентгенівських променів є Сонце та інші космічні об'єкти.

Виникають у трубках Пулюя – скляних балонах, з яких викачено повітря до тиску 10^{-6} і в які впає катод і анод.

Спіраль катода розігрівається електричним струмом від джерел розжарювання і випромінює електрони, які прискорюючись електричним полем бомбардують анод, у результаті чого виникає Х випромінювання. Залежно від механізму виникнення рентгенівських променів розрізняють суцільні (гальмівні) або лінійчасті (характеристичні) рентгенівські спектри, які випромінюють швидкі заряджені частинки під час їх гальмування при взаємодії з атомами мішені (гальмівне випромінювання);

Інтенсивність гальмівних рентгенівських променів розподілена за всіма частотами до високочастотної (короткохвильової) межі.

В медицині для рентгенодіагностики та рентгенотерапії.

Для багатьох галузей техніки - рентгенівська дефектоскопія, наприклад для виявлення внутрішніх порожнин виливків (раковин, включень шлаків), тріщин у рейках, дефектів зварених швів.

Рентгенівський структурний аналіз дозволяє встановити просторове розташування атомів у кристалічній решітці мінералів і сполук, у неорганічних та органічних молекулах.

Закон Мозлі - це закон, що зв'язує частоту спектральних ліній характеристичного рентгенівського випромінювання хімічного елемента з

його порядковим номером.
стала

$$\sqrt{\omega} = C(Z - \sigma) \quad C = \sqrt{R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)}$$

$\omega = 2\pi\nu$ - циклічна частота випромінювання; Z - порядковий номер хімічного елемента;

δ стала екранування

Дія іонізуючого випромінювання на речовину приводить до:

збудження атомів і молекул;

іонізації або рекомбінації атомів і молекул;

появи нового випромінювання;

виникнення нових радіонуклідів.

В ядерній фізиці розрізняють іонізаційні і радіаційні витрати. Іонізаційні витрати залежать від виду частинки, її енергії, властивостей середовища: густини і товщини шару речовини, з якою вони взаємодіють. Частинки, які мають велику швидкість, іонізують речовину слабо, так як вони не встигають передати свою енергію навколишнім електронам. Навпаки, при малій швидкості частинки проводять сильну іонізацію. Частинки з великою масою мають дуже малий пробіг.

49. Радіоактивність. Види радіоактивності. Основний закон радіоактивного розпаду. Період напіврозпаду. Активність, одиниці активності.

Радіоактивність (від лат. *radio* — «випромінюю» *radius* — «промінь» і *activus* — «дієвий») — явище мимовільного перетворення нестійкого ізотопу хімічного елемента в інший ізотоп (зазвичай іншого елемента) (**радіоактивний розпад**) шляхом випромінювання гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів. Ці, сильно проникаючі потоки частинок іноді називають **ядерним випромінюванням**.

Закон радіоактивного розпаду - фізичний закон, що описує залежність інтенсивності радіоактивного розпаду від часу і кількості радіоактивних атомів в зразку.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

яке означає, що число розпадів $-dN$, Що відбулося за короткий інтервал часу dt , пропорціонально числу атомів у зразку N .

У зазначеному вище математичному вираженні λ - Постійна розпаду, яка характеризує ймовірність радіоактивного розпаду за одиницю часу і має розмірність z^{-1} . Знак мінус вказує на спад числа радіоактивних ядер з часом.

Вирішення цього диференціального рівняння має вигляд:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t},$$

де N_0 - Початкове число атомів, тобто число атомів для $t = 0$.

Таким чином, число радіоактивних атомів зменшується з часом за експоненціальним законом. Швидкість розпаду, тобто число розпадів в одиницю

часу $I(t) = -\frac{dN}{dt}$, Також падає експоненціально. Диференціюючи вираз для залежності числа атомів від часу, отримуємо:

$$I(t) = -\frac{d}{dt}(N_0 e^{-\lambda t}) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = I_0 e^{-\lambda t}$$

де I_0 - Швидкість розпаду в початковий момент часу $t = 0$.

Таким чином, залежність від часу числа нераспавшимися радіоактивних атомів і швидкості розпаду описується однією і тією ж постійною λ .

На практиці набула більшого поширення інша тимчасова характеристика - **період напіврозпаду** $T_{\frac{1}{2}}$, Що дорівнює часу, протягом якого число радіоактивних атомів або швидкість розпаду зменшуються в 2 рази .

Зв'язок цієї величини з постійною розпаду можна вивести із співвідношення

$$\frac{N(T_{\frac{1}{2}})}{N_0} = e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2}, \text{ Звідки:}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 = 0.693\tau$$

Альфа-випромінюванням називається потік позитивно заряджених частинок, що складаються з протонів і нейтронів. Такий потік виникає після розпаду атома якогось важкого елементу. Альфа-частинки здатні розлітатися в радіусі 50 мм від початкової точки випромінювання. Аркуш паперу, шкірні покриви людини можуть служити непоганим захистом від потоку цих самих частинок, тому особливої шкоди такі важкі частинки принести не зможуть. Однак, при попаданні всередину будь-якого організму найменшого джерела випромінювання з їжею або повітрям, опроміненню піддаються внутрішні органи, що є надзвичайно небезпечно для організму, надалі.

Бета-випромінюванням називається потік електронів. Ці частинки, іменовані електронами, набагато менше альфа-частинок, але мають здатність до проникнення в будь-який організм на 2см. Захистом від такого виду випромінювання може бути звичайний одяг, скло або тонкий лист металу. Потрапляючи на незахищені ділянки тіла, електрони ушкоджують тільки зовнішній покрив шкіри. Саме такий вид випромінювання викликає сильні опіки. Як, у разі

з альфа-частинками, внутрішнє опромінення становить більшу небезпеку, у порівнянні із зовнішнім опроміненням.

Гамма-випромінюванням називається потік фотонів, який, при зіткненні з атомами, втрачає частину енергії. Гамма-випромінювання поширюється на величезні відстані, однак, чим більша віддаленість від епіцентру випромінювання, тим менше заряду енергії залишається у фотонів. Ступінь впливу, безпосередньо, залежить від віддаленості до безпосередньої точки випромінювання. Такий вид випромінювання пошкоджує, як внутрішні органи, так і шкірні покриви. Рівень проникнення всередину організму набагато більше у фотонів, ніж у електронів: захиститися допоможуть свинець і залізо, тому бар'єр у вигляді одягу легко долається потоком фотонів.

50. Іонізуюче випромінювання та його види. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною. Захист від дії іонізуючого випромінювання. Біофізичні основи взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічними тканинами.

Іонізуюче випромінювання - це випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до утворення електричних зарядів (іонів) різних знаків. Джерелом іонізуючого випромінювання є природні та штучні радіоактивні речовини та елементи

іонізуюче випромінювання поділяється на електромагнітне (фотонне) та корпускулярне. До останнього належать випромінювання, що складаються із потоку частинок, маса спокою яких не дорівнює нулю (альфа- і бета-частинок, протонів, нейтронів та ін.). До електромагнітного випромінювання належать гамма - та рентгенівські випромінювання.

Іонізуюче випромінювання характеризується двома основними властивостями: здатністю проникати через середовище, що опромінюється, та іонізувати повітря і живі клітини організму. Причому обидві ці властивості іонізуючого випромінювання зв'язані між собою обернено пропорційною залежністю.

Найбільшу проникну здатність мають гамма - та рентгенівське випромінювання. Альфа- та бета-частинки, а також інші, що належать до корпускулярного іонізуючого випромінювання, швидко втрачають свою енергію на іонізацію, тому в них порівняно низька проникна здатність.

Дія іонізуючого випромінювання оцінюється дозою випромінювання. Розрізняють поглинуту, еквівалентну та експозиційну дози.

Поглинута доза D - це відношення середньої енергії E , що передається випромінюванням речовині в деякому елементарному об'ємі, до маси m у цьому об'ємі:

$$D = \frac{E}{dm}$$

Одиницею поглинутої дози в системі одиниць СІ є грей (Гр), а позасистемною - рад; $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$.

Оскільки різні види іонізуючого випромінювання навіть при однакових значеннях поглинутої дози спричинюють різний біологічний ефект, введено поняття еквівалентної дози H , що визначається як добуток поглинутої дози та коефіцієнта якості даного випромінювання K_r :

$$H = D \cdot K_r$$

Коефіцієнт якості показує у скільки разів радіаційна небезпека даного виду випромінювання вище радіаційної небезпеки рентгенівського випромінювання при однаковій поглинутій дозі.

Одиницею еквівалентної дози опромінення в системі СІ є зіверт (Зв): 1 Зв = 100 бер. Бер (біологічний еквівалент рада) - позасистемна одиниця Н.

Для кількісної оцінки іонізуючої дії рентгенівського та гамма-випромінювання в сухому атмосферному повітрі використовується експозиційна доза, яка являє собою відношення повного заряду іонів одного знаку AxJ , що виникають у малому об'ємі повітря, до маси повітря в цьому об'ємі йт

$$X = dQ/dm.$$

За одиницю експозиційної дози приймають кулон на кілограм (Кл/кг). Застосовується також позасистемна одиниця - рентген (Р); 1 Р = 2,58 $\cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Поглинута, еквівалентна та експозиційна дози за одиницю часу (1с) називаються потужностями відповідних доз.

У результаті дії іонізуючого випромінювання на організм людини в тканинах можуть виникати складні фізичні, хімічні та біологічні процеси. При цьому порушується нормальне протікання біохімічних реакцій та обмін речовин в організмі.

В залежності від поглинутої дози випромінювання та індивідуальних особливостей організму викликані зміни можуть носити зворотний або незворотний характер. При незначних дозах опромінення уражені тканини відновлюються. Тривалий вплив доз, які перевищують гранично допустимі межі, може викликати незворотні зміни в окремих органах або у всьому організмі й виразитися в хронічній формі променевої хвороби. Віддаленими наслідками променевого ураження можуть бути променеві катаракти, злоякісні пухлини.

При вивченні дії на організм людини іонізуючого випромінювання були виявлені такі особливості:

- висока руйнівна ефективність поглинутої енергії іонізуючого випромінювання, навіть дуже мала його кількість може спричинити глибокі біологічні зміни в організмі;
- присутність прихованого періоду негативних змін в організмі, він може бути досить довгим при опроміненнях у малих дозах;
- малі дози можуть підсумовуватися чи накопичуватися;
- випромінювання може впливати не тільки на даний живий організм, а й на його нащадків (генетичний ефект);
- різні органи живого організму мають певну чутливість до опромінення. Найбільш чутливими є: кристалик ока, червоний кістковий мозок, щитовидна залоза, внутрішні (особливо кровотворні) органи, молочні залози, статеві органи;
- різні організми мають істотні відмінні особливості реакції на дози опромінення;
- ефект опромінення залежить від частоти впливу іонізуючого випромінювання. Одноразове опромінення у великій дозі спричиняє більш важкі наслідки, ніж розподілене у часі.

51. Дозиметрія іонізуючого випромінювання. Експозиційна та поглинена дози. Біологічна дія випромінювання, біологічна еквівалентна

доза. Потужність дози. Одиниці доз та потужностей доз.

Зав. кафедри, професор

О.В. ЧАЛИЙ