

# **ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ**

Кафедра біохімії та гігієни

**Сибіль М.Г.**

**Лазери та їх застосування**

Лекція з навчальної дисципліни «Медична та біологічна фізика»

Галузь знань 22«Охорона здоров'я»

Спеціальність 227 Фізична терапія, ерготерапія

Факультет фізичної терапії та ерготерапії

“ЗАТВЕРДЖЕНО”

на засіданні кафедри

біохімії та гігієни

„31” серпня 2018 р. протокол № 1

Зав.каф \_\_\_\_\_ Борецький Ю.Р.

# Лекція

## Лазери та їх застосування

### План

1. Основні властивості лазерного випромінювання.
2. Первинні механізми та біологічна дія лазерного випромінювання.
3. Лазерна діагностика та лазерна терапія.
4. Радіоспектроскопія. ЕПР. ЯМР. ЯМР-томографія.

У 1960 році запрацював **перший рубіновий оптичний квантовий енергатор**. У ролі активного середовища виікористовувався **рубін-оксид алюмінію** з невеликими домішками хрому, які є активними елементами.

Накачування здійснювалася за допомогою світла потужної **імпульсної ксенонової лампи**. Такий лазер випромінює червоне світло з  $\lambda = 0,69$  мкм в імпульсному режимі. Газові лазери використовуються найбільш часто. Активне середовище - газ або суміш газів. До цього типу відносяться кож лазери на парах металів - **Pb, Cu, Au, Cr, Mn**. Накачування здійснюється за допомогою електричного розряду і хімічних реакцій. Типовим представником газових лазерів є - **гелій-неоновий лазер**. (1960 р.)

Основний структурний елемент такого лазера-газорозрядна трубка з кварцу, заповнена гелієм і неоном в співвідношенні 10:1 і має 2 впаяних електроди, до яких приєднаний блок живлення. Резонатором служить напівпрозоре плоске дзеркало і сферичне дзеркало. Накачування здійснюється електричним розрядом. Вибір суміші гелію і неону обумовлено тим, що збуджені енергетичні рівні атомів гелію (E 12, E 13) близькі до основних, але вищих енергетичних рівнів неону (E 4, E 5) і наявністю у неону метастабільних рівнів. Співвідношення атомів гелію і неону підібрано так, щоб забезпечити інверсну заселеність атомів неону (активної речовини), тобто гелій є допоміжною речовиною. При включенні джерела харчування в лазері відбувається електричний розряд, і газова суміш іонізується.

Електрони, які з'являються при цьому, прискорюються електричним полем. Коли на своєму шляху вони зустрічають нові молекули, то передають їм енергію в результаті електронного удару. В результаті цього електрони атомів гелію і неону переходять на високі енергетичні рівні. Крім того, електрони атомів неону переходять на вищі енергетичні рівні під дією непружних зіткнень з атомами гелію. Оскільки атоми гелію позбавляються енергії, то переходять в основний стан без випромінювання енергії.

Цей процес називають **резонансною передачею енергії**, і він можливий внаслідок збігу енергетичних рівнів підібраних атомів. Також необхідне постійне розвантаження рівня, що досягається підбором діаметра газорозрядної трубки, при якому електрони, розташовані на цьому рівні, передавали б енергію стінкам, а самі безвипромінювально переходили на нижчі енергетичні рівні. В атомі неону існує три робочі переходи: з рівня 5 на 3 ( $\lambda = 0,63$  мкм, з 5 на нестійкий проміжний (між 5 і 4) рівень 6 ( $\lambda = 3,39$  мкм і з 4 на 3 ( $\lambda = 1,15$  мкм). Шляхом підбору резонаторів посилюють тільки червоний колір ( $\lambda = 0,63$  мкм), а інфрачервоні промені розсіюють.

#### ***Основні властивості лазерного випромінювання:***

когерентність, монохроматичність, поляризованість (кут Брюстера), висока потужність (при безперервній генерації - від  $10^{-3}$  до 600кВт, при імпульсному режимі - від  $10^8$  до  $10^{12}$ Вт), вузька спрямованість пучка.

#### **Первинні механізми та біологічна дія лазерного випромінювання.**

Під біологічною дією розуміють сукупність структурних, функціональних, біофізичних і біохімічних змін, які виникають в організмі під дією лазерних променів. У відповідності із законом квантової оптики на атомно-молекулярному рівні відбуваються: поглинання світла; виникнення внутрішнього фотоефекту, електрична дисоціація іонів, збудження атомів і молекул, міграція енергії збудження; поява первинних фотопродуктів.

**На клітинному рівні:** зміна активності клітинних мембран; активація ядерного апарату клітин і систем ДНК- РНК-білок; активація окислювально-відновних реакцій, процесів фотосинтезу і різних ферментативних систем,

посилення утворення макроергів - АТФ, посилення мітотичної активності клітин та активація їх проліферації. **На тканевому (організмовому) рівні:** зниження рецепторної чутливості, зниження тривалості фаз запального процесу, набряк, і напруження тканин; посилення поглинання тканиною кисню, збільшення швидкості кровотоку, збільшення числа функціонуючих колатералей, активація транспорту речовин через судинну стінку. Найбільш чутливими до дії ЛД (лазерного джерела) є мембрани клітин. Під впливом червоного кольору виявлені зміни проникності мембран для іонів потенціалотворених іонів, зміни ліпідного складу мембран, концентрації універсального регулятора клітинного метаболізму - цАМФ, числа рецепторів лімфоцитів и т.і. Біологічна дія залежить від поглиненої дози лазерного випромінювання, яка, в свою чергу, залежить від 1). умов застосування (інтенсивності, частоти, спектрального складу, режиму - імпульсного або безперервного - імпульсний режим частіше характеризується механічною дією, а безперервний - тепловим, когерентності, монохроматичності, поляризованості) і 2). біофізичних особливостей тканини (відображаючої і поглинаючої здатності, теплоємності, акустичних і механічних властивостей). Найчастіше поглинається на глибині 2мм.

Дія будь-якого випромінювання на організм в залежності від поглиненої дози можна подати так:

1. Високі дози- руйнівна дія;
2. Середні дози - гнітюча дія;
3. Малі дози - стимулююча дія;
4. Дуже маленькі - відсутність дії.

Тому застосування повинно базуватися на таких основних принципах: 1. Раціональній підбір потужності випромінювання в залежності від завдання (достатність дії). 2. Вибір раціонального способу впливу (застосовують такі способи: контактний, дистанційний, внутрішньосудинний, внутрішньопорожнинний, внутріорганный для органів з порожнинами і для патологічних порожнин). 3. Індивідуалізація (враховувати особливості пацієнта, зокрема ступінь пігментації його шкіри).

**Лазерна діагностика:** для діагностики використовується ефект дуже слабкого лазерного випромінювання. Заснований на реєстрації слабких вторинних випромінювань, які виникають в тканинах під дією ЛД (лазерного джерела). Наприклад, якщо у вену ввести **гематопорфірін (фотосенсибілізатор)**, то через кілька днів здорові клітини від нього звільняються, а пухлинні - накопичують. Якщо на тканину подіяти синім ЛД (лазерним джерелом), то пухлина починає світитися.

**Ангіоскопія** для діагностики атеросклеротичних уражень судин. Бляшки містять пофарбовані речовини - **каротіноїди**, Під дією ЛД вони флюорисціюють. У стоматології - для діагностики тріщин емалі зубів.

Отримання голографічних зображень внутрішніх органів, сформованих відображення лазерних променів з використання світловодів.

**Терапія:** Дуже цінні властивості ЛД для терапії та хірургії - дозуємої і локальної дії ЛД. Використовуються низькоінтенсивне ЛД (0,1-1 Вт/см<sup>2</sup>).

Таке ЛД має протизапальну дію, нормалізує мікроциркуляцію, протиотекову, тромболітичну, аналгітичну, десенсибілізуючу дію. Також лазерні випромінювання сприяють збільшенню рівня кисню в тканинах, стимуляції регенерації тканин, посиленню метаболізму, іммунологічних процесів. Найчастіше застосовують у комплексі з іншими методами терапії. Наприклад, у поєднанні з лікарськими препаратами ЛД дозволяє знизити дози ліків, тому що саме дія стимуляції клітинних процесів концентрує ліки в хворобливій зоні (імовірно за рахунок поліпшення мікроциркуляції в органі). Вважають найбільш ефективну дію на **БАТ** (з урахування власної частоти коливань біологічних структур. Наприклад, для терапії органів кровообігу необхідно використовувати імпульсний режим з частотою серцевих скорочень, а для купірування болю – 20000 Гц і т.і.)

**Магнітолазеротерапія** застосовується для лікування опіків, стенокардії.

**Лазерна хірургія.** При інтенсивності ЛД рівній 5-10 Вт/см<sup>2</sup> велика частина енергії ЛД перетворюється на теплову. Нагрівання тканини від 37 до 60 о не викликає структурних змін в тканині, від 60 о до 100 о – призводить до

фотокоагуляції, закипання води, перехід її в пару і розриву клітин. Після перевищення температури 300-400 °С тканина чорніє, обвуглюється і починає диміти. Понад 500 °С - тканина горить і випаровується (фотоабляція, фоторуйнування). Нагрівання матеріалу відбувається швидко, тепло не передається на сусідні області і концентрується в зоні опромінення. Це дозволяє використовувати вибухову хвилю для руйнування пухлин. Найбільше руйнуються пігментовані клітини, оскільки вони характеризуються максимальним коефіцієнтом поглинання. Тому часто в патологічні тканини перед їх руйнуванням вводяться барвники, що збільшує поглинаючу здатність цих тканин. Часто використовують світловоди, які дозволяють робити операції за допомогою лазерів без розрізу.

#### **Лазерний скальпель:**

1. Безкровний розріз через фотокоагуляцію;
2. Надійність у роботі (не зламається об кісточку).
3. Прозорі, що розширює поле зору хірурга,
4. Абсолютна стерильність (промінь вбиває мікроби внаслідок високої температури).
5. Локальність.
6. Аналгетичний ефект. Рана гоїться швидко. Особливо застосовують у офтальмології - лазерна мікрохірургія ока (приварюють сітківку, що відшарувалася, руйнують внутрішньоочні пухлини, глаукому, забезпечуючи відтік внутрішньоочної рідини через мікроотвір).

#### **Радіоспектроскопія. ЕПР. ЯМР. ЯМР-томографія.**

Індуковані випромінювання також можуть виникати при переході електронів між енергетичними підрівнями, а також мікрочастинками ядер (протонами, нейтронами) між їх енергетичними рівнями. Для того щоб здійснити такі переходи, необхідно:

1. Створити в атомах ці енергетичні підрівні;
2. Викликати перехід мікрочастинок з нижніх енергетичних підрівнів на вищі підрівні. З вищих підрівнів мікрочастинок можуть переходити в основний

стан мимовільно з випромінюванням енергії, кількість якої дорівнює різниці енергії між підрівнями. Однак індукований перехід буде супроводжуватися більш потужним випромінюванням, оскільки випромінювані фотони однаково спрямовані і їх випромінювання відбувається одночасно. Тому можливий наступний крок:

3. Викликати зворотній перехід мікрочастинок на основний енергетичний рівень.

Енергетичні підрівні електронів в атомах отримуються поміщенням їх у постійне магнітне поле. При цьому відбуваються, так звані, **розщеплення Зеемана**.

Розщеплюються на підрівні енергетичні рівні тільки таких електронів, які мають власні магнітні моменти. Різниця енергій між підрівнями

$$: \Delta E = g\mu_B B \rightarrow,$$

де  $g$  множник Ланде (для кожного виду атомів свій),  $\mu_B$  - магнетон Бора

$$(\mu_B = eh / (4\pi m)),$$

$B \rightarrow$  - магнітна індукція зовнішнього магнітного поля. Перехід електронів з основного підрівня в звичайному стані малоімовірний. Для того щоб він відбувся, на атом з розщепленими підрівнями діють змінним електромагнітним полем радіодіапазону, спрямованим перпендикулярно по відношенню до постійного магнітного поля. Такий діапазон частот обумовлений величиною різниці енергій між підрівнями. Він знаходиться в радіодіапазоні. Причому для кожного виду атомів ця частота має своє значення. Вона повинна співпадати з частотою енергії переходу і тому називається резонансною частотою. Таким чином:  $\omega = gE$ . Те ж, що було вище сказано про електрони характерно і для мікрочастинок ядра. Різниця полягає в тому, що саме мікрочастинки ядра повинні мати власний магнітний момент. (Це буває в ядрах з непарним числом протонів, нейтронів або протонів и нейтронів. Ядра з парним числом протонів і нейтронів магнітним моментом не володіють), різниця енергій між підрівнями обчислюється за

формулою:  $\Delta E = g\mu_B \rightarrow$ , ця різниця однозначно менша, ніж різниця для електронів, відповідно частота змінного електромагнітного поля, що буде викликати переходи між підрівнями, хоча і знаходиться в радіодіапазоні, але менша за величиною (для протонів близько 43 МГц).

Зазначені явища для електронів і ядер називаються відповідно:

**Електронний парамагнітний резонанс** – явище вибіркового (резонансного) поглинання атомами парамагнетиків, електрони яких мають власний магнітний момент і перебувають у постійному магнітному полі енергії змінного електромагнітного поля радіочастотного діапазону.

**Ядерний магнітний резонанс** - явище вибіркового (резонансного) поглинання атомами, ядра яких мають власний магнітний момент, що знаходяться в постійному магнітному полі енергії змінного електромагнітного поля радіочастотного діапазону. Зазначені процеси (пов'язані з вимушеними переходами мікрочастинок між енергетичними рівнями, викликаними електромагнітним випромінюванням радіодіапазону) розглядаються в галузі фізики, так званої **радіоспектроскопії**.

Для того щоб здійснити радіоспектроскопію використовують **радіоспектрометр**. Досліджувану речовину поміщають між полюсами постійного магніту (досягають розщеплення рівнів на підрівні). Потім діють змінним електромагнітним полем радіодіапазону, плавно змінюючи його частоту. Реєструють інтенсивність змінного електромагнітного випромінювання радіодіапазону, що пройшов через речовину. На резонансній частоті інтенсивність такого випромінювання падає, оскільки ці хвилі поглинаються, забезпечуючи перехід електрона на вищий підрівень.

Резонансна частота залежить, насамперед, від виду атомів, з яких складається речовина, а також від кількості та виду атомів, з якими даний атом зв'язаний у складне з'єднання, оскільки атоми в речовині взаємодіють між собою електричними магнітними полями. Тому за допомогою радіоспектроскопії за спектрами поглинання радіохвиль можна досліджувати якісно і кількісно хімічний склад речовин. Зокрема, метод електронного

парамагнітного резонансу і ядерного магнітного резонансу відіграв велику роль у вивченні хімічного складу і біофізичних особливостей **нативних біомембран**, оскільки для цього мембрану не потрібно руйнувати, а досить ввести парамагнітну мітку до складу білків и ліпідів. За допомогою методу **ЕПР (електронного парамагнітного резонансу)** вперше були досліджені механізми дії іонізуючих (радіоактивних) випромінювань на живі організми. Вивчаючи магнітне поле, ми з вами з'ясували, що **живі організми складаються в основному, з діамагнетиків**. Тобто речовини не будуть поглинати електромагнітне випромінювання радіодіапазону, використовуваного в **ЕПР**. Під дією радіації відбувається утворення збуджених молекул, іонів і вільних радикалів, які мають парамагнітні властивості. В результаті для їх якісного та кількісного вивчення можливе застосування методу **ЕПР**. Особливе значення набув метод **ЯМР (ядерного магнітного резонансу)** в медицині. У 1952 р. **Персел і Блох** отримали Нобелівську премію з медицини створивши перший **ЯМР - томограф**. **ЯМР томографія** - це **неінвазивний** діагностичний метод дослідження внутрішнього стану організму, заснований на явищі **ядерного магнітного резонансу**. Основним сигналом при цьому є, в основному, **протонний резонанс молекул води**, вміст якої в організмі найбільш великий. Також діагностичною ознакою є час згасання сигналу в результаті процесів релаксації. В останні роки запропоновано метод називати просто **магнітно-резонансною томографією**, щоб не травмувати психіку пацієнта словом «ядерний». Суть методу така ж, як в **ЯМР-радіоспектроскопії**. Тіло пацієнта поміщають в постійне магнітне поле (розщеплення енергетичних підрівнів). Діють змінним електромагнітним випромінюванням (вимушений перехід протонів ядер на вищі енергетичні рівні). Але відмінність в тому, що аналізують спектри випромінювання, які виникають при переході з вищих енергетичних рівнів на нижчі, причому, щоб отримати потужний сигнал випромінювання напрямок постійного поля змінюють на

протилежний. У такому випадку протонами синхронно випромінюється енергія переходу, що сприяє формуванню більш потужного сигналу.

У різних тканинах вміст води неоднаковий. Тому й сигнал, який буде реєструватися від них, буде різним за інтенсивністю. Так, повітря і тверді тканини не дають **ЯМР**-сигналу (тому, що кістки, легені, просвіт кишечника і ін будуть виглядати на томограмах темними), а м'які тканини в залежності від вмісту води - більш-менш світлими. Це дозволяє отримувати контрастні зображення структури внутрішніх органів.

У **ЯМР** томографії одержують зображення поперечних перерізів тіла людини з заданим кроком вимірювань. Щоб сформувати зображення одного поперечного перерізу виробляють накопичення ЯМР сигналів від даного шару, отриманих під різними кутами по відношенню до випромінювача-приймач ЕМ хвиль. Потім відповідні комп'ютерні програми інтегрують їх, формуючи одне зображення. В результаті такий метод володіє високою роздільною здатністю.

#### **Переваги:**

- 1). Неінвазивний;
- 2). Безпечний тому що не застосовується радіоактивне випромінювання. Тому можна багаторазово досліджувати стан дітей та інших вікових груп, а також вагітних, спостерігаючи динаміку стану в часі або одужання в процесі терапії.
- 3). Висока роздільна здатність (особливо при використанні контрастних речовин).

#### **Недоліки:**

1. Не можна застосовуватися, якщо в організмі знаходяться ферромагнетика (в т.ч. кардіостимулятори, хірургічні зажими, металеві пломби), що може спотворити **ЯМР**- сигнали або викликати порушення стану пацієнта.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

- Чаговец В. Ю. Избранные труды. К., 1957.

- *Биофизика. Медицинская физика. Теоретическая и прикладная биофизика.*
- *Літнарівч Р.М. Фізика з основами геофізики. Курс лекцій. МЕНУ, Рівне, 2007.-78 с.*
- *Літнарівч Р.М. Фізика з основами геофізики.*  
*Лабораторний практикум. Частина 1. МЕНУ, Рівне, 2007.-44с.*
- *. Літнарівч Р.М. Фізика з основами геофізики.*  
*Лабораторний практикум. Частина 2. МЕНУ, Рівне, 2008.-48с.*