

Лекція: Індуковане випромінювання. Лазери

План

1. Самовільне та індуковане випромінювання.
2. Індуковане (вимушене) випромінювання.
3. Особливості вимірювання і поглинання енергії атомами і молекулами.
4. Лазер та його характеристики.
5. Застосування лазерів у медицині.
6. Класифікація лазерів.
7. Лазери. Їх використання у медицині. Сучасні лазери.

1. Самовільне та індуковане випромінювання.

Індуковане випромінювання - випромінювання квантовими системами (напр., атомами) електромагнітного проміння під дією зовнішнього електромагнітного поля. Імовірність внутрішнього випромінювання пропорційна інтенсивності зовнішнього випромінювання, а частота, напрям поширення і поляризація випромінюваного й падаючого зовні фотона збігаються.

Одним із величезних досягнень квантової теорії є створення унікальних джерел світла, які називаються оптичними квантовими генераторами, або лазерами.

Під час взаємодії випромінювання з речовиною спостерігаються такі процеси, як поглинання і розсіювання, що призводить до зменшення інтенсивності випромінювання на виході з речовини. Однак можливі процеси, коли потік випромінювання, який проходить через речовину, підсилюється. Такі процеси вперше помітив В.О.Фабрикант у 1939 році, і саме їх реалізовано у квантових генераторах. У 1964 році за створення квантових генераторів М.Г.Басов, О.М.Прохоров і американський фізик Ч. Таунс удостоєні Нобелівської премії.

Нехай атоми речовини мають тільки два енергетичні рівні 1 і 2 (рис. 2.20), енергії яких дорівнюють E_1 і E_2 .

Нехай електромагнітне випромінювання інтенсивністю I_0 проходить через цю речовину і має частоту $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$, тобто його частота дорівнює одній із частот цього атома. Тоді відбувається вимушений перехід атома зі стану з енергією E_1 у стан з енергією E_2 , тобто поглинання світла, і сам фотон $h\nu$ "зникає".

Далі збуджений атом може самовільно перейти зі стану E_2 у стан E_1 , випромінюючи фотон з енергією $h\nu$. Так відбувається спонтанне випромінювання.

Спонтанне випромінювання – випромінювання, що виникає у збудженому атомі при переході в нормальний стан (стаціонарний) без впливу зовнішньої дії (факторів) (рис. 2.20).

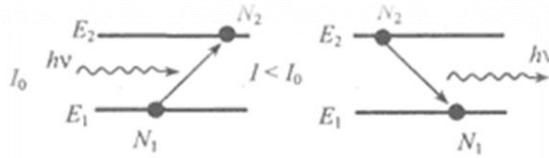


Рис. 2.20

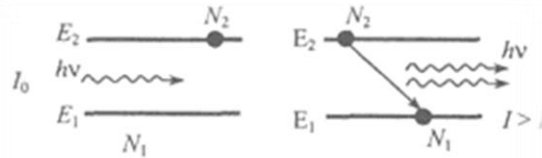


Рис. 2.21

Тепер нехай електромагнітне випромінювання інтенсивністю I_0 і тієї самої частоти проходить через ту саму речовину, атоми якої перебувають у збудженому стані з енергією E_2 (рис. 2.21). Кількість атомів у збудженому позначено N_2 , а кількість атомів у незбудженому стані - N_1 . Тоді фотон з енергією $h\nu$ може «перевести» атом зі збудженого стану E_2 в незбуджений стан E_1 . Відбудеться випромінювання фотона з енергією $h\nu$, який додається до падаючого фотона, а отже, інтенсивність I на виході з речовини зростає. Таке випромінювання називається вимушеним, або індукованим.

Індуковане (вимушене) випромінювання – випромінювання, що виникає у збудженому атомі при переході в нормальний стан під дією зовнішніх факторів (наприклад, під впливом світла).

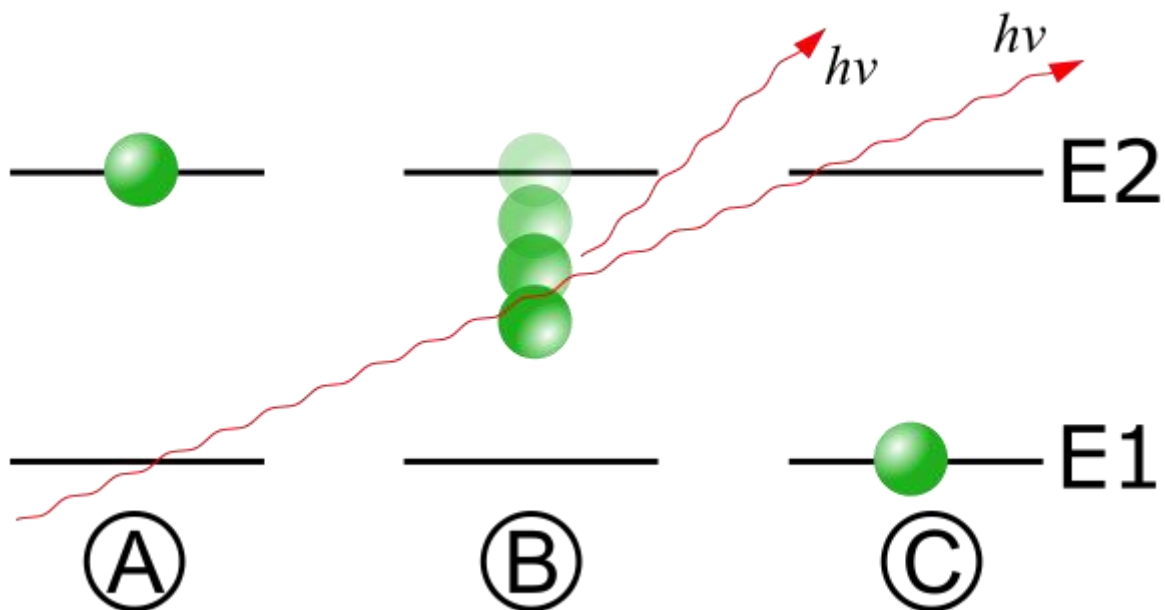
Спонтанне випромінювання - самодовільне випромінювання кванта світла квантовомеханічною системою в збудженому стані. Термін спонтанне випромінювання вживається на протигагу терміну "вимушене випромінювання", тобто випромінювання, яке відбувається під впливом зовнішньої електромагнітної хвилі.

2. Індуковане (вимушене) випромінювання.

Вимушене випромінювання — випромінювання фотона збудженою квантовомеханічною системою під впливом резонансної електромагнітної хвилі. Термін використовується на протипагу спонтанному випромінюванню.

При вимушеному випромінюванні фотон не тільки не поглинається збудженою квантовомеханічною системою, наприклад, молекулою, а викликає перехід цієї системи до стану з меншою енергією, що супроводжується появою ще одного фотона, когерентного із першим.

Вимушене випромінювання — лежить в основі роботи лазера.



3. Особливості вимірювання і поглинання енергії атомами і молекулами.

Енергетичні стани атома і молекули схематично зображаються у вигляді рівнів. Найнижчий рівень енергії – основний – відповідає основному стану (стаціонарному). При квантових переходах атоми і молекули стрибкоподібно переходять з одного стаціонарного стану в другий, з одного енергетичного рівня на другий.

Зміна стану атома зв'язана з енергетичними переходами електронів. В молекулах енергія змінюється також і за рахунок зміни коливань атомів та переходів між обертовими рівнями.

При переході з більш високих енергетичних рівнів на нижчі атом або молекула віддає енергію, при зворотних переходах поглинає. Розрізняють два типи квантових переходів:

- Без випромінювання або поглинання електромагнітної енергії. Такий перехід відбувається при зіткненнях атомів і молекул та інших частинок. Розрізняють непружне зіткнення, при якому змінюється внутрішній стан атома і відбувається перехід без випромінювання енергії, і пружне – із зміною кінетичної енергії атома або молекули, але із збереженням внутрішнього стану.
- Випромінюванням або поглинанням фотона. Енергія фотона дорівнює різниці енергій початкового і кінцевого стаціонарних станів атома або молекули.

В залежності від причин, які зумовлюють квантовий перехід з випромінюванням фотона, розрізняють два види випромінювання:

Спонтанне випромінювання, при якому внаслідок внутрішніх причин збуджена частинка самотійно переходить на нижчий енергетичний рівень.

Вимушене, або індуковане випромінювання, яке виникає при взаємодії фотона із збудженою частинкою, якщо енергія фотона дорівнює різниці енергій рівнів частинки.

В результаті вимушеного переходу в одному напрямі випромінюються два фотона: один первинний, вимушуючий, а другий – вторинний, індукований.

Енергія, яка випромінюється атомами або молекулами формує спектр випромінювання, а поглинута енергія – спектр поглинання. Енергетичні рівні більшості атомів і молекул досить складні. Структура рівнів, а отже і спектрів, залежить не тільки від будови атомів і молекул, але і від зовнішніх умов.

Електромагнітна взаємодія електронів приводить до тонкого розщеплення енергетичних рівнів. Вплив магнітних моментів ядер викликає надтонке розщеплення енергетичних рівнів. Зовнішнє електричне і магнітне поле також викликає розщеплення енергетичних рівнів (явища Штарка і Зеємана).

Сpektри є джерелом різноманітної інформації. Перш за все по виду спектра можна ідентифікувати атоми і молекули, що входить в завдання якісного спектрального аналізу.

По інтенсивності спектральних ліній визначають кількість випромінюючих (поглинаючих) атомів – кількісний спектральний аналіз.

Інтенсивність спектральних ліній визначається числом однакових переходів, які відбуваються в секунду, і тому залежить від кількості випромінюючих (поглинаючих) атомів і ймовірності відповідного переходу. При цьому порівняно легко визначають домішки в концентраціях 10^{-5} -- 10^{-6} % і склад зразків дуже малої маси – десятки мікрограм.

Якщо враховувати, що по спектру речовини можна зробити висновок про її стан, температуру, тиск і т.п., то треба високо оцінити спектральний аналіз як метод дослідження.

В залежності від енергії (частоти) фотона, що випромінюється або поглинається атомом (молекулою), розрізняють такі види спектроскопії: радіо-, інфрачервона, видимого випромінювання, ультрафіолетова і рентгенівська. По типу речовини (джерела спектру) розрізняють, атомні та молекулярні спектри і спектри кристалів.

4. Лазер та його характеристики.

Принцип дії лазера.

Пристрій, що генерує когерентні електромагнітні хвилі за стимульованого випромінювання світла активним середовищем, що міститься в оптичному резонаторі, називається лазером. Принцип дії лазера пояснюється англійською фразою "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"; LASER таким чином, є аббревіатурою словосполучення англійською мовою, що означає "посилення світла через стимульоване випромінювання".

Стимульоване випромінювання

Згідно з постулатами Н.Бора (1913р.) існують стаціонарні стани атома, що відповідають дискретному ряду дозволених значень E_i ($i = 1, 2, 3..$) його енергій. Зміна цієї енергії пов'язана з квантовим (стрибкоподібним) переходом з одного стаціонарного стану в інший; умова частот електромагнітного випромінювання під час квантового переходу атома зі стану з енергією E_i в стан з енергією E_j має вигляд: $E_i - E_j = h\nu$.

Дворівнева енергетична структура атома (рис. 27.29)

Рівень E_0 – називається основним, тоді як рівень E_1 – збудженим. Якщо на атом падає фотон, енергія якого визначається рівнянням (27.32), відбувається перехід атома з основного рівня на збуджений. Такий процес називається поглинанням фотона атомом (рис. 27.29,а). Атом, що перебуває в збудженому стані, може повернутися на основний рівень; цей перехід супроводжується

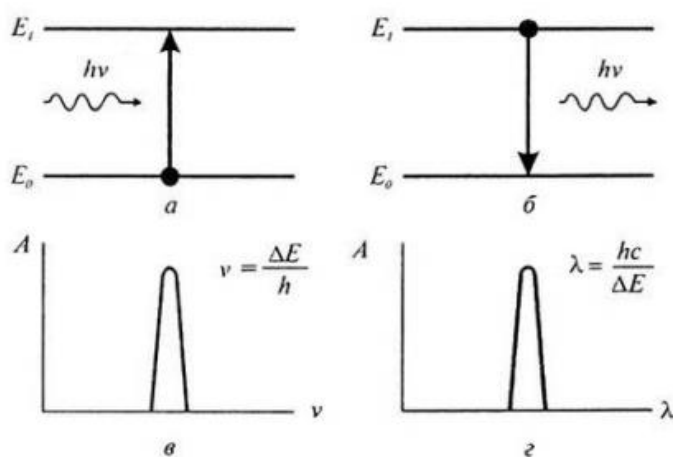


Рис. 27.29. Енергетичні рівні атома: а — поглинання кванта світла; б — випромінювання кванта світла; в — спектральна лінія поглинання (або випромінювання) в масштабі частоти; г — те саме в масштабі довжин хвиль

випромінюванням фотона атомом (рис. 27.29,б).

Атоми перебувають у збудженому стані близько 10^{-8} с, після чого залишають рівень E_r . Система збуджених атомів також буде переходити на основний рівень з випромінюванням фотонів; але процес цей хаотичний і всі фотони, що випромінюються, відрізняються своїми напрямками і фазами (рис. 27.30). таке випромінювання неупорядкованих (некогерентних) фотонів називається спонтанним.

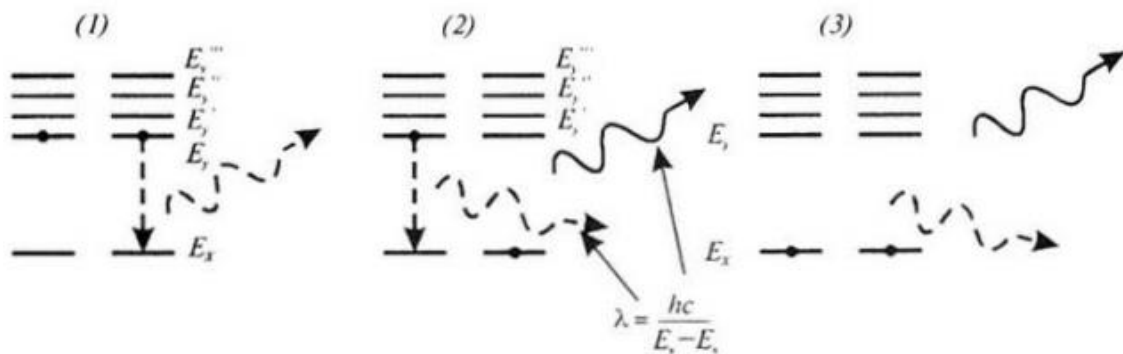


Рис. 27.30. Спонтанне випромінювання: фотони характеризуються різними напрямками поширення та фазами

Якщо атом перебуває у збудженому стані E_i і на нього діє зовнішній фотон з енергією $h\nu = E_1 - E_0$, то фотон стимулюватиме перехід атома з рівня E_1 на рівень E_0 з випромінюванням нового фотона з такою ж енергією $h\nu$. Причому, напрямки поширення і фази обох фотонів однакові, тобто вони є когерентними. Таке випромінювання називається стимульованим. Результатом стимульованого випромінювання є збільшення кількості фотонів, тобто посилення світла.

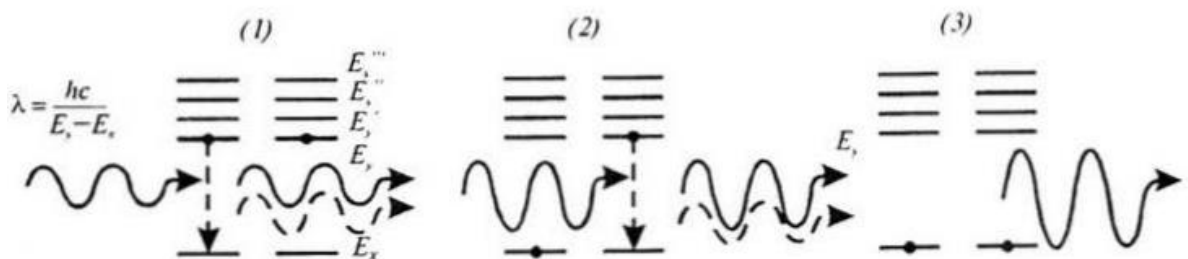


Рис. 27.31. Стимульоване випромінювання: фотони характеризуються однаковими напрямками поширення та фазами

Лазер складається з трьох основних компонентів – активного середовища, джерела накачування та оптичного резонатора. (рис. 27.32).

Активним середовищем можуть бути кристалічні або склоподібні матеріали, рідинні середовища, гази чи суміші газів, напівпровідники. Джерелом оптичного накачування можуть бути потоки сфокусованого світла, електричні розряди, пучки електронів тощо. Оптичний резонатор – це пристрій, в якому можуть збуджуватися стоячі або біжучі електромагнітні хвилі оптичного діапазону. Складається оптичний резонатор, як правило, з двох дзеркал.

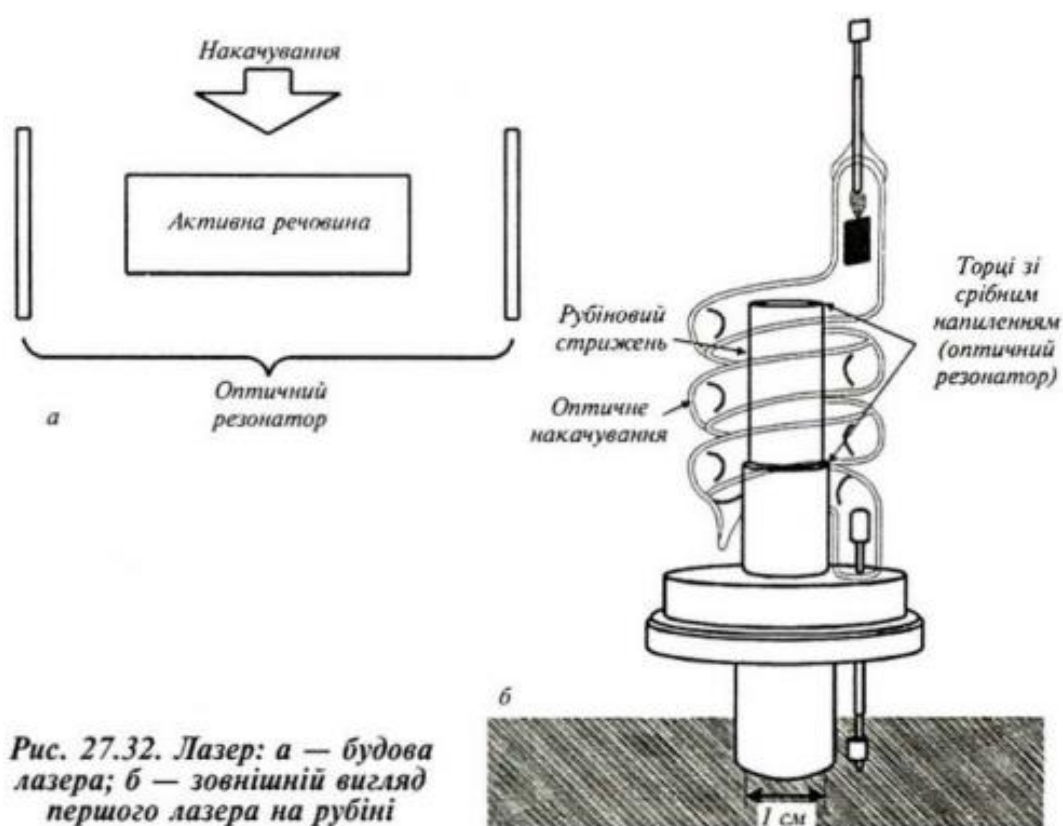


Рис. 27.32. Лазер: а — будова лазера; б — зовнішній вигляд першого лазера на рубіні

Інверсія населеності

Для того, щоб випромінювання мало перевагу над поглинанням, слід забезпечити так звану інверсію населеності – збільшення кількості збуджених атомів порівняно з тими, що перебувають в основному стані. Для реалізації інверсії населеності здійснюють оптичне накачування. Якщо звичайно кількість атомів в основному стані перевищує кількість збуджених (рис. 27.33,а) то під впливом накачування ситуація змінюється (рис. 27.33,б).

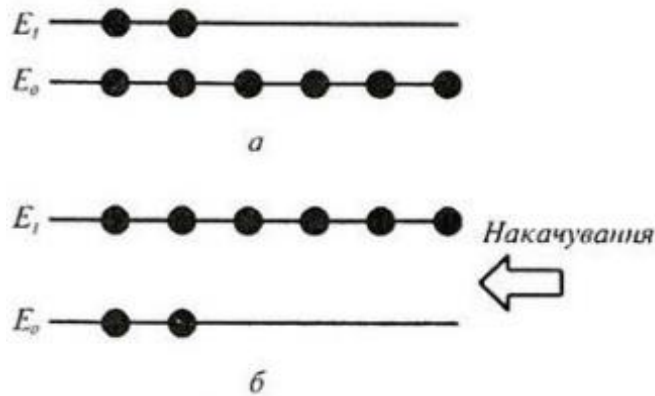


Рис. 27.33. Інверсія населеності:
 а — населеність рівнів у звичайному
 стані; б — нерівноважний стан
 речовини під впливом накачування

Формування лазерного променя

Після того, як у результаті накачування в активному в активному середовищі реалізується інверсія населеності, збуджені атоми переходять в основний стан, що супроводжується випромінюванням фотонів. Фотони, що поширюються паралельно повздожній осі оптичного резонатора, зазнають багаторазового відбивання від дзеркал; при проходженні через активне середовище вони стають джерелом стимульованого випромінювання. Фотони, що поширюються під кутом до осі оптичного резонатора, залишають його. Багаторазові акти стимульованого випромінювання сприяють генерації оптичного випромінювання. Довжина хвилі лазерного випромінювання визначається структурою енергетичних рівнів активного середовища та наявністю серед них довгоіснуючих рівнів.

Після багаторазових взаємодій фотонів, що рухаються вздовж активної речовини, зі збудженими за накачуванням частинками виникає потік когерентних фотонів, які проникають через частково прозоре дзеркало і формують лазерний промінь. Таким чином, для реалізації дії лазера слід виконати такі умови:

- Забезпечити інверсію населеності;
- Збуджений стан системи має бути метастабільним, час життя якого значно більший порівняно зі звичайними короткочасними збудженими станами; саме через це стимульоване випромінювання переважатиме спонтанне випромінювання;

- Фотони, що випромінюються, повинні бути обмеженими достатньо довгою системою двох дзеркал (оптичним резонатором) для реалізації процесу стимулювання цими фотонами інших збуджених атомів.

Лазерному випромінюванню властиві такі характеристики:

- Інтенсивність випромінювання – повний потік енергії випромінювання, що проходить за одиницю часу через одиничну площу у напрямку нормалі до неї і розрахований на одиницю тілесного кута. Висока інтенсивність лазерного випромінювання пов'язана зі здатністю лазера концентрувати світлову енергію у просторі. Так, інтервал інтенсивності сучасних потужних лазерів становить $10^6 \div 10^{10} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$.

- Монохроматичність – здатність лазера випромінювати на одній певній і чітко постійній частоті. Ширина лазерної лінії може становити $0,1 \div 1 \text{ нм}$; отже монохроматичність становитиме $\Delta\nu/\nu = 10^{-12} \div 10^{-13}$.

- Когерентність – узгоджений перебіг у часі та просторі кількох коливальних або хвильових процесів, що проявляється при їх накладанні. З когерентністю пов'язана висока спрямованість лазерного випромінювання. Ця властивість лазерного випромінювання пояснюється тим, що у формуванні променя беруть участь лише ті фотони, які рухаються вздовж осі лазера. Спрямованість лазерного випромінювання характеризується поширенням його у межах тілесного кута – кута розбіжності. Розбіжність θ лазерного променя визначається за формулою: $\theta = 1,22 \lambda/D$,

де λ – довжина світлової хвилі, D – діаметр променя.

Імпульсний режим роботи

Лазери останніх поколінь здатні генерувати ультракороткі імпульси, тривалість яких досягає сотень фемтосекунд (1 фемтосекунда дорівнює 10^{-15} с). За допомогою таких приладів можна досліджувати короткотривалі процеси.

Плавне перестроювання частоти

Деякі типи лазерів мають можливість плавно перестроювати частоту у широкому спектральному діапазоні. Серед лазерів, частота яких плавно перестроюється, слід виділити лазери із перевертанням спіну, параметричний генератор світла, хвильоводний лазер високого тиску, лазери на барвниках, напівпровідникові лазери, ексимерні лазери. Розробка лазерів з частотою, що перестроюється, та розширення діапазону частот, який перекривається лазерами, є одним з найважливіших завдань сучасної спектроскопії.

5. Застосування лазерів у медицині.

Первинні механізми (фізіологічні, біохімічні, біофізичні аспекти) і біологічна дія лазерного випромінювання

Механізми дії лазерного випромінювання (ЛВ) на біологічні об'єкти вивчені ще недостатньо повно. Часто ще можна зустріти протиріччя в питаннях механізмів і наслідків дії ЛВ на біооб'єкти (насамперед, в ролі когерентності, монохроматичності, поляризованості ЛВ, щодо механізмів дії тощо).

Під біологічною дією ЛВ розуміють сукупність структурних, функціональних, біофізичних і біохімічних змін, що виникають в живому організмі в результаті його опромінення лазерними променями.

Дослідження процесів, що лежать в основі змін, які відбуваються під дією ЛВ в клітинах і тканинах біооб'єктів, вимагає застосування кількісних методів з залученням фізико-математичного апарата. Необхідність доповнення традиційних біологічних методів (анатомічних, гістологічних, фізіологічних описів тощо) фізичними означає те, що фізика повинна надати біологічним методам теоретичне, фізико-математичне, біофізичне, біохімічне обґрунтування одержуваних результатів досліджень. Таким чином, аналіз механізмів біологічної дії ЛВ потрібно будувати на поєднанні методів біології і фізики. В механізмі біологічної дії НЕЛВ є декілька послідовних фаз. Перша з них – поглинання енергії ЛВ біооб'єктом як фізичним тілом. В цій фазі всі процеси строго підкоряються фізичним законам. У відповідності з законами квантової оптики на атомно-молекулярному рівні відбуваються такі реакції:

- 1) Поглинання світла (ЛВ) тканинними фотоакцепторами;
- 2) Виникнення внутрішнього фото ефекту і його прояви (фотопровідність, фото-е.р.с. і фотодіелектричний ефект);
- 3) Електролітична дисоціація іонів (руйнування слабких міжмолекулярних зв'язків);
- 4) Електронне збудження атомів і молекул, на які подіяло ЛВ;
- 5) Міграція енергії електронного збудження;

- 6) Первинний фотофізичний акт;
- 7) Поява первинних фотопродуктів.

На клітинному рівні основними процесами, що запускають подальші біореакції, слід вважати:

- 1) Зміну енергетичної активності клітинних мембран;
- 2) Активацію ядерного апарату клітин і системи ДНК-РНК-білок;
- 3) Активацію окислювально-відновлювальних, біосинтетичних процесів і основних ферментативних систем;
- 4) Збільшення утворення макроергів (АТФ);
- 5) Підсилення мітотичної активності клітин, що веде до активації їх проліферації.

На органному (тканинному) рівні під впливом НЕЛВ:

- 1) понижується рецепторна чутливість;
- 2) зменшується тривалість фаз запалення, інтерстиціальний набряк і напруга тканин;
- 3) підсилюється поглинання тканинами кисню;
- 4) підвищується швидкість кровотоку;
- 5) збільшується кількість функціонуючих судинних колатералей;
- 6) активізується транспорт речовин крізь судинну стінку.

6. Класифікація лазерів.

Лазери класифікуються: за схемами функціонування, за агрегатним станом робочого тіла, за методом отримання інверсного стану, за фізичними особливостями активних центрів.

На теперішній час прийнято наступну класифікацію лазерів та випромінювань:

- Твердотільні.
- Напівпровідникові.
- Рідинні.
- Газові на атомних переходах.
- Газові на іонних переходах.
- Молекулярні.
- Фотодисоціаційні.
- Електроіонізаційні.
- Газодинамічні.
- Хімічні.
- Плазменні.
- Ексімерні.
- Лазери на вільних електронах.
- Рентгенівські лазери.
- Гамма-лазери.
- Лазери з перебудовою довжини хвилі генерації.
- Комбінаційні лазери.
- Випромінювання оптичного діапазону (3 10¹²-3 10²⁰) Гц.
- Інфрачервоні хвилі: 100мкм - 7600 А0 .
- Видиме світло: (7600- 3900)А0.
- Ультрафіолетові хвилі: (3900-10)А0.
- Рентгенівське випромінювання: (10 - 0,01)А0.
- Гамма випромінювання: 0,01А0 і менше.
- Випромінювання радіодіапазону: 100000км - 01мм (3-3 10¹²)Гц.

Напівпровідникові лазери хоча є твердотільними, проте традиційно виділяються в окрему групу, оскільки мають інший механізм накачування, а квантові переходи відбуваються між дозволеними енергетичними зонами, а не між дискретними рівнями енергії. Напівпровідникові лазери - найбільш уживаний в побуті вид лазерів. Крім цього застосовуються в спектроскопії, в системах накачування інших лазерів, а також у медицині.

Лазери на барвниках - це тип лазерів, в яких використовують як активне середовище розчин флюоресцируючих, з утворенням широких спектрів, органічних барвників. Можуть працювати в безперервному та імпульсному режимах. Основною особливістю- є можливість перебудови довжини хвилі випромінювання в широкому діапазоні. Застосовуються в спектроскопічних дослідженнях.

Газові лазери – це лазери великої потужності, монохроматичності, що мають вузьку спрямованість випромінювання із оптичним накачуванням, активним середовищем якого є суміш газів і парів. Працюють у безперервному та імпульсному режимах. У залежності від системи накачування газові лазери поділяють на газорозрядні лазери, газові лазери з оптичним збудженням і порушенням заряджених частинок, газодинамічні та хімічні лазери. За типом лазерних переходів розрізняють газові лазери на атомних переходах, іонні лазери, молекулярні лазери принцип роботи яких будується на електронних, коливальних і обертальних переходах молекул.

Газодинамічні лазери - газові лазери з тепловою накачкою, інверсія населеностей в яких створюється між збудженими коливально-обертальними рівнями гетероядерних молекул шляхом адіабатичного розширення, рухається з високою швидкістю газової суміші (частіше $N_2 + CO_2 + He$ або $N_2 + CO_2 + H_2O$, робоча речовина - CO_2).

Ексимерні лазери - різновид газових лазерів, які працюють на енергетичних переходах ексимерних молекул, здатних існувати лише деякий час у збудженому стані. Накачування здійснюється пропущенням через газову суміш пучка електронів, під дією яких атоми переходять у збуджений стан, фактично представляють собою

середовище з інверсною заселеністю. Ексімерні лазери відрізняються високими енергетичними характеристиками, малим розкидом довжини хвилі, генерацією та можливістю її плавної перебудови у широкому діапазоні.

Хімічні лазери - різновид лазерів, джерелом енергії для яких служать хімічні реакції між компонентами робочого середовища (суміші газів). Лазерні переходи відбуваються між збудженими коливально-обертальними і основними рівнями складових молекул продуктів реакції. Для протікання хімічних реакцій у середовищі необхідна наявність вільних радикалів, для чого використовуються різні способи впливу на молекули для їх дисоціації. Для них характерні: широкий спектр генерації в ближній ІЧ області, велика потужність безперервного та імпульсного випромінювання.

Оптичні квантові генератори

Лазери генерують випромінювання у видимій, інфрачервоній і ближній ультрафіолетовій областях. Залежно від типу активного середовища лазери поділяються на **твердотільні, газові, напівпровідникові і рідинні**. Класифікують лазери і за методами накачування - **оптичні, теплові, хімічні, електроіо-нізаційні** та ін.

Лазери обов'язково мають три основні компоненти:

- Активне середовище, в якому створюється стан з інверсною заселеністю енергетичних рівнів;
- Систему накачування – пристрій для створення інверсії в активному середовищі;
- Оптичний резонатор – пристрій, який формує вихідний світловий пучок;

Лазерне випромінювання характеризується такими властивостями:

- Високою часовою і просторовою когерентністю;
- Строгою монохроматичністю ($\Delta\nu \sim 10^{-11}\text{М}$);
- Великою густиною потоку випромінювання;
- Дуже малим кутовим розходженням в пучку.

7. Лазери. Їх використання у медицині. Сучасні лазери.

Термін лазер ("laser") складений з перших літер п'яти слів словосполучення, яке перекладається з англійської як "підсилення світла шляхом його вимушеного випромінювання". По суті лазер є джерелом світла, в якому певним чином досягають збудження атомів деякої речовини. І коли всі ці атоми під дією електромагнітного випромінювання повертаються у вихідний стан, відбувається вимушене випромінювання світла.

Лазерне випромінювання може мати такі властивості, як висока когерентність, монохроматичність, велика потужність, паралельність жмутка та інші.

В медицині використовується здатність лазерного випромінювання виборчо активізувати молекули біологічних тканин (для прискорення заживлення трофічних виразок, лікування захворювань шкіри та ін.). Під дією лазера змінюються деякі показники крові. Його використовують в рефлексотерапії, хірургії, стоматології та ін.

Сучасні лазери

Хірургічна лазерна система від відомого американського виробника лазерів SLT (Surgical Laser Technologies). представляє свою останню розробку **SLT Nd:YAG Contact Laser™**. Ця лазерна установка призначена для застосування в гінекології, нейрохірургії, урології, загальній хірургії, гастроентерології та ін. Її перевага полягає в унікальній запатентованій контактній системі доставки лазерного променя до місця проведення операції. Завдяки цій системі збільшується точність виконання операції, зменшується споживана потужність що у свою чергу призводить до зменшень витрат на експлуатацію.

Коротка технічна характеристика:

- Тип лазера: Nd:YAG
- Довжина хвилі: 1064 нм
- Потужність Макс: 25-60 Вт

- Система охолодження : внутрішня
- Вага: 111 кг
- Габарити: 45/60/93 см
- Живлення: 120/220В, 50/60Гц.



Лазерна система Fidelis. Комплектація Fidelis XS.

Технічні характеристики лазерної системи ER:YAG:

- Довжина хвилі: 2940 нм
- Частота: від 5 до 50 Гц
- Потужність: 15 Вт
- Потужність імпульсу на одиницю площі: до 380 Дж/кв.см.
- Тривалість імпульсу:
- Режим VSP: 100 мкс
- Режим SP: 300 мкс
- Режим LP: 600 мкс
- Режим VLP: 1000 мкс
- Сумісні маніпули: R04, R05, R08, R09
- Область застосування лазерної системи ER:YAG:
- шліфівка шкіри з ефектом підтяжки колагену, будь-яка хірургія м'якої і твердої тканини.



Лазерна система Fidelis. Комплектація Dualis Er:YAG II.

Технічні характеристики:

- Довжина хвилі: 2940 нм
- Енергія імпульсу: від 40 до 1500 мДж кроком 10 мДж
- Частота: від 2 до 50 Гц
- Потужність: 25 Вт
- Тривалість імпульсу:
- Режим SSP: 50 мкс
- Режим VSP: 100 мкс
- Режим SP: 300 мкс
- Режим VLP: 600 мкс
- Режим VLP: 1000 мкс
- Сумісні манипулы: R04, R05, R07, R08, R14

Er:YAG II — лазер з найкоротшою тривалістю одного імпульсу — 50 мкс, що дозволяє проводити обробку твердих тканин зуба з швидкістю, що перевищує роботу не тільки інших лазерних систем, але і алмазного бору.

Області застосування лазерної системи Er:YAG II: терапія твердих тканин зуба; розрізання м'якої і кісткової тканин зуба; виконання будь-яких операцій в щелепно-лицьовій і пластичній хірургії; виконання парадонтологічних операцій; проведення процедур лазерної шліфовки шкіри з ефектом підтяжки колагену; лікування захворювань слизової методом випаровування або хірургічного посічення.



Лазерна система Fidelis. Комплектація Dualis SP.

Технічні характеристики лазерної системи ER:YAG:

- Довжина хвилі: 2940 нм
- Частота: від 2 до 50 Гц
- Потужність: 25 Вт
- Потужність імпульсу на одиницю площі: до 380 Дж/кв.см.
- Тривалість імпульсу:
- Режим VSP: 50 мкс

- Режим SP: 300 мкс
- Режим LP: 600 мкс
- Режим XLP: 1500 мкс
- Режим SMOOSH: 2500 мкс
- Сумісні манипулы: R04, R05, R08, R09
- Технічні характеристики лазерної системи ND:YAG:
- Довжина хвилі: 1064 нм
- Частота: від 0,5 до 7 Гц
- Потужність: 25 Вт
- Потужність імпульсу на одиницю площі: до 400 Дж/кв.см.
- Тривалість імпульсу: 5-200 мс
- Сумісні манипулы: R30

Області застосування лазерної системи:

шліфовка шкіри з ефектом підтяжки колагену; будь-яка хірургія м'якої і твердої тканини; омолодження шкіри; епіляція; видалення судинних утворень; лікування акне; модифікація рубцюватої тканини.



Список використаної літератури

1. Посудін Ю. І. Фізика з основами біофізики: Підручник. – Київ, Світ, 2003. – 400с.
2. Особливості вимірювання і поглинання енергії атомами і молекулами. [Електронний ресурс]: Режим доступу <https://bit.ly/2IaDIX1>.
3. Індуковане (вимушене) вимірювання [Електронний ресурс]: Режим доступу <https://bit.ly/2rx6dbd>.
4. Самовільне та індуковане випромінювання [Електронний ресурс]: Режим доступу http://www.studopedia.com.ua/1_395288_spontanne-ta-indukovane-viprominyuvannya-kvantovi-generatori-lazeri-ih-zastosuvannya.html.
5. Класифікація лазерів [Електронний ресурс]: Режим доступу <https://bit.ly/2Kd2lTY>.
6. Застосування лазерів у медицині [Електронний ресурс]: Режим доступу <https://bit.ly/2Kd2lTY>.
7. Лазери. Їх використання у медицині. Сучасні лазери. [Електронний ресурс]: Режим доступу <http://kolesoto.narod.ru/med/biofizica/lazer/lazer.html>.

Сибіль М. Г.