

Смолен Юліана Олександрівна

студентка групи БДМУ-2-20 група , 1 курс, напрям підготовки «Природничі науки»
yuliana2507@ukr.net

Науковий керівник

Бірюкова Тетяна Вікторівна

кандидат технічних наук, доцент, асистент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет»
tanokbir@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У МЕДИЦИНІ

Анотація. Стаття присвячена питанню застосування лазерного випромінювання у медичній сфері. Здійснено теоретичний і науковий аналіз лазерного випромінювання. Показано принципи його дії та основні властивості, завдяки яким лазерні промені набули широкого використання у всіх сферах життя людини. Також розглянуто основні галузі медицини, де найактивніше застосовують лазери. Розроблені висновки, що допоможуть зрозуміти чому лазери є важливою ланкою у вивченні фізики на прикладі застосування у медицині.
Ключові слова: лазери; лазерна медицина; активне середовище; оптичний резонатор; система накачування.

Актуальність теми. За останні кілька років лазерна медицина одержала широке поширення і стала користуватися великою популярністю у всьому світі. Щорічно стали з'являтися новітні прилади, лазерні установки, а також джерела лазерного випромінювання зі спеціальними властивостями. Ось тому лазерна медицина і набирає все більше і більше обертів у своєму розвитку, а також розширює сфери і можливості використання таких способів лікування в різних діагностичних чи лікувальних цілях.

Розвиток лазерної техніки дозволив сформувати великий науково-технічний напрямок – взаємодії когерентного монохроматичного електромагнітного випромінювання з біологічними системами – лазерної медицини. Лазерне випромінювання успішно застосовується в хірургії, онкології, офтальмології, терапії, стоматології, урології, гінекології, щелепно-лицевій хірургії, нейрохірургії, ендоскопії, фізіотерапії. Відкриття лазерного фотогідравлічного ефекту дало широкий спектр можливостей для пластичної хірургії. В онкології для лікування ран, виразок, шкіряних захворювань застосовують низькоінтенсивне лазерне випромінювання.

Мета дослідження – з'ясувати властивості лазерного випромінювання, будову лазерних установок, їх види та використання лазера в медицині та в процесі вивчення фізики в навчальних закладах.

Шляхи реалізації мети та завдань: узагальнення теоретичних даних; аналіз наукових джерел; порівняння, синтез присвячених проблемі дослідження властивостей лазерних променів з метою обґрунтування науково-теоретичного підґрунтя для підтвердження актуальності теми; узагальнення та систематизації з метою покращення принципів дії та збільшення використання лазерів у різних сферах людської діяльності, обробка даних та визначення значущості отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Лазерна техніка з кожним роком знаходить все ширше використання. Це зумовлено унікальними властивостями лазерного випромінювання:

- часова когерентність складає $t=10^{-3}$ с, довжина когерентності $l=10$ м (звичайні джерела світла мають $t\sim 10^{-8}$ с, $l=3$ м);
- монохроматичність, що вимірюється півшириною хвилі;
- надзвичайно велика потужність випромінювання;
- кутова розбіжність лазерного випромінювання така, що промінь лазера створює на Місяці пляму діаметром до 3км, коли звичайний прожектор дасть пляму діаметром до 40 000 км;
- ККД лазерів за своїм типом може складати від 0,01% до 75% і більше.

Усі лазери складаються з трьох основних частин:

- активного (робочого) середовища;
- системи накачування (джерело енергії);
- оптичного резонатора (може бути відсутнім, якщо лазер працює в режимі підсилювача).

1. Активне середовище

Як робоче середовище лазера використовуються усі агрегатні стани речовини : твердий, рідкий, газоподібний і навіть плазма. У звичайному стані

число атомів, що знаходяться на збуджених енергетичних рівнях, дуже мало, тому вірогідність того, що фотон, поширюючись по середовищу, викличе вимушене випромінювання також дуже мала в порівнянні з вірогідністю його поглинання. Тому електромагнітна хвиля, проходячи по речовині, витрачає свою енергію на збудження атомів.

Коли число збуджених атомів більше, ніж незбуджених, ситуація прямо протилежна. Акти вимушеного випромінювання переважають над поглинанням, і випромінювання посилюється.

2. Система накачування

Для створення інверсної населеності середовища лазера використовуються різні механізми. У твердотільних лазерах вона здійснюється за рахунок опромінення потужними газорозрядними лампами – спалахами, сфокусованим сонячним випромінюванням і випромінюванням інших лазерів.

При цьому можлива робота тільки в імпульсному режимі, оскільки потрібно дуже велику щільність енергії накачування, що викликає при тривалій дії сильне розігрівання і руйнування стержня робочої речовини. У газових і рідинних лазерах використовується накачування електричним розрядом. Такі лазери працюють в безперервному режимі. Накачування хімічних лазерів відбувається за допомогою протікання в їх активному середовищі хімічних реакцій. Накачування напівпровідникових лазерів відбувається під дією сильного прямого струму через р-п перехід, а також пучком електронів. Існують і інші методи накачування (газодинамічні, полягаючі в різкому охолодженні заздалегідь нагрітих газів; фотодиссоціація, окремий випадок хімічного накачування та ін.).

Класична трирівнева система накачування робочого середовища використовується, наприклад, в рубіновому лазері.

3. Оптичний резонатор

Завдяки спектральній лінії укладається три власні частоти резонатора. В цьому випадку генероване лазером випромінювання буде трьохмодовим. Для

фіолетової лінії випромінювання буде чисто монохроматичним. Дзеркала лазера не лише забезпечують існування позитивного зворотного зв'язку, але і працюють як резонатор, посилюючи одні генеровані лазером моди, і послабляючи інші.

Лінії в спектрі випромінювання через різні причини завжди мають певну ширину. Тому можуть виникати ситуації, коли на ширину спектральної лінії укладається декілька власних частот резонатора. В цьому випадку випромінювання лазера буде багатомодовим. Синхронізація цих мод дозволяє добитися того, щоб випромінювання було послідовністю коротких і потужних імпульсів. Якщо у випромінюванні лазера буде присутня тільки одна частота, в даному випадку резонансні властивості системи дзеркал слабо виражені на тлі резонансних властивостей спектральної лінії.

Усі лазери класифікують на такі основні види:

1. Твердотільні лазери на твердих середовищах (діелектричні кристали). Як активатори зазвичай використовуються іони рідкоземельних елементів або іони групи заліза Fe.
2. Напівпровідникові лазери. Формально мають інший механізм накачування (інжекція надмірних носіїв заряду через р - n перехід або гетероперехід, електричний пробій в сильному полі, бомбардування швидкими електронами). Напівпровідникові лазери - найбільш споживаний в побуті вид лазерів. Окрім цього застосовуються в спектроскопії, в системах накачування інших лазерів, а також в медицині.
3. Лазери на барвниках. Тип лазерів, в яких розчин флуоресціюючих широких спектрів органічних барвників використовується як активне середовище. Лазерні переходи здійснюються між різними коливальними підрівнями першого збудженого і основного електронних станів.
4. Газові лазери - лазери, активним середовищем яких є суміш газів і пари. Відрізняються високою потужністю, монохроматичністю, а також вузькою спрямованістю випромінювання. Працюють в безперервному і

- імпульсному режимі. Залежно від системи накачування газові лазери розділяють на газорозрядні лазери, газові лазери з оптичним збудженням і збудженням зарядженими частками .
5. Газодинамічні лазери - газові лазери з тепловим накачуванням, інверсія в яких створюється між збудженими коливально-обертальними рівнями гетероядерних молекул шляхом адіабатичного розширення рухомої з високою швидкістю газової суміші.
 6. Ексімерні лазери - різновид газових лазерів, що працюють на енергетичних переходах, здатних існувати лише деякий час у збудженому стані. Накачування здійснюється пропусканням через газову суміш пучка електронів, під дією яких атоми переходять у збуджений стан з утворенням ексімерів, що фактично є середовищем з інверсією населеністю.
 7. 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 складених молекул - продуктів реакції.
 8. Лазери на вільних електронах - лазери, активним середовищем яких є потік вільних електронів, що коливаються в зовнішньому електромагнітному полі (за рахунок чого здійснюється випромінювання) і поширюються з релятивістською швидкістю у напрямі випромінювання. Основною особливістю є можливість плавної широкодіапазонної перебудови частоти генерації.
 9. Квантові каскадні лазери – напівпровідникові лазери, які випромінюють в середньому і далекому інфрачервоному діапазоні. На відміну від звичайних напівпровідникових лазерів, які випромінюють за допомогою вимушених переходів між дозволеними електронними і дірковими рівнями, розділеними забороненою зоною напівпровідника,

випромінювання квантових каскадних лазерів виникає під час переходу електронів між шарами гетероструктури напівпровідника і складається з двох типів променів, причому вторинний промінь має дуже незвичайні властивості і не вимагає великих витрат енергії.

Фізичною основою роботи лазера служить явище вимушеного (індукованого) випромінювання. Суть явища полягає в тому, що збуджений атом здатний випромінювати фотон під дією іншого фотона без його поглинання, якщо енергія останнього дорівнює різниці енергій рівнів атома до і після випромінювання. При цьому фотон, що випромінює, когерентний фотону, що викликав випромінювання (є його "точною копією"). Таким чином відбувається посилення світла. Цим явище відрізняється від спонтанного випромінювання, в якому випромінювані фотони мають випадкові напрям поширення, поляризацію і фазу.

Першоджерелом генерації є процес спонтанного випромінювання, тому для забезпечення спадкоємності поколінь фотонів потрібне існування позитивного зворотного зв'язку, за рахунок якого фотони, що випромінюють, викликають наступні акти індукованого випромінювання. Для цього активне середовище лазера поміщається в оптичний резонатор.

У простому випадку він є двома дзеркалами, одне з яких напівпрозоре - через нього промінь лазера частково виходить з резонатора. Відбиваючись від дзеркал, пучок випромінювання багаторазово проходить по резонатору, викликаючи в ньому індуковані переходи. Випромінювання може бути як безперервним, так і імпульсним. При цьому, використовуючи різні прилади для швидкого виключення і включення зворотного зв'язку і зменшення тим самим періоду імпульсів, можливо створити умови для генерації випромінювання дуже великої потужності (так звані гігантські імпульси). Цей режим роботи лазера називають режимом модульованої добротності. Генероване лазером випромінювання є монохроматичним, оскільки вірогідність випромінювання фотона певної довжини хвилі більша, ніж близько розташованій, пов'язаній з

розширенням спектральній лінії, а, відповідно, і вірогідність індукованих переходів на цій частоті теж має максимум. Таким чином, промінь лазера має дуже малий кут розходження. Нарешті, промінь лазера має строго певну поляризацію.

Лазерне випромінювання широко застосовується в інформаційних системах, радіотехніці, енергетиці, зв'язку, металургії, металообробці, біології, медицині та ін.

Сьогодні важко навіть перерахувати різні використання лазерів у сучасній науці і техніці. Лазери отримали широке застосування в наукових дослідженнях, голографії і в сучасній вимірювальній техніці – для оптичної локації, в геодезії, точного вимірювання відстаней, лінійної і кутової швидкостей, прискорень. Усе ширше впроваджуються в практику лазерні методи контролю за станом атмосфери, якістю виробів, для виявлення в різних деталях внутрішніх дефектів.

Великі можливості відкриваються перед лазерною технікою в біології й медицині. Створено лазерні установки для хірургічних операцій, включаючи операції на оці людини. Лазерний промінь застосовується не тільки в хірургії, як скальпель, але й у терапії.

Застосування лазерних променів у дерматології

Лазерні промені застосовуються у дерматології для лікування бородавок, гнійних гранульом, доброякісних новоутворень шкіри. Лазерний промінь вибірково поглинається забарвленими структурами. Він руйнує лише пігментні ділянки тканини. Ця його здатність використовується для лікування захворювань шкіри, наприклад, для виведення вроджених плям, татуювання. Донедавна вважали невиліковними вроджені червоно-сині плями на шкірі. У таких плямах епідерміс має нормальну структуру, порушена лише структура сітки кровоносних судин під епідермісом. Для лікування використовують синьо-зелене випромінювання (з довжиною хвилі 488 нм (синій) та 514,5 нм (зелений)), від аргонного лазера, яке проходить через прозорий для нього

епідерміс практично не пошкоджуючи його. А далі це випромінювання поглинається гемоглобіном кровоносних судин, зумовлюючи їх термічне пошкодження та закупорку. На цьому місці утворюється безбарвний рубець.

Застосування лазерних променів у хірургії

Випромінювання високої потужності, використовують в хірургії як скальпель. Лазерний промінь направляють за допомогою гнучкого світловода на тканину. Світловод закінчується лінзою та ручкою. Промінь фокусується в точку з діаметром у декілька десятимільярдних часток метра. Таким “скальпелем” розтинають тканину тіла, забезпечуючи стерильність. Розтин проводиться дуже точно і швидко, не спричиняє кровотечі, оскільки висока температура на місці розтину зумовлює миттєву коагуляцію білків і просвіт кровоносних судин закривається. Для розрізання біологічних тканин використовується сфокусований промінь безперервного CO₂-лазера, що має довжину хвилі $\lambda = 10,6$ мкм, потужність $2 \cdot 10^3$ Вт / см².

Застосування лазерних променів в офтальмології

Лазери використовують в офтальмології для лікування глаукоми, катаракти, відшарування сітківки тощо. Глаукома – підвищення внутрішньоочного тиску, зумовлене порушенням відтоку внутрішньоочної рідини. Причиною цього є пошкодження початкового відрізка системи відтоку. Створено лазерну установку, яка дає модульований світловий імпульс, енергія в одному імпульсі виділяється за мільйонні частки секунди. При модульованому імпульсі потужність зростає дуже швидко і термічний ефект не встигає розвинути. Лазерна дія стає холодною, в точці фокусування променя утворюється отвір. Для лікування сітчатки ока використовують аргонний лазер з довжиною хвилі 488,0; 514,5 м.

При відшаруванні сітківки використовується лазерне випромінювання з невеликою енергією. Промінь проходить через прозорі тканини ока, не пошкоджуючи їх, фокусується на очному дні у місці відшарування сітківки і

там виникає точковий опік. Потім утворюється рубець, що приварює сітківку до розміщеної над нею судинної оболонки, і зір відновлюється.

Застосування лазерних променів у нейрохірургії

Використовують лазерний “скальпель” у нейрохірургії, адже завдяки йому патологічне вогнище можна видалити без механічного контакту з ніжними тканинами нервової системи. Сфокусований до мінімуму лазерний промінь використовують для зшивання судин мозку як на поверхні мозкової тканини, так і в глибині. Зшивають судини діаметром, меншим від 0,5 мм, звичайна хірургічна техніка не дає таких можливостей. В Інституті нейрохірургії при видаленні внутрішньочерепних пухлин використовують вуглекислотний лазер потужністю 60 Вт, неодимовий АІГ лазер - 50 Вт, гольмієвий лазер - 45 Вт.

Застосування лазерних променів у стоматології

Лазери також можуть бути використані в стоматології для діагностики тріщин на емалі, які виявити іншими методами неможливо. У стоматології найбільш часто застосовують СО₂-лазер для впливу на м'які тканини, і ербієвий лазер для препарування твердих тканин через його специфічні властивості. Найбільш перспективний лазер в стоматології - ербієвий лазер (довжина хвилі 2940 і 2780 нм).

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, виходячи з усього вищесказаного, можна стверджувати, що винахід лазерів стоїть в одному ряду з найбільш видатними досягненнями науки і техніки ХХ століття.

З кожним днем лазерне випромінювання використовують все більше і більше. Усі ми бачили лазерні шоу в цирку чи на естрадних концертах. Тонкі світлові голки пронизують простір залу, швидко пролітають над головами.

Лазери досить широко використовують в різних сферах діяльності людей: в наукових дослідженнях, голографії і в сучасній вимірювальній техніці, в біології й медицині.

Використання випромінювання лазера в **медицині** має ряд переваг, зокрема, точна локалізація місця коагуляції та мале нагрівання тканин, що

містяться навколо області коагуляції, здійснюються внаслідок короткого часу експозиції. Монохроматичність світла зменшує ефект хроматичної аберації ока, що сприяє проведенню спостереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Байбородін Ю. В. Основи лазерної техніки. – К.: Вища школа, 1988. – 234 с.
2. Звелто О. Принципи лазерів. – М.: Світ, 1990. – С.137-146.
3. Євтушенко Г.С., Аристов А.А. Лазерні системи в медицині. – Томск: ТПУ, 2003. – 279 с.
4. Кондиленко І.І., Коротков П. А., Хижняк А.І. Фізика лазерів. – К.: Вища школа, 2000. – С.97-105.
5. Тараса Л.В. Фізика процесів в генераторах когерентного оптичного випромінювання. – М.: Радіо і зв'язок, 2006. – 326 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Смолен Юлиана Александровна

студентка групи БГМУ-2-20 група, 1 курс, спеціальність «Естественные науки»
yuliana2507@ukr.net

Научный_руководитель

Бирюкова Татьяна Викторовна

кандидат технических наук, доцент, ассистент кафедры биологической физики и медицинской информатики, Высшее государственное учебное учреждение «Буковинский государственный медицинский университет»
tanokbir@ukr.net

Аннотация. Статья посвящена вопросу применения лазерного излучения в медицинской сфере. Осуществлен теоретический и научный анализ лазерного излучения. Показано принципы его действия и основные свойства, благодаря которым лазерные лучи получили широкое использование во всех сферах жизни человека. Также даются основные отрасли медицины, где активно применяют лазеры. Разработаны выводы, которые помогут понять, почему лазеры являются важным звеном в изучении физики на примере применения в медицине.

Ключевые слова: лазеры; лазерная медицина; активная среда; оптический резонатор; система накачки.

USING LASER RADIATION IN MEDICINE

Smolen Yuliana Oleksandrovna

student group BSMU-group 2-20, 1 course, training of "Science"

yuliana2507@ukr.net

Scientific_supervisor

Biryukova Tatyana Viktorovna

Ph.D., Associate Professor, Assistant Department of Biological Physics and Medical Informatics, Higher state educational establishment of Ukraine "Bukovinian State Medical University"

© Ю.О. Смолен, Т.В. Бірюкова

tanokbir@ukr.net

Abstract. The article deals with the use of laser radiation in the medical field. The theoretical and scientific analysis of laser radiation. The principles of its operation and basic properties that make laser beams are widely used in all spheres of life. Also serves major areas of medicine where lasers are used most actively. Developed findings that help understand why lasers are an important link in the study of physics in the application of the medicine.

Keywords: lasers; Laser medicine; active environment; optical resonator; pumping system.