

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ  
Українська медична стоматологічна академія

«Затверджено»  
на засіданні кафедри  
медичної інформатики,  
медичної і біологічної фізики  
«27» серпня 2020 р.  
протокол №1 від «27» серпня 2020 р.  
Зав. кафедри \_\_\_\_\_ доцент Сілкова О.В.



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ  
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО)  
ЗАНЯТТЯ

Навчальна дисципліна	Медична і біологічна фізика
Модуль №2	Основи медичної фізики
Змістовний модуль	Елементи квантової механіки.
Тема заняття	Індуковане випромінювання. Визначення розмірів еритроцитів
Курс	I, II
Факультет	Медичний №1, 2, стоматологічний

### Актуальність теми:

На початку ХХ століття А. Ейнштейн передбачив, що крім існування спонтанного випромінювання повинно існувати ще й вимушене або індуковане випромінювання, оскільки атом перебуваючи в збудженому стані, може віддавати свою енергію у вигляді випромінювання двома шляхами. Перший шлях – спонтанне випромінювання, другий шлях – індуковане, у якому бере участь два фотони. Перший (зовнішній) фотон, зумовлює випромінювання збудженого атома чи молекули, і вторинний фотон, що випромінюється ними. За допомогою отримання вимушеного випромінювання стало можливим відкриття оптичного квантового генератора – лазера. Це відкриття стало дуже важливим для розвитку різних галузей знань: створення лазерної техніки, термоядерного синтезу, нелінійної оптики, голографії, фотохімії, хімічного синтезу, каталізу, мікробіології, генетики, медицині, тощо.

Важливим для медицини є поєднання лазерів із спеціальною волокнистою оптикою, що в свою чергу стало інструментом дослідження та лікування внутрішніх органів людського організму.

Лазерне випромінювання гелій-неонового лазера строго когерентне з довжиною електромагнітної хвилі 632,8 нм. З допомогою дифракції лазерного випромінювання можна визначити розміри предметів сумісних з їх довжиною хвилі. Саме дифракційна картина лазерного випромінювання дає інформацію як про величину, так і про розташування в просторі зазначених об'єктів.

У зв'язку з цим вивчення дифракції лазерного випромінювання має велике значення для розвитку медицини та біології.

### 2. Конкретні цілі:

- *Знати* будову та принцип дії гелій-неонового лазера;
- *Пояснювати* процеси збудження лазерного випромінювання та дифракцію променів лазерного випромінювання; утворення максимумів і мінімумів згідно теорії Гюйгенса.
- *Засвоїти* метод визначення розмірів еритроцитів за допомогою дифракції;
- *Оволодіти* вміннями визначати розміри еритроцитів за допомогою дифракції.

### 3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція):

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1. гістологія 2. біологія 3. фізика	Володіти знаннями про будову та функції еритроцитів. Зображувати схематично будову лазера. Застосовувати раніше отримані знання для визначення розмірів еритроцитів під час лабораторної роботи.

### 4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

#### 4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
--------	------------

1. Індуковане випромінювання	Випромінювання квантовими системами (наприклад, атомами) електромагнітного проміння під дією зовнішнього електромагнітного поля.
2. Лазер	<i>light amplification by stimulated emission of radiation</i> «посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання» – пристрій для генерування або підсилення монохроматичного світла, створення вузького пучка світла, здатного поширюватися на великі відстані без розсіювання і створювати винятково велику густину потужності випромінювання при фокусуванні.
3. Дифракція світла	Явище, що виникає при поширенні хвиль (наприклад, світлових і звукових хвиль) і полягає в тому, що хвиля здатна оминати перешкоди, які виникають на її шляху.

#### 4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Електронні переходи в атомах, молекулах;
2. Будова та дія гелій-неонового лазера;
3. Будова та дія рубінового лазера;
4. Дифракція лазерного випромінювання;
5. Вимірювання розмірів еритроцитів;
6. Чому для отримання лазерного випромінювання необхідне джерело збудження?
7. Яка різниця між синглетними і триплетними переходами електронів під час збудження?
8. Назвати причини виникнення дифракції світла.

#### 4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

№ п/п	Завдання	Послідовність виконання	Зауваження, попередження, щодо самоконтролю
1	Отримати дифракційну картину лазерного випромінювання на мазку крові.	Увімкнути гелій-неоновий лазер. Спрямувати лазерний промінь на мазок крові. Виміряти відстань від мазка до дифракційної картини на екрані.	
2.	Визначення розмірів еритроцитів.	Виміряти відстань від центрального максимуму до наступних мінімумів і максимумів першого та другого порядку.	Дослідження провести при різних відстанях мазка від екрану. Вимірювання провести в порядку зазначеному в послідовності виконання.
3	Розрахунок розмірів	Розміри еритроцитів обчислити за нижче поданими формулами та знайти	

	еритроцитів.	їх середнє значення: ➤ для першого мінімуму: $r_1 = \frac{0,61\lambda\sqrt{L^2 + l_2^2}}{l_1}$ ➤ для першого максимуму: $r_2 = \frac{0,81\lambda\sqrt{L^2 + l_2^2}}{l_2}$ ➤ для другого мінімуму: $r_3 = \frac{0,12\lambda\sqrt{L^2 + l_2^2}}{l_3}$ ➤ для другого максимуму: $r_4 = \frac{0,33\lambda\sqrt{L^2 + l_2^2}}{l_4}$	
--	--------------	---	--

1. Набути навичок розв'язування задач;
2. Оволодіти технікою розв'язку типових задач;
3. Вміти застосовувати отримані знання в нестандартних ситуаціях.

### Зміст теми:

При нормальних умовах у атомах і молекулах їх енергетичні рівні заселені так, що речовина поглинає фотони світла (чи кванти електромагнітної енергії), які через неї проходять і ніколи їх не підсилюють. Це пояснюється тим, що в стані теплової рівноваги при температурі  $T$  відповідно до розподілу Больцмана заселення енергетичних рівнів атомами виражається формулою:

$$N_n / N_i = e^{-\Delta E_i / kT} \ll 1,$$

де  $N_n / N_i$  – відповідно заселеність вищого енергетичного рівня з енергією  $E_n$  і основою енергетичного рівня з енергією  $E_i$ ,  $\Delta E = E_n - E_i$ . З цього випливає, що чим вищий енергетичний рівень, тим він бідніший на частинки. Це свідчить про те, що в умовах термодинамічної рівноваги в атомах акти поглинання переважають над актами вимушених випромінювань.

Отже, за допомогою додаткового зовнішнього впливу, який перешкоджає би встановленню рівноважного заселення енергетичних рівнів, можна досягти їх інверсного заселення. Для цього потрібно додаткова енергія, яку називають енергією підкачування. На цьому принципі і працюють оптичні квантові генератори – «лазери». Підкреслимо, що найбільш важливі способи підкачування такі: електричний розряд, дія електромагнітного поля, хімічна реакція, сортування, внаслідок якого відбувається розподіл атомів, які знаходяться в енергетичних станах  $E_n$  і  $E_i$  тощо.

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.

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

*Індуковане (вимушене) випромінювання* – випромінювання, що виникає у збудженому атомі при переході в нормальний стан під дією зовнішніх факторів (наприклад, під впливом світла). Поняття спонтанне та вимушене випромінювання уперше ввів Ейнштейн у 1915 році. Процес індукованого випромінювання знайшов практичне застосування у квантових генераторах.

Лазерами називаються квантові генератори, які випромінюють у видимому й інфрачервоному діапазонах.

*Light amplification by stimulated emission of radiation* – підсилення світла індукованим випромінюванням. У генераторах, які випромінюють у мікрохвильовому діапазоні, літеру *l* (light – світло) замінено на *m*. Це так звані *мазери*.

Лазерне випромінювання когерентне, і як звичайне світло поширюється прямолінійно. Коли на шляху паралельного пучка лазерного випромінювання поставити будь-який предмет, розміри якого менші або сумісні з довжиною світлової хвилі, то на екрані виникає явище дифракції світла. Аналогічну картину можна одержати і за допомогою дифракційної ґратки чи маленьких круглих отворів.

Аналогічне явище виникає на екрані, коли лазерне світло проходить через моношар еритроцитів, розміри яких сумісні з довжиною випромінювання гелій-неонового лазера ( $\lambda = 632,8\text{нм}$ ). Технічне вимірювання таких частинок є досить складним. Радіус їх вимірюється за формулою:

$$r_1 = \frac{0,61\lambda\sqrt{L^2 + l_1^2}}{l_1}$$

➤ для першого мінімуму:

$$r_2 = \frac{0,81\lambda\sqrt{L^2 + l_2^2}}{l_2}$$

➤ для першого максимуму:

$$r_3 = \frac{0,12\lambda\sqrt{L^2 + l_3^2}}{l_3}$$

➤ для другого мінімуму:

$$r_4 = \frac{0,33\lambda\sqrt{L^2 + l_4^2}}{l_4}$$

➤ для другого максимуму:

де  $L$  – відстань від мазка до екрана,  $L_1, L_2, L_3, L_4$  – віддаль від центра нульового максимуму, до першого, другого, третього та четвертого мінімумів та максимумів.

Маючи значення вимірних чотирьох радіусів, знаходять його середнє значення.

Ця методика досить вигідна і широко використовується в медичних та технічних дослідженнях.

### **Матеріали для самоконтролю:**

**А.** Завдання для самоконтролю (таблиці, схеми, малюнки, графіки):

1. Що є властивим лазерному променю?

- А) просторова і часова когерентності;
- В) здатність поширення широкими пучками;
- С) значна інтенсивність світла;
- Д) відсутність поляризації;
- Е) монохроматичність.

2. Які процеси лежать в основі лікувальних ефектів лазерного випромінювання?

- A) Випаровування тканин;
  - B) Конденсації тканин;
  - C) Мутації;
  - D) Коагуляції тканин;
  - E) Біостимуляції.
3. Що являють собою активні середовища для підсилення світла?
- A) речовини, в яких можлива інверсна заселеність енергетичних рівнів;
  - B) речовини, які практично не проводять електричний струм;
  - C) речовини, які здатні до люмінесценції під дією різного роду збудження;
  - D) речовини, здатні повертати площину поляризації світла;
  - E) речовини, які у зовнішньому магнітному полі намагнічуються.
4. Що таке метастабільний стан квантових систем?
- A) стан системи, в якому спостерігається явище викривлення променя електромагнітних хвиль у неоднорідному середовищі;
  - B) агрегатний стан речовини, проміжний між твердим тілом і газом;
  - C) збуджений енергетичний стан атомних систем, в якому вони можуть перебувати тривалий час;
  - D) пристосування у процесі еволюції будови, функцій, поведінки організмів до певних умов існування;
  - E) збуджений енергетичний стан атомних систем, в якому вони можуть перебувати короткий час.
5. Що називається індукованим випромінюванням?
- A) випромінювання нагрітими тілами електромагнітних хвиль за рахунок їх внутрішньої енергії;
  - B) надлишкове над тепловим випромінювання світла;
  - C) випромінювання будь-яких атомів, які перебувають у збудженому стані;
  - D) випромінювання, яке виникає в результаті переходу атома з метастабільного стану в основний під впливом резонансного фотона;
  - E) випромінювання, яке виникає в результаті переходу атома із збудженого стану в основний під впливом рентгенівського випромінювання.
6. Що є складовими гелій-неонового лазера?
- A) Рубіновий стержень;
  - B) Ксенонова лампа;
  - C) Резонатор;
  - D) Джерело збудження;
  - E) Газорозрядна трубка.
7. Що необхідно знати для визначення розмірів еритроцитів за допомогою дифракції лазерного випромінювання?
- A) Порядок максимуму або мінімуму дифракційної картини та радіус кільця, що йому відповідає;
  - B) Відстань від лазера до мазка крові;
  - C) Довжину світлової хвилі лазерного випромінювання;
  - D) Відстань від мазка крові до екрану;
  - E) Кутове розходження променя лазера.
8. Чим забезпечується робота квантових підсилювачів?
- A) Спеціально підібраним активним середовищем;
  - B) Позитивним зворотним оптичним зв'язком;
  - C) Наявністю когерентного джерела світла;

- D) Створенням рівноважної заселеності енергетичних рівнів в середовищі;  
E) Створенням інверсної заселеності енергетичних рівнів в середовищі.
9. Як розшифровується аббревіатура LASER?
- A) Послаблення світла за допомогою прямого випромінювання;  
B) Підсилення світла за допомогою додаткового випромінювання;  
C) Підсилення світла за допомогою вимушеного випромінювання;  
D) Підсилення світла за допомогою опромінювання;  
E) Підсилення світла за допомогою індукованого випромінювання.
10. Накачування квантової системи – це:
- A) явище зменшення електричного опору провідників при їх охолодженні;  
B) розділення речовин з використанням напівпроникних мембран;  
C) намагнічування речовини назустріч напрямку зовнішнього магнітного поля;  
D) процес створення нерівноважного стану речовини;  
E) рух рідини крізь пори перегородки під дією гідростатичного тиску.

### **Література.**

#### **Основна:**

1. Лабораторний практикум з біофізики/ Доценко В.І. та ін. – Полтава 2003. – С.
2. Практичний курс по загальній фізіології і біофізиці. – Полтава, 1992. – С. 28-43.
3. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: 1987. – §13.1-§13.6.
4. Чалий О.В. та ін. Медична і біологічна фізика. Т.2 – К.: ВІПОЛ, 1999.
5. Физика биологических мембран/ С.Г. Галактионов и др. – М.: Знание, 1976. – 64с..

#### **Додаткова:**

1. Губанов Н.И., Утепбергенов А.А. Медична біофізика. – М.: Медицина, 1978. – С. 124-167.
2. Ємчик Л., Кліт Я. Медична біофізика. – Львів, 1998. – С. 39-51.
3. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика. – Харьков: изд. НФАУ, 2003. – 704с.