

Апаратура для фізіотерапії та діагностики



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

АПАРАТУРА ДЛЯ ФІЗІОТЕРАПІЇ ТА ДІАГНОСТИКИ

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2011

УДК 621.396:615.47(075)

ББК 32.844:34.7.73

A58

Автори:

**С. М. Злепко, С. В. Павлов, В. Б. Василенко, С. В. Тимчик,
В. Х. Касіяненко**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Оптехніка». Лист № 1/11 – 5510 від 22. 06. 2010 р.

Рецензенти:

В. І. Осінський, доктор технічних наук, професор

В. Г. Петрук, доктор технічних наук, професор

І. І. Хаїмзон, доктор технічних наук, професор

Апаратура для фізіотерапії та діагностики: навчальний
A58 посібник / С. М. Злепко, С. В. Павлов, В. Б. Василенко та ін. –
Вінниця : ВНТУ, 2011. - 212 с.

ISBN 978-966-641-451-2

У навчальному посібнику висвітлено результати експериментальних та клінічних досліджень взаємодії та оцінювання впливу на біологічні об'єкти полів різної фізичної природи: електричного, магнітного і електромагнітного практично всього частотного діапазону. Розглянуто основні типи лазерних та фотонних апаратів, що використовуються у біології та медицині. Наведені новітні розробки фізіотерапевтичної апаратури для застосування в біомедичній практиці.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальностей “Лазерна та оптоелектронна техніка”, “Біотехнічні та медичні апарати і системи та “Електронні апарати”, які займаються розробкою оптоелектронних приладів та систем.

УДК 621.396:615.47(075)

ББК 32.844:34.7.73

ISBN 978-966-641-451-2

© С. Злепко, С. Павлов, В. Василенко, С. Тимчик, В. Касіяненко, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ПЕРЕДМОВА	7
1 ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНОЇ АПАРАТУРИ	9
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	11
2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ (ЕМП) З БІОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ	12
2.1 Оцінка впливу випромінювань різного походження на організм людини	12
2.1.1 Характеристика електромагнітних випромінювань.....	12
2.1.2 Високо- та ультрависокочастотні діапазони.....	13
2.1.3 Надвисокочастотний діапазон	14
2.1.4 Оптичне випромінювання.....	15
2.2. Лазерне випромінювання в біології і медицині.....	15
2.2.1 Фізичні основи лазерного випромінювання	20
2.2.2 Властивості лазерного випромінювання	21
2.2.3 Дози оптичного випромінювання	24
2.3 Поглинання і перетворення живими тканинами енергії ЕМП в теплову.....	30
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	32
3 ПРИНЦИПИ ФІЗИОТЕРАПІЇ	33
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	41
4 ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНА ВИСОКОЧАСТОТНА АПАРАТУРА.....	42
4.1 Фізичне обґрунтування дії ВЧ коливань на тканини організму	42
4.2 Використання імпульсних і змінних струмів для електродіагностики та електростимуляції	44
4.2.1 Призначення приладу «Ампліпульс-4»	52
4.2.2 Конструкція і принцип роботи	54
4.3 Електрохірургічні високочастотні апарати	56

4.4 Апаратура для місцевої дарсонвалізації	63
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	65
5 ФІЗІОТЕРАПЕВТИЧНА НИЗЬКОЧАСТОТНА АПАРАТУРА.....	66
5.1 Використання постійних струмів для проведення гальванізації та електрофорезу	66
5.2 Апарати для електротерапії імпульсним струмом низької і середньої частоти	70
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	73
6 ФІЗІОТЕРАПЕВТИЧНА АПАРАТУРА ДЛЯ МАГНІТОТЕРАПІЇ	74
6.1 Використання для терапії низькочастотних магнітних полів.....	74
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	75
7 Ультразвукова терапевтична апаратура.....	76
7.1 Фізичні основи ультразвукової терапії	76
7.2 Апарати для ультразвукової терапії	82
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	83
8 ФІЗІОТЕРАПЕВТИЧНА АПАРАТУРА ДЛЯ СВІТЛО- І ТЕПЛОЛІКУВАННЯ.....	84
8.1 ІНФІТА-терапія	87
8.2 Фотонна апаратура корпорації «Лазер і здоров'я»	91
8.3 Фотоматрична (ФМ) терапевтична апаратура.....	92
8.3.1 Особливості впливу ФМ-апаратури	93
8.3.2. Взаємодія ФМ-апаратури з біооб'єктом	98
8.3.3 Фотоматрична апаратура	99
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	103
9 ЛАЗЕРНА ТЕРАПІЯ	104
9.1 Принципи взаємодії лазерного випромінювання з біологічними об'єктами.....	104
9.2 Принципи лазерної діагностики	107
9.3 Розповсюдження світла в багат шарових тканинах.....	109
9.4 Біофізичний механізм дії лазерного випромінювання	113

9.5 Біологічні ефекти в живих тканинах, що обумовлені впливом лазерного випромінювання.....	117
9.5.1 Фотохімічні ефекти – біостимуляція.....	119
9.5.2 Фототермічні і фотоіонізаційні ефекти.....	125
9.6 Методи лазерного опромінення.....	135
9.6.1 Лазеропунктура.....	137
9.6.2 Лазерна літотріпсія.....	141
9.7 Лазери в офтальмології.....	150
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	158
10 КОРОТКОХВИЛЬОВА ТА МІКРОХВИЛЬОВА ТЕРАПІЯ.....	159
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	166
11 ЛІКУВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНА КВЧ-АПАРАТУРА.....	167
11.1 Апаратна база КВЧ-терапії.....	168
11.2 Основні тенденції розвитку методу об'єднаної рефлексотерапії.....	171
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	176
12 ОЗОНОТЕРАПІЯ.....	177
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	179
13 ВИСОКОТОНОВА ТЕРАПІЯ.....	180
13.1 Природа високотонової терапії.....	180
13.2 Апаратура для високотонової терапії.....	183
13.3 Високотонова апаратура для електростимулюючої та ультразвукової терапії.....	185
13.4 Високотонова апаратура для термотерапії.....	190
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.....	192
ПІСЛЯМОВА.....	193
ГЛОСАРІЙ.....	194
ЛІТЕРАТУРА.....	205

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ФТА	фізіотерапевтична апаратура
ЕМП	електромагнітне поле
НВЧ	надвисокі частоти
НІЛВ	низько інтенсивне лазерне випромінювання
ІЧ	інфрачервоний діапазон
УВЧ	ультрависокі частоти
УФ	ультрафіолетове світло
ФЧ	фізичні чинники
РЗ	рефлексогенні зони
ТА	точки акупунктури
УМГ	електроміограма
ЕЕГ	електроенцефалограма
РЕГ	реоенцефалограма
ЕХВА	електрохірургічний високочастотний апарат
ДЖ	джерело живлення
ГП	гідрофільні прокладки
ІНЕМП	імпульсне НЧ електромагнітне поле
ФМА	фотометрична апаратура
ФМТС	фотометрична терапевтична система
НІВ	низькоінтенсивне випромінювання
ФС	фотосенсибілізатор
МРТ	мікрохвильова резонансна терапія
ММХТ	міліметровохвильова терапія
ІХТ	інформаційно-хвильова терапія
НВЧ	надвисокі частоти
БАТ	біологічно-активні точки
БАЗ	біологічно-активні зони
БО	біологічний об'єкт
РПТ	рефлекторно-пунктуальна терапія
ПЕ	пігментний епітелій
ГМ	головний мозок
ДТЧ	діапазон терапевтичних частот
МЛТ	медична лазерна техніка
ЛВ	лазерне випромінювання
СДВ	світлодіодні випромінювачі
ШКТ	шлунково-кишковий тракт
ВТ	високотонова терапія

ПЕРЕДМОВА

Усе різноманіття живого на нашій планеті виникло, еволюціонувало і нині існує завдяки безупинній взаємодії з різними факторами навколишнього середовища, пристосовуючись до їх впливу і змін, використовуючи їх у процесах життєдіяльності. Більшість цих факторів мають електромагнітну природу. Протягом усієї епохи еволюції живих організмів електромагнітні випромінювання існують у середовищі їх існування – біосфері. Вчені послідовно виявляли все нові природні електромагнітні випромінювання в різних діапазонах електромагнітного спектра. До давно вже відомого діапазону сонячних випромінювань – від інфрачервоних до ультрафіолетових променів – додався діапазон іонізуючих випромінювань (рентгенівських і гамма променів) космічного і земного походження. В іншій, більш низькочастотній частині електромагнітного спектра, слідом за виявленням повільних періодичних змін (сезонних, місячних, добових) магнітних і електричних полів Землі, були відкриті короткоперіодні коливання магнітного поля Землі з частотами, що поширюються до сотень герц. А випромінювання атмосферних розрядів показало, що виникаючі при цьому електромагнітні випромінювання охоплюють широкий діапазон довжин хвиль – від наддовгих до ультракоротких; і нарешті, були відкриті радіовипромінювання Сонця і галактик у діапазоні від метрових до міліметрових хвиль. Електромагнітні поля і випромінювання пронизують усю біосферу Землі, тому можна вважати, що всі діапазони природного електромагнітного спектра зіграли відповідну роль в еволюції організмів.

Серед служб системи охорони здоров'я фізіотерапія займає одне з провідних місць за числом відвідувань і відпущених лікувальних процедур. До початку 90-х років загальний обсяг парку апаратури складав більше 150000 штук при середній кількості фізіотерапевтичних апаратів (ФТА) в одному кабінеті 8 найменувань і загальною кількістю процедур 60 млн. на рік.

Не дивлячись на те, що за минулий час оснащеність лікувально-профілактичних закладів фізіотерапевтичною апаратурою змінилась, потреба в нових апаратах, що реалізують класичні лікувальні методики, залишилась і стримується виключно фінансовими можливостями охорони здоров'я [1].

На фоні різкого зниження фундаментальних досліджень в області лікувального застосування фізичних факторів і недостатньої підготовки лікарів-фізіотерапевтів, що стримує розширення області застосування фізіотерапії, її обсяг постійно збільшується за рахунок виникнення у великій кількості оздоровчих центрів, косметичних салонів і приватно практикуючих лікарів, які широко використовують фізичні фактори в лікувальних, профілактичних, гігієнічних і реабілітаційних цілях. Особливого значення набуває використання ФТА при медичній реабілітації, яке обумовлене тим, що медична реабілітація базується на системному принципі, а дія фізичних факторів має саме системний характер, який проявляється в комплексному реагуванні систем організму у відповідь на вплив.

Як фізичні фактори для фізіотерапевтичного впливу використовуються найрізноманітніші види електричного струму; електричного, магнітного і електромагнітного полів практично всього частотного діапазону, включаючи оптичний; механічні коливання, в тому числі ультразвук, а також вплив повітря та газів різноманітного тиску і зміненого повітряного середовища [2,3].

1 ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНОЇ АПАРАТУРИ

Проблеми, а саме розвитку фізіотерапевтичної апаратури, впливають із задач у сфері науки та техніки, сформульованих відповідно до Закону України № 2623-III від 11 липня 2001 року „Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки”, а також фаховим напрямком Міністерства освіти та науки «Новітні біотехнології: діагностика і методи лікування найпоширеніших захворювань».

Фізіотерапевтична допомога, яка використовує для лікування преформовані (штучні) фізичні фактори є одним із важливих видів спеціалізованої медичної допомоги, яку потребують до 80 % хворих, що знаходяться на стаціонарному лікуванні, не менше 60 % амбулаторних хворих і практично всі, хто направлений на санаторне лікування.

Сучасна ФТА має широкий спектр енергетичного впливу від міліват при випромінюванні і долей вата при впливі електричного струму до десятків ват при впливі електричного магнітного поля (ЕМП) і сотень ват для некогерентного оптичного випромінювання. При перевищенні енергії впливаючого фактора компенсаторної можливості організму може відбутись необоротне пошкодження клітини, тому величина і тривалість впливу не повинні сприяти виникненню нового патологічного джерела, наприклад, стійкої гіперемії при лікуванні запальних процесів.

Навколо людського тіла існують такі фізичні поля: електричне, магнітне, електромагнітне, в тому числі НВЧ-поле деци-, санти-, ІЧ- і оптичного діапазону, акустичне, реєстрація яких дозволяє отримати таку інформацію про процеси в людському організмі, що неможливо отримати іншими способами. При цьому передача інформації за межі людського тіла і її узгодження із апаратурою повинно здійснюватись в межах однієї біотехнічної системи одночасно на інформаційному, речовинному і енергетичному рівнях.

Проте для ФТА, що працює за принципом біологічного зворотного зв'язку, повна автоматизація лікувального процесу недоречна, оскільки людський організм являє собою складну самоорганізуючу систему, яка виключає можливість створення жорсткого алгоритму зворотного зв'язку і до того ж індивідуальний оптимум біосистеми далеко не завжди збігається із середньостатистичним, на основі якого може бути синтезований керуючий алгоритм. Тому в наш час підвищення

ефективності апаратури, яка розробляється, полягає в об'єктивізації відповідної реакції організму на фізіотерапевтичний вплив у вигляді максимального прояву необхідного терапевтичного ефекту, що дозволяє правильно вибрати параметри впливу.

Ще одним напрямком підвищення ефективності ФТА є індивідуалізація впливу з урахуванням суб'єктивних даних конкретного пацієнта, наприклад, є синхронізація впливу з його біологічними ритмами.

Зовнішній вплив на організм із чітко визначеною частотою поля ініціює генерацію різноманітними біологічними системами коливань з досить широким частотним спектром відповідних реакцій. Біосинхронізація впливу передбачає зв'язок параметрів впливу із внутрішніми ритмами людини, причому для кожного фізичного фактора ці зв'язки свої.

За своєю суттю *фізіотерапія біооб'єкта* (*physiotherapy of bioobject*) являє собою зовнішню систему, при роботі якої дія фізичного фактора проявляється при поглинанні і трансформації його енергії у відповідні біологічні реакції. Хоча ця енергія безпосередньо не засвоюється організмом, вона сприяє суттєвому впливу на специфічні функції метаболізму, тому для ефективного впливу необхідний постійний контроль за зміною стану об'єкта. В основному перетворення в електричну енергію на етапі фізичної стадії взаємодії веде за собою зміну електричного стану клітини, яке відбувається у вигляді електрослабкої взаємодії, що об'єднує електромагнітну і слабку взаємодії.

Не зважаючи на панування в сучасній вітчизняній фізіотерапії теорії нервізму, одним із загальних принципів лікувального застосування фізичних факторів проголошено принцип малих дозувань, обумовлений введенням у медичну практику терапію низькоенергетичним випромінюванням лазера. За означенням А. С. Прессмана, головного ідеолога теорії низькоінтенсивних, енергетичних, інформаційних впливів [7], потужність яких вимірюється мікроватами, при енергоінформаційному впливі енергія, яка поглинається біосистемою, є одночасно і носієм інформації, що діє як сигнал і викликає реакцію біосистеми, обумовлену її власними енергетичними ресурсами. Оскільки для живого організму неможливий прямий обмін інформацією з навколишнім середовищем, існує часовий інтервал з моменту впливу зовнішнього фактора до появи відповідної реакції організму, причому, якщо при фармакологічному

впливі він складає години, дні і місяці, то при фізіотерапевтичному - дорівнює хвилинам і годинам.

З усіх видів факторів найбільш універсальним є вплив ЕМП, при якому різноманітні терапевтичні цілі досягаються зміною обмеженого набору параметрів, максимальною швидкістю розповсюдження, точним дозуванням самого фактора. Щодо електромагнітного випромінювання досягнення бажаного клінічного ефекту зводиться до вибору таких параметрів, як довжина хвилі, потужність, параметри імпульсної і частотної модуляції.

Останнім часом почали широко розроблятися апарати для комплексного послідовного або загального впливу різноманітними факторами. При виборі сполучення необхідно враховувати, що якщо розглядати фізіотерапевтичний вплив як керуючий сигнал для біооб'єкта, то інформація, внесена одним фактором, може бути стерта впливом іншого.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який спектр енергетичного впливу має фізіотерапевтична апаратура?
2. Які наслідки можуть бути при перевищенні енергії впливу?
3. Які шляхи підвищення ефективності фізіотерапевтичної апаратури ви знаєте?
4. Що собою являє фізіотерапія об'єкта?
5. В чому полягає різниця між фармакологічним та фізіотерапевтичним впливом?
6. Які параметри електромагнітного випромінювання потрібно враховувати для досягнення бажаного клінічного ефекту?

2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ (ЕМП) З БІОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

2.1 Оцінка впливу електромагнітних та інших випромінювань на організм людини

Середовище навколо нас завжди перебувало під впливом електромагнітних полів. Ці поля називаються фоновим випромінюванням, спричиненим природою. З розвитком науки й техніки фонове випромінювання значно підсилилося. Тому електромагнітні поля, які можна віднести до антропогенних, значно перевищують природний фон і останнім часом перетворилися на небезпечний екологічний чинник.

2.1.1 Характеристика електромагнітних випромінювань

Розглянемо спочатку поля природного походження. Навколо Землі існує електричне поле середньої напруженості 130 В/м. Воно зменшується від середніх широт до полюсів і до екватора, а також з віддаленням від земної поверхні. Спостерігають річні, добові та інші варіації цього поля, яке постійно змінюється під впливом грозових розрядів, опадів та інших природних катаклізмів.

Також існує магнітне поле напруженістю 47,8 А/м та 39,8 А/м на північному та південному полюсах, відповідно. Це поле коливається з 80-та 11-річним циклами змін, а також більш короткочасними змінами з різних причин, пов'язаних із сонячною активністю. Також існує магнітне поле 19,9 А/м на магнітному екваторі, яке інколи змінюється під впливом магнітних збурень. Діапазон частот електромагнітного поля, що випромінюється сонцем приблизно дорівнює 10МГц–10ГГц. Взагалі слід зазначити, що електромагнітне поле Землі постійно змінюється через низку факторів, таких як, сонячна активність, процеси у земних надрах та інше. Щодо спектра сонячного випромінювання, то він знаходиться біля короткохвильової області та поєднує у собі інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання. Інтенсивність цього випромінювання має постійну властивість періодично змінюватися та досить сильно збільшуватися під час атмосферних спалахів.

Ці поля впливають на біологічні об'єкти протягом всього часу їх життя. Тому у процесі еволюції людина пристосувалася до їх впливу і виробила здатність захищатися від можливих ушкоджень, обумовлених

природними чинниками. Систематичні дослідження щодо впливу електромагнітних полів на організм людини почалися десь з 50–х років ХХ століття, що дозволило встановити зв'язок між спалахами сонячної активності і змінами електромагнітного поля, та деякими групами захворювань у людей. Вивчаючи це явище, вчені помітили зміну умовно-рефлекторної діяльності біооб'єктів у рамках цього процесу.

Існує і така номенклатура розподілу діапазонів згідно з регламентом радіозв'язку:

30-300 кГц	НЧ
300-3000 кГц	СЧ
3-30 МГц	ВЧ
30-300 МГц	метрові
300-3000 МГц	УВЧ
3-30 ГГц	СВЧ
30-300 ГГц	НВЧ

Електромагнітні поля НЧ часто використовують у термічній обробці. ВЧ – у радіозв'язку, медицині, телебаченні, радіомовленні. Простір біля джерела поля поділяють на зони: ближню (зона індукції) та дальню (зона випромінювання). Границя між зонами дорівнює $R = \lambda / 2\pi$. В залежності від розташування зони характеристиками поля є: у ближній зоні – складова вектора напруженості електромагнітного поля; у дальній – енергетична характеристика, інтенсивність щільності енергетичного потоку.

2.1.2 Високо- та ультрависокочастотні діапазони

Розглянемо випромінювання ВЧ та УВЧ діапазонів. Медичні обстеження засвідчили суб'єктивні розлади, що спостерігаються під час ВЧ та НВЧ випромінювання: слабкість, підвищена втомлюваність, сонливість, головний біль, болі в області серця. Пригнічуються харчові та статеві рефлекси. Вченими було зафіксовано зміни показників білкового та вуглеводного обміну, збільшення концентрації азоту в організмі, а також зменшення концентрації альбуміну та підвищення глобуліну. Крім того, фіксують деякі зміни у крові, а саме: збільшення кількості лейкоцитів, тромбоцитів та інше.

При дослідженні впливу електромагнітних полів на організм людини, спостерігали групу людей, які мешкали поблизу радіостанцій. Це дослідження дало цікавий та тривожний результат: у цій контрольній групі

кількість скарг на здоров'я майже у два рази перевищувала середню. При дослідженні дітей було виявлено порушення розумової працездатності, зниження уваги через розвиток послідовного гальмування та пригнічення нервової системи. Було також виявлено, що внаслідок дії електромагнітних полів страждає також і імунно-біологічна система. Можливе також виникнення гострих та хронічних хвороб та функціональні порушення у роботі майже усіх систем організму. Зміни діяльності нервової та серцево-судинної систем мають кумулятивний характер, та не зважаючи на це, при припиненні впливу, а також поліпшенні умов праці, як правило, спостерігається покращення їх функціонування.

2.1.3 Надвисокочастотний діапазон

Активність впливу полів різних діапазонів частот збільшується з ростом частоти і дуже серйозно впливає у НВЧ діапазоні, де працюють багато теле- та радіостанцій, а також майже усі радіорелейні станції, радіолокатори та інше. НВЧ випромінювання поширюється у межах прямої видимості, а на деяких ділянках діапазону НВЧ хвилі розсіюються молекулами кисню, атмосферними опадами, що обмежує дальність їх поширення. У апаратурі, що використовує НВЧ діапазон, його застосування пов'язане із зменшенням перешкод та більш високою якістю передачі інформації, ніж у УВЧ діапазоні.

Але слід зазначити, що сучасна побутова та промислова апаратура зв'язку досить широко використовує саме СВЧ діапазон, у якому працює більшість телефонів мобільного зв'язку, безпроводні комп'ютерні мережі, радіостанції та інше.

При використанні НВЧ діапазону здебільшого встановлюють ненаправлені антени, які мають можливість сфокусувати випромінювання у вузький промінь антеною невеликих габаритів. У межах цього променя інтенсивність електромагнітного поля значно збільшується, а за його межами стає ледь помітною, що дозволяє досить чітко визначити зони, які є небезпечними для здоров'я.

При інтенсивності поля близько 20 мкВт/см^2 спостерігається зменшення частоти пульсу, зниження артеріального тиску. Ця дія більш сильна у людей, що вже отримували подібне опромінення. З ростом інтенсивності проявляються електрокардіографічні зміни, відмічається прискорення пульсу, коливання об'єму крові. При досягненні відмітки

інтенсивності у 6 мВт/см^2 відмічають зміни у статевих залозах, крові та помутніння кришталика.

Подальше опромінення помітно впливає на тканини, викликає больові відчуття. Якщо інтенсивність перевищує 1 Вт/см^2 , це спричиняє швидку втрату зору.

Пошкодження органів зору, до речі, являє собою один з найсерйозніших ефектів, спричинених електромагнітними полями НВЧ діапазону. На низьких частотах такі ефекти не спостерігаються, тому вони є специфічними саме для НВЧ діапазону. Ступінь ушкодження внаслідок ураження електромагнітним полем НВЧ діапазону може бути різним і частіше залежить від інтенсивності опромінення та часу його дії.

2.1.4 Оптичне випромінювання

Під терміном “*оптичне випромінювання*” (*optical radiation*) будемо розуміти хвилі видимого для людського ока діапазону, розташованого в межах $0.38 - 0.78 \text{ мкм}$. Також до оптичного випромінювання відносять ІЧ-діапазон ($0.78 - 10 \text{ мкм}$) та УФ-діапазон ($0.14 - 0.38 \text{ мкм}$).

2.2 Лазерне випромінювання в біології і медицині

Використання лазерів у біології та медицині може здійснюватися в кількох напрямках, одним з яких можна вважати розробку на основі лазерної техніки приладів та методів для виявлення, ідентифікації, дослідження будови біологічних об’єктів, а також для вивчення природи процесів, що відбуваються в них.

Використання лазера для проведення експрес-аналізу елементного складу має в основі чисто тепловий характер дії лазерного випромінювання – спектральний лазерний ультрамікроаналіз. В цьому методі під дією досить потужного лазерного випромінювання, сфокусованого оптичною системою мікроскопа на мікроділянку біооб’єкта, відбувається його миттєве випаровування і пара, яка світиться, аналізується з допомогою спектрометра. Дуже важливим є те, що аналіз триває дуже короткий час і для його проведення потрібна дуже мала кількість часу – всього $10^{-7} - 10^{-12}$ год. Теоретична межа цього методу вважається рівною $10^{-15} - 10^{-17}$ год. Фактично це означає можливість проведення експрес-аналізу елементного складу не тільки на рівні тканин та клітин, але й окремих внутрішньоклітинних органел.

Матеріалом для аналізу є мікротомні зрізи тканини, мазки крові та тканинних виділень тощо. Можливим є й безпосередній аналіз живої тканини (in vivo). Перші зразки приладів для лазерного спектрального аналізу вже випускаються промисловістю та використовуються на практиці. На сьогодні з допомогою цього методу можна надійно визначати в різних біотканинах, мікроорганізмах та вірусах присутність великої кількості елементів: Ag, Al, B, Be, Ca, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, P, Si, Ti, Zn, V.

Використання лазерів у спектроскопії розсіяного світла. Процеси розсіяння світла фізики інтенсивно досліджують вже протягом більше 100 років. Основна мета цих робіт - бажання виявити за характером розсіювання природу і властивості частинок, що розсіюються. Останнім часом у вирішенні цього завдання досягнуті неабиякі успіхи. Саме тому процеси розсіювання світла зацікавили не лише фізиків, але й біологів.

Для біологічних досліджень дуже перспективним є використання як пружного (релеївського), так і непружного (комбінаційного) розсіювання.

Пружне розсіювання в його найпростішій формі використовують у біології вже дуже давно, наприклад, у дослідях із визначення чисельності мікроорганізмів. Сучасна релей-спектроскопія, насамперед передбачає можливість зняття діаграми розсіювання, тобто залежності між інтенсивністю розсіяного світла та кутом, під яким відбувається реєстрація. Справа в тому, що теоретичні дослідження показали, що за виглядом діаграми розсіювання можна зробити висновки про деякі властивості частинок, що розсіюються: розміри, форму тощо. З цією метою найважливіше реєструвати розсіювання під малими кутами – $0,5^{\circ} \dots 2^{\circ}$, отже, необхідним є джерело світла з дуже малим розходженням. Тим самим обґрунтовується виключна перспективність використання лазера в такого роду дослідженнях.

Розглянутий метод вже широко використовується в біології. Наприклад, з його допомогою визначають розміри бактеріальних клітин, вірусів, еритроцитів, мітохондрій та інших субклітинних утворень. Почали з'являтися відомості про те, що за діаграмами розсіювання можна слідкувати за зміною стану клітин та їх поверхні під дією різноманітних отрут, наркотиків, патогенних мікроорганізмів та вірусів.

Поряд з цим методом в останні роки розвинувся ще один варіант лазерної релеївської спектроскопії на основі використання ефекту

Доплера. Як відомо, відповідно до цього ефекту, частота фотона, розсіяного мікрочастинкою, залежить від швидкості її руху, тому в спектрі розсіяного світла, поряд з вихідними частотами збуджувального випромінювання, повинні з'явитися нові частоти – доплерівське розширення спектра. Реєструючи розширення ліній лазерного випромінювання, можна визначити швидкість руху частинок, що розсіюються, а також їх розміри, оскільки у фізиці давно встановлено точні кількісні співвідношення між швидкістю руху частинки, її розміром та в'язкістю середовища.

На сьогодні таким методом з високою точністю визначають швидкості руху еритроцитів по капілярах, швидкості хаотичного і направлено руху мікроорганізмів, швидкості дифузії і молекулярні ваги вірусів тощо. Цим самим методом досліджують механізми кооперативних перебудов у молекулах білків, ДНК і РНК, а також процеси їх денатурації під дією різних факторів.

Відомо, що багато біологічно важливих сполук складаються з кількох компонентів, так званих субодиниць, кожен з яких можна розглядати як самостійну частинку з власним розсіюванням. Релей-спектроскопія дає змогу вивчати рухомість окремих частин такої макромолекули та вплив на неї різних факторів зовнішнього середовища. Цим методом було визначено, наприклад, параметри будови такої складної частинки, як вірус тютюнової мозаїки (ВТМ), яка складається з молекули РНК та білкового чохла.

Релей-спектроскопія може застосовуватися також при вивченні процесів міжмолекулярної та міжклітинної взаємодії, наприклад, агрегації та дезагрегації молекул і клітин, утворення колоїдних частинок, злипання клітин при аглютинації і преципітації, згортанні крові тощо.

Разом з цим слід враховувати, що метод релей-спектроскопії має ряд принципових труднощів, які полягають, головним чином, у складності розв'язування протилежної задачі – за характером розсіювання відтворити властивості частинок. Для деяких частинок і молекул ця задача вже розв'язана теоретично і одержано хороший збіг результатів теорії та експерименту. Можна зробити висновок, що дальший успішний розвиток методів релей-спектроскопії буде визначатися саме успіхами в розробці загальної теорії розсіювання світла різними типами молекул і частинок.

Більш однозначну та просту в інтерпретації інформацію про будову та деякі властивості біологічних об'єктів дає метод комбінаційного розсіювання світла. В цьому випадку, поряд з основною частотою, в спектрі розсіяного світла з'являється ряд нових частот, що відповідають коливанням молекул, які розсіюються.

Основні принципи комбінаційної спектроскопії було сформульовано більше 50 років тому. Однак їх ефективне використання в біологічних дослідженнях стало можливим лише після створення лазера. Пояснюється це тим, що інтенсивність ліній у спектрах комбінаційного розсіювання є дуже низькою і не перевищує 10^{-5} – 10^{-6} інтенсивності збуджувального світла. Тому для надійної реєстрації розсіяних фотонів необхідною є дуже тривала експозиція. Кількість речовини, необхідної для дослідження, складає кілька грамів. У багатьох випадках низька монохроматичність джерела світла спричиняє перекривання спектрів, збуджених його різними частотами випромінювання, і утруднює їх розшифрування.

Лазер же неначе спеціально створений для збудження комбінаційних спектрів розсіювання, настільки вдало поєднуються в ньому всі необхідні для цього властивості. Поєднання високої монохроматичності та інтенсивності лазерного випромінювання дозволило в багато разів скоротити час реєстрації та значно зменшити кількість речовини, необхідної для дослідження (~0,001 г), з'явилась можливість реєструвати тонку структуру спектра розсіювання та дуже малі частоти коливань досліджуваних молекул.

Метод лазерної комбінаційної спектроскопії застосовується в біології насамперед для дослідження будови молекул. Спектр комбінаційного розсіювання є індивідуальною і дуже виразною характеристикою розсіювальної біомолекули. Кількість та розміщення ліній у спектрі та численні значення параметрів, що їх характеризують, визначаються будовою молекули, тому детальне дослідження спектрів комбінаційного розсіювання дозволяє встановити як хімічну будову багатьох біологічних молекул, так і їх просторову структуру.

Очевидно, що цей метод є дуже перспективним також і для вивчення кінетики різних біохімічних реакцій. Останнім часом з'явилися імпульсні лазерні спектрометри, що дають змогу одержувати спектри розсіювання за час порядку 10^{-9} – 10^{-11} с. Це відкриває можливість слідкувати за ходом хімічних реакцій з малим часом проходження, а також фіксувати нестійкі

проміжні сполуки, що виникають в ході реакцій, збуджені стани, вільні радикали тощо.

На сьогодні виконуються роботи із вивчення структури різних синтетичних поліпептидів та полінуклеотидів, білків, нуклеїнових кислот, жирних кислот, вуглеводів, стероїдів, порфіринів, каротиноїдів, наркотиків, гормонів та інших біологічно активних сполук. Виявилось, що спектри комбінаційного розсіювання кожної з цих біохімічних сполук є настільки специфічними, що можуть служити для ідентифікації цих сполук і для виявлення їх у клітинах, тобто для якісного спектрального аналізу. В недалекому майбутньому, очевидно, з допомогою комбінаційної спектроскопії можна буде ідентифікувати мікроорганізми, - віруси і патогенні клітини за спектрами їх розсіювання (для цього необхідно знайти характерні для них частоти розсіювання).

В останні роки досягнуто значних успіхів у подальшому вдосконаленні методу комбінаційної спектроскопії. Досліджено, що якщо спеціально підібрати довжину світла так, щоб вона точно попадала в смугу електронного поглинання молекули, то при цьому спостерігається ефект різкого (в 10...100 разів!) збільшення інтенсивності розсіювання, який одержав назву резонансного комбінаційного розсіювання. Використання цього ефекту дає змогу різко підвищити чутливість методу, оскільки при однаковому методі реєстрації можна буде визначати набагато менші концентрації сполук. Крім того, цей ефект дає змогу покращити загальну вибірковість методу. Звичайно при аналізі суміші кількох сполук методом комбінаційної спектроскопії спостерігається настільки складна картина взаємного розміщення спектрів розсіювання, що розібратися в ній дуже непросто. В резонансному ж спектрі розсіювання ліній небагато, часом всього одна, що спрощує його розшифрування. Якщо, до того ж, використовувати лазер з перестроюваною частотою випромінювання, то можна послідовно збуджувати інтенсивне резонансне комбінаційне розсіювання індивідуальних компонентів у цій складній суміші і тим самим аналізувати її склад.

Все це відкриває можливості застосування комбінаційної спектроскопії до нових класів сполук і, головне, їх реєстрації безпосередньо в непошкоджених органах і тканинах. Сучасна техніка дозволяє, наприклад, знімати *in vivo* спектри комбінаційного розсіювання каротину, хлорофілу, бактерій, еритроцитів тощо. Що стосується

дослідження механізму зору, то лише резонансна комбінаційна спектроскопія дозволила проводити ці роботи безпосередньо на сітківці непошкодженого ока.

2.2.1 Основні характеристики лазерного випромінювання

Лазер, як і будь-яке інше джерело світла, характеризується енергією E , потужністю P і тривалістю τ (тривалістю імпульсу для імпульсних лазерів) випромінювання, коефіцієнтом корисної дії - к.к.д., довжиною хвилі випромінювання λ . Енергія, потужність і тривалість випромінювання зв'язані між собою співвідношенням:

$$P(\text{Вт}) = E/\tau (\text{Дж/с}).$$

Енергія випромінювання імпульсних лазерів досягає кількох сотень і тисяч джоулів.

Більш суттєвою для лазерів є така характеристика – потужність випромінювання P . Потужність випромінювання лазерів неперервної дії може бути різною – від одиниць і часток міліват до сотень кіловат (газові лазери). Потужність випромінювання імпульсних лазерів, особливо в режимі гігантських імпульсів, внаслідок незначної тривалості імпульсу τ досягає значень тисяч гігават (10^{12} Вт).

Тривалість імпульсу τ імпульсних лазерів також є різною - від кількох мілісекунд ($1 \text{ мс} = 10^{-3} \text{ с}$) до одиниць наносекунд ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$), і навіть до одиниць пікосекунд ($1 \text{ пс} = 10^{-12} \text{ с}$) для лазерів у режимі гігантських імпульсів.

Дуже важливим для практичного застосування є питання про коефіцієнт корисної дії лазера (к.к.д.). Як було сказано вище, *лазер* (*laser*) – це прилад, у якому енергія джерела накачування, витрачена на перехід частинок у збуджений стан та створення інверсії населеностей, трансформується (перетворюється) в енергію когерентного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону. Лише частина енергії накачування безпосередньо перетворюється в енергію лазерного випромінювання, решта втрачається даремно – на нагрівання активного середовища, на спонтанне випромінювання, на компенсацію втрат світла при відбиванні від дзеркал і при поглинанні в найактивнішій речовині

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-451-2>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-451-2>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page
<http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-451-2>

Навчальне видання

**Сергій Макарович Злепко
Сергій Володимирович Павлов
Валентина Борисівна Василенко
Сергій Васильович Тимчик
Василь Харитонович Касіяненко**

**АПАРАТУРА ДЛЯ ФІЗІОТЕРАПІЇ
ТА
ДІАГНОСТИКИ**

Навчальний посібник

Редактор В. Дружиніна

Коректор З. Поліщук

Оригінал-макет підготовлено С. Павловим

Підписано до друку 10.01.2012 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 13,7.
Наклад 300 (1-й запуск 1-100) прим. Зам. №2012-005

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.