

## ОЦІНКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВІДГУКУ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМИ ПРИ ДІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Проблема фізико-біологічної взаємодії низько-інтенсивного лазерного та міліметрового (*мм*) випромінювань з клітинами залишається відкритою в сучасній молекулярній біології і біофізиці. На сьогоднішній день немає загальноприйнятої концепції про механізми цієї взаємодії, тим не менш експериментальні та теоретичні дані говорять на користь того, що молекули води і водні кластери є важливими при вивченні впливу фізичних факторів на біологічні об'єкти.

Певні успіхи досягнуті в дослідженні механізмів взаємодії когерентного лазерного випромінювання з біологічною системою і з її водним оточенням, що набуло особливої актуальності після виявлення терапевтичного ефекту електромагнітних хвиль оптичного діапазону. При цьому фотобіологічна дія низько-інтенсивного лазерного випромінювання, крім впливу на біополімери, ферменти-антиоксиданти і компоненти ланцюга транспорту електронів в мітохондріях, розглядається з акцентом неспецифічного впливу на воду, як первинного фотоакцептора.

До теперішнього часу в *мм* діапазоні досліджені діелектричні параметри, що характеризують ефекти взаємодії біомолекул і клітинних компонентів з водним розчинником, оскільки вода визначає біологічну активність і високу функціональну специфічність макромолекул. Інформативність методів *мм* діапазону показано і на клітинно-тканинному рівні, незважаючи на складність, структурно-функціональної організації клітин і тканин, отримана інформація про стан гідратації в області дисперсії вільної води на клітинах крові, одноклітинних водоростей і мікроорганізмів.

Аналіз стану гідратації в *мм* діапазоні обумовлюється смугами  $\gamma$ -дисперсії водних розчинів біомолекул. У діапазоні частот  $10 \div 50$  нГц знаходиться дисперсія діелектричної проникності вільної води, зумовлена релаксаційними коливаннями молекулярних диполів вільної води (макроскопічний час релаксації  $\tau = 0,9 \cdot 10^{-11}$  нс), які при дії високочастотного змінного поля не встигають переорієнтуватися.

Зв'язана вода являє собою шар гідрата, що складається з десятків молекулярних шарів води, що формують водневі зв'язки, як з полярними групами білка, так і між собою, при цьому молекули гідратного шару володіють колективними властивостями, зниженою рухливістю і великим часом релаксації ( $\tau < 10^{-9}$  нс) у порівнянні з вільною водою.

На сьогоднішній час існує цілий ряд традиційних методів діелектричних вимірювань, як ось резонансні і хвилеводні, а також нові методи тимчасової спектроскопії та квазіоптичних вимірювань в терагерцового діапазоні

У даній роботі був використаний метод комбінованого впливу *мм* і субміліметрових (*субмм*) радіохвиль на біологічну систему за допомогою установки, до складу якого входила установка діапазону над високими частот (НВЧ) P2-68 і ціаністоводневий (HCN) лазер. Вибір НВЧ діапазону обумовлювався тим, що фізичною основою хвилеводних методів в НВЧ - діапазоні є велика відмінність діелектричної проникності зв'язаної в макромолекулах води від діелектричної проникності вільної води.

Реакція води на змінне електричне поле описується за допомогою зміни величини комплексної діелектричної проникності  $\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon''$ , де  $\epsilon'$  - дійсна частина комплексної діелектричної проникності, що визначає поляризацію досліджуваного зразка в електромагнітному полі,  $\epsilon''$  - уявна частина діелектричної проникності, що визначає діелектричні втрати, обумовлені релаксацією диполів молекул води. Доцільність використання лазера обумовлювалася наближенням енергії випромінювання HCN лазера, складовою  $0,39 \times 10^{-2}$  еВ і  $0,78 \times 10^{-2}$  еВ (на ізотопі дейтерію  $CD^4$ ), до енергії водневих зв'язків у білкових комплексах, яка знаходиться в межах  $0,9 \times 10^{-2} \div 8,7 \times 10^{-2}$  еВ.

Електромагнітний відгук від суспензії еритроцитів при 2-х хвилинному витримуванні під джерелом лазерного випромінювання склав 3,0 дБ, при 5-ти хвилинному витримуванні склав 2,5 дБ, при 10-ти хвилинному – 1 дБ. Одночасна з опроміненням реєстрація стану водної компоненти біологічної системи в міліметровому діапазоні по параметру  $\epsilon'$  показала збільшення кількості зв'язаної води в часі.

Для виконання завдань поставлених в даній роботі виникла необхідність створення установки для двухчастотного опромінення живого біологічного зразка. Причому установка повинна забезпечувати опромінення об'єкта в *субмм* і в довгохвильовій частині *мм* діапазонів довжин хвиль. Така установка створювалася на базі вже наявного вимірювача коефіцієнта передачі і відбиття P2-68 *мм* хвиль, пристосованого для неруйнівного зондування живих біологічних об'єктів і *субмм* газового HCN-лазера, що забезпечує генерацію високостабільного випромінювання з робочою довжиною хвилі  $\lambda_0 = 337$  нм

(0,337 мм).

Для створення такого апаратурного комплексу необхідно було вирішити кілька окремих задач, зокрема: а) забезпечити проходження *мм* випромінювання до кювети із зразком з мінімальними втратами в тому числі на перевідбиття (з мінімальним коефіцієнтом стоячої хвилі потужності в хвилеводі); б) не допустити випромінювання електромагнітної хвилі *мм* діапазону з стандартного хвилеводу у вільний простір; в) забезпечити проходження електромагнітної хвилі *субмм* діапазону в стандартний хвилевід і її подальше поширення до вимірювального кювету з мінімальними втратами на перевідбитті. Принципова схема остаточної конструкції апаратурно-реєстраційного комплексу для двухчастотного зондування живих біологічних об'єктів.

У зоні взаємодії розташовується вимірювальна кювета, в склад якої входить зразок товщиною  $h$  досліджуваного діелектрика, який характеризується комплексною діелектричною проникністю  $\epsilon^* = \epsilon' + i\epsilon''$ . Висота робочого об'єму кювети  $h = 0,05$  мм, об'єм кювети  $V < 10$  мм<sup>3</sup>. Оскільки досліджуваний зразок являє собою рідку діелектричну суспензію, то він з двох сторін обмежений прозорими вікнами з діелектричних плоскопаралельних пластин: радіопрозорою з боку хвилеводу і оптично прозорою з боку мікроскопа.

Поле стоячої хвилі в зоні відображення описується таким співвідношенням:

$$E_y = A \cos \frac{\pi z}{a} \exp\{i\Gamma_1 x\} + R \cos \frac{\pi z}{a} \exp\{-i\Gamma_1 x\}.$$

де  $x$  – координата, вздовж якої відбувається поширення хвилі;  $a$  – ширина широкої стінки хвилеводу;  $i$  – уявна одиниця;  $A$  – амплітуда падаючої хвилі;  $R$  – коефіцієнт відбиття хвилі від вимірювальної кювети. Постійна розповсюдження  $\Gamma_1$  основної  $H_{01}$ -моди порожнього стандартного хвилеводу.

### Висновки

1. Застосування комбінованого впливу на біооб'єкти міліметрового і лазерного терагерцового випромінювань дозволяє оцінювати в реальному масштабі часу електромагнітний відгук по параметрам дійсної частини комплексної діелектричної проникності.

2. Біорезонансна взаємодія електромагнітних хвиль терагерцового діапазону частотою  $f = 0,89$  ТГц з клітинними структурами еритроцитів знаходиться в області модуляції частот лазера  $f_{m2} = 500 \div 2,5$  ГГц.

ХОМЕНКО Інна Миколаївна – асистент кафедри “Фізики” Житомирського державного технологічного університету. Тел. (093)0667561

Наукові інтереси:

- цифрові методи обробки сигналів
- розробка акустичних пристроїв
- біотехнічні та медичні прилади і системи