

## ОТЗЫВ

об автореферате диссертационной работы **Зайцева Кирилла Игоревича**  
**«Импульсная спектроскопия и микроскопия биологических тканей в**  
**терагерцовом диапазоне»**,

представленной на соискание учёной степени  
доктора физико-математических наук по специальности 1.3.6 – «Оптика»

Диссертация К.И. Зайцева посвящена развитию методов импульсной терагерцовой спектроскопии и микроскопии для исследования оптически неоднородных материалов. Данное направление является актуальным в связи с отсутствием в течение длительного времени необходимых методов и средств для исследований в этой области спектра электромагнитных волн.

В диссертации исследованы методы импульсной терагерцовой спектроскопии и микроскопии применительно к различным объектам: твёрдым, жидким, биологическим тканям. При этом особое внимание уделено разработке и апробации новой физико-математической модели взаимодействия импульсного излучения с биологическими тканями и жидкостями.

Разработанная модель учитывает ограниченность временного интервала, в котором происходит регистрация сигнала, а также геометрию схем эксперимента («пропускание», «отражение») и особенности самого исследуемого объекта. На базе предложенной модели разработан метод восстановления диэлектрических характеристик исследуемых объектов.

Экспериментальная апробация модели и метода оценки терагерцовых оптических свойств биологических тканей проведена на примере кожи человека, обыкновенных и диспластических невусов, интактных тканей и глиом головного мозга человека различной степени злокачественности (схемы на «отражения»), жидких веществ - на водных растворах широко используемых агентов для иммерсионного оптического просветления тканей: глицерина, полиэтиленгликоля, диметилсульфоксида (схемы на «пропускание»).

Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с литературными, тем самым подтверждая работоспособность модели и метода восстановления оптических терагерцовых характеристик.

Для повышения пространственного разрешения при исследовании неоднородных биологических объектов, оценки их диэлектрических характеристик К.И. Зайцевым предложен и реализован лабораторный образец микроскопа, основанный на эффекте твердотельной иммерсии. Теоретические и экспериментальные исследования нового микроскопа показали, что возможно разрешение, преодолевающее дифракционный предел Аббе. Данный результат является принципиально важным при исследованиях неоднородных биологических тканей. Лабораторный образец прибора был применён для визуализации неоднородностей тканей молочной железы, клеточных сфероидов, мышечной ткани языка. Исследования показали, что микроскоп позволяет



различать элементы тканей размерами 50 –150 мкм.

Результаты исследований К.И. Зайцева хорошо известны специалистам, были представлены на многих отечественных и международных научных конференциях, опубликованы в пятидесяти девяти статьях в журналах, включённых в перечень ВАК и входящих в международные базы данных.

В целом, судя по автореферату, диссертацию К.И. Зайцева можно отнести к системным фундаментальным исследованием биологических тканей с использованием средств импульсной терагерцовой спектроскопии и микроскопии. Работа выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, является законченной исследовательской работой, полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении научных степеней», утвержденным Правительством РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико – математических наук, а её автор - Кирилл Игоревич Зайцев, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико – математических наук. по специальности 1.3.6.- Оптика.

Профессор кафедры нанoeлектроники,  
директор НОЦ «Технологический центр»  
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,

доктор технических наук

К.А. Воротилов

21.09.2023

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»

Почтовый адрес: 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

тел.: +7 499 215-65-65 (доб. 3042)

Электронная почта: vorotilov@mirea.ru

Электронный адрес Университета: <https://www.mirea.ru/>

