Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу
Добрыниной Елизаветы Александровны
«Развитие спектроскопии рассеяния Мандельштама – Бриллюэна
для биологически значимых материалов»,
представленной на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6 – «Оптика»

Актуальность темы

Диссертация Е. А. Добрыниной посвящена применению метода спектроскопии рассеяния Мандельштама – Бриллюэна (МБР) для исследования систем со сложной структурой – водных растворов ряда неорганических солей и материалов биологического происхождения. Спектроскопия рассеяния Мандельштама –Бриллюэна, то есть рассеяние света на звуковых волнах, позволяет получать информацию об акустических и вязкоупругих свойствах среды в гигагерцовом диапазоне частот.

Традиционно МБР использовалась для исследования неорганических материалов, однако в последние годы в связи с совершенствованием экспериментальной техники, методов обработки и интерпретации экспериментальных данных этот метод все шире применяется для исследований более сложных многокомпонентных структур, включая биологические материалы. Эта новая широкая область исследований, где данная методика может дать новые принципиально важные результаты, и, таким образом, тематика представленной диссертации, направленной на применение МБР спектроскопии для характеризации водных растворов, липидов и белков, очевидно, весьма актуальна, научно значима и имеет важное практическое значение.

Структура и основное содержание работы

Диссертационная работа Диссертация Е. А. Добрыниной состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 156 страницах текста, содержит 72 рисунка, одну таблицу и список литературы из 184 наименований.

Во введении определена актуальность выбранной темы исследования, представлены цели и задачи, изложена научная новизна, установлена практическая значимость исследования, представлены защищаемые положения, приведены сведения об апробации материалов диссертации.

В главе 1 дан краткий обзор теории рассеяния Мандельштама – Бриллюэна и связи спектральных параметров с упругими характеристиками исследуемой среды. Здесь же приведены основные характеристики исследуемых структур: водных растворов солей ряда Гофмейстера, мембранных систем фосфолипидов, простых бел-

ковых систем и коллагенсодержащих биологических тканей, рассмотрен вопрос влияния воды на спектр высокогидратированных биологических материалов.

Во второй главе описаны принципы работы и приведена оптическая схема экспериментальных исследований, а также дано описание возможностей использованных геометрий рассеяния для измерения скорости звука и упругих модулей при исследовании планарных образцов со слоистой структурой.

В главе 3 представлены результаты исследований методами МБР и комбинационного рассеяния света (КРС) водных растворов неорганических солей, катионы которых лежат в различных областях ряда Гофмейстера. Показано, что изменения структуры водородных связей, индуцированные катионами, проявляются как на макроскопических параметрах (вязкости раствора), так и в релаксационной динамике. Выдвинуто предположение, что влияние катионов на структур водородных связей в воде не связано с их способностью подавлять тетраэдрическое окружение.

Глава 4 посвящена исследованиям планарных фосфолипидных систем методами МБР и КРС к в широком диапазоне температур. Обнаружены значительные изменения скорости звука в твердоподобной гелевой фазе насыщенных и ненасыщенных фосфолипидов при низких температурах. Показано, что эти изменения связаны с трансформацией конформационной структуры углеводородных хвостов молекул как для насыщенных, так и для ненасыщенных липидов, при этом влияние насыщенности углеводородных цепей незначительно. Установлено, что холестерин в липидных системах выступает как дефект, который размывает фазовый переход гель – флюид

В главе 5 методом МБР выполнены исследования влияния преимплантационной обработки тканей бычьей яремной вены и перикарда. Установлено, что обработка спиртовыми растворами приводит к значительному увеличению продольного модуля упругости белкового каркаса высушенных образцов, а ширина бриллюэновской линии обработанных сухих тканей несколько уменьшается после консервации в спирте. Отмечено отсутствие прямой корреляции между продольным упругим модулем на гигагерцовой частоте и статическим модулем Юнга, полученным в результате реологических испытаний.

В главе 6 проведены исследования влияния воды и эффекта образования топологических сшивок е яичного белка и водного раствора бычьего сывороточного альбумина в процессе термической денатурации. Показано, денатурация гидратированных белков проявляется в увеличении ширины линии РМБ, что делает её перспективным индикатором структурномеханических изменений.

Основные результаты

В качестве основных результатов следует отметить следующие:

1. Установлены корреляции между коэффициентом вязкости Джонса – Доула водных растворов солей и концентрационными зависимостями модуля упругости в области гигагерцовых частот. Установлено, что различное положение катионов

солей в ряду Гофмейстера не связано с их способностью подавлять тетраэдрическое окружение сетки водородных связей в водных растворах.

2. Показано, что сильная температурная зависимость упругих свойств фосфолипидов ниже температуры фазового перехода связана с конформационными изменениями углеводородных хвостов молекул. При этом наличие двойных C=C связей в молекул незначительно влияет на температурную зависимость скорости звука липидных бислоев в гелевой фазе. Установлено, что добавление холестерина приводит к размытию фазового перехода в температурной зависимости скорости звука.

3. Исследование спектров РМБ коллагенсодержащих тканей показало, что в случае гидратированных образцов частота бриллюэновской линии слабо чувствительна к обработке ткани диглицидиловым эфиром этиленгликоля. В случае высушенных образцов перикарда и венозной стенки обнаружено увеличение частотного сдвига линии РМБ эластиновых и коллагеновых волокон при хранении обработанной ткани в спиртовых растворах.

4. Исследование модельных белковых систем (водный раствор бычьего сывороточного альбумина, яичный белок) показало, что при денатурации нет взаимно однозначного соответствия между изменениями модуля Юнга и продольного модуля упругости, определяемого спектроскопией РМБ. При этом ширина линии РМБ после денатурации возрастает для обоих белков.

Недостатки

Диссертация вызывает некоторые вопросы: а также содержит ряд опечаток и стилистических ошибок.

- Рассеяние Мандельштама – Бриллюэна, то есть рассеяние света на акустических волнах – заведомо низкочастотный процесс. Известно (см., например, Гинзбург В. Л., Леванюк А. П., Собянин А. А. УФН. 1980. Т. 130, № 4. С. 615), что в случае, когда частота исследуемого возбуждения сравнима с его затуханием, спектр рассеяния не описывается дисперсионным контуром (DHO), является асимметричным, и положение его максимума, в отличие от DHO, несколько отличается от частоты этого возбуждения. Эта асимметрия контура МБР хорошо видна на приведенных в диссертации спектрах (например, рис. 4.4, 5.1). Было бы интересно обработать такие спектры с использованием этой не-дисперсионной формы линии, и сравнить результаты.
- Не вполне понятно, почему описание экспериментальной установки по регистрации спектров КРС приведено только в главе 6, а не в главе 2, содержащей описание методов эксперимента. В то же время результаты по спектрам КРС приводятся, начиная с главы 3.

Имеются также ряд стилистических неточностей и опечаток:

- Стр. 52: «Следствием линейного закона дисперсии и формулы (1.2) можно выразить взаимосвязь…», стр. 53: «В случае изотропной среды скорости звука во всех направлениях будут на одинаковой частоте».
- В формуле (2.3) на стр. 44 параметр T не определен (о его смысле можно догадаться из подписи к рисунку на следующей странице).
- Обычно для обозначения переменных величин используется курсив. Здесь же курсив и прямой шрифт используются для обозначений произвольно, иногда одна и та же переменная обозначается то прямым шрифтом, то курсивом (например, разрешающая способность F на странице 45). Остается только догадываться, что это одна и та же переменная.
- Распространенная калька с английского языка: использование парных имен. По правилам русского языка если закон, явление или теория названы в честь двух разных учёных, то между их фамилиями ставится тире с пробелами: рассеяние Мандельштама – Бриллюэна. Дефис — это знак орфографии, который соединяет части одного сложного слова: закон Гей-Люссака. В диссертации по тексту встречаются все возможные варианты, кроме правильного.
-

Защищаемые положения

Изложенные в тексте защищаемые положения отражают научную новизну и практическую значимость диссертации, подтверждены полученными результатами.

Достоверность и обоснованность выводов

диссертации обеспечиваются квалифицированным использованием современного спектрального оборудования, внутренней непротиворечивостью экспериментальных результатов, обоснованностью сделанных выводов, сравнением полученных результатов с результатами других авторов.

Результаты, изложенные в диссертации **апробированы** на профильных международных и всероссийских конференциях, опубликованы в девяти печатных работах, в том числе трех статьях в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией..

Заключение

Высказанные замечания не снижают ценности, научной и практической значимости работы и общей положительной оценки диссертации. Диссертация Добрыниной Е. А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные методы и результаты к спектроскопии рассеяния Мандельшама – Бриллюэна в ряде биологически значимых объектов. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Работы автора опубликованы в установленные сроки и в полной мере отражают основные результаты диссертации. Диссертация выполнена на актуальную тему, отвечает требованиям п. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Добрынина Елизавета Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Официальный оппонент,

Втюрин Александр Николаевич
доктор физ.-мат.наук, старший научный сотрудник
главный научный сотрудник
Института физики им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения Российской академии наук
–обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН,
г. Красноярск

«5» 11 2026 г.

Подпись А. Н. Втюрина заверяю
Ученый секретарь ИФ СО РАН
канд. физ.-мат. наук

Злотников А. О.