ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК: 538.9



МАТРОБИЁН МЕХРОБ ХУРРАМЗОД

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЫВОРОТКИ КРОВИ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) – доктор по специальности 6D060400-Физика (6D060408-Физика конденсированного состояния)

Душанбе-2026

Диссертация выполнена на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета Таджикского национального университета.

Научный руководитель: Махсуд Барот Исломзода – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры ядерной физики Таджикского национального университета.

Официальные оппоненты: Гафурзода Халимджон Муроди – доктор физико-математических наук, доцент кафедры общей физики и твердого тела Государственного образовательного учреждения «Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова».

Холикулов Уткиржон Арзимуротович – доктор физико-математических наук (DSc), доцент кафедры оптики и спектроскопии Института инженерной физики Самаркандского государственного университета имени Шарофа Рашидова (Республика Узбекистан).

Ведущая организация: Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана.

Защита диссертации состоится «29» декабря 2026 года, в 14:00 часов на заседании диссертационного Совета 6D.KOA-130 при Таджикском национальном университете по адресу: 734025, РТ, г. Душанбе, поселок Буни Хисорак, учебный корпус №16, физический факультет, 206 аудитория.

С диссертацией можно ознакомится на сайте www.tnu.tj и Центральной научной библиотеке Таджикского национального университета

Автореферат разослан «___»_____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета
6D.KOA-130, к.ф.м.н, доцент Исломов З.З.

Введение

Актуальность темы исследования. Изучение взаимодействия различных видов излучения с веществом является одной из актуальных задач современной физики и радиобиологии. Особый интерес представляет исследование влияния ионизирующего и ядерного излучения на конденсированные среды при низких уровнях облучения, поскольку даже малые дозы и потоки способны вызывать изменения физических и химических свойств вещества.

Среди различных видов излучения особое место занимают тепловые нейтроны. Взаимодействуя с веществом преимущественно посредством реакций радиационного захвата, они могут вызывать изменения в структуре молекул и их физико-химическом окружении. В отличие от гамма и рентгеновского излучения, воздействие тепловых нейтронов не связано с интенсивной ионизацией среды, что позволяет исследовать более тонкие механизмы радиационно-индуцированных изменений.

В последние годы внимание исследователей чаще всего привлекает изучение влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на физических свойства конденсированных сред, в том числе биологические объекты. В качестве объектов исследования используются белковые системы, биологические жидкости и клеточные структуры. Полученные результаты свидетельствуют о возможности возникновения изменений на молекулярном и биохимическом уровнях даже при сравнительно низких потоках нейтронного облучения. В связи с этим исследование влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на спектральные и биохимические свойства объектов представляет как фундаментальный, так и практический интерес.

К числу перспективных биологических объектов относится биологические бактерии и сыворотки крови, являющиеся сложными многокомпонентными системами, чувствительными к внешним воздействиям. Известно, что белковые структуры в этих системах быстро реагируют на физико-химические изменения, отражая процессы, происходящие на уровне взаимодействия молекул.

Степень изученности научной темы. Исследования, посвящённые воздействию нейтронного излучения на биологических объекты, проводятся на протяжении длительного времени. На начальном этапе основное внимание уделялось изучению влияния интенсивных потоков нейтронов, приводящих к существенным радиобиологическим изменениям, выключая повреждение молекул ДНК, нарушение обменных процессов и изменение структуры белковых соединений. В последние годы научный интерес всё больше направлен на изучение слабого нейтронного воздействия, при котором проявляются не деструктивыне, а тонкие модифицирующие эффекты, затрагивающие физико-химические и биологические параметры биологических систем.

Установлено, что влияние малых доз и низких потоков ионизирующего излучения может сопровождаться биохимических процессов и функционального состояния белковых систем. Отмечено, что при таких условиях наблюдается признаки повышения упорядоченности молекулярной организации, изменение

активности отдельных ферментативных систем, а также преобразование спектральных характеристик биологических жидкостей.

Тем не менее, влияние малых флюенсов тепловых нейтронов на биожидкости, в частности на сыворотку крови, изучено недостаточно. Существующие исследования в основном касаются гамма- и УФ излучения, тогда как данные о влиянии нейтронов на физические и биохимические параметры этих систем практически отсутствуют.

Эта работа посвящена изучению недостаточно исследованных аспектов воздействия малых флюенсов тепловых нейтронов и продолжает цикл исследований, выполняемых на кафедре ядерной физики Таджикский национальный университет, связанных с влиянием нейтронного облучения низкой интенсивности на биологические системы.

Связь исследования с программами и научной тематикой. Тема диссертационной работы соответствует Перечени приоритетных направлений научных и научно-технических исследований в Республике Таджикистан на 2021-2025 гг. (Согласно Постановлению Правительства РТ №503 от 26.09.2020 г.) и Стратегии Республики Таджикистан в сферах науки, технологий и инноваций на период до 2030 г. (Согласно Постановлению Правительства РТ №263 от 30 июня 2021 г.). Исследование направлено на реализацию Плана мероприятий на 2020-2025 годы по реализации объявления 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» (Согласно Постановлению Правительство РТ №1445 от 31 января 2020 г.). Диссертационная работа выполнена в 2021-2026 гг. в соответствии с тематикой научных исследований кафедры оптики и спектроскопии Таджикского национального университета по теме «Исследование взаимного влияния многоатомных молекул методами спектроскопии и квантохимических расчетов» №01/1050-03 от 25.04.2022г., 0122TJ1427 от 29.04.2022 г..

Общая характеристика работы

Цель исследования. Целью диссертационной работы является изучение влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на спектральные и биохимические параметры сыворотки крови.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработка новой методики пробоподготовки и регистрации спектров обеспечивает получение высококачественных и воспроизводимых ИК-спектров биологических объектов;
2. Проведение анализа влияния времени хранения образцов на их спектральные характеристики;
3. Исследование изменений биохимических параметров (содержания белков, липидов, глюкозы и ферментов) после воздействия малых потоков нейтронов;

4. Анализ полученных ИК-спектров с использованием методов статистической и компьютерной обработки;
5. Выявление взаимосвязи между изменениями в ИК-спектрах и биохимическими свойствами сыворотки под действием тепловых нейтронов;

Объект исследования. Объектом исследования является биологическая жидкость – сыворотка крови человека.

Предмет исследования. Предметом исследования является изменение спектральных и биохимических параметры сыворотки крови при хранении, а также под воздействием малых потоков тепловых нейтронов. Особое внимание уделяется анализу изменений ИК-спектров и связных с ними структурных преобразований молекулярных компонентов исследуемой биологической системы.

Теоретические основы исследования. Теоретическая основа исследования включает положения ядерной физики, квантово-механической теории колебаний и ИК спектроскопии биологических систем. Воздействие тепловых нейтронов с биологическими средами сопровождается ядерными реакциями с участием лёгких элементов, приводящими к изменению изотопного состава вещества. Изотопные преобразования ${}^{14}_{7}N(n\gamma){}^{15}_{7}N$ вызывают увеличение приведённой массы колебательных систем и смещение полос ИК-поглощения в область меньших частот. Наиболее чувствительными к таким изменениям являются амидные полосы белков Амид $(\mathrm{I}-\mathrm{III})$, отражающие состояние пептидных связей и водородных взаимодействий. Таким образом, спектральные изменения сыворотки крови при воздействии тепловых нейтронов обусловлены изотопными эффектами и структурной перестройкой белково-водной матрицы.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые:

1. Экспериментально исследовано влияние времени хранения на ИК-спектры биологической жидкости – сыворотки крови человека и установлены закономерности изменения спектральных характеристик в процессе выдержки.
2. Получены и проанализированы ИК-спектры указанных объектов до и после воздействия малых потоков тепловых нейтронов, выявлены характерные изменения положения и интенсивности полос поглощения, обусловленные перестройкой водородных связей и модификацией структуры белково-липидной матрицы.
3. Установлено, что воздействие малых потоков тепловых нейтронов вызывает нелинейный отклик структуры отдельных составляющих биологических систем, проявляющийся в существовании диапазона флюенсов, при котором наблюдается структурно-функциональные изменения, имеющие адаптивный характер.
4. Показано, что наблюдаемые спектральные изменения согласуются с процессами радиационного захвата тепловых нейтронов лёгкими элементами (прежде своего азотом), сопровождающимся изотопными

преобразованиями и приводящими к мягкой перестройке молекулярной структуры без выраженных деструктивных изменений.

5. Разработан и апробирован комплексный подход к исследованию влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на биологические жидкости с применением методов ИК-спектроскопии, биохимический анализ и квантово-механических расчётов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментально установлено, что продолжительность выдержки образцов на воздухе влияет на спектральные параметры исследованных биологических жидкостей. Проведённые экспериментальные исследования показали, что влияние малых флюенсов тепловых нейтронов сопровождается изменением смещением отдельных полос поглощения в ИК-спектрах. Наблюдаемые изменения, связаны с перестройкой системы водородных связей, а также с изменением структуры белковых и липидных компонентов биологических объектов.
2. Эффект нейтронного гормезиса проявляется в оптимальном диапазоне потоков, при котором наблюдается улучшение биохимических показателей и упорядоченность структуры без признаков разрушения.
3. Вероятным физическим механизмом воздействия малых потоков тепловых нейтронов является радиационный захват нейтронов ядрами лёгких элементов, в частности реакция ${}^{14}_{7}N(np){}^{14}_{6}C$ сопровождающаяся локальным перераспределением энергии в молекулярной системе. Разработанная методика ИК-спектроскопического анализа биологических образцов после нейтронного облучения обеспечивает высокую воспроизводимость и достоверность результатов.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость работы заключается в расширении представлений о механизмах взаимодействия тепловых нейтронов с конденсированными средами, в том числе органическими и биологическому системами. На основе анализа ИК-спектров установлено, что структурные и биохимические изменения, наблюдаемые при малых потоках нейтронов, обусловлены вероятностными ядерными реакциями радиационного захвата нейтронов ядрами (N), сопровождающимися изменением распределения энергии в молекулярных связях. Полученные результаты вносят вклад в развитие физики слабых взаимодействий биологических систем с нейтронным излучением и могут служить взаимодействий биологических систем с нейтронным излучением и могут служить основой для моделирования механизмов радиационной адаптации и нейтронного гормезиса.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения полученных результатов в ряде прикладных направлений. Обнаруженные спектральные и биохимические изменения под действием малых потоков тепловых нейтронов могут быть использованы в ядерной биотехнологии

для мягкой модификации органических веществ и биохимических жидкостей без существенного нарушения их структуры.

1. Полученные результаты могут найти применение в области радиационной медицины исследовании потоказависимых эффектов, возникающих под действием низкоинтенсивного нейтронного облучения, а также при оценке радиочувствительности различных биологических систем.
2. Предложенные методы ИК-спектрального анализа способы обработки экспериментальных данных могут использоваться для выявления структурных изменений белков, липидов и других биомолекулярных соединений в условиях воздействия малых потоков тепловых нейтронов.

Степень достоверности результатов диссертации. Степень достоверности результатов обеспечивается:

- Многократным повторением экспериментов;
- Использованием сертифицированных методик спектрального и биохимического анализа;
- Совпадением полученных зависимостей с литературными данными о слабых радиационных воздействиях;
- Статистической обработкой экспериментальных данных с вычислением доверительных интервалов;

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует направлениям паспорта специальности 6D060400 – Физика (6D060408-Физика конденсированного состояния), который утвержден Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан по следующим пунктам:

- теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков, в том числе светящихся веществ, как в твердом, так и в аморфном состояниях в зависимости от химического состава, изотопа, температуры, и давление.
- разработка математических моделей и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных сред в зависимости от влияния внешних факторов;
- разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и изложение физических основ промышленной технологии получения веществ с определенными свойствами;
- экспериментальные и теоретические исследования свойств ядер, ядерных реакций, ядерных взаимодействий с частицами низких, средних и высоких энергий, а также определение ядерных взаимодействий в астрофизических явлениях, изучение физики космических лучей. Радиационная безопасность человека и окружающей среды.

Личный вклад соискателя учёной степени в подготовки диссертации. Автор лично участвовал в подготовке и облучении биологических образцов,

регистрации нейтронного потока, проведении ИК-спектроскопических и биохимических измерений, статистической обработке экспериментальных данных и интерпретации полученных результатов. Все основные выводы и положения диссертации сформулированы лично автором.

Апробация и внедрение. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на: Конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ (Душанбе, 2020), XV международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов (Душанбе, 2020), Международные конференции на тему «Роль физики в развитии науки, образования и инноваций» (Душанбе, 2022), Современные проблемы физики и химии полимеров, материалы международной научно-практической конференции (Душанбе, 2023), Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики, материалы международной конференции (Ташкент, 2023), Республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния» (Худжанд, 2024), IX международной научной конференции «Современные проблемы физики» (Душанбе, 2024), Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития физических наук» (Худжанд, 2025), Международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы физики полупроводников и диэлектриков» (Душанбе, 2025), Proceedings of International Conference «Fundamental and Applied Research in Physics» (Ташкент, 2025), Республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава, соискателей и докторантов Таджикского национального университета (Душанбе, 2025), Международной научно-практической конференции на тему «Состояние и перспективы развития современной физики» (Душанбе, 2026).

Публикации по теме диссертации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 20 научных трудах, в том числе 1 статья в издании SCOPUS, 4 статьи в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 1 статья в других изданиях, а также 14 тезисов в материалах республиканских и международных конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объём – 139 страниц компьютерного текста, включая 40 рисунков, 14 таблиц и более 120 литературных источников.

Содержание работы

Во введение обоснована актуальность исследования влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на биожидкости, сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Определены научная новизна и практическая значимость исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту. Обоснована достоверность полученных результатов и указан личный вклад автора.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по воздействию ионизирующего и ядерного излучений с конденсированными средами, в том числе биологическими системами. Рассмотрены механизмы воздействия тепловых нейтронов на органические и неорганические вещества и особенности их воздействия с белками, липидами и водными структурами. Проанализирован современные данные по применению ИК-спектроскопии и биохимических методов для оценки структурно и функциональных изменений в сыворотки крови. Обоснована необходимость комплексного исследования влияния малых потоков тепловых нейтронов на спектральные и биохимические параметры биологических жидкостей. «Излучения с высокой линейной передачей энергии, к которым относятся нейтроны и альфа-частицы, как правило, вызывают более сложные и множественные повреждения клеточных структур. В тоже время рентгеновское и гамма-излучение, характеризующиеся низкой линейной передачей энергии, чаще приводят к возникновению отдельных повреждений» [1, с. 485].

«Приводится экспериментальные данные по проблеме взаимодействия тепловых нейтронов малого потока с различными средами. Показано, что несмотря на малых потоках тепловых нейтронов и трудности регистрации изменений свойств сред при данном взаимодействие можно наблюдать эффект гормезиса. Основным условием в данном случае является правильный выбор объекта исследования. На примере анализа экспериментальных результатов влияния тепловых нейтронов на свойства полупроводниковых материалов, полимеров, семян растений и азотосодержащих бактерий наблюдается эффект «малых доз». В отличие от действий других видов ядерного излучения связанной с ионизацией атомов среды, при нейтронном облучении эффект гормезиса связана с ядерными реакциями радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами атома этих сред» [2, с. 106].

Во второй главе описаны объекты исследования – сыворотки крови человека, приведены методики их подготовки и хранения. Представлена установка для облучения тепловыми нейтронами на основе изотопного источника $Pu - Be$, приведена методика вычисления потока тепловых нейтронов и схема размещения образцов. Подробно описана методика регистрации ИК-спектров (в области $400 - 4000$ см$^{-1}$), обработка спектральных данных, а также методики проведения биохимических анализов (определение белка, липидов, ферментов и др.). «При анализе биологических жидкостей, в частности сыворотки крови, формируется сложный суммарный спектр, который возникает вследствие наложения полос поглощения от различных функциональных групп органических молекул (белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот и других биополимеров). Многокомпонентность таких систем приводит к тому, что отдельные полосы поглощения перекрываются, взаимодействуют друг с другом и часто смещаются относительно своих стандартных положений, что существенно усложняет интерпретацию спектров» [3, с. 813].

В третьей главе приведены исходные ИК-спектры цельной крови, сыворотки крови человека и модельного образца сыворотки куриного яйца. Определены характерные полосы поглощения, соответствующие основным функциональным группам биомолекул, включая амидные, липидные, карбоксилатные и фосфатные структуры. Далее приведены результаты исследования ИК-спектров сыворотки крови человека и модельного образца сыворотки куриного яйца при различных условиях воздействия.

Исходные ИК-спектры служат базовой точкой отсчёта для последующего анализа изменений спектральных параметров, обусловленных хранением на воздухе и воздействием тепловых нейтронов.

Цельная кровь представляет собой сложную многокомпонентную биологическую систему, включающую форменные элементы (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты) и плазму, что приводит к наложению вкладов различных молекулярных компонентов в инфракрасный спектр. Наличие клеточных структур, мембран и внутриклеточных компонентов обусловливает высокую спектральную сложность и затрудняет интерпретацию отдельных полос поглощения. В отличие от цельной крови, сыворотка крови является более однородной системой, не содержащей форменных элементов, и характеризуется доминирующим вкладом белковых и липидных компонентов. Это обеспечивает более стабильную форму спектров и облегчает идентификацию полос поглощения, соответствующих функциональным группам белков, аминокислот и липидов. В связи с этим сыворотка крови выбрана в данной работе в качестве основного объекта диссертационного исследования. Сыворотка куриного яйца использована как модельный биологический объект, поскольку, подобно сыворотке крови, она содержит значительное количество белков с близкими функциональными группами. Сравнительный анализ исходных ИК-спектров позволяет выявить общие и отличительные спектральные особенности, а также определить вклад белковых компонентов в формирование инфракрасных спектров исследуемых систем.

При анализе ИК-спектров поглощения цельной крови, сыворотки крови и сыворотки куриного яйца, зарегистрированных в диапазоне волновых чисел 400–4000 $см^{-1}$, обнаружен сложный набор полос, отражающий многокомпонентный биохимический состав исследуемых биологических объектов.

Для чистоти экспериментов и достоверности результатов требуется исключение побочных факторов влияющих на конечный результат эксперимента. При облучении объекта исследования тепловыми нейтронами разных потоков появляется проблема временной эволюции их свойств. С целью исключения этого фактора на результат исследования, исследовано влияние хранения образцов сыворотки крови человека и сыворотки куриного яйца на воздухе в течение нескольких суток на частоты характерных ИК-полос поглощения. Анализ временной эволюции спектральных параметров позволяет выявить структурные и конформационные изменения молекулярных компонентов, происходящие под воздействием факторов внешней среды.

Выбор сыворотки крови в качестве объекта исследования связан с тем, что при хранении цельной крови в течение нескольких суток происходят изменения форменных элементов, в том числе их агрегация и постепенная деградация. При этом изменяются и реологические свойства крови, а неоднородность образцов может затруднять получение воспроизводимых ИК-спектров. Поэтому длительное хранение цельной крови не всегда позволяет получить стабильные спектральные характеристики для последующего анализа.

По сравнению с цельной кровью сыворотка крови и сыворотка куриного яйца при хранении на воздухе сохраняют более стабильные свойства, что делает их удобными объектами для регистрации ИК-спектров в различные сроки. Основу исследуемых систем составляют белки и липиды, поэтому изменения положения и интенсивности полос поглощения могут быть связаны с изменением микроокружения функциональных групп, межмолекулярных взаимодействий и структуры биомолекул.

Использование сыворотки куриного яйца в качестве модельного объекта представляет особый интерес, поскольку позволяет проследить изменения белковых структур в относительно простой биологической системе и выявить наиболее чувствительные к внешним воздействиям функциональные группы.

В процессе хранения образцов на воздухе могут происходить дегидратация, окислительные процессы и конформационные изменения белковых молекул. Указанные процессы находят отражение в ИК-спектрах в виде смещения полос поглощения, а также изменения их интенсивности и формы.

Для оценки влияния условий хранения на спектральные характеристики биологических образцов были зарегистрированы и проанализированы ИК-спектры сыворотки крови и сыворотки куриного яйца после 3, 5 и 7 суток выдержки на воздухе.

На рисунке 1 представлены ИК-спектры сыворотки крови человека, выдержанной на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток, иллюстрирующие характерные изменения спектрального профиля образцов.

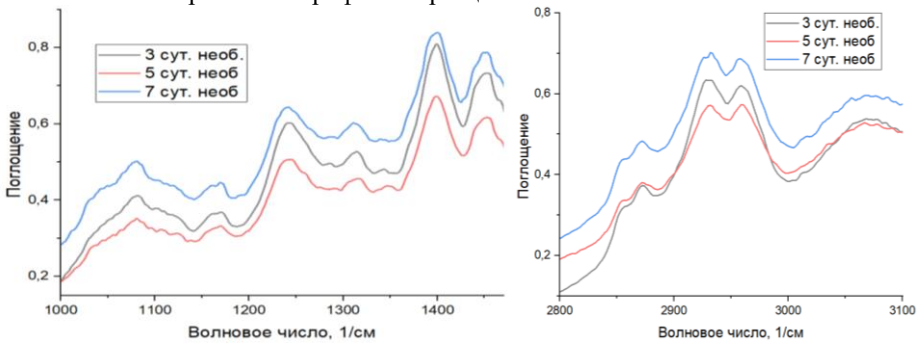


Рисунок 1. – ИК-спектр сыворотки крови человека после выдержки на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток в диапазоне 1000–3100 $см^{-1}$

В таблице 1 приведены основные полосы поглощения и их отнесение соответствующим функциональным группам, отражающим структурные особенности белково-липидного комплекса.

Таблица 1. – Частоты полос поглощения основных характеристических групп сыворотки крови здорового человека

Частота, ($см^{-1}$)	**Тип колебаний**	**Отнесение. Функциональные группы**
3462	Валентные, свободные $-OH$ и $-NH$	Свободные гидроксильные и аминогруппы
3417	Валентные, свободные $-NH$ (транс)	Свободные амидные группы
3228	Валентные, связанные $-NH$ (транс)	Связанные водородной связью амидные группы
3207 (3192)	Валентные, связанные $-OH$ и $-NH$	Связанные водородной связью гидроксильные и аминогруппы
3020–3000	Валентные $(=CH)$	Ненасыщенные жирные кислоты, эфиры холестерола
2990–2950	Валентные асим. $(-CH_3)$	Эфиры холестерола, триглицериды
2950–2880	Валентные асим. $(-CH_2)$	Жирные кислоты, фосфолипиды
2880–2860	Валентные сим. $(-CH_3)$	Холестериновые эфиры, триглицериды, глицерин
2870–2830	Валентные сим. $(-CH_2)$	Жирные кислоты, фосфолипиды
1739–1732	Валентные $(C=O)$	Сложные эфиры, липиды, триглицериды
1720–1600	Амид I (валентные $C=O$)	Вторичная структура белков
1630–1560	Деформационные (NH_2)	Аминокислоты
1600–1480	Амид II (деформ. $N-H$, валентн. $C-N$)	Белки
1480–1430	Деформационные CH_2, CH_3	Липиды, триглицериды, фосфолипиды
1430–1360	Валентные сим. $(-COO^-)$	Аминокислоты
1342 (1339)	Валентные $(-C-N-)$	Ароматические амины
1330–1200	Амид III ($C-N$, деформац. $N-H$), валентные CH_2	Белки, углеводы
1311 (1300)	Деформационные $(-NH_3^+)$	Аминокислоты
1244 (1241)	Валентные асим. $(-PO_2^-)$, валентные $(-C-O-)$	Фосфаты, ацетаты

		Продолжение таблицы 1
1170	Валентные $(-CH_2-O-P-)$	Фосфолипиды
1165	Валентные асим. $(-C-O-)$, деформ. $(-C-OH)$	Жирные кислоты
1152	Валентные $(-C-O-)$, деформац. $(-C-OH)$	Углеводы
1125	Маятниковые колебания CH_3	Ароматические системы
1104	Валентные $(-C-O-C-)$	5- и 6-членные циклы сахаров
1084 (1076)	Валентные сим. $(-PO_2^-)$, деформационные $(-C-OH)$	Фосфатные группы, гидроксильные группы
1063	Валентные $(-C-O-C-)$	Фосфолипиды
1057	Валентные $(-C-O-)$	Сложные эфиры, спирты
1034 (1030)	Скелетный колебания Валентные $(-C-C-N-)$	Пептидная цепь, белки

Значения сдвигов максимумов ИК-полос поглощения сыворотки крови человека при выдержке на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Сравнение сдвигов частот ИК-спектра сыворотки крови человека при выдержке на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток

№	3 сут. необ.	5 сут. необ.	Разность 3 и 5 сутки необ.	7 сут. необ.	Разность 3 и 7 сутки
	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν_7, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1082	1080	2	1080	2
2	1242	1244	-2	1242	0
3	1315	1317	-2	1311	4
4	1342	1346	-4	1342	0
5	1398	1398	0	1400	-2
6	1454	1452	2	1452	2
7	2872	2872	0	2872	0
8	2927	2931	-4	2931	-4
9	2958	2958	0	2956	2
10	3068	3066	2	3068	0

На рисунке 2 представлены ИК-спектры сыворотки куриного яйца, выдержанной на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток. Результаты экспериментов по выявлению сдвигов ИК-полос поглощения сыворотки куриного яйца при выдержке на воздухе представлены в таблице 3.

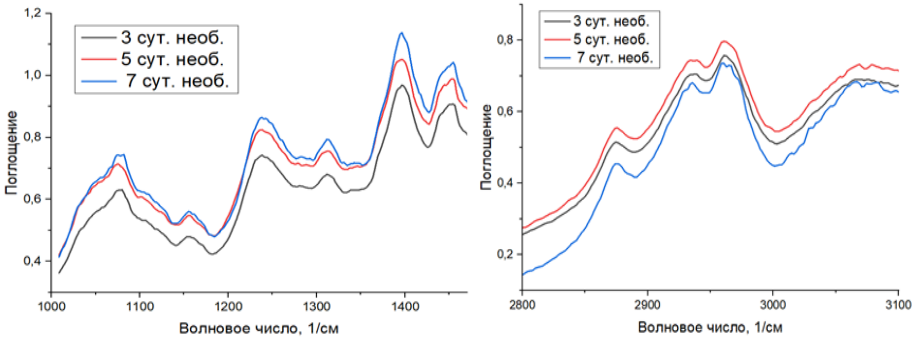


Рисунок 2. – ИК-спектр сыворотки куриного яйца после выдержки на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток в диапазоне 1000–3100 $см^{-1}$

Таблица 3. – Сравнение сдвигов частот ИК-спектра сыворотки куриного яйца при выдержке на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток

	3 сут. необ.	5 сут. необ.	Разность 3 и 5 сут.	7 сут. необ.	Разность 3 и 7 сут.
№	ν_3, $см^{-1}$	ν_5, $см^{-1}$	ν_3- ν_5	ν, $см^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1080	1074	6	1082	-2
2	1238	1238	0	1238	0
3	1311	1311	0	1311	0
4	1338	1338	0	1342	-4
5	1396	1396	0	1396	0
6	1454	1454	0	1454	0
7	2873	2875	-2	2875	-2
8	2937	2939	-2	2935	2
9	2962	2960	2	2958	4
10	3070	3068	2	3066	4

Махсудов Б.И. и соавторы отмечают, что «сравнении спектральных характеристик облучённых и необлучённых образцов установлено, что изменение интенсивности полос поглощения зависит от величины малого потока тепловых нейтронов» [4, с. 104].

После сравнения ИК-спектров сыворотки крови человека и сыворотки куриного яйца при выдержке в течение 3, 5 и 7 суток были рассмотрены изменения ИК-спектров этих образцов воздействия тепловых нейтронов. Основное внимание уделено изменениям полос поглощения, связанных с белками и липидами.

Для анализа влияния потока тепловых нейтронов на структуру белковых и липидных компонентов были исследованы спектры образцов после облучения флюенсами $1{,}3 \cdot 10^8$ н/$см^2$, $2{,}16 \cdot 10^8$ н/$см^2$ и $3 \cdot 10^8$ н/$см^2$, которые представлены на

рисунке 3. Значения сдвигов максимумов полос ИК-поглощения сыворотки крови человека приведены в таблице 4.

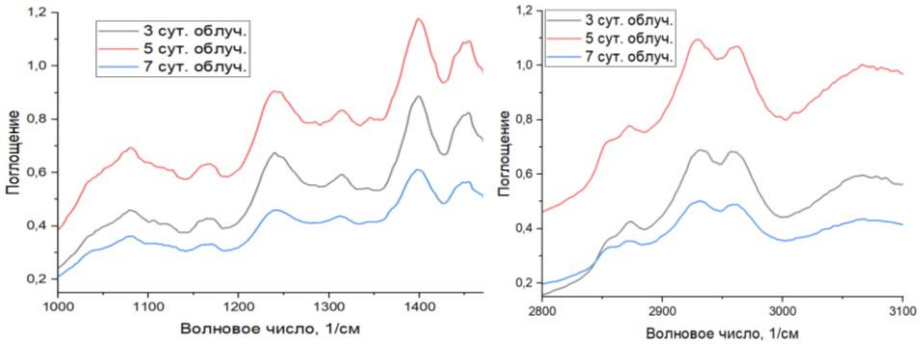


Рисунок 3. – ИК-спектр сыворотки крови человека после воздействия потока тепловых нейтронов $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^2 и $3 \cdot 10^8$ н/см^2 в диапазоне 1000-3100 см$^{-1}$

Таблица 4. – Сравнение сдвига частот ИК-спектра сыворотки крови человека после воздействия потока тепловых нейтронов $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^2 и $3 \cdot 10^8$ н/см^2

	$1,3 \cdot 10^8$ н/см^2	$2,16 \cdot 10^8$ н/см^2	Разность 3 и 5 сутки	$3 \cdot 10^8$ н/см^2	Разность 3 и 7 сут.
№	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν_7, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1078	1080	-2	1082	-4
2	1240	1238	2	1240	0
3	1313	1315	-2	1311	2
4	1340	1346	-6	1342	-2
5	1398	1398	0	1398	0
6	1454	1454	0	1454	0
7	2873	2873	0	2873	0
8	2931	2929	-2	2931	0
9	2956	2962	-6	2960	-4
10	3066	3066	0	3066	0

Результаты экспериментов по выявлению сдвигов максимумов полос ИК-поглощения сыворотки куриного яйца при воздействии тепловых нейтронов с флюенсами $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^2 и $3 \cdot 10^8$ н/см^2 представлены на рисунок 4, а значения соответствующих сдвигов приведены в таблице 5.

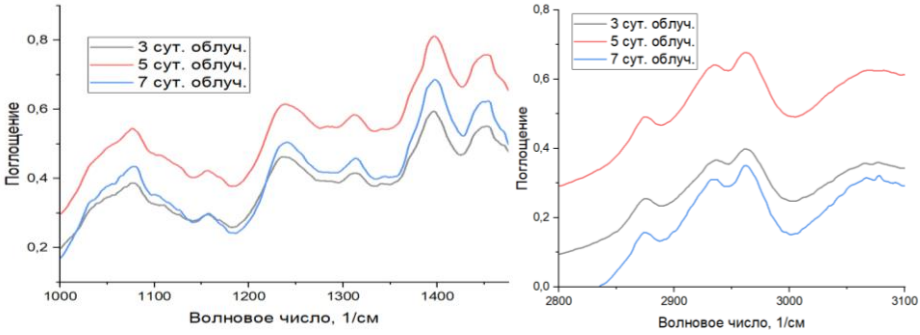


Рисунок 4. – ИК-спектр сыворотки куриного яйца под воздействием потока тепловых нейтронов $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^2 и $3 \cdot 10^8$ н/см^2 в диапазоне 1000–3100 см$^{-1}$

Таблица 5. Сравнение сдвига частот ИК-спектра сыворотки куриного яйца под воздействием тепловых нейтронов $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^2 и $3 \cdot 10^8$ н/см^2

№	1,3•10^8 н/см^2	2,16•10^8 н/см^2	Разность 3 и 5 сутки	3•10^8 н/см^2	Разность 3 и 7 сутки
	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν_7, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1078	1076	2	1080	-2
2	1238	1238	0	1240	-2
3	1313	1311	2	1311	0
4	1340	1342	-2	1344	-4
5	1396	1396	0	1398	-2
6	1454	1452	2	1454	0
7	2875	2875	0	2873	-2
8	2935	2935	0	2937	-2
9	2962	2962	0	2962	0
10	3066	3070	-4	3066	0

В ИК-спектрах крови, сыворотки крови и сыворотки куриного яйца идентифицированы полосы поглощения, соответствующие белкам, липидам и другим органическим компонентам. Наиболее выраженные изменения спектральных характеристик в процессе хранения наблюдались для сыворотки крови. Хранение сыворотки крови на воздухе сопровождалось смещением отдельных полос поглощения, что указывает на изменение микроокружения функциональных групп и перестройку межмолекулярных взаимодействий. Наиболее заметные изменения были зафиксированы в течение первых пяти суток

хранения. В ИК-спектрах сыворотки куриного яйца существенных изменений положения основных полос поглощения не обнаружено. Это свидетельствует о более высокой стабильности белковых компонентов данной системы в исследованных условиях хранения. В сыворотке крови под действием тепловых нейтронов отмечались смещения отдельных полос ИК-спектра, связанные с изменением состояния белково-липидного комплекса и системы водородных связей. Часть изменений носила обратимый характер. В сыворотке куриного яйца после нейтронного воздействия также наблюдались изменения положения отдельных полос поглощения. Полученные результаты показывают различную чувствительность функциональных групп к действию тепловых нейтронов.

В четвёртой главе проводится сравнительный анализ ИК-спектров сыворотки крови облучённой, тепловыми нейтронами, и образцов, выдержанных на воздухе в течение аналогичного времени. Такое сопоставление необходимо, поскольку в процессе облучения образцы одновременно подвергаются воздействию внешней среды, включая дегидратацию, окислительные процессы и изменения водородных связей. Такой способ сравнения позволял учитывать изменения, связанные с хранением, и отдельно рассматривать влияние тепловых нейтронов на спектральные характеристики образцов.

На рисунке 5 представлены сравнительные ИК-спектры сыворотки крови человека, подвергнутой воздействию двух внешних факторов: хранения на воздухе в течение 3 суток и облучения потоками тепловых нейтронов с флюенсами $1{,}3 \cdot 10^8$ н/см^2.

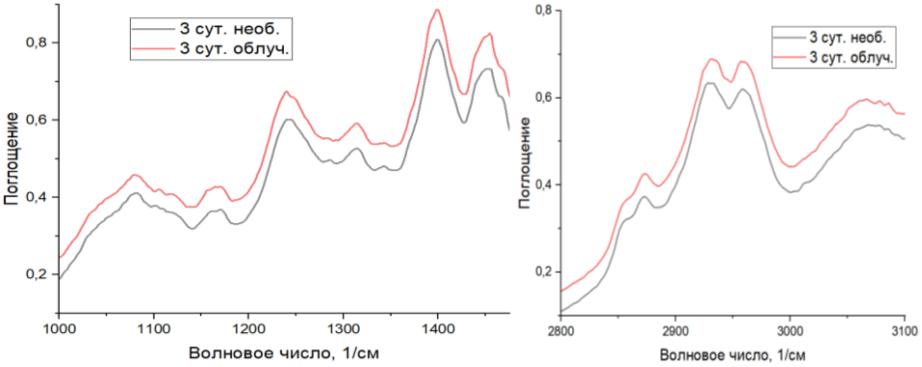


Рисунок 5. – Сравнительные ИК-спектры сыворотки крови человека, выдержанной на воздухе в течение 3 суток и облучённой потоком тепловых нейтронов $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2 в диапазоне 1000–3100 см$^{-1}$

Количественные значения смещений максимумов полос поглощения при выдержке и при облучении приведены в таблице 6. В таблице систематизированы данные, позволяющие оценить как направленность (высокочастотные или низкочастотные сдвиги), так и величину изменений спектральных параметров.

Таблица 6. – Результаты сравнительного анализа частот максимумов ИК-полос поглощения сыворотки крови человека, выдержанной на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток и облучённой малыми потоками тепловых нейтронов в диапазоне $(1,3-3)\cdot 10^8$ н/см^2

№	3 сут. необ.	$1{,}3\cdot 10^8$ н/см^2	Разность	5 сут. необ.	$2{,}16\cdot 10^8$ н/см^2	Разность	7 сут. необ.	$3\cdot 10^8$ н/см^2	Разность
	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$
1	1082	1078	4	1080	1080	0	1080	1082	-2
2	1242	1240	2	1244	1238	6	1242	1240	2
3	1315	1313	2	1317	1315	2	1311	1311	0
4	1342	1340	2	1346	1346	0	1342	1342	0
5	1398	1398	0	1398	1398	0	1400	1398	2
6	1454	1454	0	1452	1454	-2	1452	1454	-2
7	2872	2873	-1	2872	2873	-1	2872	2873	-1
8	2927	2931	-4	2931	2929	2	2931	2931	0
9	2958	2956	2	2858	2962	-4	2956	2960	-4
10	3068	3066	2	3066	3066	0	3068	3066	2

Далее рассматриваются изменения спектральных параметров сыворотки куриного яйца, связанные с воздействием малых потоков тепловых нейтронов и выдержкой образцов на воздухе. Использование такого образца дало возможность отдельно проследить изменения, происходящие в белковой составляющей, и сравнить их с изменениями, наблюдаемыми при исследовании сыворотки крови человека.

Для этого результаты, полученные после облучения, сравнивали с данными контрольных образцов, которые выдерживали на воздухе в течение соответствующего времени.

Для более корректной интерпретации результатов проведён сравнительный анализ частот максимумов ИК-полос сыворотки, выдержанной в течение 3, 5 и 7 суток, а также образцов, облучённых малыми потоками тепловых нейтронов в диапазоне $(1{,}3-3)\cdot 10^8$ н/см^2.

На рисунке 6 представлены сравнительные ИК-спектры сыворотки куриного яйца, подвергнутой воздействию двух факторов: выдержке на воздухе в течение 3 суток и облучению малыми потоками тепловых нейтронов с флюенсами $1{,}3\cdot 10^8$ н/см^2. В таблице 7 систематизированы данные, позволяющие оценить как направленность (высокочастотные или

низкочастотные сдвиги), так и величину изменений спектральных параметров сыворотки куриного яйца.

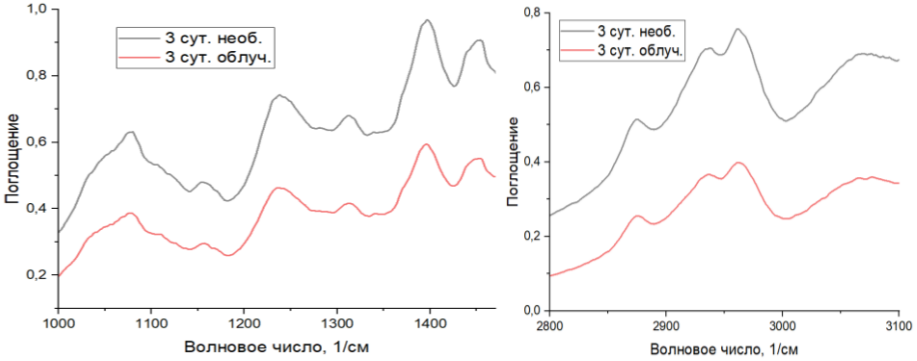


Рисунок 6. – Сравнительные ИК-спектры сыворотки куриного яйца, выдержанной на воздухе и облучённой потоком тепловых нейтронов $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, в диапазоне 1000–3100 см$^{-1}$

Таблица 7. – Результаты сравнительного анализа частот максимумов ИК-полос поглощения сыворотки куриного яйца, выдержанной на воздухе в течение 3, 5 и 7 суток и облучённой малыми потоками тепловых нейтронов в диапазоне $(1,3-3) \cdot 10^8$ н/см^2

№	3 сут. необ.	$1{,}3 \cdot 10^8$ н/см^2	Разность	5 сут. необ.	$2{,}16 \cdot 10^8$ н/см^2	Разность	7 сут. необ.	$3 \cdot 10^8$ н/см^2	Разность
	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1 - \nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1 - \nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1 - \nu_2$
1	1080	1078	2	1074	1076	-2	1082	1080	2
2	1238	1238	0	1238	1238	0	1238	1240	-2
3	1311	1313	-2	1311	1311	0	1311	1311	0
4	1338	1340	-2	1338	1342	-4	1342	1344	-2
5	1396	1396	0	1396	1396	0	1396	1398	-2
6	1454	1454	0	1454	1452	2	1454	1454	0
7	2873	2875	-2	2875	2875	0	2875	2873	2
8	2937	2935	2	2939	2935	4	2935	2937	-2
9	2962	2962	0	2960	2962	-2	2958	2962	-4
10	3070	3066	4	3068	3070	-2	3066	3066	0

Анализ ИК-спектров показал, что в обоих объектах наблюдаются изменения положения полос поглощения, преимущественно в области амидных колебаний (Амид 3), а также в диапазонах, соответствующих колебаниям связей $C-N$ и $C-H$.

Для количественной оценки спектральных изменений были выбраны наиболее чувствительные полосы, результаты анализа которых представлены в таблице 8.

Таблица 8. – Сравнительный анализ спектральных сдвигов в сыворотке крови человека и сыворотке куриного яйца

№	Полоса (сыворотки крови), $см^{-1}$	Δν, $см^{-1}$	Направ.	Полоса (куриного яйцо), $см^{-1}$	Δν, $см^{-1}$	Направ.
1	1082 → 1078	4	к меньшим ν	1080 → 1078	2	к меньшим ν
2	1242 → 1240	2	к меньшим ν	1238 → 1238	0	не изменяется
3	1244 → 1238	6	к меньшим ν	1238 → 1238	0	не изменяется
4	1315 → 1313	2	к меньшим ν	1311 → 1311	0	не изменяется
5	1398 → 1398	0	не изменяется	2931 → 2929	2	к меньшим ν
6	2931 → 2929	2	к меньшим ν	2939 → 2935	4	к меньшим ν
7	2958 → 2956	2	к меньшим ν	2962 → 2962	0	не изменяется
8	3068 → 3066	2	к меньшим ν	3070 → 3066	4	к меньшим ν

Как следует из представленных данных, в сыворотке крови человека наблюдаются более выраженные спектральные сдвиги, особенно в области амидных полос (1242-1315 $см^{-1}$), что свидетельствует о высокой чувствительности белковых структур к воздействию тепловых нейтронов. В сыворотке куриного яйца часть соответствующих полос остаётся неизменной, что указывает на более устойчивый характер её молекулярной структуры.

Вместе с тем, для ряда полос, особенно в области валентных колебаний $C-H$, в обоих объектах наблюдаются совпадающие по направлению сдвиги в сторону меньших волновых чисел. Сходный характер спектральных изменений в сыворотке крови человека и сыворотке куриного яйца указывает на общность процессов, происходящих под воздействием малых потоков тепловых нейтронов. Наблюдаемые низкочастотные смещения полос могут быть связаны с изменением локального окружения функциональных групп и перестройкой межмолекулярных взаимодействий. Полученные результаты подтверждают возможность использования сыворотки куриного яйца в качестве модельной системы для исследования влияния тепловых нейтронов на белковые структуры.

ИК-спектроскопия позволяет оценить преимущественно молекулярно-структурные перестройки и не даёт прямой информации о функциональном состоянии белково-ферментных систем. В связи с этим для подтверждения и углублённой интерпретации выявленных спектральных изменений был проведён биохимический анализ исследуемых образцов.

Целью данного этапа исследования являлась оценка функционального состояния белково-ферментных систем сыворотки крови при воздействии двух факторов: естественного хранения на воздухе (3, 5 и 7 суток) и облучения малыми потоками тепловых нейтронов в диапазоне флюенсов $(1{,}3 - 3) \cdot 10^8$ н/см^2.

Результаты биохимического анализа представлены в таблице 9.

Таблица 9. – Биохимические показатели сыворотки крови при выдержке и облучении

Показатель	Норма	3 сут. необ.	$1{,}3 \cdot 10^8$ н/см^2	5 сут. необ.	$2{,}16 \cdot 10^8$ н/см^2	7 сут. необ.	$3 \cdot 10^8$ н/см^2
АлАт	10-40 Ед/л	10,1	8,4	9,4	9,4	9,3	9,3
АсАТ	10-40 Ед/л	20	10,5	11,9	11,9	9,1	8,8
Общий белок	64-83 г/л	68	72	74	76	69,7	74,3
Глюкоза	3.9-5.5 ммоль/л	6,9	7,1	7,2	8,5	6,9	7,1

Анализ данных показывает, что при хранении сыворотки крови на воздухе в течение 3-7 суток активность АлАТ демонстрирует незначительное снижение (с 10,1 до 9,3 Ед/л), оставаясь в пределах физиологической нормы (10-40 Ед/л). Аналогичная тенденция наблюдается для АсАТ: от 20 Ед/л на 3-и сутки до 9,1 Ед/л на 7-е сутки хранения. Данные изменения носят умеренный характер и не свидетельствуют о выраженной деструкции белково-ферментных систем.

Концентрация общего белка при хранении изменяется незначительно: от 68 г/л (3 сутки) до 74 г/л (5 сутки) с последующим снижением до 69,7 г/л к 7 суткам. Все значения находятся в пределах физиологической нормы (64-83 г/л), что указывает на относительную стабильность белкового состава сыворотки при кратковременной выдержке.

Уровень глюкозы в выдержанных образцах изменяется в пределах 6,9-7,2 ммоль/л, что несколько превышает референсные значения (3,9-5,5 ммоль/л), однако при увеличении времени хранения выраженной направленной динамики не наблюдается. Вероятно, это связано с особенностями метаболической стабилизации образцов в условиях *in vitro* [5].

После воздействия малых потоков тепловых нейтронов ($1{,}3 \cdot 10^8$; $2{,}16 \cdot 10^8$ и $3 \cdot 10^8$ н/см^2) активность АлАТ находится в диапазоне 8,4-9,3 Ед/л, а АсАТ в диапазоне 8,8-11,9 Ед/л. Полученные значения остаются в пределах физиологической нормы и существенно не отличаются от показателей выдержанных образцов. Концентрация общего белка в облучённых образцах составляет 72-76 г/л, что сопоставимо с данными для выдержанных образцов и также соответствует нормальным значениям. Уровень глюкозы после облучения

изменяется в диапазоне 7,1-8,5 ммоль/л, демонстрируя умеренные колебания без признаков выраженных метаболических нарушений.

Одним из наиболее вероятных каналов взаимодействия тепловых нейтронов с белками является взаимодействие с ядрами азота, широко представленными в пептидных связях $-C(O)-NH-$. Пептидная связь $-C(O)-NH-$ является основным структурным элементом белковой матрицы и определяет положение полос Амид 1, Амид 2 и Амид 3 в ИК-спектре. Атом азота входит в состав каждой амидной группы, что делает его потенциальной мишенью для ядерных реакций при облучении тепловыми нейтронами.

В белках сыворотки крови человека, в частности в сывороточном альбумине, основная доля атомов азота (~86 %) локализована именно в пептидных группах. Поэтому реакции $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$ и $^{14}N(n,p)^{14}C$ могут играть ключевую роль в формировании нейтрон-индуцированных изменений колебательных и конформационных характеристик белков, регистрируемых методом ИК-Фурье спектроскопии. Первая реакция приводит к изотопной замене без изменения химической природы связи, но сопровождается увеличением массы ядра азота. Увеличение массы атома азота ($^{14}N \rightarrow {}^{15}N$) приводит к увеличению приведённой массы и, следовательно, к уменьшению частоты колебаний. Вторая реакция связана с трансмутацией элемента и потенциальной локальной перестройкой структуры пептидной группы.

Квантово-механический расчёты проводились для анализа возможного влияния изотопной замены N^{14} на N^{15} на колебательные характеристики пептидных групп и положение полос ИК-поглощения.

«Для количественной оценки эффекта выполнены квантово-механические расчёты методом теории функционала плотности (DFT) с использованием функционала $B3LYP$ и базисного набора $6-311++G(d,p)$ в программном пакете $Gaussian\,09W$» [6, 7]. Расчёты включали оптимизацию геометрии модельной пептидной группы и вычисление гармонических частот. Изотопная замена моделировалась изменением массы атома азота без изменения геометрии. Согласно результатам расчёта, увеличение приведённой массы осциллятора приводит к уменьшению частоты колебаний, что соответствует отрицательному сдвигу полос (смещению в сторону меньших волновых чисел).

На рисунке 7 показано влияние двух типов нейтрон-индуцированных реакций на пептидную группу: Изотопная замена $^{14}N \rightarrow {}^{15}N$ приводит к снижению колебательных частот, прежде всего в области Амид 2, что обусловлено увеличением приведённой массы соответствующего осциллятора.

В случае реакции $^{14}N(n,p)^{14}C$ наблюдается более выраженные изменения колебательных характеристик, которые могут быть связаны с изменениям амидного характера связи и пристройкой локальной электронной структуры. В результате таких изменений возможно ослабление или исчезновение отдельных характерных амидных полос в ИК-спектре.

Полученные данные показывают, что две нейтрон-индуцированные реакции, рассмотренные выше, могут по разному влиять на состояние пептидных связей. Поскольку атом азота входит в состав каждой пептидной группы белков, изменения его локального окружения могут отражаться на спектральных характеристиках белковых молекул и проявляться. В ИК-спектре это проявляется, в частности, изменением положения и интенсивности соответствующих полос поглощения.

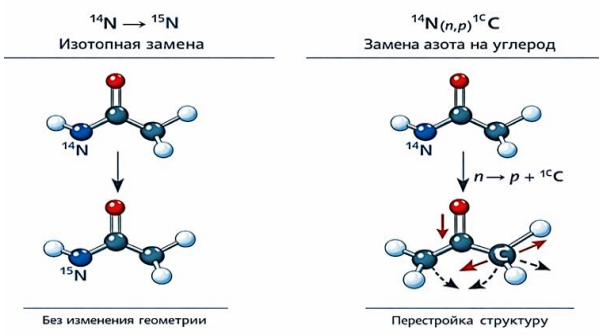


Рисунок 7. – Моделирование изменений пептидной группы при изотопной замене $^{14}N \rightarrow {}^{15}N$ и реакции $^{14}N(n,p)^{14}C$

Для количественной оценки были определены исходные частоты полос поглощения, частоты после облучения и рассчитаны величины их смещения $\Delta\nu$. Результаты проведённых измерений представлены в таблице 10.

Таблица 10. – Наиболее чувствительные к воздействию малых потоков тепловых нейтронов полосы ИК-поглощения сыворотки крови

Полоса (котр.), $см^{-1}$	Флюенс, $н/см^2$	Частота пос.обл. $см^{-1}$	$\Delta\nu$,	Направление сдвига	Соответствие КМ расчёту
1082	$1{,}3 \cdot 10^8$	1078	4	в сторону мен. ν	соответствует
1242	$3 \cdot 10^8$	1240	2	в сторону мен. ν	соответствует
1244	$3 \cdot 10^8$	1238	6	в сторону мен. ν	соответствует
1315	$1{,}3 \cdot 10^8$	1313	2	в сторону мен. ν	соответствует
1342	$2{,}16 \cdot 10^8$	1340	2	в сторону мен. ν	соответствует
3068	$3 \cdot 10^8$	3066	2	в сторону мен. ν	соответствует

Анализ полученных данных показывает, что наиболее выраженное изменение частоты наблюдается для полосы 1244 $см^{-1}$, соответствующей колебаниям амидной полосы 3 пептидной группы. Величина смещения в данном случае достигает 6 $см^{-1}$. Это свидетельствует о высокой чувствительности амидных колебаний белковых молекул к воздействию нейтронного излучения.

«Для объяснения полученных результатов необходимо рассмотреть возможные физические и молекулярные процессы, которые могут происходить в сыворотке при воздействии малых флюенсов тепловых нейтронов. Проведённые исследования показали, что после облучения изменяется отдельных полос ИК-поглощения, а в некоторых случаях и их интенсивность. Это свидетельствует о том, что воздействие нейтронов может сопровождаться изменениями в структуре биомолекул» [2 с. 94; 4, с. 117].

«Сыворотки крови является сложной многокомпонентной системой. В её состав входят белки, липиды, аминокислоты, вода и другие низкомолекулярные соединения. Поэтому формирование ИК-спектра связано одновременно с колебаниями большого числа функциональных групп. При исследовании структурных изменений белков особое значение имеют амидные полосы. Полосы Амид 1, Амид 2 и Амид 3 широко используются для оценки состояния белковых молекул, поскольку их положения и форма зависят от характера колебаний пептидных групп, конформации белка и межмолекулярных взаимодействий» [8, с. 1747].

Выводы

Следует отметить, что в ходе научных исследований основная цель диссертационной работы, заключающаяся в исследовании влияние малых потоков тепловых нейтронов на спектральные и биохимические свойства биологических объектов решены и диссертационная работа выполнена полностью.

В рамках данной работы предлагаются следующие научные результаты:

1. Разработан и реализован комплексный экспериментальный подход к исследованию влияния малых потоков тепловых нейтронов на биологические жидкости, основанный на сочетании ИК Фурье-спектроскопии и биохимического анализа. Предложенная новая методика пробоподготовки и регистрации спектров обеспечивает получение высококачественных и воспроизводимых ИК-спектров биологических объектов [1-18-А, 20-А].

2. Установлены закономерности изменения ИК спектров крови, сыворотки крови и сыворотки куриного яйца при хранении и воздействии тепловых нейтронов. Показано, что различные функциональные группы биомолекул (амидные, карбоксилатные, алифатические, фосфатные) обладают различной чувствительностью к изменениям микроокружения и внешним воздействиям [1-6-А, 11-17-А, 20-А].

3. Выявлено, что воздействие малых потоков тепловых нейтронов приводит к изменениям спектральных характеристик биологических систем, проявляющимся в смещениях частот полос ИК поглощения и изменении их интенсивности. Наиболее чувствительными индикаторами структурных изменений белков являются амидные полосы, особенно в области Амид 2 и Амид 3 [1-6-А, 10А, 16-А].

4. Предложена и реализована методика сравнительного анализа ИК спектров, позволяющая разделить эффекты естественного хранения образцов и

воздействия ядерного излучения. Применение компенсации частот полос облучённых образцов значениями контрольных образцов позволило выделить спектральные изменения индуцированные ядерным излучением [1-5-А, 11-А, 13-А, 20-А].

5. Показано, что наблюдаемые спектральные сдвиги согласуются с результатами квантово-механического моделирования и могут быть объяснены изотопными эффектами, возникающими при ядерных реакциях взаимодействия тепловых нейтронов с атомами азота в составе белковых молекул, в частности ядерной реакцией $^{14}N(n, \gamma)^{15}N$ приводящий к изменению колебательных характеристик молекулярных групп [1-5-А, 19-А].

6. Результаты биохимического анализа показали, что малые потоки тепловых нейтронов не вызывали выраженных повреждений, а сопровождались изменением активности отдельных ферментов [5-А, 8-А].

7. Полученные результаты показали, что ИК-спектроскопия является эффективным методом для исследования структурных изменений в биологических жидкостях [1–20-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов исследования

Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем исследовании влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на свойства конденсированных сред, в том числе биологических объектов. Показано, что ИК-спектроскопия позволяет регистрировать изменения спектральных характеристик сыворотки крови, связанные с состоянием белковых и липидных компонентов.

Предложенный подход к анализу ИК-спектров в сочетании с биохимическими исследованиями может применяться для изучения процессов, происходящих в биологических жидкостях при выдержке и воздействием малых флюенсов тепловых нейтронов.

Результаты квантово-механических расчётов могут быть использованы для интерпретации наблюдаемых спектральных изменений и установления их связи с особенностями молекулярного строения исследуемых систем.

Полученные данные могут найти применение в исследованиях по физике конденсированных сред, биофизике, медицинской физике и радиационной биологии, связанных с изучением влияния низкоинтенсивного нейтронного излучения на биологические системы.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А] **Матробиён, М.Х.** Исследование воздействия внешних факторов на сложные биологические соединения методом ИК спектроскопии / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2025, –№3, – С. 91-107.

[2-А] **Матробиён, М.Х**. Влияние нейтронного облучения на ИК спектры сыворотки крови человека / М.Х. Матробиён, Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, Н. Зайдулло // Международный научно-исследовательский журнал, 5(155). Санкт-Петербург, 2025. DOI:10.60797/IRJ.2025.155.66.

[3-А] **Матробиён, М.Х**. Влияние нейтронного облучения на сдвиг частот ИК-полос поглощения сыворотки крови человека / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Доклады НАНТ. – 2025. – Т. 68. – №8. – С. 770-777.

[4-А] **Матробиён, М.Х**. Влияние малых потоков тепловых нейтронов на свойства сложных биологических объектов / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2026, –№2. С. 124–133.

[5-А] **Matrobiyon, M. Kh**. Manifestations of Radiation Hormesis in Biological Fluids Exposed to Low-Flux Neutron Irradiation: Insights from IR Spectroscopy and Biochemical Analysis / M.B. Islomzoda, Kh. Khabibulloev, M.M. Khurramzod, D. Nematov // Preprints, 2026, 205495. DOI: 10.20944/preprints202603.2309.v1.

Статьи, опубликованные в других научных журналах

[6-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на интенсивность полос поглощения инфракрасного спектра цельной кровы / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Вестник Московского государственного университета им. М.Ю. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. – 2023, – Т. 1. – №1 (29), – С. 58-66.

Публикации в материалах научных конференций

[7-А] **Матробиён, М.Х.** Тепловые нейтроны на биологических объектах / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Материалы республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ. – Душанбе – 2020. – С. 28.

[8-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на спектральные характеристики цельной крови / Н. Зайдулло, М.Х. Матробиён // Материалы XV международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки». – Душанбе, – 2020. – С. 453.

[9-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на биохимические свойства крови / Б.И. Махсудов, Б.П. Амонов, М.Х. Матробиён //

Роль физики в развитии науки: международная конференция. – Душанбе. – 2022. – С. 35-40.

[10-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на интенсивности полоси поглощения инфракрасного спектра цельной крови / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Материалы научно-теоретической конференции преподавателей и сотрудников, докторантов, магистрантов и студентов ТНУ. – Душанбе, 2022. – С. 65-68.

[11-А] **Матробиён, М.Х.** Сравнительный анализ ИК-спектров сыворотки и цельной крови человека / М.Х. Матробиён // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы физики и химии полимеров», – Душанбе. – 2023. – С. 162-164.

[12-А] **Матробиён, М.Х.** Изучение влияние малых потоков тепловых нейтронов на цельную кров человека методом инфракрасной спектроскопии / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Труды Международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики». – Ташкент, – 2023 г., – Т. 1. – С. 67-68.

[13-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние нейтронного облучения на ИК спектры сыворотки крови человека / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния». – Худжанж, – 2024. – С. 49-51.

[14-А] **Матробиён, М.Х.** Изменение составляющих отдельных компонентов сыворотки крови человека при воздействии малого потока тепловых нейтронов / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Материалы IX Международной научной конференции «Современные проблемы физики». – Душанбе, 2024, – С. 266-269.

[15-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние тепловых нейтронов на ИК-спектры сыворотки куриного яйца / Б.И. Махсуд, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён, А. Алиев // Материалы международной научно - практической конференции «Проблемы и перспективы развития физических наук». – Худжанж, – 2025. – С. 31-36.

[16-А] **Матробиён, М.Х.** Таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба ғеҷиши тасмаи фурӯбурди спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ / М.Х. Матробиён // Труды международной научно-практической конференции «Современные проблемы физики полупроводников и диэлектриков». – Душанбе. – 2025, – С. 86-88.

[17-А] **Matroiyon, M.Kh.** Influence of thermal neutrons on the shift of IR absorption bands of chicken egg serum / B.I. Makhsud, Kh. Habibulloev, M. Kh. Matrobiyon // Материалы Международной научной конференции «Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики в Таджикистане», – Toshkent, – 2025. – P. 121-122.

[18-А] **Матробиён, М.Х.** Таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ / М.Х. Матробиён, А. Алиев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции профессорско-

преподавательского состава, сотрудников, соискателей и докторантов таджикского национального университета, – Душанбе. – 2025, – Т. 1, – С. 161-170.

[19-А] **Матробиён, М.Х.** Квантово-механические влияния малых потоков тепловых нейтронов на пепидные связи белков сыворотки крови // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Состояние и перспективы развития современной физики» – Душанбе. – 2026. – С. 165-168.

[20-А] **Матробиён, М.Х.** Исследование воздействия тепловых нейтронов и внешних факторов на биологические системы методом ИК-Фурье спектроскопии // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Состояние и перспективы развития современной физики» – Душанбе. – 2026. – С. 202-206.

Список использованных источников

1. Mohan, S. Biological effects of radiation / S. Mohan, V. Chopra // Radiation Dosimetry Phosphors. – Woodhead Publishing. – 2022. – P. 485–508.
2. Махсудов, Б.И. Эффекты при взаимодействии малых потоков тепловых нейтронов с веществом / Б.И. Махсудов, З. Нигораи // Вестник ТНУ. – 2020. – №1. – С. 94.
3. Oka, T. Estimation of infrared spectrophotometry of calcium oxalate dehydrate to calcium oxalate monohydrate ratio / T. Oka, T. Koide, T. Sonda // J. Urol. – 1985. – Vol. 134. – P. 813–817.
4. Махсудов, Б.И. Влияние облучения тепловыми нейтронами на электрофизические и структурные характеристики CdTe, легированного хлором / Б.И. Махсудов, А.Т. Акобирова, М.Т. Яров, Э.Д. Шаимов // Вестник ТНУ. – 2022. – №1. – Р. 116–128.
5. Skinner, B.M. Nuclear morphologies: their diversity and functional relevance / B.M. Skinner, E.E. Johnson // Chromosoma. – 2017. – V. 126. – Is. 2. – P. 195–212.
6. Makhsudov, B.I. Optimization optoelectronic properties $Zn_xCd_{1-x}Te$ system for solar cell application: Theoretical and experimental study / B.I Makhsudov, D.D Nematov, Kh.T. Kholmurodov, M.T. Yarov// Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2023. – V. 13, – Issue 1, 90.
7. Ходизода, М. Х. Квантово-химическое исследование самоассоциации молекул 1, 2, 4-триазол-тиол-5/ М.Х. Ходизода, М.Х. Матробиён, З.З. Исломов, С. Давлатмамадова// – 2025. – т. 68. – №. 11-12.
8. Batra, J. Blood components and its usage: A clinical insight from diagnostic lens / J. Batra et al. // J. Pharm. Negative Results. – 2022. – V. 13. – Is. 6. – P. 1747–1750.

ДОНИШГОҲИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК: 538.9



МАТРОБИЁН МЕҲРОБ ХУРРАМЗОД

ТАЪСИРИ СЕЛИ КАМИ НЕЙТРОНҲОИ ҲАРОРАТӢ БА ПАРАМЕТРҲОИ СПЕКТРАЛИИ ЗАРДОБИ ХУН

АВТОРЕФЕРАТИ
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) –
доктор аз рӯйи ихтисоси 6D060400-Физика
(6D060408-Физикаи ҳолатҳои конденсӣ)

Душанбе 2026

Диссертатсия дар кафедраи оптика ва спектроскопияи факултети физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон анҷом дода шудааст .

Роҳбари илмӣ: Махсуд Барот Исломзода – доктори илмҳои физика ва математика, профессор, профессори кафедраи физикаи ҳастаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон.

Муқарризони расмӣ: Ғафурзода Ҳалимҷон Муродӣ – доктори илмҳои физика ва математика, дотсенти кафедраи физикаи умумӣ ва физикаи ҷисмҳои сахти Муассисаи давлатии таълимии «Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Бобоҷон Ғафуров».

Ҳоликулов Уткирҷон Арзимуротович – доктори илмҳои физика ва математика (DSc), дотсенти кафедраи оптика ва спектроскопияи Институти физикаи муҳандисии Донишгоҳи давлатии Самарқанд ба номи Шароф Рашидов (Ҷумҳурии Ӯзбекистон).

Муассисаи пешбар: Агентии бехатарии химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Ҳимояи диссертатсия санаи «29» декабри соли 2026, соати 14:00 дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-130 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, суроғаи 734025, ҶТ, ш. Душанбе, маҳаллаи Буни Ҳисорак, бинои таълимии №16, факултети физика, аудиторияи 206 баргузор мегардад.

Бо диссертатсия дар сомонаи www.tnu.tj ва Китобхонаи илмии марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон шинос шудан мумкин аст.

Автореферат фиристода шуд «____»_____ 2026 с.

Котиби илмии
Шурои диссертатсионии
6D.KOA-130, н.и.ф.м., дотсент  Исломов З.З.

Муқаддима

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Омузиши таъсири мутақобилаи намудҳои мухталифи афканишот бо модда масъалаи мубрами физика ва радиобиологияи муосир мебошад. Омӯзиши таъсири афканишоти ионофар ва ҳастаӣ ба муҳитҳои конденсӣ дар сатҳҳои пасти нурборонкунӣ таваҷҷӯҳи хосса дорад, зеро ҳатто дозаҳо ва селҳои хурд метавонанд боиси тағйирот дар хосиятҳои физикӣ ва кимиёвии модда шаванд.

Дар байни намудҳои гуногуни афканишот, нейтронҳои ҳароратӣ мавқеи махсусро ишғол мекунанд. Онҳо бо модда асосан тавассути реаксияҳои рабоиши радиатсионӣ ҳамтаъсирот карда, метавонанд дар сохтори молекулаҳо ва муҳити физикию кимиёвии онҳо тағйирот ба вуҷуд оранд. Бар хилофи гамма-нурҳо ва нурҳои рентгенӣ, таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба ионофарии шадиди муҳит алоқаманд нестанд, ки имкон медиҳад механизмҳои нозуки тағйироти аз радиатсия ба вуҷуд омада, омухта шаванд.

Дар солҳои охир, таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ ба хосияти физикии муҳитҳои конденсӣ, аз он ҷумла, объектҳои биологӣ таваҷҷӯҳи муҳаққиқонро бештар ба худ ҷалб кардааст. Системаҳои сафеда, моеъҳои биологӣ ва сохторҳои ҳуҷайра ҳамчун объектҳои омузиш истифода мешаванд. Натиҷаҳои бадастомада имкон медиҳанд, ки тағйирот дар сатҳҳои молекулавӣ ва биохимиявӣ ҳатто бо сели нисбатан пасти афканишоти нейтронӣ муайян карда шаванд. Аз ин рӯ, омузиши таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ ба хосиятҳои спектралӣ ва биокимиёвии объектҳо ҳам аз ҷиҳати бунёдӣ ва ҳам аз ҷиҳати амалӣ аҳамияти калон дорад.

Ба қатори объектҳои биологии ояндадор бактерияҳои биологӣ ва зардоби хун низ шомиланд, ки системаҳои мураккаби бисёрҷузъӣ мебошанд ва ба таъсири беруна ҳассосанд. Маълум аст, ки сохторҳои сафеда дар ин системаҳо ба тағйироти физикию кимиёвӣ зуд вокуниш нишон медиҳанд ва равандҳоеро, ки дар сатҳи таъсири мутақобилаи молекулавӣ ба амал меоянд, инъикос мекунанд.

Дараҷаи таҳқиқи мавзуи илмӣ. Таҳқиқот дар бораи таъсири афканишоти нейтронӣ ба объектҳои биологӣ муддати тӯлонӣ давом дорад. Дар марҳилаи аввал, таваҷҷӯҳи асосӣ ба таъсири селҳои калони нейтронӣ равона гардида буд, ки боиси тағйироти назарраси радиобиологӣ, аз ҷумла осебёбии молекулаҳои КДН, вайроншавии равандҳои мубодилавӣ ва тағйирёбии сохтори пайвастагиҳои сафедаҳо мегардад. Дар солҳои охир, таваҷҷӯҳи илмӣ бештар ба омузиши таъсири заифи нейтронҳо равона шудааст, ки ба ҷои таъсири харобиовар, таъсири нозуки беҳтаркунандаро ба вуҷуд меорад, ки ба параметрҳои физикию кимиёвӣ ва биологии системаҳои биологӣ таъсир мерасонанд.

Муайян карда шудааст, ки таъсири доза ва сели ками афканишоти ионофар метавонад равандҳои биокимиёвӣ ва ҳолати функсионалии системаҳои сафедаро ҳамроҳӣ намояд. Қайд карда шудааст, ки дар чунин шароит нишонаҳои афзоиши мураттабии ташкили молекулавӣ, тағйирёбии фаъолияти баъзе системаҳои ферментативӣ ва тағйирёбии тавсифоти спектралии моеъҳои биологӣ ба назар мерасанд.

Бо вуҷуди ин, таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба моеъҳои биологӣ, бахусус зардоби хун, ба таври кофӣ омӯхта нашудааст. Таҳқиқотҳои мавҷуда асосан ба афканишоти гамма ва ултрабунафш бахшида шудаанд, дар ҳоле ки маълумот дар бораи таъсири нейтронҳо ба параметрҳои физикӣ ва биокимиёвӣ ин системаҳо амалан вуҷуд надорад.

Таҳқиқоти мазкур ба омузиши ҷанбаҳои нокифояи ба қадри кофӣ таҳқиқнашудаи таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ бахшида шуда, идомаи силсилаи таҳқиқотҳое мебошанд, ки дар кафедраи физикаи ҳастаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон гузаронида мешаванд ва ба таъсири афканишоти нейтронии интенсивияташ паст ба системаҳои биологӣ алоқаманд мебошанд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо ва мавзуъҳои илмӣ. Мавзуи рисола ба Рӯйхати самтҳои афзалиятноки таҳқиқоти илмӣ ва илмию техникӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021-2025 (Мувофиқи Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон №503 аз 26.09.2020 с.) ва Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи илм, техника ва инноватсия дар давраи то соли 2030 (Мувофиқи Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон, №263 аз 30.06.2020 с.) мувофиқат мекунад. Таҳқиқот ба татбиқи Нақшаи чорабиниҳо барои солҳои 2020-2025 оид ба татбиқи Эъломияи солҳои 2020-2040 «Бистсолагии омузиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф» (Мувофиқи Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон Тоҷикистон № 1445, аз 31.01.2020 с.) равона карда шудааст. Кори диссертатсионӣ дар солҳои 2021-2026 мувофиқи мавзуи таҳқиқоти илмии кафедраи оптика ва спектроскопияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон дар мавзуи «Омузиши таъсири байниҳамдигарии молекулаҳои бисёратома бо усулҳои спектроскопия ва ҳисобҳои квантию химиявӣ» №01/1050-03 аз 25.04.2022 с., 0122TJ1427 аз 29.04.2022 с. анҷом дода шудааст.

Тавсифи умумии таҳқиқот

Мақсади таҳқиқот. Мақсади кори диссертатсионӣ омузиши таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ ба параметрҳои спектралӣ ва биокимиёвии зардоби хун мебошад.

Масъалаҳои таҳқиқот. Барои ноил шудан ба ҳадафи гузошташуда, вазифаҳои зерин ҳал карда шуданд:

1. Таҳияи усули нави омодасозии намунаҳо ва бақайдгирии спектрҳо барои ба даст овардани спектрҳои инфрасурхи объектҳои биологӣ бо сифати баланд ва такроршавандагии хуб имконият фароҳам оварад;
2. Гузаронидани таҳлили таъсири вақти нигоҳдории намуна ба тавсифоти спектралии онҳо;
3. Омузиши тағйирот дар параметрҳои биокимиёвӣ (миқдори сафедаҳо, липидҳо, глюкоза ва ферментҳо) пас аз таъсири сели ками нейтронҳо;
4. Таҳлили спектрҳои инфрасурхи бадастомада бо истифода аз усулҳои оморӣ ва коркарди компютерӣ;
5. Муайян кардани робитаи байни тағйирот дар спектрҳои инфрасурх ва хосиятҳои биокимиёвӣ зардоб таҳти таъсири нейтронҳои ҳароратӣ;

Объекти таҳқиқот. Объекти таҳқиқот моеъи биологӣ – зардоби хуни инсон мебошад.

Мавзуи таҳқиқот. Мавзуи таҳқиқот тағйирот дар параметрҳои спектралӣ ва био кимиёвии зардоби хун ҳангоми нигоҳдорӣ, ҳамчунин таҳти таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ мебошад. Таваҷҷӯҳи махсус ба таҳлили тағйирот дар спектрҳои инфрасурх ва табдилоти сохтории марбут ба ҷузъҳои молекулавии системаи биологии таҳқиқшаванда равона карда шудааст.

Асосҳои назариявии таҳқиқот. Асоси назариявии таҳқиқот принсипҳои физикаи ҳаста, назарияи квантӣ-механикии лаппишҳо ва спектроскопияи инфрасурхи системаҳои биологиро дар бар мегирад. Таъсири нейтронҳои ҳароратӣ бо муҳитҳои конденсӣ, аз он ҷумла биологӣ гузариши реаксияҳои ҳастаӣ бо унсурҳои сабукро дарбар мегирад, ки боиси тағйирёбии таркиби изотопии модда мегардад. Табдилёбии изотопии $^{14}_{7}N(n,\gamma)^{15}_{7}N$ боиси афзоиши массаи бадалии системаҳои лаппанда ва ғеҷиши тасмаи фурӯбурди инфрасурх ба басомадҳои пасттар мегардад. Бандҳои амидии сафедаҳо, яъне Амид (I − III) ба чунин тағйирот бештар ҳассосанд ва ҳолати пайвандҳои пептидиву таъсири мутақобилаи ҳидрогениро инъикос менамоянд. Ҳамин тавр, тағйироти спектралӣ дар зардоби хун, ки бо таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба амал меоянд, аз таъсири изотопҳо ва тағйироти сохтории матритсаи сафеда-об ба вуҷуд меоянд.

Навгонии илмии таҳқиқот дар он аст, ки бори аввал:

1. Таъсири вақти нигоҳдорӣ ба спектрҳои инфрасурхи моеъи биологӣ - зардоби хуни инсон ба таври таҷрибавӣ омухта шуд ва қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои спектралӣ дар раванди нигоҳдорӣ муқаррар карда шуданд.
2. Спектрҳои инфрасурхи объектҳои номбаршуда пеш аз ва баъд аз таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ таҳлил карда шуданд; тағйироти хос дар мавқеъ ва интенсивияти бандҳои фурӯбурд, ки дар натиҷаи аз нав ташкил кардани пайвандҳои ҳидрогенӣ ва тағйир додани сохтори матритсаи сафеда-липидӣ ба вуҷуд омадаанд, муқаррар карда шуданд.
3. Муайян карда шудааст, ки таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ дар сохтори ҷузъҳои алоҳидаи системаҳои биологӣ вокуниши ғайрихаттиро ба вуҷуд меорад, ки дар диапазони муайяни флюенсҳо зоҳир шуда, дар онҳо тағйироти сохторӣ ва функсионалии дорои хусусияти мутобиқшаванда мушоҳида мешаванд.
4. Нишон дода шудааст, ки тағйироти спектралии мушоҳидашуда бо равандҳои рабоиши радиатсионии нейтронҳои ҳароратӣ аз ҷониби унсурҳои сабук (асосан нитроген) мувофиқат мекунад ва ба табдилёбии изотопу азнавташкилдиҳии нарми сохтори молекулавӣ бидуни тағйироти харобиовари намоён оварда мерасонанд.
5. Равиши ҳамаҷониба барои омузиши таъсири флюенсҳои сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба моеъҳои биологӣ бо истифода аз спектроскопияи инфрасурх, таҳлили биокимиёвӣ ва ҳисобҳои квантию механикӣ таҳия ва санҷида шудааст.

Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

1. Ба таври таҷрибавӣ муайян карда шудааст, ки давомнокии нигоҳдории намуна дар ҳаво ба параметрҳои спектралии моеъҳои биологии омухташуда таъсир мерасонад. Таҳқиқоти таҷрибавӣ нишон дод, ки таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ ба тағйирёбии ғеҷиши бандҳои алоҳида дар спектрҳои инфрасурх оварда мерасонад. Тағйироти мушоҳидашуда бо тағйирёбии сохтори системаи пайвандҳои ҳидрогенӣ, инчунин тағйирот дар сохтори ҷузъҳои сафеда ва липидии намунаҳои биологӣ алоқаманданд.
2. Таъсири гормезиси нейтронӣ дар соҳаи оптималии сел зоҳир мешавад, ки дар он беҳтаршавии параметрҳои биокимиёвӣ ва мураттабии сохтор бидуни нишонаҳои вайроншавӣ мушоҳида мегардад.
3. Механизми эҳтимолии физикии таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ рабоиши радиатсионии нейтронҳо аз ҷониби ҳастаҳои унсурҳои сабук, бахусус реаксияи $^{14}_{7}N(np)^{14}_{6}C$ мебошад, ки тақсимоти маҳдуди энергияро дар системаи молекулавӣ ҳамроҳӣ мекунад. Усули таҳияшуда барои таҳлили спектроскопияи инфрасурхи намунаҳои биологӣ пас аз нурборонкунии нейтронҳо натиҷаҳои такроршаванда ва боэътимодро таъмин мекунад.

Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот. Аҳамияти назариявии кор дар васеъ кардани фаҳмиш дар бораи механизмҳои таъсири мутақобилаи нейтронҳои ҳароратӣ бо системаҳои органикӣ ва биологӣ мебошад. Дар асоси таҳлили спектрҳои инфрасурх муайян карда шуд, ки тағйироти сохторӣ ва биокимиёвӣ ҳангоми таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ мушоҳида шуда, аз сабаби реаксияҳои ҳастаии эҳтимолии забти радиатсионии нейтронҳо аз ҷониби ҳастаҳо (N) ба амал меоянд, ки тағйирёбии тақсимоти энергия дар алоқаҳои молекулавиро ҳамроҳӣ мекунанд. Натиҷаҳои бадастовардашуда ба рушди физикаи таъсири мутақобилаи заиф байни системаҳои биологӣ ва афканишоти нейтронӣ мусоидат мекунанд ва метавонанд ҳамчун асос барои амсиласозии механизмҳои мутобиқшавии радиатсионӣ ва гормезиси нейтронӣ хизмат кунанд.

Аҳамияти амалии ин кор дар имкони истифодаи натиҷаҳои бадастомада дар як қатор соҳаҳои амалиро муайян мекунад. Тағйироти спектралӣ ва биокимиёвӣ мушоҳидашуда таҳти таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ метавонанд дар биотехнологияи ҳастаӣ барои тағйирёбии нозуки моддаҳои органикӣ ва моеъҳои биокимиёвӣ бидуни вайрон кардани сохтори онҳо истифода шаванд.

1. Натиҷаҳои бадастовардашударо метавон дар соҳаи тибби радиатсионӣ дар омузиши таъсири вобаста ба селе, ки аз нурборонкунии нейтронҳои интенсивияташон паст ба вуҷуд меоянд, ҳамчунин дар арзёбии радиоҳассосияти системаҳои гуногуни биологӣ истифода бурд.
2. Усулҳои пешниҳодшудаи таҳлили спектралии инфрасурх ва коркарди маълумоти таҷрибавиро барои муайян кардани тағйироти сохторӣ дар

сафедаҳо, липидҳо ва дигар пайвастагиҳои биомолекулавӣ таҳти таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ истифода бурдан мумкин аст.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсия. Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо бо инҳо таъмин карда мешавад:

- Бо такрори чандинмаротибаи таҷрибаҳо;
- Истифодаи усулҳои тасдиқшудаи таҳлили спектралӣ ва биокимиёвӣ;
- Мувофиқати вобастагиҳои бадастомада бо маълумоти адабиёт дар бораи таъсири радиатсионии заиф;
- Коркарди оморӣ маълумоти таҷрибавӣ бо ҳисоб кардани фосилаҳои эътимоднокӣ;

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Мазмуни рисола ба шиносномаи ихтисоси илмии 6D060400 – Физика (6D060408 – Физикаи ҳолатҳои конденсӣ), ки аз ҷониби Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тасдиқ шудааст, аз рӯйи нуқтаҳои зерин мувофиқат мекунад:

- омузиши назариявӣ ва таҷрибавии табиати физикии хосиятҳои металлҳо ва хӯлаҳои онҳо, пайвастагиҳои ғайриорганикӣ ва органикӣ, диэлектрикҳо, аз ҷумла моддаҳои рӯшанкунанда ҳам дар ҳолати сахт ва ҳам аморфӣ вобаста ба таркиби химиявӣ, изотоп, ҳарорат ва фишор.
- таҳияи моделҳои математикӣ ва пешгӯии тағйироти хосиятҳои физикии муҳити конденсӣ вобаста ба таъсири омилҳои беруна.
- кор карда баромадани усулҳои таҷрибавии омӯхтани хосиятҳои физикӣ ва пешниҳод намудани асосҳои физикии технологияи саноатии ба даст овардани моддаҳои дорои хосиятҳои муайян.
- таҳқиқоти таҷрибавӣ ва назариявии хосиятҳои ҳастаҳо, реаксияҳои ҳастаӣ, таъсири мутақобилаи ҳаста бо зарраҳои дорои энергияҳояшон паст, миёна ва баланд, инчунин муайян кардани таъсири мутақобилаи ҳаста дар падидаҳои астрофизикӣ, омӯзиши физикаи нурҳои кайҳонӣ. Бехатарии радиатсионии инсон ва муҳити зист.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ. Муаллиф шахсан дар тайёр кардан ва нурборон кардани намунаҳои биологӣ, қайди сели нейтронҳо, андозагириҳои спектроскопияи инфрасурх ва таҳлили биохимиявӣ, коркарди оморӣ маълумоти таҷрибавӣ ва тафсири натиҷаҳо иштирок кардааст. Ҳамаи хулосаҳо ва пешниҳодҳои асосии рисола аз ҷониби худи муаллиф таҳия шудаанд.

Тасвиб ва амалисозӣ. Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар Конфронсҳои илмӣ-назариявии ҷумҳуриявии устодон, кормандон ва донишҷӯёни ДМТ (Душанбе, 2020), Конфронси XV байналмилалии илмӣ-амалии олимон ва донишҷӯёни ҷавон (Душанбе, 2020), Конфронси байналмилалӣ оид ба нақши физика дар рушди илм, маориф ва инноватсия (Душанбе, 2022), Конфронси байналмилалии илмӣ-амалӣ «Масъалаҳои муосири физика ва химияи полимерҳо, маводҳо» (Душанбе, 2023), Конфронси байналмилалӣ «Масъалаҳои бунёдӣ ва амалии физикаи муосир» (Тошканд, 2023), Конфронси илмию амалии

ҷумҳуриявӣ «Масъалаҳои муосири физикаи моддаҳои конденсӣ» (Хуҷанд, 2024), Конфронси байналмилалии IX «Масъалаҳои муосири физика» (Душанбе, 2024), Конфронси байналмилалии илмӣ-амалӣ «Мушкилот ва дурнамои рушди илмҳои физикӣ» (Хуҷанд, 2025), Конфронси байналмилалии илмӣ-амалӣ «Масъалаҳои муосири физикаи нимноқилҳо ва диэлектрикҳо» (Душанбе, 2025), Конфронси байналмилалӣ «Таҳқиқоти бунёдӣ ва амалӣ дар физика » (Тошканд, 2025), Конфронси илмию назариявии ҷумҳуриявии ҳайати омӯзгорон, кормандон, довталабон ва докторантҳои ДМТ (Душанбе, 2025), Конфронси байналмилалии илмӣ-амалӣ «Ҳолат ва дурнамои рушди физикаи муосир» (Душанбе, 2026).

Интишорот аз рӯйи мавзуи диссертатсия. Маводҳои кори диссертатсия дар 20 мақолаи илмӣ, аз ҷумла як мақола дар нашрияҳо аз пойгоҳи SCOPUS, 4 мақола дар маҷаллаҳои тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, як мақола дар дигар нашрияҳо ва 14 тезис дар маҷаллаҳои конфронсҳои миллӣ ва байналмилалӣ нашр шудаанд.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, чор боб, хулоса, рӯйхати адабиёт иборат аст. Ҳаҷми умумии диссертатсия аз 139 саҳифаи чопи компютерӣ иборат буда, дорои 40 расм, 13 ҷадвал мебошад.

Мундариҷаи кор

Дар муқаддима аҳамияти таҳқиқоти таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ ба моеъҳои биологӣ асоснок гардида, мақсад ва вазифаҳои кори диссертатсионӣ муайян шудаанд. Навоварии илмӣ ва аҳамияти амалии таҳқиқот муайян карда шуда, нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда оварда шудааст. Муқаррароти асосии ба ҳимоя пешниҳодшаванда, эътимоднокии натиҷаҳои илмӣ ва саҳми муаллиф дар раванди таҳқиқот асоснок карда шудаанд.

Дар боби якум баррасии таҳлили адабиёт оид ба таъсири афканишоти ионофар ва ҳастаӣ ба моддаҳои конденсӣ, аз ҷумла системаҳои биологӣ оварда шудааст. Механизмҳои таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба моддаҳои органикӣ ва ғайриорганикӣ ва хусусиятҳои таъсири онҳо ба сафедаҳо, липидҳо ва сохторҳои обӣ баррасӣ шудаанд. Маълумоти муосир оид ба истифодаи спектроскопияи инфрасурх ва усулҳои биокимиёвӣ барои арзёбии тағйироти сохторӣ ва функсионалӣ дар зардоби хун таҳлил карда шудаанд. Зарурати омузиши ҳамаҷонибаи таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба параметрҳои спектралӣ ва биокимиёвии моеъҳои биологӣ асоснок карда шудааст. «Радиатсия бо интиқоли баланди энергияи хаттӣ, ки нейтронҳо ва алфа зарраҳоро дар бар мегирад, одатан ба сохторҳои ҳуҷайра таъсири мураккабтар ва сершумор мерасонад. Дар айни замон, афканишоти рентгенӣ ва гамма, ки бо интиқоли пасти энергияи хаттӣ тавсиф мешавад, аксар вақт боиси пайдоиши зарари ҷудогона мегардад» [1, саҳ . 485].

«Маълумоти таҷрибавӣ оид ба таъсири мутақобилаи сели ками нейтронҳои ҳароратӣ бо муҳитҳои гуногун пешниҳод карда мешаванд. Нишон дода шудааст, ки сарфи назар аз сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ва душвории қайди тағйирот дар хосиятҳои муҳит ҳангоми ин таъсири мутақобила, таъсири гормезисро мушоҳида кардан мумкин аст. Шарти асосӣ дар ин ҳолат интихоби

дурусти объекти омузиш аст. Таъсири «дозаи кам» бо истифода аз мисоли таҳлили натиҷаҳои таҷрибавии таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба хосиятҳои маводҳои нимноқил, полимерҳо, тухми растанӣ ва бактерияҳои дорои нитроген мушоҳида карда мешавад. Бар хилофи таъсири дигар намудҳои афканишоти ҳастаӣ, ки бо ионизатсияи атомҳои муҳит алоқаманд аст, эффекти гормезис бо нурборонкунии нейтронӣ бо реаксияҳои ҳастаии забти радиатсионии нейтронҳои ҳароратӣ аз ҷониби ҳастаҳои атомҳои ин муҳитҳо алоқаманд аст» [2, саҳ. 106].

Дар боби дуюм объектҳои омузишӣ - зардоби хуни инсон тавсиф шудаанд ва усулҳои тайёр кардан ва нигоҳдории онҳо пешниҳод гардидаанд. Дастгоҳ барои нурборонкунӣ бо нейтронҳои ҳароратӣ дар асоси манбаи изотопии $Pu-Be$ ва усули ҳисоб кардани сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ва тарҳи ҷойгиршавии намуна оварда шудааст. Усули сабти спектрҳои инфрасурх (дар соҳаи $400-4000\ см^{-1}$), коркарди маълумоти спектралӣ, инчунин усулҳои гузаронидани таҳлилҳои биокимиёвӣ (муайян кардани сафедаҳо, липидҳо, ферментҳо ва ғайра) муфассал тавсиф шудаанд. «Ҳангоми таҳлили моеъҳои биологӣ, бахусус зардоби хун, спектри умумии мураккаб ташкил мешавад, ки он дар натиҷаи бандҳои фурӯбурди гурӯҳҳои гуногуни функсионалии молекулаҳои органикӣ (сафедаҳо, липидҳо, карбогидратҳо, кислотаҳои нуклеинӣ ва дигар биополимерҳо) ба вуҷуд меояд. Хусусияти бисёрҷузъии чунин системаҳо ба он оварда мерасонад, ки бандҳои алоҳидаи фурӯбурд якдигарро пӯшонида, бо ҳам таъсир мекунанд ва аксар вақт нисбат ба мавқеъҳои стандартии худ тағйир меёбанд, ки ин тафсири спектрҳоро ба таври назаррас мушкил мекунад» [3, саҳ. 813].

Дар боби сеюм спектрҳои ибтидоии инфрасурхи хуни бутун, зардоби хуни инсон ва намунаи сафедаи тухми мурғ мавриди омузиш қарор гирифтанд. Гурӯҳҳои хосси фурӯбурд, ки ба гурӯҳҳои асосии функсионалии биомолекулаҳо, аз ҷумла сохторҳои амид, липид, карбоксилат ва фосфат мувофиқат мекунанд, муайян карда шудаанд. Сипас натиҷаҳои омӯзиши спектрҳои инфрасурхи зардоби хуни инсон ва намунаи сафедаи тухми мурғ дар шароити гуногуни таъсирот оварда шудаанд.

Спектрҳои ибтидоии инфрасурх ҳамчун асоси таҳлили минбаъдаи тағйирот дар параметрҳои спектралӣ аз сабаби нигоҳдорӣ дар ҳаво ва таъсири нейтронҳои ҳароратӣ хизмат мекунанд.

Хуни бутун системаи мураккаби биологии бисёрҷузъӣ буда, аз унсурҳои форменӣ (эритроситҳо, лейкоситҳо ва тромбоситҳо) ва плазма иборат аст, ки боиси ҳампӯшии ҷузъҳои гуногуни молекулавӣ дар спектри инфрасурх мегардад. Мавҷудияти сохторҳои ҳуҷайравӣ, мембранаҳо ва ҷузъҳои дохилиҳуҷайравӣ боиси мураккабии баланди спектралӣ мегардад ва тафсири бандҳои ҷудогонаи фурӯбурдро душвор мегардонад. Бар хилофи хуни бутун, зардоби хун системаи якҷинса аст, ки унсурҳои формен надорад ва бо саҳми бартаридоштаи ҷузъҳои сафеда ва липид тавсиф мешавад. Ин шакли спектрии устувортарро таъмин мекунад ва ташбеҳи бандҳои фурӯбурдро, ки ба гурӯҳҳои функсионалии сафедаҳо, аминокислотаҳо ва липидҳо мувофиқанд, осон мекунад. Аз ин рӯ, зардоби хун ҳамчун объекти асосии таҳқиқоти диссертатсия интихоб карда шуд.

Сафедаи тухми мурғ ҳамчун объекти биологии намунавӣ истифода шуд, зеро мисли зардоби хун, он миқдори назарраси сафедаҳоро бо гурӯҳҳои функсионалии монанд дорад. Таҳлили муқоисавии спектрҳои инфрасурхи ибтидоӣ имкон медиҳад, ки хусусиятҳои умумӣ ва фарқкунандаи спектралӣ, ҳамчунин саҳми ҷузъҳои сафедаро дар ташаккули спектрҳои инфрасурхи системаҳои таҳқиқшаванда муайян карда шаванд.

Ҳангоми таҳлили спектрҳои фурӯбурди инфрасурхи хуни бутун, зардоби хун ва сафедаи тухми мурғ, ки дар соҳаи ададҳои мавҷии 400-4000 $см^{-1}$ сабт шудаанд, маҷмӯи мураккаби бандҳо зоҳир гардиданд, ки таркиби биокимиёии бисёрҷузъии объектҳои биологии омӯхташударо инъикос мекунанд.

Барои таъмини саҳеҳии таҷрибаҳо ва эътимоднокии натиҷаҳо, истисно кардани ҳама гуна омилҳои беруна, ки метавонанд ба натиҷаи ниҳоӣ таъсир расонанд, зарур аст. Вақте ки объекти озмоишӣ бо сели ками нейтронҳои ҳароратии гуногун нурборон мешавад, мушкили эволютсияи вақтӣ дар хосиятҳои онҳо ба миён меояд. Барои хориҷ кардани ин омил аз натиҷаҳои таҳқиқот, таъсири ҳаво ҳангоми нигоҳдории намунаҳои зардоби хуни инсон ва сафедаи тухми мурғ дар муддати чанд шабонарӯз ба басомадҳои бандҳои фурӯбурд баррасӣ гардиданд. Таҳлили эволютсияи вақтӣ дар параметрҳои спектралӣ имкон медиҳад, ки тағйироти сохторӣ ва конформатсионӣ дар ҷузъҳои молекулавӣ, ки таҳти таъсири омилҳои муҳити зист ба амал меоянд, муайян карда шаванд.

Зардоби хун ҳамчун объекти таҳқиқот интихоб карда шуд, зеро нигоҳ доштани хуни бутун барои якчанд шабонарӯз боиси тағйирот дар унсурҳои форменӣ, аз ҷумла агрегатсия ва таҷзияи тадриҷӣ мегардад. Ҳамчунин хосиятҳои реологии хунро тағйир медиҳад ва ғайриякҷинсагии намунаҳо метавонад ба даст овардани спектрҳои такроршавандаи инфрасурхро душвор гардонад. Аз ин рӯ, нигоҳдории дарозмуддати хуни бутун на ҳамеша имкон медиҳад, ки хусусиятҳои устувори спектралӣ барои таҳлили минбаъда ба даст оварда шаванд.

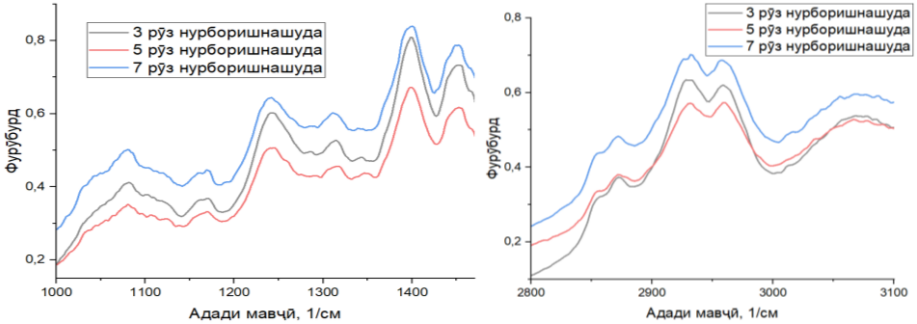
Дар муқоиса бо хуни бутун, зардоби хун ва сафедаи тухми мурғ ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво хосиятҳои устувортарро нигоҳ медоранд, ки онҳоро барои сабти спектрҳои инфрасурхи дар даврaҳои гуногуни вақт қулай мегардонад. Системаҳои омухташуда ба сафедаҳо ва липидҳо асос ёфтаанд, аз ин рӯ, тағйирот дар басомад ва интенсивияти бандҳои фурӯбурд метавонад бо тағйирот дар микромуҳити гурӯҳҳои функсионалӣ, таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ ва сохтори биомолекулаҳо алоқаманд бошад.

Истифодаи сафедаи тухми мурғ ҳамчун объекти намунавӣ ҷолиби диққат аст, зеро он имкон медиҳад, ки тағйиротро дар сохторҳои сафедаҳо дар системаи нисбатан соддаи биологӣ пайгирӣ ва гурӯҳҳои функсионалии ба таъсири беруна ҳассосро муайян кунем.

Ҳангоми нигоҳдории намунаҳо дар ҳаво, хушкшавӣ, оксидшавӣ ва тағйироти конформатсионӣ дар молекулаҳои сафеда метавонанд ба амал оянд. Ин равандҳо дар спектрҳои инфрасурх ҳамчун тағйирот дар бандҳои фурӯбурд, ҳамчунин тағйирот дар интенсивият ва шакли онҳо инъикос меёбанд.

Барои арзёбии таъсири нигоҳдорӣ ба хусусиятҳои спектрии намунаҳои биологӣ, спектрҳои инфрасурхи зардоби хун ва сафедаи тухми мурғ пас аз 3, 5 ва 7 шабонарӯзи таъсири ҳаво сабт ва таҳлил карда шуданд.

Дар расми 1 спектрҳои инфрасурхи зардоби хуни инсон, ки дар давоми 3, 5 ва 7 шабонарӯз дар ҳаво нигоҳ дошта шудааст, тағйироти хосси спектралии намунаҳоро нишон медиҳад.



Расми 1. – Спектри инфрасурхи зардоби хуни инсон пас аз таъсири ҳаво дар муддати 3, 5 и 7 рӯз дар соҳаи 1000–3100 $см^{-1}$

Дар ҷадвали 1 бандҳои асосии фурӯбурд ва мансубияти онҳо ба гурӯҳҳои функсионалии мувофиқ, ки хусусиятҳои сохтории комплексии сафеда-липидиро инъикос мекунанд, оварда шудааст.

Ҷадвали 1. – Басомади бандҳои фурӯбурди гурӯҳҳои тавсифии асосии хосси зардоби хуни одами солим

Басомад, ($см^{-1}$)	**Навъи лаппишҳо**	**Мансубият. Гурӯҳҳои функсионалӣ**
3462	Валентӣ, озод – OH ва $-NH$	Гидроксил ва аминогурӯҳҳои озод
3417	Валентӣ, озод – NH (транс)	Гурӯҳҳои амидҳои озод
3228	Валентӣ, алоқаманд $-NH$(транс)	Гурӯҳҳои амидии бо ҳидроген алоқаманд
3207 (3192)	Валентӣ, алоқаманд – OHва $-NH$	Гурӯҳҳои гидроксил ва аминогурӯҳҳои бо ҳидроген алоқаманд
3020–3000	Валентӣ ($= CH$)	Туршиҳои равғании сернашуда, эфирҳои холестерин
2990–2950	Валентӣ асим. ($-CH_3$)	Эстерҳои холестерин, триглитсеридҳо
2950–2880	Валентӣ асим. ($-CH_2$)	Туршиҳои равғанӣ, фосфолипидҳо
2880–2860	Валентӣ сим. ($-CH_3$)	Эстерҳои холестерин, триглитсеридҳо, глицерин

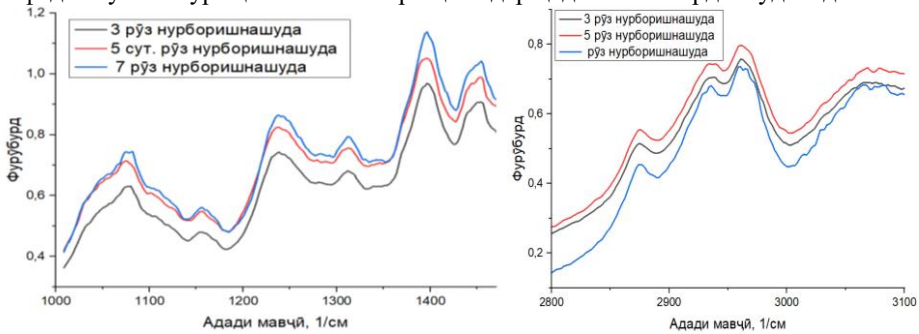
		Давоми ҷадвали 1
2870–2830	Валентӣ сим. ($-CH_2$)	Туршиҳои равғанӣ, фосфолипидҳо
1739–1732	Валентӣ ($C=O$)	Эфирҳои мураккаб, липидҳо, триглитсеридҳо
1720–1600	Амид I (валентӣ $C=O$)	Сохтори дуюмдараҷаи сафедаҳо
1630–1560	Деформатсионӣ (NH_2)	Аминотуршиҳо
1600–1480	Амид II (дефор., $N-H$ вал.) $C-N$	Сафедаҳо
1480–1430	Деформатсионӣ CH_2, CH_3	Липидҳо, триглитсеридҳо, фосфолипидҳо
1430–1360	Валентии сим. ($-COO^-$)	Аминокислотаҳо
1342 (1339)	Валентӣ ($-C-N-$)	Аминҳои хушбӯй
1330–1200	Амид III ($C-N$, $N-H$ дефор.), CH_2валентӣ	Сафедаҳо, карбогидратҳо
1311 (1300)	($-NH_3^+$) деформатсионӣ	Аминокислотаҳо
1244 (1241)	($-PO_2^-$) валентии асим., ($-C-O-$) валентӣ	Фосфатҳо, атсетатҳо
1170	Валентӣ, ($-CH_2-O-P-$)	Фосфолипидҳо
1165	($-C-O-$), Валентии асим. ($-C-OH$) деформатсионӣ	Туршиҳои равғанӣ
1152	($-C-O-$) валентӣ, ($-C-OH$) деформатсионӣ	Карбогидратҳо
1125	CH_3 лаппишҳои раққосакӣ	Системаҳои хушбӯй
1104	($-C-O-C-$) валентӣ	Ҳалқаҳои 5 ва 6 узваи қандҳо
1084 (1076)	($-PO_2^-$) валентии сим., ($-C-OH$) деформатсионӣ	Гурӯҳҳои фосфат, гурӯҳҳои гидроксил
1063	($-C-O-C-$) валентӣ	Фосфолипидҳо
1057	($-C-O-$) валентӣ	Эфирҳои мураккаб, спиртҳо
1034 (1030)	($-C-C-N-$) лаппиши склетии валентӣ	Занҷири пептидӣ, сафедаҳо

Қиматҳои ғеҷиши максимумҳои бандҳои фурӯбурди инфрасурхи зардоби хуни инсон ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво ба муддати 3, 5 ва 7 шабонарӯз дар ҷадвали 2 оварда шудаанд.

Ҷадвали 2. – Муқоисаи ғеҷиши басомад дар спектри инфрасурхи зардоби хуни инсон ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво ба муддати 3, 5 ва 7 рӯз

№	3 рӯз нурбориш нашуда	5 рӯз нурбориш нашуда	Фарқияти 3 ва 5 рӯз	7. рӯз нурбориш нашуда	Фарқияти 3 ва 7 рӯз
	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν_7, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1082	1080	2	1080	2
2	1242	1244	-2	1242	0
3	1315	1317	-2	1311	4
4	1342	1346	-4	1342	0
5	1398	1398	0	1400	-2
6	1454	1452	2	1452	2
7	2872	2872	0	2872	0
8	2927	2931	-4	2931	-4
9	2958	2958	0	2956	2
10	3068	3066	2	3068	0

Дар расми 2 спектрҳои инфрасурхи сафедаи тухми мурғ, ки дар ҳаво дар давоми 3, 5 ва 7 шабонарӯз нигоҳ дошта шуд, оварда шудаанд. Натиҷаҳои таҷрибаҳо барои муайян кардани тағйирот дар бандҳои фурӯбурди инфрасурхи сафедаи тухми мурғ ҳангоми таъсири ҳаво дар ҷадвали 3 оварда шудаанд.



Расми 2. – Спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ пас аз таъсири ҳаво дар муддати 3, 5 и 7 рӯз дар соҳаи 1000–3100 см$^{-1}$

Ҷадвали 3. - Муқоисаи тағйироти басомад дар спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво дар муддати 3, 5 ва 7 шабонарӯз

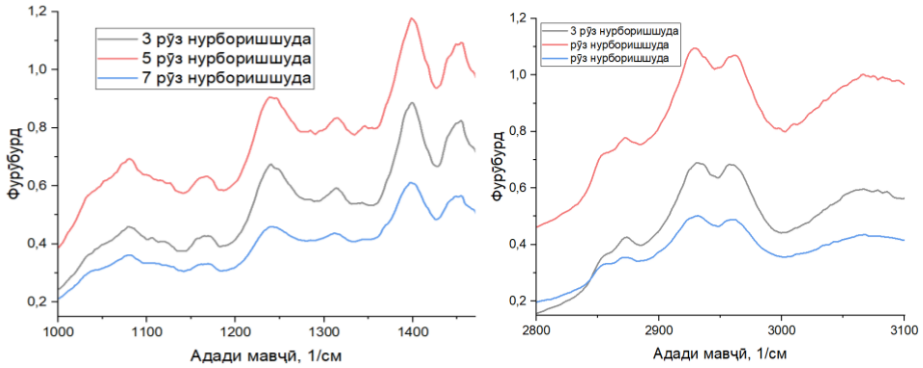
№	3 рӯз нурбориш нашуда	5 рӯз нурбориш нашуда	Фарқияти 3 ва 5 рӯз	7. рӯз нурбориш нашуда	Фарқияти 3 ва 7 рӯз
	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1080	1074	6	1082	-2

					Давоми ҷадвали 2
2	1238	1238	0	1238	0
3	1311	1311	0	1311	0
4	1338	1338	0	1342	-4
5	1396	1396	0	1396	0
6	1454	1454	0	1454	0
7	2873	2875	-2	2875	-2
8	2937	2939	-2	2935	2
9	2962	2960	2	2958	4
10	3070	3068	2	3066	4

Махсудов Б.И. ва ҳаммуаллифон қайд мекунанд, ки «муқоисаи тавсифоти спектралии намунаҳои нурбороншуда ва нурборонначуда нишон медиҳанд, ки тағйирёбии интенсивияти бандҳои фурӯбурд аз бузургии сели ками нейтронҳои ҳароратӣ вобаста аст» [4, саҳ. 104].

Пас аз муқоисаи спектрҳои инфрасурхи зардоби хуни инсон ва сафедаи тухми мурғ дар давоми 3, 5 ва 7 шабонарӯзи таъсири ҳаво, тағйирот дар спектрҳои инфрасурхи намунаҳои бо сели ками нейтронҳои ҳароратӣ нурбороншуда таҳқиқ карда шуданд. Таваҷҷӯҳ ба тағйирот дар бандҳои фурӯбурде, ки бо сафедаҳо ва липидҳо алоқаманданд, равона карда шуд.

Барои таҳлили таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба сохтори ҷузъҳои сафеда ва липидӣ, спектрҳои намунаҳо пас аз нурборонкунӣ бо флюенсҳои $1{,}3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2{,}16 \cdot 10^8$ н/см^2 ва $3 \cdot 10^8$ н/см^2 омухта шуданд, ки дар расми 3 нишон дода шуданд.



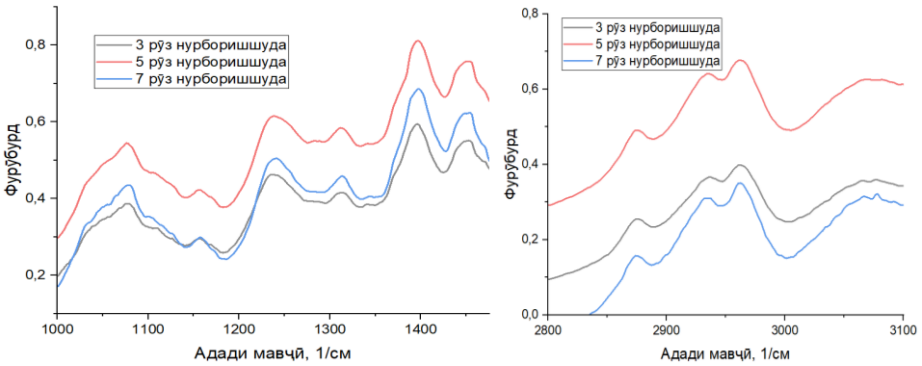
Расми 3. – Спектри инфрасурхи зардоби хуни инсон пас аз таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратии $1{,}3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2{,}16 \cdot 10^8$ н/см^{2}ва $3 \cdot 10^8$ н/см^2 дар соҳаи 1000–3100 см$^{-1}$

Қиматҳои ғеҷиши максималии бандҳои фурӯбурди инфрасурхи зардоби хуни инсон дар ҷадвали 4 оварда шудаанд.

Ҷадвали 4. – Муқоисаи ғеҷиши басомади спектри инфрасурхи зардоби хуни инсон пас аз таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратии $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^{2}ва $3 \cdot 10^8$ н/см^2

№	$1,3 \cdot 10^8$ н/см^2	$2,16 \cdot 10^8$ н/см^2	Фарқи 3 ва 5 рӯз	$3 \cdot 10^8$ н/см^2	Фарқи 3 ва 7 рӯз
	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν_7, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1078	1080	-2	1082	-4
2	1240	1238	2	1240	0
3	1313	1315	-2	1311	2
4	1340	1346	-6	1342	-2
5	1398	1398	0	1398	0
6	1454	1454	0	1454	0
7	2873	2873	0	2873	0
8	2931	2929	-2	2931	0
9	2956	2962	-6	2960	-4
10	3066	3066	0	3066	0

Натиҷаҳои таҷрибаҳо барои муайян кардани ғеҷиши максимумҳо дар бандҳои фурӯбурди инфрасурхи сафедаи тухми мурғ ҳангоми таъсири нейтронҳои ҳароратӣ бо флюенсҳои $3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^2 ва $3 \cdot 10^8$ дар расми 4 нишон дода шудаанд ва қиматҳои ғеҷишҳои мувофиқ дар ҷадвали 5 оварда шудаанд.



Расми 4. – Спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ пас аз таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратии $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^{2}ва $3 \cdot 10^8$ н/см^2 дар соҳаи 1000–3100 см$^{-1}$

Ҷадвали 5. Муқоисаи ғеҷиши басомади спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ таҳти таъсири нейтронҳои ҳароратии $1,3 \cdot 10^8$ н/см^2, $2,16 \cdot 10^8$ н/см^{2}ва $3 \cdot 10^8$ н/см^2

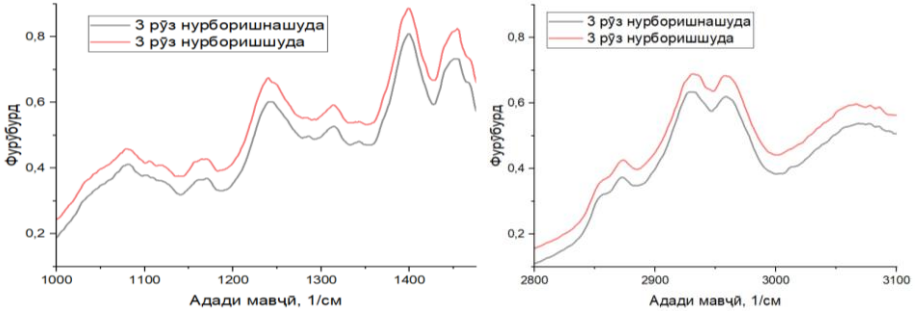
№	$1,3 \cdot 10^8$ н/см^2	$2,16 \cdot 10^8$ н/см^2	Фарқи 3 ва 5 рӯз	$3 \cdot 10^8$ н/см^2	Фарқи 3 ва 7 рӯз
	ν_3, см$^{-1}$	ν_5, см$^{-1}$	ν_3- ν_5	ν_7, см$^{-1}$	ν_3- ν_7
1	1078	1076	2	1080	-2
2	1238	1238	0	1240	-2
3	1313	1311	2	1311	0
4	1340	1342	-2	1344	-4
5	1396	1396	0	1398	-2
6	1454	1452	2	1454	0
7	2875	2875	0	2873	-2
8	2935	2935	0	2937	-2
9	2962	2962	0	2962	0
10	3066	3070	-4	3066	0

Дар спектрҳои инфрасурхи хун, зардоби хун ва сафедаи тухми мурғ бандҳои фурӯбурд, ки ба сафедаҳо, липидҳо ва дигар ҷузъҳои органикӣ мувофиқанд, муайян карда шуданд. Тағйироти нисбатан намоёни тавсифоти спектралӣ ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво дар зардоби хун мушоҳида шуданд. Нигоҳдории зардоби хун дар ҳаво бо тағйирёбии бандҳои фурӯбурди ҷудогона алоқаманд буда, аз тағйирёбии муҳити микрогурӯҳҳои функсионалӣ ва тағйирёбии таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ шаҳодат медиҳад. Тағйироти нисбатан намоён ҳангоми нигоҳдории намуна дар ҳаво то панҷ шабонарӯз ба қайд гирифта шуданд. Дар спектрҳои инфрасурхи сафедаи тухми мурғ тағйироти назаррас дар басомадҳои бандҳои асосии фурӯбурд мушоҳида нашуд. Ин аз устувории нисбатан хуби ташкилдиҳандаҳои сафедаи ин система дар шароити нигоҳдории омӯхташуда шаҳодат медиҳад. Ҳангоми таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ бо зардоби хун ғеҷиши бандҳои инфрасурхи алоҳида, ки бо тағирёбии ҳолати комплекси сафеда-липидӣ ва системаи пайванди ҳидроген алоқаманданд, ба вуҷуд оварданд. Баъзе аз тағйирот баръакс буданд. Дар сафедаи тухми мурғ, пас аз таъсири нейтронҳо, тағйирот дар ғеҷиши басомади бандҳои фурӯбурди алоҳида низ мушоҳида шуданд. Натиҷаҳо ҳассосияти гуногуни гурӯҳҳои функсионалиро ба нейтронҳои ҳароратӣ нишон медиҳанд.

Дар боби чорум таҳлили муқоисавии спектрҳои инфрасурхи зардоби хун, ки бо нейтронҳои ҳароратӣ нурборон шуданд ва намунаҳое, ки дар муддати баробар дар ҳаво қарор доранд, оварда шудааст. Чунин муқоиса зарур аст, зеро ҳангоми нурборонкунии намунаҳо ҳамзамон ба онҳо муҳити зист таъсир мерасонад, аз ҷумла онҳо ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво дучори хушкшавӣ, равандҳои оксидшавӣ ва тағирёбии пайвандҳои ҳидрогенӣ мешаванд. Ин усули муқоиса имкон дод, ки тағйиротҳои марбут ба нигоҳдорӣ ба назар гирифта

шаванд ва таъсири нейтронҳои ҳароратиро ба хусусиятҳои спектрии намунаҳо алоҳида таҳқиқ кунем.

Дар расми 5 спектрҳои инфрасурхи муқоисавии зардоби хуни инсон, ки дар зери таъсири ду омили беруна қарор доранд, нишон дода шудаанд: нигоҳдорӣ дар ҳаво дар муддати 3 шабонарӯз ва нурборонкунӣ бо флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратии $1{,}3\cdot10^8$ н/см^2, $2{,}16\cdot10^8$ н/см^2, $3\cdot10^8$ н/см^2.



Расми 5. – Спектрҳои инфрасурхи муқоисавии зардоби хуни инсон ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво дар муддати 3 рӯз ва нурборонкунӣ бо сели нейтронҳои ҳароратии $1,3\cdot10^8$ н/см^2 дар соҳаи 1000–3100 см$^{-1}$

Қиматҳои миқдории тағйироти максимумҳои банди фурӯбурд ҳангоми таъсири ҳаво ва нурборонкунӣ дар ҷадвали 6 оварда шудаанд. Дар ҷадвал маълумотҳое оварда шудаанд, ки имкон медиҳанд ҳам самтнокӣ (ғеҷиши басомади баланд ё паст) ва ҳам бузургии тағйирот дар параметрҳои спектралиро муайян кунем .

Ҷадвали 6. – Натиҷаҳои таҳлили муқоисавии басомадҳои максималии банди фурӯбурди инфрасурхи зардоби хуни инсон ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво дар давоми 3, 5 ва 7 рӯз ва нурборонкунӣ бо сели ками нейтронҳои ҳароратии $(1,3-3)\cdot10^8$ н/см^2

№	3 рӯз нурборон нашуда	$1{,}3\cdot10^8$ н/см^2	Фарқият	5 рӯз нурборон нашуда	$2{,}16\cdot10^8$ н/см^2	Фарқият	7 рӯз нурборон нашуда	$3\cdot10^8$ н/см^2	Фарқият
	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$
1	1082	1078	4	1080	1080	0	1080	1082	-2
2	1242	1240	2	1244	1238	6	1242	1240	2
3	1315	1313	2	1317	1315	2	1311	1311	0
4	1342	1340	2	1346	1346	0	1342	1342	0
5	1398	1398	0	1398	1398	0	1400	1398	2
6	1454	1454	0	1452	1454	-2	1452	1454	-2

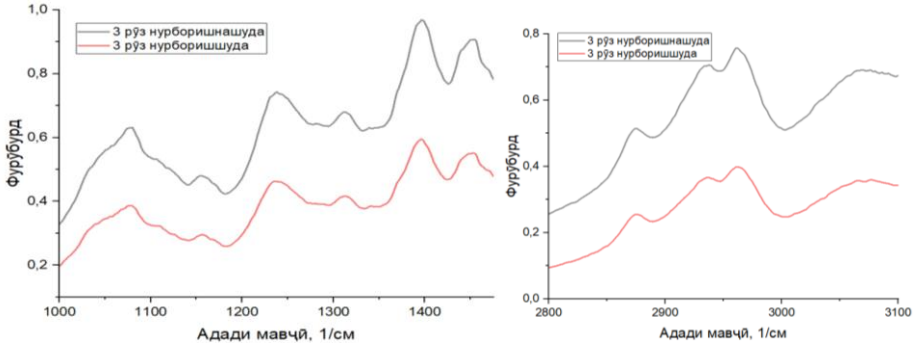
									Давоми ҷадвали 2
7	2872	2873	-1	2872	2873	-1	2872	2873	-1
8	2927	2931	-4	2931	2929	2	2931	2931	0
9	2958	2956	2	2858	2962	-4	2956	2960	-4
10	3068	3066	2	3066	3066	0	3068	3066	2

Сипас, тағйирот дар параметрҳои спектралии сафедаи тухми мурғ, ки ҳангоми таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ва нигоҳдорӣ дар ҳаво омӯхта шуданд. Ба роҳ мондани чунин таҷрибаҳо имкон дод, ки тағйиротро дар ҷузъи сафеда алоҳида пайгирӣ ва онҳоро бо тағйироти мушоҳидашуда дар зардоби хуни инсон муқоиса намоем.

Барои ин, натиҷаҳои пас аз нурборонкунӣ ба даст овардашударо бо маълумоти намунаҳои назоратӣ (нурбороннашауда), ки дар муддати мувофиқ ба ҳаво дучор шуда буданд, муқоиса карда шуданд.

Барои дақиқтар муайян кардани натиҷаҳо, таҳлили муқоисавии басомадҳои максималии банди инфрасурхи намунаҳои сафедаи тухми мурғ, ки дар тӯли 3, 5 ва 7 рӯз зери таъсири ҳаво нигоҳ дошата шуданд, инчунин намунаҳое, ки бо сели ками нейтронҳои ҳароратии $(1{,}3-3)\cdot 10^8$ н/см^2 нурборон шуданд, гузаронида шуданд.

Дар расми 6 спектрҳои инфрасурхи муқоисавии сафедаи тухми мурғ, ки дар зери таъсири ду омили беруна қарор доранд, нишон дода шудаанд: нигоҳдорӣ дар ҳаво дар муддати 3 шабонарӯз ва нурборонкунӣ бо флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратии 1,3·10^8 н/см^2, 2,16·10^8 н/см^2, 3·10^8 н/см^2.



Расми 6. – Спектрҳои инфрасурхи муқоисавии сафедаи тухми мурғ ҳангоми нигоҳдорӣ дар ҳаво дар муддати 3 рӯз ва нурборонкунӣ бо сели нейтронҳои ҳароратии $1,3\cdot 10^8$ н/см^2 дар соҳаи 1000–3100 см$^{-1}$

Дар ҷадвали 7 маълумотҳое оварда шудаанд, ки имкон медиҳанд ҳам самтнокӣ (ғеҷишҳои басомади баланд ё паст) ва ҳам бузургии тағйирот дар параметрҳои спектралии сафедаи тухми мурғ муайян карда шаванд.

Ҷадвали 7. – Натиҷаҳои таҳлили муқоисавии басомадҳои максималии банди фурӯбурди инфрасурхи сафедаи тухми мурғ ҳангоми нигоҳорӣ дар ҳаво дар тули 3, 5 ва 7 рӯз ва нурборонкунӣ бо сели ками нейтронҳои ҳароратии $(1,3-3)\cdot 10^8$ н/см^2

№	3 рӯз нурборон нашуда	$1{,}3\cdot 10^8$ н/см^2	Фарқият	5 рӯз нурборон нашуда	$2{,}16\cdot 10^8$ н/см^2	Фарқият	7 рӯз нурборон нашуда	$3\cdot 10^8$ н/см^2	Фарқият
	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$	ν_1, см$^{-1}$	ν_2, см$^{-1}$	$\nu_1-\nu_2$
1	1080	1078	2	1074	1076	-2	1082	1080	2
2	1238	1238	0	1238	1238	0	1238	1240	-2
3	1311	1313	-2	1311	1311	0	1311	1311	0
4	1338	1340	-2	1338	1342	-4	1342	1344	-2
5	1396	1396	0	1396	1396	0	1396	1398	-2
6	1454	1454	0	1454	1452	2	1454	1454	0
7	2873	2875	-2	2875	2875	0	2875	2873	2
8	2937	2935	2	2939	2935	4	2935	2937	-2
9	2962	2962	0	2960	2962	-2	2958	2962	-4
10	3070	3066	4	3068	3070	-2	3066	3066	0

Таҳлили спектрҳои инфрасурх нишон дод, ки дар ҳарду объект тағйирот дар ғеҷиши бандҳои фурӯбард, асосан дар минтақаи лаппишҳои амид (Амид 3), инчунин дар соҳаҳои мувофиқ ба лаппишҳои пайвандҳои $C-N$ ва $C-H$ мушоҳида мешаванд.

Барои муайян кардани миқдори тағйироти спектралӣ, ҳассостарин бандҳо интихоб карда шуданд, ки натиҷаҳои таҳлили онҳо дар ҷадвали 8 оварда шудаанд.

Ҷадвали 8. – Таҳлили муқоисавии ғеҷишҳои спектралӣ дар зардоби хуни инсон ва сафедаи тухми мурғ

№	Банд (зардоби хун), см$^{-1}$	Δν, см$^{-1}$	Самт	Тасма (сафедаи тухм), см$^{-1}$	Δν, см$^{-1}$	Самт
1	1082 → 1078	4	ба ν-и паст	1080 → 1078	2	ба ν-и паст
2	1242 → 1240	2	ба ν-и паст	1238 → 1238	0	бетағйир
3	1244 → 1238	6	ба ν-и паст	1238 → 1238	0	бетағйир
4	1315 → 1313	2	ба ν-и паст	1311 → 1311	0	бетағйир
5	1398 → 1398	0	бетағйир	2931 → 2929	2	ба ν-и паст
6	2931 → 2929	2	ба ν-и паст	2939 → 2935	4	ба ν-и паст

						Давоми ҷадвали 8
7	2958 → 2956	2	ба ν-и паст	2962 → 2962	0	бетағйир
8	3068 → 3066	2	ба ν-и паст	3070 → 3066	4	ба ν-и паст

Чунон ки аз маълумоти пешниҳодшуда бармеояд, дар зардоби хуни инсон, бахусус дар минтақаи бандҳои амидӣ (1242-1315) $см^{-1}$, тағйироти спектралии намоёнтар мушоҳида мешаванд, ки аз ҳассосияти баланди сохторҳои сафеда ба таъсири нейтронҳои ҳароратӣ шаҳодат медиҳад. Дар сафедаи тухми мурғ, баъзе аз бандҳои мувофиқ бетағйир боқӣ мемонанд, ки ин аз сохтори устувортари молекулавӣ шаҳодат медиҳад.

Дар айни замон, барои як қатор бандҳо, махсусан дар минтақаи лаппишҳои валентии $C-H$, ҳарду намуна дар як самт ба самти ададҳои мавҷии пасттар самт мегиранд. Монандии тағйироти спектралӣ дар зардоби хуни инсон ва сафедаи тухми мурғ аз равандҳои маъмулӣ, ки таҳти таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба амал меоянд, шаҳодат медиҳад. Ғеҷиши банди басомади пасти мушоҳидашуда метавонад бо тағйирот дар муҳити хосси гурӯҳҳои функсионалӣ ва аз нав ташкил кардани таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ алоқаманд бошад. Натиҷаҳои бадастоварда имконпазирии истифодаи зардоби тухми мурғро ҳамчун системаи намунавӣ барои омузиши таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба сохторҳои сафеда тасдиқ мекунанд.

Спектроскопияи инфрасурх асосан тағйироти сохтории молекулавиро арзёбӣ мекунад ва маълумоти мустақимро дар бораи ҳолати функсионалии системаҳои сафеда-ферментӣ дода наметавонад. Аз ин рӯ, таҳлили биохимиявии намунаҳо барои тасдиқ ва тафсири минбаъдаи тағйироти спектрии ошкоршуда гузаронида шуд.

Ҳадафи ин марҳилаи таҳқиқот арзёбии ҳолати функсионалии системаҳои сафеда-ферментии зардоби хун таҳти таъсири ду омил буд: нигоҳдории табиӣ дар ҳаво (3, 5 ва 7 рӯз) ва нурборонкунӣ бо сели ками нейтронҳои ҳароратӣ дар соҳаи флюенси $(1-1{,}3)\cdot 10^8$ н/см^2.

Натиҷаҳои таҳлили биохимиявӣ дар ҷадвали 9 оварда шудаанд.

Ҷадвали 9. – Параметрҳои биохимиявии зардоби хун ҳангоми нигоҳдорӣ ва нурборонкунӣ

Нишондоҳо	**Меъёр**	**3 рӯз нурбориш нашуда**	**$1{,}3\cdot 10^8$ н/см^2**	**3 рӯз нурбориш нашуда**	**$2{,}16\cdot 10^8$ н/см^2**	**7 рӯз нурбориш нашуда**	**$3\cdot 10^8$ н/см^2**
Алат	10-40 Воҳ./л	10.1	8.4	9.4	9.4	9.3	9.3

Давоми ҷадвали 9

АсАТ	10-40 Воҳ./л	20	10.5	11.9	11.9	9.1	8.8
Сафедаи умумӣ	64-83 г / л	68	72	74	76	69.7	74.3
Қанди хун	3.9-5.5 ммол / л	6.9	7.1	7.2	8.5	6.9	7.1

Таҳлили маълумот нишон медиҳад, ки ҳангоми нигоҳ доштани зардоби хун дар ҳаво дар муддати 3-7 рӯз, фаъолияти АлАТ каме коҳиш меёбад (аз 10,1 то 9,3 Воҳ./л) ва дар доираи меъёри физиологӣ (10-40 Воҳ./л) боқӣ мемонад. Тамоюли монанд барои АсАТ низ мушоҳида мешавад: аз 20 Воҳ./л дар рӯзи сеюм то 9,1 Воҳ./л дар рӯзи ҳафтуми нигоҳдорӣ. Ин тағйирот мӯътадил буда, аз вайроншавии назарраси системаҳои сафеда-ферментӣ шаҳодат намедиҳанд.

Ғаноиш (консентратсия)-и умумии сафеда ҳангоми нигоҳдорӣ каме тағйир меёбад: аз 68 г/л (3 рӯз) то 74 г/л (5 рӯз), ки баъдан то 7 рӯз то 69,7 г/л коҳиш меёбад. Ҳамаи қиматҳо дар доираи меъёри физиологӣ (64-83 г/л) қарор доранд, ки аз устувории нисбии таркиби сафедаи зардобис хун ҳангоми нигоҳдории кӯтоҳмуддат шаҳодат медиҳад.

Сатҳи глюкоза дар намунаҳои баррасишуда дар ҳудуди 6,9-7,2 ммол/л тағйир меёбад, ки каме баландтар аз қиматҳои реферансӣ (3,9-5,5 ммол /л) аст, аммо бо афзоиши вақти нигоҳдорӣ, динамикаи самтии намоён, мушоҳида намешавад. Эҳтимол ин ҳолат ба хусусиятҳои устувории метаболи намунаҳо дар шароити $in\ vitro$ бошад [5].

Пас аз дучор шудан ба сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ($1{,}3 \cdot 10^8$; $2{,}16 \cdot 10^8$ ва $3 \cdot 10^8$ н/см^2) фаъолияти АлАТ дар ҳудуди 8,4-9,3 Воҳ./л ва АсАТ дар ҳудуди 8,8-11,9 Воҳ./л қарор дорад. Қиматҳои бадастомада дар доираи меъёри физиологӣ боқӣ мемонанд ва аз нишондиҳандаҳои намунаҳои нигоҳдошташуда ба таври назаррас фарқ намекунанд. Ғаноиши умумии сафеда дар намунаҳои нурбороншуда ба 72 то 76 г/л баробар буда, бо нишондиҳандаҳои намунаҳои нигоҳдошташуда дар ҳаво қобили муқоиса мебошанд ва инчунин дар ҳудуди муқаррарианд. Сатҳи қанд пас аз нурборонкунӣ ба 7,1 то 8,5 ммол/л баробар аст, ки ноустувории мӯътадилро бидуни нишонаҳои ихтилоли назарраси мубодилаи моддаҳо нишон медиҳад.

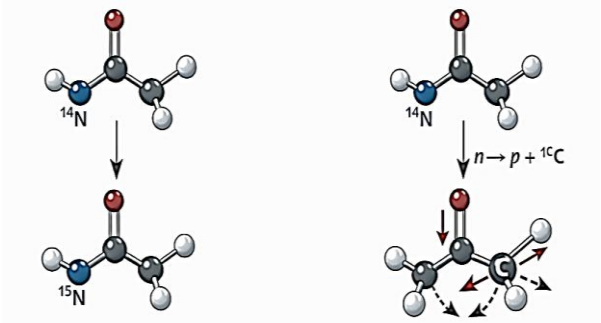
Яке аз эҳтимолияти таъсири мутақобилаи нейтронҳои ҳароратӣ бо сафедаҳо таъсири мутақобилаи онҳо бо ҳастаҳои нитроген мебошад, ки дар пайвандҳои пептидии $-C(O)-NH-$ ба таври васеъ мавҷуанд. Пайванди пептидии $-C(O)-NH-$ унсури асосии сохтории матритсаи сафеда буда , ғеҷиши бандҳои амид 1, амид 2 ва амид 3-ро дар спектри инфрасурх муайян мекунад. Атомҳои нитроген қисми ҳар як гурӯҳи амидҳо мебошанд, ки онро ба ҳадафи эҳтимолии реаксияҳои ҳастаӣ ҳангоми таъсири мутақобилаи нейтронҳои ҳароратӣ табдил медиҳанд.

Дар зардоби хуни инсон, бахусус зардоби албумин, аксарияти атомҳои нитроген (~86%) дар гурӯҳҳои пептидӣ ҷойгир мебошанд. Аз ин рӯ, реаксияҳо $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$ (забти радиатсионӣ) ва $^{14}N(n,p)^{14}C$ (реаксияи бо афканиши протон) метавонанд дар ташаккули тағйироти аз ҷониби нейтрон ба вуҷуд омада дар хусусиятҳои лаппишӣ ва конформатсионии сафедаҳо, ки тавассути спектроскопияи инфрасурх сабт шудаанд, нақши калидӣ бозанд. Реаксияи аввал ба тағйирёбии изотопӣ бе ивазшавии табиати кимиёвии пайванд боис мегардад, аммо ба афзоиши массаи ҳастаи нитроген оварда мерасонад. Афзоиши массаи атоми нитроген ($^{14}N \rightarrow {}^{15}N$) боиси афзоиши массаи камшуда ва дар натиҷа, коҳиши басомади лаппиш мегардад. Ин бояд худро ҳамчун тағйири манфии банд (тағйир ба самти рақамҳои мавҷи пасттар) зоҳир кунад. Реаксияи дуюм бо трансмутатсияи унсурҳо ва эҳтимолан аз нав ташкил ёфтани сохтори маҳдуди гурӯҳи пептидӣ алоқаманд аст.

Барои таҳлили таъсири эҳтимолии ивазшавии изотопӣ N^{14} ба N^{15} ба хусусиятҳои ларзишии гурӯҳҳои пептидӣ ва мавқеи бандҳои фурӯбурди спектри инфрасурх ҳисобҳои кванто-механикӣ анҷом дода шуданд.

«Барои арзёбии миқдории таъсир, ҳисобҳои квантӣ-механикӣ аз назарияи функсионали зичӣ (DFT) бо истифода аз функсионали $B3LYP$ ва маҷмуи базисии $6-311++G(d,p)$ дар бастаи барномаи $Gaussian\ 09W$ анҷом дода шуданд» [6, 7]. Ҳисобҳо оптимизатсияи геометрияи гурӯҳи пептидии амсилавӣ ва ҳисоб кардани басомадҳои гармоникиро дар бар гирифтанд. Ивазкунии изотопӣ бо тағйир додани массаи атоми нитроген бе тағйир додани геометрия амсиласозӣ карда шуд. Мувофиқи натиҷаҳои ҳисобкунӣ, афзоиши массаи бадалии оссиллятор боиси коҳиши басомади лаппиш мегардад, ки ба ғеҷиши манфии бандҳо (ғеҷиш ба самти ададҳои мавҷии паст) мувофиқат мекунад.

Дар расми 7 таъсири ду намуди реаксияҳои аз ҷониби нейтрон ба вуҷуд омада ба гурӯҳи пептидҳо нишон дода шудааст: Ивазшавии изотопии $^{14}N \rightarrow {}^{15}N$ боиси коҳиши басомадҳои лаппиш, асосан дар минтақаи Амид 2 ва 3 мегардад, ки ин аз ҳисоби афзоиши массаи бадалии оссиллятори мувофиқ ба амал меояд.



Расми 7. – Амсиласозии тағйирот дар гурӯҳи пептидҳо ҳангоми ивазшавии $^{14}N \rightarrow {}^{15}N$ ва реаксияи изотопӣ $^{14}N(n,p)^{14}C$

Барои арзёбии миқдорӣ, басомадҳои назоратӣ (нурбороннашуда)-и бандҳои фурӯбурд ва басомадҳо пас аз нурбориш муайян ва ғеҷиши онҳо $\Delta\nu$ ҳисоб карда шуданд. Натиҷаҳои ченкунӣ дар ҷадвали 10 оварда шудаанд.

Ҷадвали 10. – Ҳассостарин бандҳои фурӯбурди инфрасурхи зардоби хун ба таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ

Банд (назоратӣ), $см^{-1}$	Флюенс, $н/см^2$	Басомад пас. аз нурбориш $см^{-1}$	$\Delta\nu$, $см^{-1}$	Самти кӯчиш	Мувофиқат бо ҳисобҳои квантию механикӣ
1082	$1{,}3 \cdot 10^8$	1078	4	ба самти ν-и паст	мувофиқ
1242	$3 \cdot 10^8$	1240	2	ба самти ν-и паст	мувофиқ
1244	$3 \cdot 10^8$	1238	6	ба самти ν-и паст	мувофиқ
1315	$1{,}3 \cdot 10^8$	1313	2	ба самти ν-и паст	мувофиқ
1342	$2{,}16 \cdot 10^8$	1340	2	ба самти ν-и паст	мувофиқ
3068	$3 \cdot 10^8$	3066	2	ба самти ν-и паст	мувофиқ

Таҳлили маълумоти бадастомада нишон медиҳад, ки тағйирёбии намоёни басомад барои банди 1244 $см^{-1}$ мушоҳида мешавад, ки ба лаппишҳои банди Амид 3-и гурӯҳи пептидӣ мувофиқат мекунад. Бузургии ғеҷиш дар ин ҳолат ба 6 $см^{-1}$ мерасад. Ин аз ҳассосияти баланди лаппишҳои амидии молекулаҳои сафеда ба таъсири афканишоти нейтронӣ шаҳодат медиҳад.

«Барои шарҳи натиҷаҳои бадастомада, зарур аст, ки равандҳои имконпазири физикӣ ва молекулавие, ки ҳангоми дучор шудан бо сели ками нейтронҳои ҳароратӣ дар зардоб ба амал меоянд, ба назар гирифта шаванд. Таҳқиқотҳои гузаронидашуда нишон доданд, ки пас аз нурборонкунӣ, бандҳои алоҳидаи фурӯбурди инфрасурх ва дар баъзе мавридҳо интенсивияти онҳо тағйир меёбад. Ин нишон медиҳад, ки дучор шудан бо нейтронҳо метавонад бо тағйирот дар сохтори биомолекулаҳо алоқманд бошад» [2, саҳ. 94; 4, саҳ. 117].

«Зардоби хун системаи мураккаб ва бисёрҷузъӣ аст. Он дорои сафедаҳо, липидҳо, аминокислотаҳо, об ва дигар пайвастагиҳои камвазни молекулавӣ мебошад. Аз ин рӯ, ташаккули спектри инфрасурх ҳамзамони бо лаппишҳои шумораи зиёди гурӯҳҳои функсионалӣ алоқаманд аст. Гурӯҳҳои амид ҳангоми омӯзиши тағйироти сохторӣ дар сафедаҳо аҳамияти махсус доранд. Гурӯҳҳои Амид-1, Амид-2 ва Амид-3 барои арзёбии ҳолати молекулаҳои сафеда васеъ истифода мешаванд, зеро мавқеъ ва шаклҳои онҳо аз хусусияти лаппишҳои гурӯҳҳои пептидӣ, конформатсияи сафедаҳо ва таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ вобастаанд» [8, саҳ. 1747].

Хулосаҳо

Бояд қайд кард, ки дар ҷараёни таҳқиқоти илмӣ ҳадафи асосии кори диссертатсионӣ, ки аз омузиши таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба параметрҳои спектралӣ ва биохимиявии объектҳои биологӣ иборат аст, ҳал карда шуд ва кори диссертатсинӣ пурра анҷом ёфт.

Дар доираи ин кор натиҷаҳои илмии зерин пешниҳод карда мешаванд:

1. Равиши ҳамаҷонибаи таҷрибавӣ барои омузиши таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба моеъҳои биологӣ таҳия ва амалӣ карда шудааст, ки бар асоси омезиши спектроскопияи Фурйе ва таҳлили биокимиёвӣ асос ёфтааст. Усули нави пешниҳодшудаи омодасозии намуна ва сабти спектрҳои инфрасурхи баландсифат ва такроршавандаи намунаҳои биологиро таъмин мекунад [1-18-А, 20-А].
2. Қонуниятҳои тағйирот дар спектрҳои инфрасурхи хун, зардоби хун ва сафедаи тухми мурғ ҳангоми нигоҳдорӣ ва таъсири нейтронҳои ҳароратӣ муайян карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки гурӯҳҳои гуногуни функсионалии биомолекулаҳо (амид, карбоксилат, алифатӣ, фосфат) ба тағйирот дар микромуҳит ва таъсироти беруна ҳассосияти гуногун нишон медиҳанд [1-6-А, 11-17-А, 20-А].
3. Муайян карда шуд, ки таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба тағйирот дар тавсифоти спектралии системаҳои биологӣ оварда мерасонад, ки дар тағйирёбии басомади бандҳои фурӯбурди инфрасурх ва интенсивияти онҳо зоҳир мешавад. Ҳассостарин нишондиҳандаҳои тағйироти сохторӣ дар сафедаҳо бандҳои амидианд, махсусан дар минтақаҳои Амид-2 ва Амид-3 [1-6-А, 10А, 16-А].
4. Усули таҳлили муқоисавии спектрҳои инфрасурх пешниҳод ва амалӣ карда шудаанд, ки имкон медиҳанд таъсири нигоҳдории табиии намунаҳо аз таъсири афканишоти ҳастаӣ ҷудо карда шаванд. Ислоҳи басомадҳои банди намунаҳои нурборшуда бо қиматҳои намунаҳои назоратӣ имкон дод, ки тағйироти спектрии аз радиатсияи ҳастаӣ ба вуҷуд омада муайян карда шаванд [1-5-А, 11-А, 13-А, 20-А].
5. Нишон дода шудааст, ки тағйироти спектралии мушоҳидашуда бо натиҷаҳои амсиласозии кванто-механикӣ мувофиқанд ва онҳоро бо таъсири изотопҳо, ки аз реаксияҳои ҳастаии таъсири мутақобилаи нейтронҳои ҳароратӣ бо атомҳои нитроген дар молекулаҳои сафеда ба вуҷуд меоянд, бахусус реаксияи ҳастаии $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$, ки боиси тағйирёбии хусусиятҳои лаппишии гурӯҳҳои молекулавӣ мегардад, шарҳ додан мумкин аст [1-5-А, 19-А].
6. Натиҷаҳои таҳлили биокимиёвӣ нишон доданд, ки сели ками нейтронҳои ҳароратӣ зарари назаррас намерасонад, аммо бо тағйирот дар фаъолияти ферментҳои алоҳида алоқаманд аст [5-А, 8-А].
7. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки спектроскопияи инфрасурх усули муассир барои омузиши тағйироти сохторӣ дар моеъҳои биологӣ мебошад [1–20-А].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

Натиҷаҳои бадастовардашударо метавон дар таҳқиқоти минбаъдаи таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба хосиятҳои ҳолатҳои конденсӣ, аз он ҷумла ба намунаҳои биологӣ истифода бурд. Нишон дода шудааст, ки спектроскопияи инфрасурх метавонад тағйиротро дар тавсифоти спектралии зардоби хун, ки бо ҳолати ҷузъҳои сафеда ва липид алоқаманданд, муайян кунад.

Равиши пешниҳодшуда барои таҳлили спектрҳои инфрасурх дар якҷоягӣ бо таҳқиқоти биокимиёвӣ метавонад барои омузиши равандҳое, ки дар моеъҳои биологӣ ҳангоми нигоҳдорӣ ва дучоршавӣ бо сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба амал меоянд, истифода шавад.

Натиҷаҳои ҳисобҳои кванто-механикӣ метавонанд барои тафсири тағйироти спектрии мушоҳидашуда ва муқаррар кардани робитаи онҳо бо хусусиятҳои сохтори молекулавии системаҳои таҳқиқшаванда истифода шаванд.

Маълумоти бадастовардашударо метавон дар таҳқиқот дар соҳаи физикаи ҳолатҳои конденсӣ, биофизика, физикаи тиббӣ ва биологияи радиатсионӣ, ки ба омузиши таъсири афканишоти нейтронии пастинтенсивият ба системаҳои биологӣ алоқаманданд, истифода бурд.

ИНТИШОРОТ АЗ РЎЙИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмӣ, ки КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия кардааст

[1-А] **Матробиён, М.Х.** Исследование воздействия внешных факторов на сложные биологические соединения методом ИК спектроскопии / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2025, –№3, – С. 91-107.

[2-А] **Матробиён, М.Х**. Влияние нейтронного облучения на ИК спектры сыворотки крови человека / М.Х. Матробиён, Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, Н. Зайдулло // Международный научно-исследовательский журнал, 5(155). Санкт-Петербург, 2025. DOI:10.60797/IRJ.2025.155.66.

[3-А] **Матробиён, М.Х**. Влияние нейтронного облучения на сдвиг частот ИК-полос поглощения сыворотки крови человека / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Доклады НАНТ. – 2025. – Т. 68. – №8. – С. 770-777.

[4-А] **Матробиён, М.Х**. Влияние малых потоков тепловых нейтронов на свойства сложных биологических объектов / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2026, –№2. С. 124–133.

[5-А] **Matrobiyon, M. Kh**. Manifestations of Radiation Hormesis in Biological Fluids Exposed to Low-Flux Neutron Irradiation: Insights from IR Spectroscopy and Biochemical Analysis / M.B. Islomzoda, Kh. Khabibulloev, M.M. Khurramzod, D. Nematov // Preprints, 2026, 205495. DOI: 10.20944/preprints202603.2309.v1.

Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои илмии дигар нашр шудаанд

[6-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на интенсивность полос поглощения инфракрасного спектра цельной кровы / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Вестник Московского государственного университета им. М.Ю. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. – 2023, – Т. 1. – №1 (29), – С. 58-66.

Интишорот дар маводҳои конференсияҳои илмӣ

[7-А] **Матробиён, М.Х.** Тепловые нейтроны на биологических объектах / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Материалы республиканской научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов ТНУ. – Душанбе – 2020. – С. 28.

[8-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на спектральные характеристики цельной крови / Н. Зайдулло, М.Х. Матробиён // Материалы XV международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки». – Душанбе, – 2020. – С. 453.

[9-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на биохимические свойства крови / Б.И. Махсудов, Б.П. Амонов, М.Х. Матробиён //

Роль физики в развитии науки: международная конференция. – Душанбе. – 2022. – С. 35-40.

[10-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние малых потоков тепловых нейтронов на интенсивности полоси поглощения инфракрасного спектра цельной крови / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Материалы научно-теоретической конференции преподавателей и сотрудников, докторантов, магистрантов и студентов ТНУ. – Душанбе, 2022. – С. 65-68.

[11-А] **Матробиён, М.Х.** Сравнительный анализ ИК-спектров сыворотки и цельной крови человека / М.Х. Матробиён // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы физики и химии полимеров», – Душанбе. – 2023. – С. 162-164.

[12-А] **Матробиён, М.Х.** Изучение влияние малых потоков тепловых нейтронов на цельную кров человека методом инфракрасной спектроскопии / Б.И. Махсудов, М.Х. Матробиён // Труды Международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы современной физики». – Ташкент, – 2023 г., – Т. 1. – С. 67-68.

[13-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние нейтронного облучения на ИК спектры сыворотки крови человека / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физики конденсированного состояния». – Худжанж, – 2024. – С. 49-51.

[14-А] **Матробиён, М.Х.** Изменение составляющих отдельных компонентов сыворотки крови человека при воздействии малого потока тепловых нейтронов / Б.И. Махсудов, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён // Материалы IX Международной научной конференции «Современные проблемы физики». – Душанбе, 2024, – С. 266-269.

[15-А] **Матробиён, М.Х.** Влияние тепловых нейтронов на ИК-спектры сыворотки куриного яйца / Б.И. Махсуд, Х. Хабибуллоев, М.Х. Матробиён, А. Алиев // Материалы международной научно - практической конференции «Проблемы и перспективы развития физических наук». – Худжанж, – 2025. – С. 31-36.

[16-А] **Матробиён, М.Х.** Таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба ғеҷиши тасмаи фурӯбурди спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ / М.Х. Матробиён // Труды международной научно-практической конференции «Современные проблемы физики полупроводников и диэлектриков». – Душанбе. – 2025, – С. 86-88.

[17-А] **Matroiyon, M.Kh.** Influence of thermal neutrons on the shift of IR absorption bands of chicken egg serum / B.I. Makhsud, Kh. Habibulloev, M. Kh. Matrobiyon // Материалы Международной научной конференции «Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики в Таджикистане», – Toshkent, – 2025. – P. 121-122.

[18-А] **Матробиён, М.Х.** Таъсири нейтронҳои ҳароратӣ ба спектри инфрасурхи сафедаи тухми мурғ / М.Х. Матробиён, А. Алиев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции профессорско-

преподавательского состава, сотрудников, соискателей и докторантов таджикского национального университета, – Душанбе. – 2025, – Т. 1, – С. 161-170.

[19-А] **Матробиён, М.Х.** Квантово-механические влияния малых потоков тепловых нейтронов на пепидные связи белков сыворотки крови // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Состояние и перспективы развития современной физики» – Душанбе. – 2026. – С. 165-168.

[20-А] **Матробиён, М.Х.** Исследование воздействия тепловых нейтронов и внешних факторов на биологические системы методом ИК-Фурье спектроскопии // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Состояние и перспективы развития современной физики» – Душанбе. – 2026. – С. 202-206.

Рӯйхати адабиёти истифодашуда

1. Mohan, S. Biological effects of radiation / S. Mohan, V. Chopra // Radiation Dosimetry Phosphors. – Woodhead Publishing. – 2022. – P. 485–508.
2. Махсудов, Б.И. Эффекты при взаимодействии малых потоков тепловых нейтронов с веществом / Б.И. Махсудов, З. Нигораи // Вестник ТНУ. – 2020. – №1. – С. 94.
3. Oka, T. Estimation of infrared spectrophotometry of calcium oxalate dehydrate to calcium oxalate monohydrate ratio / T. Oka, T. Koide, T. Sonda // J. Urol. – 1985. – Vol. 134. – P. 813–817.
4. Махсудов, Б.И. Влияние облучения тепловыми нейтронами на электрофизические и структурные характеристики CdTe, легированного хлором / Б.И. Махсудов, А.Т. Акобирова, М.Т. Яров, Э.Д. Шаимов // Вестник ТНУ. – 2022. – №1. – Р. 116–128.
5. Skinner, B.M. Nuclear morphologies: their diversity and functional relevance / B.M. Skinner, E.E. Johnson // Chromosoma. – 2017. – V. 126. – Is. 2. – P. 195–212.
6. Makhsudov, B.I. Optimization optoelectronic properties $Zn_xCd_{1-x}Te$ system for solar cell application: Theoretical and experimental study / B.I Makhsudov, D.D Nematov, Kh.T. Kholmurodov, M.T. Yarov// Biointerface Research in Applied Chemistry. – 2023. – V. 13, – Issue 1, 90.
7. Ходизода, М. Х. Квантово-химическое исследование самоассоциации молекул 1, 2, 4-триазол-тиол-5/ М.Х. Ходизода, М.Х. Матробиён, З.З. Исломов, С. Давлатмамадова// – 2025. – т. 68. – №. 11-12.
8. Batra, J. Blood components and its usage: A clinical insight from diagnostic lens / J. Batra et al. // J. Pharm. Negative Results. – 2022. – V. 13. – Is. 6. – P. 1747–1750.

АННОТАЦИЯ

диссертации Матробиён Мехроб Хуррамзод на тему «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на спектральные параметры сыворотки крови», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060400 – Физика (6D060408 – Физика конденсированного состояния).

Ключевые слова: сыворотка крови, белок куриного яйца, цельная кровь, тепловые нейтроны, реакция радиационного захвата, биохимический анализ, инфракрасная спектроскопия, квантово-механические расчёты.

Цель диссертационной работы – изучение влияния малых потоков тепловых нейтронов на спектральные и биохимические параметры сыворотки крови.

Объект исследования. Объектом исследования является сыворотка крови.

Методы исследования. Для определения структурных изменений сыворотки крови после нейтронного облучения и хранения при комнатной температуре использован метод инфракрасной спектроскопии. Биохимический анализ ряда параметров сыворотки крови проводился после нейтронного облучения и хранения при комнатной температуре. Кроме того, с использованием метода теории функционала плотности (DFT) были выполнены квантово-механические расчёты исследуемых структур.

Научная новизна исследования. Экспериментально исследовано влияние времени хранения на ИК-спектры биологической жидкости – сыворотки крови человека и установлены закономерности изменения спектральных характеристик в процессе выдержки. Получены и проанализированы ИК-спектры указанных объектов до и после воздействия малых потоков тепловых нейтронов, выявлены характерные изменения положения и интенсивности полос поглощения, обусловленные перестройкой водородных связей и модификацией структуры белково-липидной матрицы. Разработан и апробирован комплексный подход к исследованию влияния малых флюенсов тепловых нейтронов на биологические жидкости с применением методов ИК-спектроскопии, биохимический анализ и квантово-механических расчётов.

Область применения. В диссертационной работе исследовано влияние малых потоков тепловых нейтронов на спектральные и биохимические параметры сыворотки крови человека и сыворотки куриного яйца с использованием метода инфракрасной спектроскопии. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методов спектральной диагностики и мониторинга изменений биологических сред под действием ионизирующего излучения. Кроме того, выявленные закономерности могут найти применение в физике конденсированных сред, радиобиологии, медицинской физике и биофизике при оценке воздействия нейтронного излучения на биологические объекты, а также при разработке новых подходов к исследованию структурных и функциональных изменений биомолекул.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Матробиён Мехроб Хуррамзод дар мавзуи «Таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ба параметрҳои спектралии зардоби хун», барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) - доктор аз рӯйи ихтисоси 6D060400-Физика (6D060408-Физикаи ҳолатҳои конденсӣ)

Калидвожаҳо: зардоби хун, сафедаи тухми мурғ, хуни бутун, нейтронҳои ҳароратӣ, реаксияи рабоиши ҳастаӣ, таҳлили биохимиявӣ, спектроскопияи инфрасурх, ҳисобкунии кванто-механикӣ.

Мақсади ин рисола омузиши таъсири селҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ параметрҳои спектралӣ ва биохимиявии сардоби хун мебошад.

Объекти омузиш. Объекти таҳқиқот зардоби хун мебошад.

Усулҳои таҳқиқот. Барои муайян кардани тағйироти сохтории зардоби хун пас аз таъсири сели ками нейтронҳои ҳароратӣ ва нигоҳдорӣ дар ҳарорти хонагӣ усули спектроскопияи инфрасурх истифода шуд. Таҳлили биокимиёвии якчанд параметрҳои зардоби хун пас аз нурборонкунии нейтронӣ ва нигоҳдорӣ дар ҳароратӣ хона муайян карда шуданд. Ғайр аз ин, бо усули назарияи функсионали зичӣ (*DFT*) ҳисоби кванто-механикии сохторҳои таҳқиқшаванда гузаронида шуданд.

Навоварии илмии таҳқиқот. Таъсири вақти нигоҳдорӣ ба спектрҳои инфрасурхи моеи биологӣ, яъне зардоби хуни инсон, ба таври таҷрибавӣ таҳқиқ гардида, қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои спектралӣ дар раванди нигоҳдорӣ муқаррар карда шуданд. Спектрҳои инфрасурхи объектҳои зикршуда то ва пас аз таъсири сели ками нейтронҳои ҳарортӣ ба даст оварда ва таҳлил карда шуданд; тағйироти хосси ғеҷиши басомад ва интенсивияти тасмаҳои фурӯбарӣ, ки бо тағйирёбии пайвандҳои ҳидрогенӣ ва сохтори матритсаи сафедавӣ-липидӣ алоқаманданд, муайян гардиданд. Маҷмӯи усулҳои комплексии таҳқиқи таъсири флюенсҳои ками нейтронҳои ҳароратӣ ба моеҳои биологӣ бо истифода аз спектроскопияи инфрасурх, таҳлили биокимиёвӣ ва ҳисобҳои квантӣ-механикӣ таҳия ва тасвиб карда шуд.

Соҳаи татбиқ. Дар диссертатсия таъсири ҷараёнҳои хурди нейтронҳои гармӣ ба параметрҳои спектралӣ ва биохимиявии зардоби хуни инсон ва зардоби тухми мурғ бо истифода аз усули спектроскопияи инфрасурх таҳқиқ шудааст. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд дар таҳияи усулҳои ташхиси спектралӣ ва мониторинги тағйироти муҳитҳои биологӣ зери таъсири шуоъҳои ионкунанда истифода шаванд. Ғайр аз ин, қонуниятҳои ошкоршуда метавонанд дар физикаи муҳитҳои конденсӣ, радиобиология, физикаи тиббӣ ва биофизика ҳангоми арзёбии таъсири шуоъҳои нейтронӣ ба объектҳои биологӣ, инчунин ҳангоми таҳияи равишҳои нави таҳқиқи тағйироти сохторӣ ва функсионалии биомолекулаҳо татбиқ гарданд.

ABSTRACT

of the dissertation by Matrobiyon Mehrob Khurramzod entitled"The Effect of Low Fluxes of Thermal Neutrons on the Spectral Parametrs of Blood Serum", submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 6D060400 – Physics (6D060408 – Physics of Condensed Matter).

Keywords: blood serum, chicken egg protein, whole blood, thermal neutrons, neutron capture reaction, biochemical analysis, infrared spectroscopy, quantum-mechanical calculations.

The purpose of the dissertation is to study the effect of low fluxes of thermal neutrons on the spectral and biochemical parametrs of blood serum.

Object of research. The object of the study is blood serum.

Research methods. Infrared spectroscopy was used to determine structural changes in blood serum after neutron irradiation and storage at room temperature. Biochemical analysis of several parameters of blood serum was carried out after neutron irradiation and storage at room temperature. In addition, quantum-mechanical calculations of the studied structures were performed using the density functional theory (DFT) method.

Scientific novelty of the research. The influence of storage time on the IR spectra of a biological fluid, namely human blood serum, was experimentally investigated, and regularities in the changes of spectral characteristics during storage were established. IR spectra of the aforementioned objects were obtained and analyzed before and after exposure to low fluxes of thermal neutrons. Characteristic changes in the positions and intensities of absorption bands were identified, which were associated with the rearrangement of hydrogen bonds and modification of the protein-lipid matrix structure. A comprehensive approach to studying the influence of low thermal-neutron fluences on biological fluids, using IR spectroscopy, biochemical analysis, and quantum-mechanical calculations, was developed and tested.\

Scope. The dissertation investigates the influence of low fluxes of thermal neutrons on the spectral and biochemical parameters of human blood serum and chicken egg serum using infrared spectroscopy. The results obtained may be used in the development of methods for the spectral diagnosis and monitoring of changes in biological media under the influence of ionizing radiation. In addition, the identified regularities may find application in condensed matter physics, radiobiology, medical physics, and biophysics for assessing the effects of neutron radiation on biological objects, as well as in developing new approaches to the study of structural and functional changes in biomolecules.