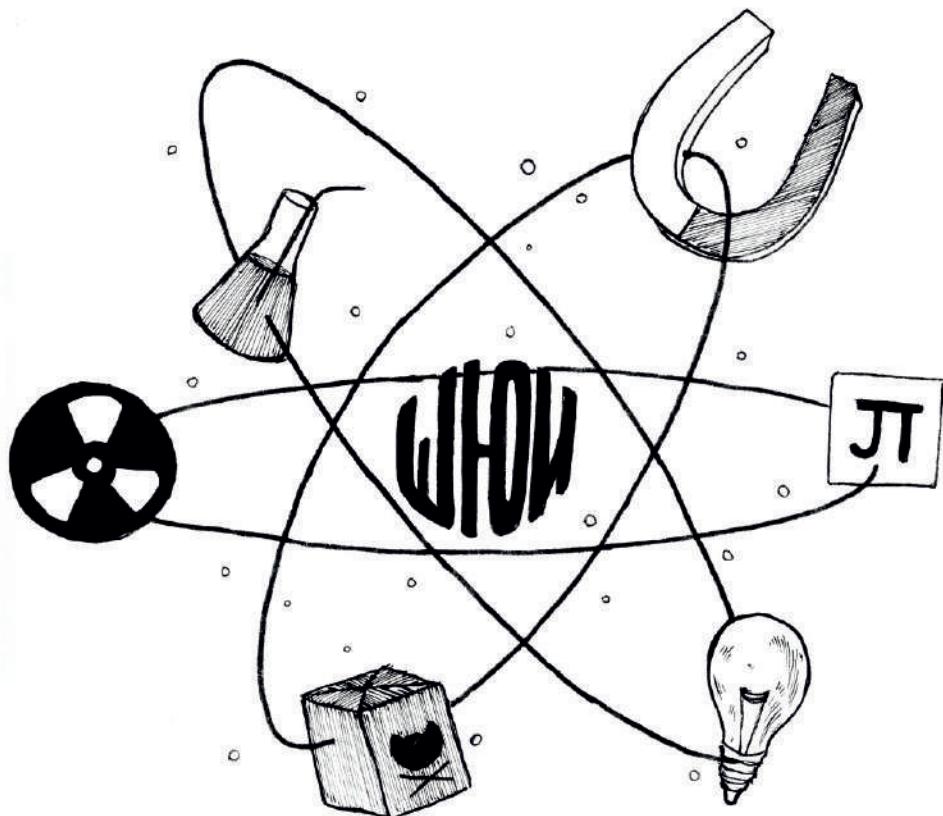


**Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики РАН**

Школа юного исследователя



Выпуск 12

**Нижний Новгород
2019**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук»

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Школа юного исследователя

Сборник
исследовательских работ учащихся

Выпуск 12

Нижний Новгород
2019

УДК 371
ББК 74.200я43
Ш67

Ш67 **Школа юного исследователя:** Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; ИПФ РАН. – Выпуск 12. – Н. Новгород, 2019. – 271 с..

Под общ. редакцией
кандидата педагогических наук
А.И. Ермилина,
кандидата педагогических наук
Е.В. Ермилиной

e-mail: ermilin-aleksandr@mail.ru
сайт: «Академ клуб» ИПФ РАН (aknn.iapras.ru)

Р е ц е н з е н т ы :

Вдовин В.Ф., главный научный сотрудник ИПФ РАН, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доктор физико-математических наук,
Гущин А.В., профессор ННГУ им. Н.И. Лобачевского, доктор химических наук,
Яхно Т.А., ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, доктор биологических наук,
Рейман А.М., старший научный сотрудник, заведующий научно-образовательным комплексом ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук,
Лапин Н.И., доцент НГПУ им. К. Минина, кандидат физико-математических наук.

Р и с у н к и С. З. Зейналова

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся – призеров XIV региональной естественнонаучной конференции «Школа юного исследователя», прошедшей в марте 2019 года в ИПФ РАН.

ISBN 978-5-93530-513-0 (Вып.12)
ISBN 978-5-93530-289-4

© ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», 2019

© Оформление. Гладкова О.В., 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

ЮНЕСКО 2019 год провозглашен Международным годом Периодической таблицы химических элементов. Исполнилось 150 лет со дня создания российским ученым Дмитрием Ивановичем Менделеевым этого уникального инструмента, дающего ученым возможность предсказывать появление и свойства элементов на Земле и во Вселенной в целом. Проведение таких международных научных акций даёт возможность для популяризации фундаментальных наук.

В этот юбилейный год Институт прикладной физики РАН провел много ставших уже традиционными научных мероприятий, в их числе XIV Региональная естественнонаучная конференция «Школа юных исследователей», итогом которой стал данный сборник. Для юных исследователей научные конференции – мощнейший фактор популяризации науки и самоопределения в этой сфере деятельности. Они демонстрируют пример увлеченности научным творчеством взрослых и дают возможность общения с «подобными себе», обретения друзей по научным интересам. Личность одарённого ребёнка формируется не через простое созерцание самопознания, а через императив «испытай себя». Такую возможность юным талантам дают научные курсы и конференции.

Сегодня в нашей стране существенно повысился интерес к сфере дополнительного научного образования. Дополнительное образование – образование сверх школьной программы, имеющее целью развитие мотивации личности к познанию и творчеству – рассматривается как инновационная сфера. Развитие эффективной системы дополнительного образования детей определено одной из задач образовательной системы России на современном этапе. В качестве путей развития рассматриваются обновление содержания и технологий дополнительного образования детей, формирование современных управлеченческих и организационно-экономических механизмов, создание механизмов вовлечения учащихся в активную социальную практику, создание необходимых условий для выявления и развития творческих и интеллектуальных способностей талантливых учащихся. На создание условий для выявления, поддержки и развития талантов направлены федеральные проекты «Успех каждого ребенка», «Кадры для цифровой экономики», деятельность федерального образовательного центра «Сириус». Министерством просвещения РФ утверждена Целевая модель развития региональных систем дополнительного образования детей, создаются реги-

ональные образовательные центры, выстраивается вертикальноориентированная система поиска и работы с одаренными детьми.

Дополнительное образование помогает ребенку расширять возможности реализации своего потенциала. В то же время исследования показывают, что участие детей в дополнительном образовании зависит от социально-экономического статуса семей, их культурного капитала и территории проживания. Дополнительное научное образование, помимо общих системных проблем, имеет и свои специфические трудности.

Открытия учёных часто лежат за рамками понятного людям, что порождает разнообразные легенды и мифы, как о самих открытиях, так и об их авторах. Мифологизация научной деятельности как сферы для избранных поддерживается СМИ, авторами художественных биографий учёных, произведениями искусства. В научном образовании школьников это создает соблазн «забавляющей науки». При этом наряду с положительным эффектом «очарования наукой» у школьников возникают нереальные образы науки и учёных. Отсутствие системного дополнительного научного образования детей заполняется набирающими популярность музеями науки, научными шоу и демонстрациями. Встреча с представителем науки, знакомство с научным фактом, явлением может послужить отправной точкой для направления развития ребенка, но не может восполнить потребность ребенка в знаниях. Являясь ответом на запрос детей и родителей на получение знаний в интересной форме и активный интеллектуальный досуг, такие формы дополнительного образования зачастую представляют собой игру в науку.

Другой проблемой является разведение на практике предпрофессиональной подготовки и собственно дополнительного образования. Дети оказываются отрезанными от дополнительного образования, если у ребёнка нет очевидных талантов к той или иной деятельности. Если ребёнок, например, хочет заниматься каким-либо видом спорта, но, по мнению тренера, не является перспективным, то это серьёзно ограничивает возможности занятий ребенка.

На основе психологии одарённости научная одарённость понимается нами как системное качество личности, которое проявляется в характере деятельности. Наш опыт показывает, что научная одарённость может обнаружиться тогда, когда общие способности достигли определённого развития. Однако недостаточно распознать в ребёнке хорошего ученика. Прилежность и аккуратность в обучении еще не говорят о научной одаренности, а чаще свидетельствуют об обратном.

Есть и другая трудность раннего выявления научной одарённости. Представления о ней неотделимы в образовательной практике от разделения детей по критерию развития интеллекта, при этом утверждается, что научная одарённость развивается позже «поэтической». Основная трудность в понимании одарённости как системного качества заключается в невозможности систематического наблюдения всех компонентов этого качества: мотивационного, волевого, эмоционального и др.

В связи со стремительными темпами научно-технического прогресса современные школьники более информированы и эрудированы. Противоречие между общей осведомлённостью, «нахватанностью» ребёнка и его неспособностью самостоятельно решить сложную задачу, для чего необходимо последовательно осуществить определённые действия, может быть преодолено в процессе научного образования.

Одним из путей решения проблем, стоящих перед дополнительным научным образованием школьников, на наш взгляд, должно стать широкое понимание культуры и культурное содержание дополнительного образования.

Термин «культура» латинского происхождения и первоначально означал возделывание почвы, то есть изменение в природном объекте под воздействием человека. Немецкие философы-просветители, обобщая взгляды древних философов, определяли культуру как все произведенное человеком. Слово «культура», начиная с древних времен, обозначает также обучение, воспитание и совершенствование человека в процессе его созидательной деятельности.

С точки зрения аксиологического подхода культура – это система ценностей, сложная иерархия идеалов и смыслов, значимая для конкретного общественного организма. Сторонники этого подхода обращают особое внимание на творческий и личностный аспекты культуры, рассматривая ее как меру гуманизации общества и человека. С точки зрения деятельностного подхода культура – специфический способ человеческой жизнедеятельности. Как способ регуляции, сохранения и развития общества культура включает в себя не только духовную, но и предметную деятельность.

Таким образом, культура не ограничивается искусством, то есть творческой деятельностью по созданию произведений в эстетически выразительных формах. Культура – это наука и техника, технологии, обеспечивающие определенный уровень жизни общества.

Современные школьники – дети цифрового XXI-го века, родившиеся во времена глобализации и постмодернизма, для которых Интернет

не ограничивается домашним компьютером и доступен в любой момент времени и в любой точке пространства благодаря новым мобильным телефонам или карманным электронным устройствам. Но ограничиваться использованием достижений науки – значит, стать рабом технических устройств. Необходимо понять, как такие устройства работают. Научное творчество – не просто интересное занятие, а возможность понять, как устроен мир вокруг нас, как работают приборы, что именно и каким образом влияет на природу и человека.

Поэтому особенно важным сегодня становится воспитание научной и технической культуры подрастающего поколения. Поэтому так нужны молодые люди, владеющие научным методом, воспитанные на идеалах научности, отстаивающие в любой сфере деятельности научную картину мира.

В дополнительном научном образовании интеллектуальное воспитание осуществляется на основе развития научных интересов и благодаря поддержке внутренней активности и самостоятельности детей. Ученики усваивают учебный материал не только путем логического понимания и запоминания, но и через переживание, являющееся необходимым компонентом учения. Оно возникает лишь тогда, когда изучаемый материал представляет собой субъективную ценность для личности ученика, что происходит в случае, когда материал имеет инструментальную природу.

Чтобы знание становилось инструментом, а не «залежами старья на задворках интеллекта», ученик должен с ним работать, то есть применять, искать условия и границы применимости, преобразовывать, расширять и дополнять, рассматривать в разных моделях и контекстах. Наука с её обязательными процедурами – поисками выхода из проблемной ситуации, проектированием и моделированием, выдвижением и защитой гипотез – является тем образовательным пространством, которое соответствует характеру интеллектуальной и познавательной активности современного подростка. Научное образование в новой для школьников образовательной среде исследовательской школы формирует индивидуальный стиль умственной деятельности и, как правило, превращается в самообразование. Дополнительное научное образование предлагает, по нашему мнению, не столько получение первичных навыков научных исследований, сколько воспитание наукой в условиях открытого обучения, а проблема выявления и поддержки интеллектуально одарённых детей осознаётся как проблема развития индивидуальной позиции в иссле-

довательских видах деятельности. Открытое образовательное пространство дополнительного образования позволяет школьникам познавать мир в соответствии с их интересами и способностями.

Особое место в пространстве дополнительного научного образования занимают научные конференции как форма существования научного сообщества юных исследователей, зона открытого равного общения подростков и ученых. Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН является уникальной региональной молодежной научной площадкой для обсуждения результатов и вопросов организации исследовательской деятельности учащихся. 28 – 29 марта 2019 года в ИПФ РАН прошла XIV Региональная естественнонаучная исследовательская конференция «Школа юного исследователя» с участием ведущих российских ученых. Событиями конференции стали конкурс исследовательских работ школьников, выставка рисунков и фотографий «Очарование науки», встречи с учеными, экскурсии в исследовательские лаборатории, педагогическая секция. Конференция проводилась совместно с Национальным исследовательским Нижегородским государственным университетом им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), Нижегородским государственным техническим университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), Нижегородским государственным архитектурно-строительным университетом (ННГАСУ), Нижегородским научно-просветительским центром «Знание-НН» и Нижегородской региональной организацией Профсоюза работников РАН.

На конкурсе исследовательских работ юные исследователи 7 – 11 классов из Нижнего Новгорода и области, Нальчика и Владимира представили свои первые научные достижения в области физики, астрономии и астрофизики, биологии и биофизики, химии, прикладной информатики и математики, техники. Участниками заочного тура стали 285 школьников. В устных и стеновых секциях были заслушаны 143 научных доклада, отобранных по итогам заочного тура конкурса. Из 39 населенных пунктов съехались в Нижний Новгород участники конференции.

На выставке «Очарование науки» были представлены рисунки и фотографии взрослых и детей, посвященные удивительным научным фактам, научным явлениям вокруг нас, юным исследователям и их наставникам, научно-техническому творчеству, произведениям инженерно-технического творчества и технологическим объектам, в которых использованы научные разработки. В отборочном туре конкурса 104 автора представили 182 работы. На выставке, работавшей

в дни конференции, были представлены работы 52 авторов: 19 графических и живописных работ, 54 фотоработы: коллажи, одиночные фотографии и фотосерии.

Участники конференции встретились с молодыми учеными – аспирантами ИПФ РАН и познакомились с работой исследовательских лабораторий. «Почему черные дыры излучают?», «Методы непрямой лазерной хирургии» и «Фотодинамическая терапия», «Интересная оптика для интересной медицины», «Нанооптика и высокочувствительные оптические измерения», «Точечный источник нейтронов для нейтронной томографии», «Источники СВЧ излучения в науке и технологии», «Нанолитография в ИПФ РАН», «Как стать физиком-теоретиком?», «Что такое быть физиком-экспериментатором на лазерном комплексе PEARL» – эти темы стали предметом обсуждения юных исследователей и молодых нижегородских ученых.

Пленарное заседание конференции было традиционно посвящено двум докладам: докладу известного ученого и начинающего исследователя. Вячеслав Фёдорович Вдовин, главный научный сотрудник ИПФ РАН, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доктор физико-математических наук рассказал участникам конференции о разработке инструментов для астрономических исследований в Терагерцовом диапазоне частот.

Популяризовать науку – значит сделать непонятное понятным, неинтересное – интересным. Далеко не каждый ученый может стать популяризатором науки, это особый талант и свойство личности. Популярная (публичная) лекция представляет изложение научных истин для аудитории, которая не подготовлена к их восприятию. Задача лектора – просто и ясно раскрыть научную проблему. Научно-популярная лекция обладает тремя важными особенностями – доступность научной информации, интерактивность и получение информации напрямую в реальном времени через общение с представителем научного сообщества. Именно поэтому научно-популярная лекция может стать событием для юного исследователя, отправной точкой для развития его научных интересов. Здесь раскрывается не только важный современный научный вопрос, но и оказывает влияние сила личности самого ученого-лектора, стиль его мышления, образность и эмоциональность речи при изложении сложных научных проблем.

Более 100 лет изучается терагерцовый диапазон, тысячи исследователей создают аппаратуру и ведут исследования, в том числе и команда ученых из ИПФ РАН. Об успехах и грандиозных планах, о том, как за-

висит наука от политических событий и какую роль в ней имеет личность ученого, рассказал в своей лекции В.Ф. Вдовин. С историей обсерватории Суффа читателей знакомят лектор на страницах сборника.

Юных исследователей на открытии конференции представляла участница международной научно-инженерной ярмарки Intel ISEF 13-18.05.2018 г. в Питсбурге (штат Пенсильвания США), ученица 11 класса Юлия Булгатова. В течение двух лет Юлия вела исследование в научном объединении «Школа юного исследователя» ИПФ РАН, результатом которого стал её доклад «Проблема неоднородного распределения интенсивности излучения и устройство для её решения».

На педагогической секции конференции «STEM – нужен ли данный предмет в школьном курсе?», модератором которой стал Лапин Николай Иванович, доцент НГПУ им. К. Минина, кандидат физико-математических наук, педагоги и научные руководители исследовательских работ школьников обсудили перспективы и проблемы учебно-исследовательской и проектной деятельности школьников в контексте обновления содержания общего образования. Обсуждение данной темы мы продолжаем на страницах сборника и предлагаем нашим читателям вместе с Н.И. Лапиным рассмотреть организацию образовательного пространства в школах США, сравнить с российской системой и по-пробовать ответить на вопрос: что нового, полезного и интересного мы могли бы почерпнуть в мировом опыте, чтобы наша педагогическая деятельность была более плодотворна, а наши дети более успешны?

Институт прикладной физики РАН проводит большое количество событий, участниками которых становятся и иностранные ученые. Познакомить наших читателей с выдающимся ученым, иностранным членом РАН (США), профессором Техасского и Принстонского университетов Марлан Скалли, помогла В.О. Большакова, специалист по связям с общественностью ИПФ РАН. В беседе Марлан Скалли рассказал об особенностях профессии ученого и своем пути в физике.

Молодые ученые А.С. Седов и А.П. Фокин представляют новое поколение ученых ИПФ РАН. Они учились на факультете ВШОПФ им. Н.И. Лобачевского, закончили аспирантуру ИПФ РАН, получили учёную степень и сегодня ведут активную научную деятельность в институте. Оба молодых ученых – популяризаторы науки, участники и организаторы молодежных научных событий. Об истории науки, научных революциях и современной системе организации исследований рассказывает А.С. Седов. С факультетом Высшей школы общей и прикладной физики ННГУ им. Н.И. Лобачевского, созданном и суще-

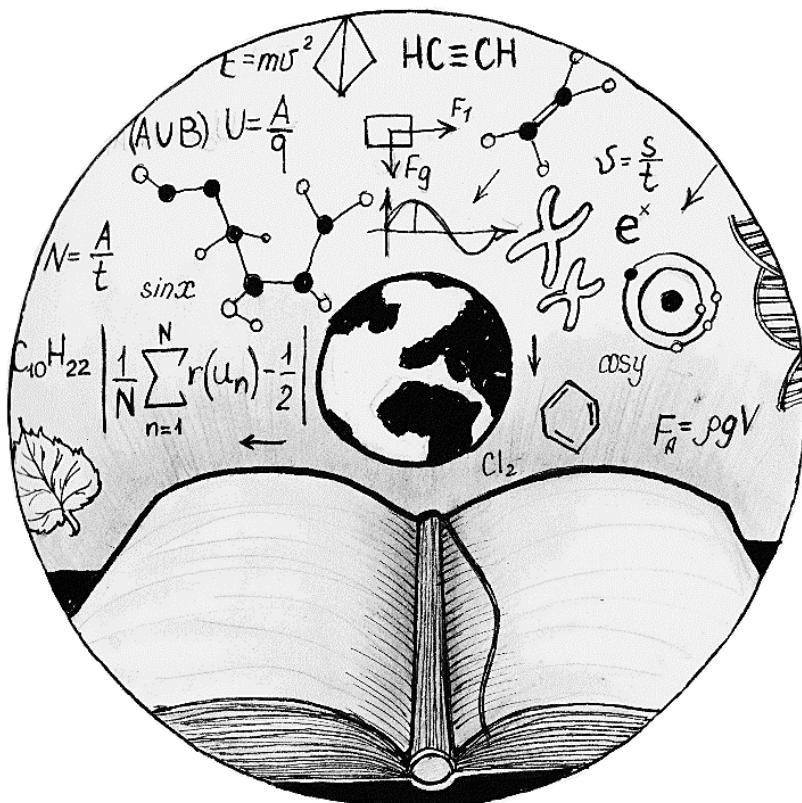
ствующем на базе ИПФ РАН, и научными проектами молодых ученых ИПФ читателей знакомит А.П. Фокин.

Не только с именитыми учеными мы встречаемся на страницах сборника. Юные исследователи представляют свои первые научные достижения. А в разделе «Очарование науки» наши читатели могут увидеть творческие работы – победители конкурса. Здесь представлены художественные и графические работы, фотографии взрослых и детей, главными героями которых стала удивительная природа и не менее удивительные люди, посвятившие себя её изучению.

Мы благодарим всех участников конференции, ученых и педагогов, ставших для школьников примером увлеченности наукой.

*A.I. Ермилин,
E.B. Ермилина*

Научное руководство как исследовательская деятельность



Самый страшный враг знания – не его отсутствие, а иллюзия его наличия.

Стивен Хокинг (1942 – 2018),
английский физик-теоретик, космолог и астрофизик,
автор теории об испарении черных дыр,
популяризатор науки

*Доводы, до которых человек додумался сам, убеждают большие
чем, те которые пришли в голову другим.*

Блез Паскаль (1623 – 1662),
французский физик, философ, изобретатель и математик,
автор основного закона гидростатики

*Единственный разумный способ обучать людей – это подавать
им пример.*

Альберт Эйнштейн (1879 – 1955),
один из основателей современной теоретической физики,
лауреат Нобелевской премии по физике (1921)

*Любую работу можно сделать привлекательной и интересной,
если в ней имеется элемент творчества. Конечно, при этом процесс
творчества надо понимать широко, он проявляется у человека при
любой деятельности, когда человек не имеет точной инструкции,
по сам должен решать, как ему поступать.*

Петр Леонидович Капица (1894 – 1984),
российский физик, академик, один из основателей физики низких температур и
сильных магнитных полей, лауреат Нобелевской премии по физике (1978)

STEM – нужен ли данный предмет в школьном курсе?

Лапин Николай Иванович

доцент НГПУ им. К. Минина,
кандидат физико-математических наук



Если вынести заголовок на общее обсуждение в школы, предложить школьникам и их родителям, то с вероятностью 90% ответ будет «НЕТ». Это связано с тем, что школьная программа включает значительное количество различных предметов. Добавить еще один в образовательную сетку – это не только головная боль при составлении расписания, но и проблемы с размещением школьников и поиском кадров для преподавания дисциплины. Подобную ситуацию мы наблюдаем сейчас: в школьный курс возвращается астрономия – предмет интересный и захватывающий, но требующий кадровой и материальной поддержки. Материальной – это оснащение кабинета картой звездного неба, армиллярной сферой, теллурием и многими другими приспособлениями, позволяющими на простых моделях объяснить движение планет и спутников или образование звезд. Астрономия – экспериментальная наука, которое требует объяснение наблюдательных фактов и подкрепление этих фактов расчетами. Поэтому преподавание данного предмета невозможно поручить обычному учителю. Аналогичная ситуация будет и с введением нового предмета STEM. Но прежде чем рассуждать о проблемах введения STEM в школьный курс, постараемся понять, что он собой представляет.

На страницах данного сборника А.М. Рейман обсуждал вопрос, что такое STEM. Напомним, что STEM – это: S – science, T – technology, E – engineering и M – mathematics. Рассмотрим не дословный перевод каждого слова, а тот смысл, который заложен в каждое из этих определений. Science – это наука, но не вся наука, а только та, которая в качестве доказательства эмпирических фактов пользуется строгими доказательствами математики. Сюда можно отнести биологию, химию, физику, отдельные разделы психологии, филологии, истории, то есть необязательно дисциплины только естественнонаучного профиля. Перевод technology звучит просто – технология. Сегодня в школьном курсе остался предмет технология, но его наполнение – это все, что максимально связано с программированием микро-

контроллеров, роботов, виртуальной реальностью, работой с сайтами. Однако то, что было связано с работой по обработке дерева, металла, так называемый ручной труд (*hand made*), ушел из преподавания в связи с развитием общества. Следующее слово –*engineering* – новое понятие для нас. Перевод связан с инженерным искусством: это ответ на вопрос, что и как работает, с новым ракурсом – как правильно настроить команду и довести задуманное до итогового воплощения. Последнее – *mathematics* – математика, инструментарий, который позволяет сохранять строгость и логику для доказательства и выполнения задуманного. В итоге мы получаем, что STEM – это процесс по применению знаний в новой ситуации.

Если посмотреть историю понятия, то STEM как определение появился в США в виде ответа на запуск первого искусственного спутника Земли. Проигрыш в данной космической гонке США объяснили тем, что эта гонка была проиграна за школьной партой. Поэтому появилось новое направление в подготовке будущих специалистов-инженеров. Следует отметить, что в середине 70-х годов XX века программа перестала быть востребованной, но задела по ее реализации хватило, чтобы запустить в космос Space Shuttle – корабль многоразового использования. Уже в начале 2000-х годов проблема с инженерными кадрами в США стала не просто острой, а катастрофической. Поэтому программа подготовки будущих инженеров была пересмотрена и модернизирована. Если в первой своей версии программа STEM во многом копировала советскую модель по изучению математики и физики, то сейчас программа базируется на лучших практиках в системе образования мира: Сингапур, Финляндия, Швейцария и СССР.

Не следует однозначно понимать, что STEM – нечто такое, что американских школьников выведет на новый качественный уровень. Данное направление возвращено в США для того, чтобы школьники, обучающиеся в государственных школах, а их 90%, могли получить образование не хуже, чем в частных, и могли свободно поступать в вузы инженерной и технической направленности.

STEM – это не просто совокупность предметов, это определенный стиль мышления. Это основа, на которую опираются проблемное обучение и методики развития критического мышления. Главная задача – это пробуждение и поддержание любопытства. Данные качества требуются всем, в какой бы области вы не работали. Если вам что-то интересно, вы это делаете с удовольствием, и результат радует не только вас, но и окружающих.

STEM как предмет преследует три основных задачи: работа в команде, работа над проектом или учебно-исследовательской задачей и умение презентовать. Данный предмет системообразующей нитью проходит через весь школьный курс обучения. На разных стадиях происходит переключение некоторых акцентов, но основная идея остается без изменений. Все начинается в дошкольном звене и продолжается во время начальной школы. Ученики получают первичные знания по математике, учатся писать, читать и программировать. Их никто не заставляет писать сложный программный код, но эти занятия дают детям дополнительные возможности. Например, мы всё стараемся поместить в компьютер: щелкай мышкой и нажимай пальцем на экран. В США младшим школьникам предлагаются готовый робот, игровое поле и набор карточек с заданиями. Робот – это большая пчела, она передвигается по полю из клеток, на котором есть точки старта и финиша, а также разные препятствия, с которыми необходимо что-то сделать. Робот программируется с помощью четырех клавиш: вперед, назад, вправо, влево. Также есть кнопка «старт». Школьник получает карточку и выполняет задание, при этом весь алгоритм нужно держать в голове, он нигде не отображается. Ошиблись – начинаете заново. Многие алгоритмы короткие и включают не более пяти команд, однако есть и такие, что требуют десять и даже пятнадцать команд. Есть кубики-конструкторы, позволяющие при правильном расположении в определенных комбинациях получать задуманный результат. Или, например, нужно собрать из кубиков – модулей последовательность на игровом поле, которая считывается и передается по wi-fi роботу. Таким образом, вы программируете, не используя ни компьютер, ни сложный код, но видите, что сделали, и можете исправить алгоритм, если задача не была закончена.

Для учеников начальной школы роботы не являются конечным звеном. Так, робота можно сделать самим и оживить в игре. Задача для школьников ставится простым способом: давайте вспомним сказку, как Лиса обманула Волка, когда заставила его ловить рыбу с помощью хвоста. После обсуждения сказки ребятам предлагается придумать устройство для ловли рыбы, используя только подручные материалы (коробки из-под хлопьев, втулки от туалетной бумаги, китайские палочки, шпажки, резинки). Клей и ножницы незаменимы в данном процессе. Для этого всегда есть красивое определение: если у тебя чего-то нет, это нужно сделать самому. Это прослеживается и в старших классах, меняется лишь оборудование в руках школьников: ножницы меняем на лазерный резак или 3D-принтер.

Начиная с шестого класса, на смену простым роботам приходят роботы на основе Lego или Matrix. Здесь строятся более сложные конструкции, и их программирование осуществляется на языке C++. Но важно то, что работа программированием не заканчивается – оно нужно, чтобы научиться критически мыслить и находить ошибки в процессе тестирования. Именно эти навыки требуются в процессе решения нестандартной задачи – умение выстроить процесс и осуществить поиск оптимального решения, поиск ошибок.

В старших и выпускных классах итогом по предмету STEM является работа школьника, которую он защищает перед всем классом или на школьной конференции.

После изучения программы STEM в школе возникает серьезный вопрос: чему же учить этих школьников в университете, если программа наполнена огромным количеством новых знаний и практических приложений. Ответ нашелся сразу: в школе редко удается решать задачи, которые не имеют конкретного решения, тогда как университет предлагает задачи, в решении которых вы становитесь первыми.

Особое внимание уделяется кадрам, реализующим данную программу. Проведение занятий по STEM преподавателем, который никогда не принимал участие в исследовании, не допускается. Часто на данный курс есть всего один преподаватель, он работает со школьниками, которые



Рис. 4. Изготовление башни



Рис. 1. Модульный робот Cubolets



Рис. 2. Робот для отработки алгоритмов



Рис. 3. Ветряная мельница

предлагают самые разнообразные темы. Задача преподавателя – подсказать, направить, установить связь с преподавателем-специалистом в данной области, пояснить процесс презентации. Главное – работа должна быть проведена полностью школьником, поэтому необходимо понимать, какого уровня эти работы. У нас существует некоторое предубеждение, что ученик не может выполнить работу самостоятельно, поэтому ему необходима помощь. Здесь необходимо добавить: только ребенок, выполнивший полностью работу от постановки проблемы до подготовки презентации, может рассказать, что он делал от начала и до конца. У автора статьи вызвало некоторое удивление, когда ему показали ветряную мельницу, косую и скрученную изолентой, но вызывающую восторг у преподавателя, потому что она сделана школьником от и до и это его достижение.

Остается вопрос адаптирования такого подхода к нашей системе образования. У нас есть отдельные предметы в школьной программе, требующие участия разных преподавателей, в рамках которых мы изучаем и новый материал, и проблемную постановку вопроса, и способы решения различных задач. Однако в последнее время все чаще встречается разделение предметов, которое меня пугает. В результате у школьников сложилось странное представление, что на физике работают свои методы, на химии свои, а математика вообще никак не связана с другими предметами. И на вопрос «можете ли вы рассчитать масштаб карты на географии?», встречаешь ответ, что это не математика и что здесь, скорее всего, существует особый способ, о котором школьникам никто не говорил. Различие в подходах к преподаванию дисциплин естественнонаучного цикла приводит к более медленному формированию навыков, которые так цепны в современном мире.

В нашей системе образования особое внимание уделяется результату, и желательно, чтобы этот результат был положительным, в то время как процесс остается на втором плане. Отсутствие результата или отрицательный результат – свидетельство недоработки как со стороны преподавателя, так и со стороны ученика. Но STEM и интересен тем, что результат имеет второстепенное значение, важны навыки, полученные в процессе достижения итогов, это критический подход, умение работать в команде, умение презентовать результат, каким бы он ни был.

Система презентования результатов работы – один из навыков, которому учат на протяжении школьного пути. Все начинается с простого – фиксирования результатов собственной деятельности. Вы что-то делаете, например, собираете башню из спичек. Нужно обязательно

записывать все промежуточные результаты, потому что из них складывается отчет «как я создавал башню и какую массу смогла выдержать эта башня». Промежуточные отчеты преподавателю не так важны, они нужны самому исполнителю, так как это то, что можно показать родителям, друзьям, одноклассникам, бабушке и дедушке. Это позволяет по мере фиксирования отследить процесс, что было сделано на каждом этапе. Это своеобразный лабораторный журнал, позволяющий в докладе о проделанной работе отразить все нюансы по выполнению.

Включить дисциплину STEM в систему школьного образования у нас практически невозможно, а вот взять на вооружение некоторые приемы – вполне доступно. Для лабораторных работ – фиксирование промежуточных результатов, проблемная постановка вопросов и поиск решения всем классом, поиск ошибок в решении задачи не преподавателем, а одноклассниками. Решать нестандартные задачи и выслушивать все ответы, порой граничащие с фантастикой, критиковать, но после этого указывать на пути решения проблем. Радоваться достижению школьника, как будто он получил Нобелевскую премию. Уделять внимание процессу поиска решения, а не стараться подогнать ответ к ответу в конце задачника. Позволять школьникам выступать перед одноклассниками и школьниками других классов. Такой подход приведет к решению многих проблем, например, больше учеников будут стремиться в вузы технической направленности.

Автор выражает благодарность: Frank Rainey, Mark Mills, Hal Bagley, Andres P. Puky, так же Rotary Club of Longmont за прием и Open world за организацию поездки.

Экспертиза в дополнительном научном образовании



Ермилин Александр Игоревич
заведующий отделом ИПФ РАН,
кандидат педагогических наук



Ермилина Елена Васильевна
зам. зав. отделом ИПФ РАН,
кандидат педагогических наук

Дополнительное научное образование – сложный социально-педагогический феномен, в котором качество и результативность определяются на основе различных критериев, в числе которых меняющиеся представления о роли и функциях науки и учёного в обществе. Оценка результативности системы дополнительного образования осложняется уникальностью и принципиальной незавершённостью личностного развития каждого школьника. Результат всегда имеет целенаправленный и осознанный характер (итог), вместе с тем он условен, неопределён, неуправляем («развязка», «исход» по словарю В.И. Даля). По отношению к дополнительному образованию детей неопределенность усиливается их правом на свободный выбор режима деятельности, объема занятий и уровня результатов.

Трудность определения критериев и показателей результативности дополнительного образования чаще всего вызвана механическим переносом традиционной практики, сводящей качество обучения к определенному набору количественных критериев, соответствующих условно принятой норме. В современной образовательной практике принято различать три группы результатов:

- 1) определяемые в количественных параметрах;
- 2) определяемые качественно, описательно в корректной, подробной форме или в виде балльной шкалы, где каждому уровню соответствует уровень проявления качества;
- 3) неявные результаты, относящиеся к внутренним переживаниям личности школьника, оценка которых проводится экспертным путем на основе интуиции, наблюдения, через создание условий для их возникновения на фиксируемом уровне [4, с. 3].

Экспертиза в толковании энциклопедического словаря представляет собой исследование экспертами каких-либо вопросов, решение которых требует специальных познаний и завершается представлением мотивированного заключения. Выделяют три типа объектов экспертизы: конечный продукт, процесс и программа. Первая форма – оценка продукта и его качеств при отсутствии объективно выработанного эталона. Примером такой экспертизы служит дегустация вкуса, где цель – оценка качества, а объект – вещественные характеристики продукта. Осуществляется экспертиза за счёт интуитивных средств, сложившихся на основе опыта эксперта. Результат – согласованное мнение экспертов по характеристикам, выделяемым для оценки.

Следующая форма – экспертиза деятельности. Примером может служить экспертная деятельность спортивного жюри на соревнованиях по гимнастике или фигурному катанию. Объект – квалификация профессиональных аспектов действия.

Новым объектом экспертизы стала программа. Продукт, деятельность или программа могут быть объектами экспертизы в любом виде человеческой практики, в том числе и в образовании. Экспертная процедура оценки способна зафиксировать появление инновационного содержания. Она позволяет использовать научные достижения, а оценки экспертов считаются объективными, то есть сделанными той наукой, которую они представляют.

Специфика дополнительного научного образования школьников, в отличие от других образовательных моделей, в том, что при его реализации происходит как интеллектуальное развитие (отработка эффективных мыслительных операций, навыков целеполагания, планирования, рефлексии), так и обретение подростками ценностей и традиций научного сообщества, овладение способами научной деятельности как части культуры современного общества. В основу дополнительного научного образования заложено эффективное общение подрастающего поколения с представителями сообщества учёных и самостоятельная исследовательская деятельность. В процессе такого общения школьники понимают традиции научного сообщества, находят идеалы и авторитеты, познают нормы научной деятельности, то есть происходит становление ребёнка субъектом культурного сообщества. С другой стороны, в процессе самостоятельной исследовательской деятельности школьников происходит обретение личностных ценностей и смыслов исследования (становление ребёнка субъектом собственной деятельности). Таким обра-

зом, дополнительное научное образование представляет собой путь индивидуализации образования, заключающийся в поиске личностного смысла и способа жизни. Оно обладает возможностями и средствами для определения направлений и способов профессионального развития и социальной адаптации подростков. Исходя из этого, оценка качества дополнительного научного образования должна производиться с позиций развития личности, эффективности самостоятельной исследовательской деятельности, то есть должна осуществляться с точки зрения обогащения возможностей ребёнка.

Комплексная процедура определения эффективности дополнительного научного образования включает три вида экспертизы в зависимости от объекта исследования: квалификационную, личностную и управлеченческую. В результате комплексной экспертизы можно установить адекватность созданных условий и наличие необходимых ресурсов для реализации программы и оценить образовательный результат. Суть процедуры – сопоставление исследуемой практики с идеальным эталоном, выработанным в сознании эксперта: при сравнении с ним он может определить, соответствует или не соответствует рассматриваемая практика принятым нормам научной деятельности.

При экспертизе дополнительного научного образования, когда критерии оценки задаются аксиологическими основаниями и существующей научной парадигмой, критерии качества определяются с позиций отдельных слоёв общества. При этом эксперт должен владеть несколькими позициями (профессиональными, деятельностными), позволяющими ему включить исследуемую практику в широкий социокультурный контекст, выявить её междисциплинарные смыслы. Для проведения процедуры важными являются две экспертные позиции:

- учёный-исследователь, анализирующий методологическую и методическую корректности реализации дополнительного научного образования с точки зрения научных норм и традиций;
- педагог, определяющий приоритет учебной функции дополнительного научного образования, эффективность развития личностных качеств школьника на каждом этапе с педагогической, психологической и методической точек зрения.

Данные позиции требуют наличия «двух идеальных представлений: о модели научного исследования, проводимого в рамках научной школы (с вовлечением предметно-методических, процессуальных, морально-этических, коммуникативных и др. аспектов) и модели продуктивного, субъект-субъектоного образовательного процес-

са, направленного на трансляцию культурных норм от старшего поколения к младшему (в данном случае норм проведения научного исследования как части деятельностной культуры общества в целом)» [3, с. 69]. В первом случае мы воспроизводим культуру научно-исследовательской деятельности в образовании, во втором – строим эффективный образовательный процесс как способ развития личностной готовности и деятельностных способностей ученика.

Необходимость привлечения экспертов соответствующего профиля определяется актуальными практическими задачами:

- для научно-исследовательского института – перспективное кадровое обеспечение науки, пропаганда образа научной профессии;
- для вуза – эффективный отбор студентов, обладающих определёнными способностями и склонностями;
- для педагогов и родителей – определение эффективности дополнительного научного образования школьников для развития личностных характеристик и деятельностных способностей детей;
- для органов управления образованием – определение качества условий развития дополнительного научного образования, форм его организации, развитости инфраструктуры и коммуникаций между её субъектами (программы, формы реализации, психолого-педагогическое сопровождение).

Квалификационная экспертиза. Её объектом является учебное исследование школьника, качество которого определяется:

- соотношением представляемого предметного материала с реально освоенным, умением выстроить и представить структуру исследования в соответствии со сложившимися научными нормами;
- умением вписать собственное исследование в предметный и содержательный контекст избранной области знания;
- возможностью обозначить основания, смысл и технологию организации коммуникации с разными позициями при проведении работы (руководителем, сверстниками, родителями).

Наиболее распространённой формой квалификационной экспертизы является экспертиза, проводимая на научно-исследовательских конференциях школьников (от латинского conferre – собирать в одно место). Такие конференции являются ярким показателем результативности дополнительного образования, базирующегося на исследовательской деятельности, и одновременно показателем готовности школьников к научной деятельности. Итоги защиты самостоятель-

ной исследовательской работы являются мощным фактором, формирующим мотивацию дальнейшей деятельности школьника.

А.И. Савенков [5, с. 470] предлагает следующие критерии квалификационной экспертизы исследовательских работ обучающихся: познавательная ценность темы; оригинальность и ценность собранного материала; исследовательское мастерство; структура и логика работы; язык и стиль изложения, ответы на вопросы.

Другой подход к выделению критериев квалификационной экспертизы предложен А.В. Леоновичем [3, с. 80]: наличие мировоззренческой авторской позиции; соответствие содержания заявленной теме, структурированность работы, соответствие выводов полученным результатам; адекватность методик, наличие собственного экспериментального материала; культура оформления материалов.

На наш взгляд, основанием для участия школьника в конференции должен быть исследовательский характер выполненной работы и, соответственно, наличие собственных экспериментальных данных и выводов. При их отсутствии работа носит реферативный характер. Если работа выполнена по широко известному опыту или по практикуму с заранее известным результатом без какой-либо модернизации, то её можно рассматривать лишь как учебную работу по овладению технологией научно-исследовательской работы.

Мы предлагаем оценивать самостоятельную исследовательскую работу школьников по следующим позициям:

1) работа:

- владение теоретическим материалом по теме работы;
- понимание структуры исследовательской работы (логика построения работы, степень решения поставленных задач, соответствие выводов полученным результатам);
- эффективность использования методов исследования (продуманный план работы и методы сбора данных, определены адекватные измеряемые величины и параметры, систематический сбор и анализ данных, воспроизводимость результатов, верное использование математических и статистических методов, достаточность данных для интерпретации результатов и выводов);
- оригинальность и ценность собранного материала, понимание автором значимости исследования;
- степень самостоятельности выполнения работы.

2) оформление: качество и ясность демонстрационного материала;

3) выступление:

- структурированность, логичность доклада;
- ораторское мастерство;
- уровень координации членов команды (для коллективных работ).

Другой формой квалификационной экспертизы достижений школьника является экспертиза портфолио. Она позволяет изучить процесс личностного роста школьника, зафиксированный в документах: текстах работ, дипломах, рецензиях, публикациях. Отражённые в портфолио достижения должны быть представлены по нарастающей, в соответствии с ростом знаний и навыков школьника, его взрослением и расширением возможностей. А.В. Леонович считает, что развитие исследовательских работ школьников должно идти в рамках одного тематического направления, продвигаясь по годам от реферативной к исследовательской и обобщающей форме. Мы же находим необходимым учить ребёнка методике исследования на различном материале, создавать максимальные условия для поиска интересующей области знания. Странствия школьника в науке в поисках личностного смысла – это бесконечный путь к собственному, в том числе и профессиональному самоопределению. По мнению С.И. Гессена, задача странствия состоит в обретении человеком себя через погружение в собственную ценность [1, с. 318]. Интересы ребёнка многообразны и находятся в постоянном развитии. Этот процесс, на наш взгляд, и отражает портфолио.

Личностная экспертиза. Объектом личностной экспертизы являются научные способности школьника, его исследовательские знания, умения и навыки. Под научными способностями мы понимаем индивидуально-психологические особенности личности, являющиеся субъективными условиями успешного осуществления научно-исследовательской деятельности. Это аналитический склад ума, способность самостоятельно решать творческие задачи характерными для науки способами, целенаправленно искать и отбирать необходимую информацию, рефлексировать цели и смысл осуществляющей деятельность в соответствии с собственными ценностными основаниями, эффективно работать с ресурсами, коммуникабельность, высокая волевая компонента и эмоциональная устойчивость. Специальные знания – это специфические данные о проведении исследований и действиях механизмов поиска. Мотивация к познавательной деятельности, научные способности школьников, их исследовательские знания, умения и навыки лежат в основе личностной готовности ребят к научному твор-

честву, включающей в себя притязания личности (предвосхищение ожидаемого результата и критерии его оценки, удовлетворённости и неудовлетворённости полученным результатом) [2, с. 131].

Критерии готовности школьников к научной деятельности:

- 1) сформированность каждого компонента;
- 2) интегральная оценка готовности, которая даётся на основе оценок её компонентов и экспертных оценок.

Адекватно зафиксировать личностный рост школьника можно лишь при совместной экспертизе характеристик готовности подростка к научной деятельности всеми участниками образовательного процесса: педагогами, родителями, обучающимися.

Развитие и признание своей самооценки исследователя является движущей силой готовности школьника к научной деятельности. Недооценка исследовательских способностей разрушает надежды ребёнка на успех в научно-исследовательской деятельности и на признание окружающих, снижает активность, инициативу и готовность к преодолению трудностей. При завышенной самооценке исследовательских способностей ученик берётся за работу, не проанализировав реальность условий, при наличии которых он мог бы добиться успеха в самостоятельной исследовательской деятельности. Первые неудачи приводят к переживанию, разочарованию и желанию считать ответственными за произошедшие события других людей. Явная переоценка своих исследовательских возможностей часто сопровождается неуверенностью в себе.

Чтобы изучить особенности развития самооценки исследовательских способностей школьников, мы использовали методику, описанную в литературе А.Ц. Пуни, в изменённом варианте. Данная методика привлекла нас развивающим характером экспертной оценки – это самостоятельная или коллективная работа над выявлением и анализом характеристик личности современного учёного с точки зрения полезности, социальной значимости и желательности с последующей оценкой себя по выделенным характеристикам. В процессе работы учениками был создан комплекс наиболее значимых и желательных качеств личности для становления учёного, исследователя: аккуратность, активность, вдумчивость, восприимчивость, заинтересованность, красноречие, креативность, критичность, логика, любознательность, настойчивость, общительность, ответственность, принципиальность, пунктуальность, решительность, самостоятельность, смелость, собранность, терпеливость, увлекаемость, упорство, усердность, целеустремлённость, эрудированность.

Для изучения уровня овладения детьми основными операциональными навыками исследования нами был разработан алгоритм распознавания исследовательских навыков методом экспертной оценки. Диагностируемые параметры: уровень знаний по предмету; понимание структуры научного исследования; навыки письменного изложения мысли; умения собирать, систематизировать и анализировать информацию; самостоятельность, умение использовать приемы самоорганизации, ориентированность на задачу. Экспертные оценки выставляются по 5-и бальной школе: качество очень развито, хорошо развито, средний уровень развития, слабо развито и не развито. При проведении исследования экспертами выступали педагоги научных кружков и лабораторий, а также научные руководители школьников.

Условием успешности учеников в овладении дополнительным научным образованием является высокая волевая компонента. Для её изучения мы выбрали развивающий модифицированный вариант методики Дембо-Рубинштейн, который рассчитан на учащихся среднего возраста и может быть использован при изучении старшеклассников, и методику Т.А.Ратановой-И.А.Димашенко «Изучение волевых качеств школьников методом экспертной оценки». Данные методики позволяют выявить умение ребят использовать приемы самоорганизации в любой деятельности, в том числе и научной. Метод самооценки состоит в сравнении значения индивидуального профиля актуального и желаемого уровней развития волевых характеристик. Обе методики имеют сходный комплекс изучаемых качеств: динамические (целеустремлённость, настойчивость, выдержанка, смелость), когнитивные (осмотрительность, звешенность, расчётливость, рассудительность) и практические (самостоятельность, организованность, решительность, исполнительность).

В ходе опытно-экспериментальной работы нами выявлена положительная динамика в плане формирования мотивационного, ценностного и операционного компонентов готовности к научной деятельности в процессе реализации программы дополнительного научного образования. Обнаружена динамика, которая проявляется в смене доминирующих ориентаций через систему ценностей. Так, для старшеклассников характерны потребность в достижениях и ценностные отношения к отдельным отраслям знания, а у их ровесников, прошедших первую ступень научно-образовательной программы, в центре системы ценностей – ориентация на общение с другими людьми и сотрудничество. Для школьников, прошедших все ступени

дополнительного научного образования, характерна интегрированная ориентация на интеллектуально-волевые усилия, а в центр системы ценностей перемещается самооценка.

Выявлена устойчивая динамика факторов, влияющих на формирование готовности к научной деятельности. У детей, обучающихся по программе дополнительного научного образования, тип школьного образования теряет доминантную позицию в группе основных факторов, не оказывает прямого влияния на исследовательское поведение школьников. Напротив, опыт дополнительного научного образования приводит к устойчивой склонности решать любые познавательные задачи с помощью эксперимента. Общими факторами, которые оказывают наибольшее влияние на формирование у школьников готовности к научной деятельности, являются индивидуально-личностные особенности, тип школьного образования, влияние окружения и дополнительное научное образование.

Управленческая экспертиза. Концепция развития образовательной системы включает в себя этапы проектирования, моделирования, психолого-педагогической экспертизы и разработки плана управляемых действий. Основной признак развития системы – динамика её результативности. Психолого-педагогическая экспертиза образовательной системы проводится с целью выявления соответствия её актуального и проектируемого состояния. Объектом управляемой экспертизы является программа дополнительного научного образования школьников и организация на её основе образовательного процесса. Она охватывает вопросы управления образовательным учреждением, кадровое, методическое и диагностическое обеспечение, психологические аспекты образовательного процесса в дополнительном образовании детей. Экспертиза включает в себя три компонента: объект (что оценивается), процедуры (способы оценивания), критерии (исходные основания оценки). Результат экспертизы – это новые знания об объекте экспертизы («описательные», «оценочные», «инструментальные»). Показатели качества управления процессом дополнительного научного образования учеников: организационная чёткость, адекватность задач, диагностичность результатов, планомерность и систематичность деятельности.

Можно выделить несколько моделей управляемой экспертизы:

- по характеру: диагностическая и развивающая;
- по структуре и содержанию: внутренняя – включённая экспертиза, самоанализ; внешняя – исследование, проводимое сторонней экспертной группой.

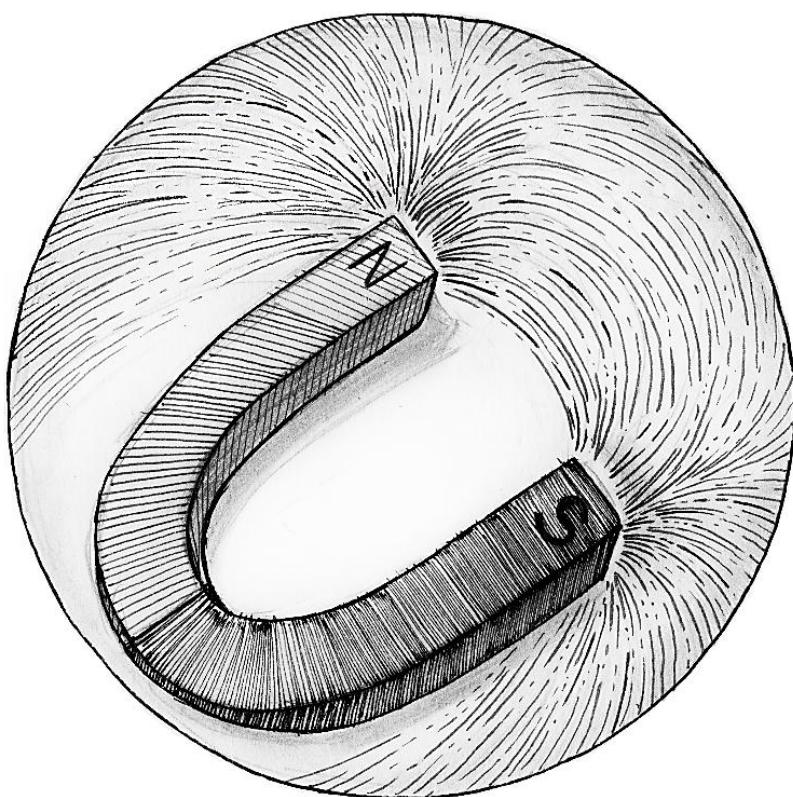
Экспертиза представляет собой качественную оценку состояния системы. В её функции не входит принятие управленческих решений. Она может быть разовой или поэтапной. Во втором случае экспертиза становится методом мониторинга образовательных результатов.

Таким образом, все рассмотренные методы объединены экспертной позицией каждого участника образовательного процесса. Экспертный метод оценки результатов дополнительного научного образования больше других диагностических процедур отвечает целям дополнительного образования, так как позволяет реализовать отношения дополнительности между педагогическими, социально-психологическими и научными результатами.

Литература

1. Гессен С.И. Основы педагогики. Введение в прикладную философию. – М.: Школа-Пресс, 1995. – 448 с.
2. Деркач А.А. Акмеологические основы развития професионала. – М.: Изд-во Московского психолого-социального института; Воронеж: НПО «МОДЭК», 2004. – 752 с.
3. Леонтович А.В. Исследовательская деятельность учащихся: сборник статей / Под ред. А.С. Обухова. – М.: Журнал «Исследовательская работа школьников», 2006. – 114 с.
4. Логинова Л.Г. Сущность образовательного результата // Образование: исследовано в мире [Электронный ресурс]: международный научный педагогический интернет-журнал / под патронажем Российской академии образования, ГНПБ им. К.Д. Ушинского. – М.: Oim.ru. – 2003. – 21 января.
5. Савенков А.И. Психологические основы исследовательского подхода к обучению. – М.: «Ось-89», 2006. – 480 с.

Физика



Лазерный фотоэлектрический эллипсометр

Быкова Василиса Андреевна

10 класс, Лицей № 40, ШОИ ИФФ РАН

Научный руководитель М.А. Новиков,
ведущий научный сотрудник ИФМ РАН,
кандидат физико-математических наук



Поляризованный свет можно получить путем пропускания его сквозь оптически анизотропную среду. В ходе работы создан и откалиброван эллипсометр – оптический прибор, позволяющий исследовать оптические материалы на предмет наличия в них оптической анизотропии и находить величину эллиптичности поляризации света. Метод, на котором основана его работа, – фотоэлектрическая регистрация света. Доказано, что полимерные пленки могут использоваться в качестве широкоапертурных преобразователей поляризации света лазерных и светодиодных источников.

Перед наукой стоит задача исследовать влияние на биологические процессы циркулярной и эллиптической поляризации света. На одной из кафедр МГУ возникла гипотеза о благотворном влиянии циркулярно поляризованного света на фотосинтез растений, основанная на факте гомохиральности жизни. Нетрудно противопоставить ей следующее: на растения, привыкшие к неполяризованному свету, циркулярно поляризованный свет будет действовать угнетающе. Однако экспериментального доказательства или опровержения данная гипотеза пока не нашла. Проблема состоит в том, что все устройства, в настоящий момент использующиеся для получения регулируемого поляризованного света (анизотропные кристаллы, специальные пластинки $\lambda/2$ и $\lambda/4$), имеют очень малые размеры и не пригодны для использования в масштабных исследованиях на растениях. Но оптической анизотропией обладают различные полимерные пленки, размеры которых позволяют использовать их в качестве широкоапертурных преобразователей поляризации света. Плюс пленок также состоит в их дешевизне.

Исследовав образцы различных пленок и проанализировав результаты, можно найти такие пленки (или системы из них), которые давали бы на выходе необходимый регулируемый поляризованный свет. Для измерений нами был создан прибор эллипсометр. Эксперимент необходимо было провести на разных длинах волн, поэтому в качестве источников света использовали светодиоды и лазер.

Цель работы – разработка оптических устройств для изменения и измерения поляризации диодных и лазерных источников света в видимом диапазоне длин волн для использования в физических, биологических и медицинских исследованиях.

Нами был усовершенствован эллипсометр, который изначально давал лишь наглядное представление об анизотропии образца. Важным шагом стала модернизация прибора из визуального в фотоэлектрический: для этого к установке был подключен микроамперметр, вольтметр и фотодиод (рис. 1, 2).

Для исследования анизотропии полимерных пленок мы сначала взяли в качестве источника света лазер $\lambda = 532\text{nm}$. Прибор был приведен в линейный режим работы (рис. 4). Были устранены проблемы по за-свечиванию фотодиода солнечным и ком-натным освещением с помощью картонной трубы. Измерения проводились в темное время суток.

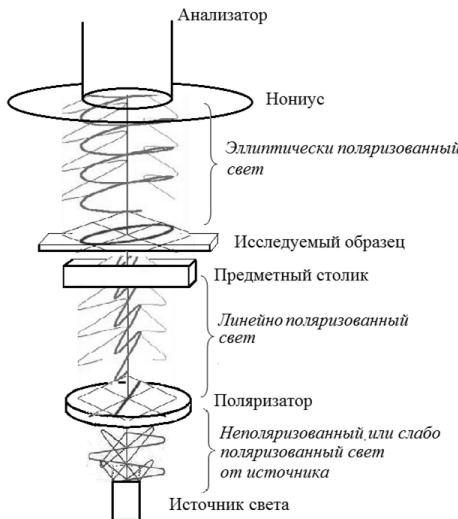


Рис. 3. Оптическое устройство



Рис. 1. Фото прибора

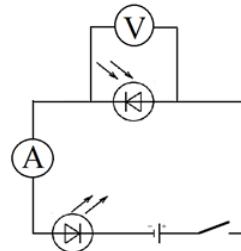
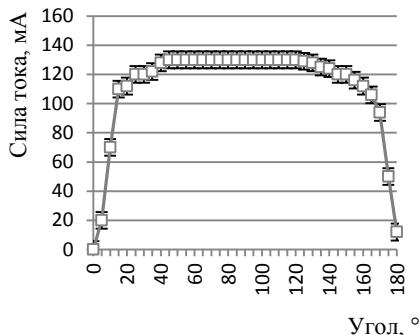


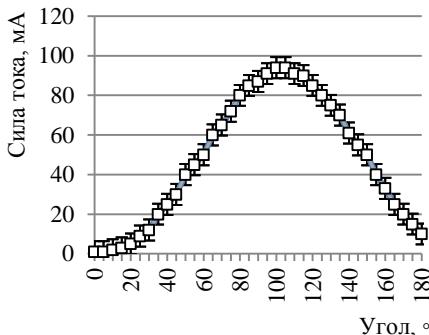
Рис. 2. Электрическая цепь

В финальной доработке в конструкцию прибора добавилась фабричная пластинка $\lambda/4$, которая преобразует циркулярную поляризацию на выходе из пленки обратно в линейную, что позволяет находить угол поворота и определять вид поляризации, сообщаемый пленкой (рис. 5). Эллипсометр был проверен на фабричной фазовой пластинке $\lambda/4$, как на эталоне.

Далее мы приступили к исследованию образцов самих



а) в режиме насыщения



б) в линейном режиме

Рис. 4. Приведение прибора в линейный режим работы (показания фотодиода)



Рис. 5. Эллипсометр в финальной доработке



а, б) неоднородные

в) однородная

Рис. 6. Пленки

полимерных пленок. Была проведена проверка пленок на однородность, что явилось необходимостью в связи с сильно отличающимися показаниями прибора в различных местах образца (рис. 6).

Механизм измерения эллиптичности поляризации, полученной светом после прохождения сквозь пленку, можно описать следующим образом. Устанавливаем положение скрещенной поляризации между источником света и анализатором, то есть такое их взаимное расположение, при котором темно. Это станет удобной точкой отсчета. Записываем начальную величину угла θ_1 . Придвигаем предметный столик и поме-

щаем на него исследуемый образец полимерной пленки и, вращая его, также устанавливаем скрещенную поляризацию. Поворачиваем предметный столик с образцом на 45° . Помещаем между образцом и анализатором фабричную фазовую пластинку $\lambda/4$. В результате проделанных действий свет изменил свою поляризацию при прохождении сквозь пленку. Находим новое положение, в котором поляризация будет скрещенной (вольтметр показывает минимум). Отмечаем новое значение угла θ_2 . Находим $\theta = \theta_2 - \theta_1$ (1).

Затем производим расчет разности фаз между двумя взаимно перпендикулярными волнами, образующими эллиптическую поляризацию, по формуле $\Delta\phi = 2\theta$ (2), где $\Delta\phi$ – разность фаз, θ – угол поворота плоскости поляризации. Значение величины $\Delta\phi$ может сказать о виде поляризации, который был сообщен свету при пропускании сквозь оптически анизотропный объект.

Мы провели измерения, подтвердившие, что прибор работает согласно нашим предположениям. Прибор проверен на фазовой ахроматической пластинке $\lambda/4$, как на эталоне. Для такой пластины теоретически мы должны были, исходя из формулы (2), получить $\theta = 45^\circ$. Экспериментально установили, что его значение действительно 45° . Таким образом, была доказана исправность эллипсометра.

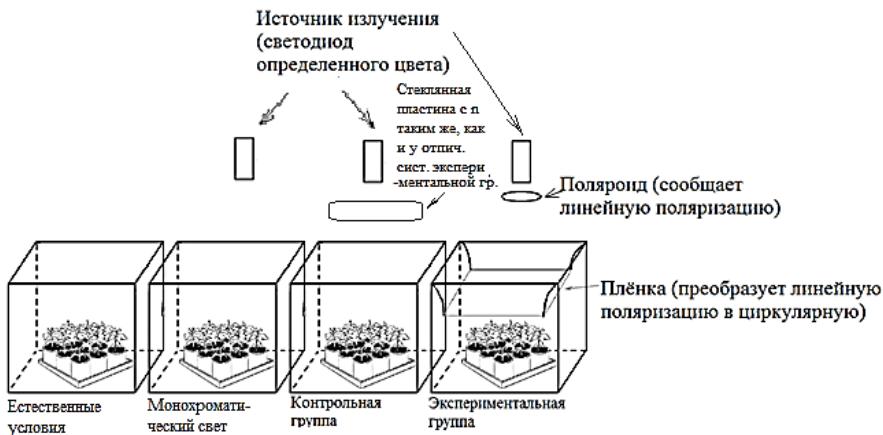


Рис. 7. План экспериментальной установки с использованием полученного преобразователя

Из пленок нашли те, которые преобразовали линейную поляризацию в циркулярную для данной длины волны. Был учтен вариант

широкоапертурного преобразователя, состоящего из нескольких пленок. В таком преобразователе необходимо учитывать показатели преломления и отражения света.

Как известно, хлорофилл растений поглощает определенные части спектра более эффективно. Нами придумана следующая экспериментальная установка (рис. 7). Вместо искусственного источника света может также использоваться солнечный свет, пропущенный через светофильтр.

Выводы

Исследованы особенности фотоэлектрической регистрации света, и на этой основе создан фотоэлектрический эллипсометр. Проведены измерения, подтвердившие, что прибор работает согласно нашим предположениям.

Проведены исследования фазовой оптической анизотропии в пленках различной природы. Доказано, что не все пленки применимы для данных исследований в связи со своей неоднородностью. Установлено: больше всего подходят целлофановые пленки.

Сделан вывод, что полимерные пленки могут использоваться в качестве широкоапертурных преобразователей поляризации света. Также возможен переход к реализации самого эксперимента на растениях, используя светодиоды в качестве источника излучения.

В будущем предполагается работа по измерению анизотропии пленок во всем видимом диапазоне светодиодных источников от УФ до ИК с целью расширения областей применения в физике, биомедицине и биологии.

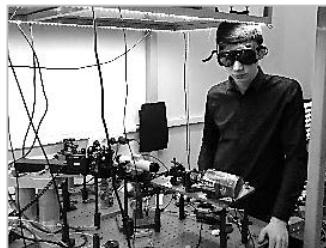
Создан план установки для исследования влияния циркулярно поляризованного света на процесс фотосинтеза растений.

Литература

1. *Боннер У.А.* Происхождение хиральной однородности в природе // *Topics in Stereochemistry*. 1988, v. 18. С. 1 – 96.
2. *Жевандров Н.Д.* Поляризация света. – М.: Наука, 1969. – 190 с.
3. *Ландсберг Г.С.* Оптика. – М.: Наука, 1976. – 926 с.

Создание лабораторного стенда: двуихходной интерферометр Жамена-Лебедева

Быстров Сергей Александрович
11 класс, Лицей № 82, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель А.О. Климин,
старший лаборант-исследователь
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



В работе была собрана установка: двухпроходной интерферометр Жамена-Лебедева и связанные с ним высокочастотный нагревающий лазер, прерыватель, полупрозрачное зеркало, фотодиоды и подключённый к компьютеру синхронный детектор. Учтена зависимость амплитуды отражённой волны от угла падения на полупрозрачное зеркало, из которой подобран оптимальный угол падения волны на отражающую поверхность. Определено подходящее расстояние между полупрозрачным зеркалом и ближайшим к нему поляризационным расцепителем интерферометра. Проведена апробация установки оптическим стеклом НС-13 для одной точки его поверхности и построен график зависимости полученного сигнала от времени.

Для осуществления термоядерных реакций предполагается использование высокointенсивного лазерного излучения, для управления и преобразования которого применяются кристаллы KDP (ди-гидрофосфат калия). Эти нелинейные оптические элементы могут иметь неоднородную поверхность, что приводит к избыточному поглощению лазерного излучения, преждевременному нагреванию и дальнейшему разрушению кристалла. На данный момент отсутствуют способы обнаружения подобных аномалий в оптических элементах до непосредственного разрушения кристалла. Возможно, что один из способов обнаружения этих аномалий заключается в применении интерферометра Жамена-Лебедева.

Цель работы – создание и апробация экспериментальной установки для исследования поверхностного поглощения с использованием интерферометра Жамена-Лебедева.

Схема установки, в которой используется ин-

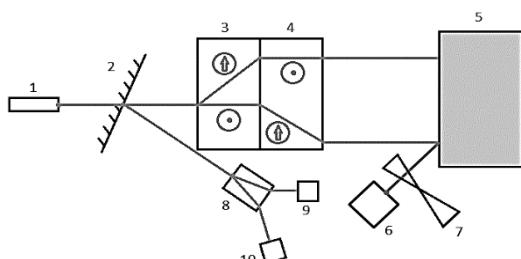


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

терферометр Жамена-Лебедева, представлена на рисунке 1. В данной схеме излучение лазера 1 (зондирующее излучение на длине волны 635 нм мощностью 10 мВт, с шириной гауссового пучка 1,5 мм) проходит через полупрозрачное зеркало 2 и падает перпендикулярно на входную (левую) грань поляризационного расщепителя (ПР) 3. Попадая на эту пластину, луч разделяется на две равными составляющие с ортогональными поляризациями – на обычновенный «о» и необыкновенный «е» лучи.

Затем эти лучи проходят через поляризационный расщепитель 4, аналогичный ПР 3. На входной (левой) грани этого элемента происходит преобразование обычновенной волны в необыкновенную, а необыкновенной – в обычновенную.

После этого два луча падают на поверхность исследуемого образца 5, и место падения одного из них нагревается излучением накачки (импульсное с частотой 1 кГц лазерное излучение на длинах волн 1054 нм, 532 нм и 351 нм со средней мощностью 80 мВт на длине волны 1054 нм, с шириной гауссового пучка 1,073 мм), из-за чего между зондирующими лучами образуется дополнительная разность фаз. Излучение с трёхцветного лазера 6 (накачка), разделяясь на три длины волны, заводится в образец. Его необходимо сфокусировать в точку таким образом, чтобы фокус находился в одном из плеч интерферометра Жамена-Лебедева. Излучение накачки модулируется прерывателем 7.

Затем волны зондирующих лучей отражаются от поверхности образца, в обратном направлении проходят через два кальциита и собираются в одну волну, поляризация которой вследствие возникшей разности фаз отлична от 45° . Полученный луч отражается от полупрозрачного зеркала и попадает в призму Глана 8, разделяясь на две ортогональные поляризации, которые детектируются фотодиодами 9 и 10 [1]. Сигналы с двух диодов подаются на синхронный детектор, после чего мы получаем информацию о зависимости амплитуды сигнала от перемещения исследуемого образца при облучении лазером 6, связанной с величиной поверхностного поглощения [3].

Попадая на полупрозрачное зеркало, излучение испытывает как отражение, так и преломление.

Амплитуда отражённой волны зависит от угла падения и поляризации падающего луча. Поляризацию отражённой волны с амплитудой Q можно разделить на две ортогональные проекции: s - и p -поляризации. Зависимость амплитуды, отражённой и преломлённой

волн от амплитуды падающей волны выражается формулами Френеля [2]. Для получения наиболее точных результатов Q_s и Q_p должны быть приблизительно равны. При $P=\text{const}$ был составлен график зависимости Q_s и Q_p от угла α (рис. 2).

При анализе полученных выражений, мы оценили оптимальное значение α как величину, равную $2,5^\circ$, так как в данном диапазоне разность между Q_s и Q_p составляет менее 0,1. Ограничение на минимальное значение угла определяется максимально допустимым размером установки.

Зная, что расстояние l от точки падения непрерывного излучения на левую грань ПР 3 до нижнего основания ПР равно 14,5 мм, и приняв $\alpha = 2,5^\circ$, получим $d = \frac{l}{\tg(\alpha_{\min})} = \frac{l}{\tg(2\alpha)} \approx 165,7 \text{ мм} = 16,57 \text{ см}$, где d – длина отрезка падающего луча, заключённого между полупрозрачным зеркалом и ПР 3, α_{\min} – угол между падающим и отражённым лучом.

Для исследования эффективности установки был проведён опыт с оптическим стеклом НС-13 [1] (рис. 3). На рисунке представлены результаты измерения напряжения с двух фотодиодов 9 и 10 с использованием осциллографа (две нижние линии), а также разность двух сигналов между ними (верхняя линия). По графику видно, что сигналы с двух плеч интерферометра находится в противофазе (две нижние линии), что указывает на изменение фазы в результате нагрева. Также было установлено, что разность между постоянными составляющими сигналов обусловлена различными теневыми токами фотодиодов, и эта разность должна учитываться при дальнейшем проведении экспериментов.

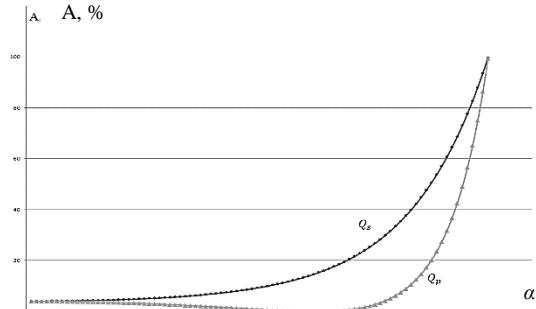


Рис. 2. Зависимость проекций амплитуды отражённой волны Q_s и Q_p от угла α

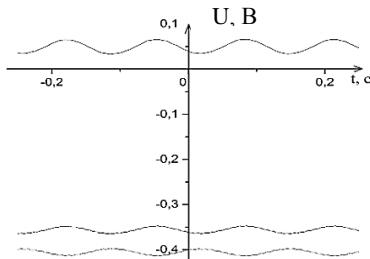


Рис. 3. Результаты измерений для оптического стекла НС-13

Выходы

В результате работы была собрана установка с использованием интерферометра Жамена-Лебедева и проведена её апробация с использованием оптического стекла НС-13. Было установлено, что эти значения различны из-за присутствия теневых токов. Была подтверждена работоспособность установки.

В дальнейшем планируется проведение опыта с кристаллом KDP и исследование отклика нагрева всей поверхности этого кристалла, на основе чего можно будет составить 2D-модели, отражающие изменение амплитуд сигналов в каждой точке поверхности. Для получения точной цифры поверхностного поглощения необходима теория, описывающая изменение разности фаз при изменении показателя преломления на границе элемента, с учетом конечной толщины поглощающего слоя, что будет рассмотрено в дальнейшем.

Литература

1. ГОСТ 9411-91. Стекло оптическое цветное [Электронный ресурс]. URL: http://www.elektrosteklo.ru/K8_rus.htm (дата обращения 10.11.2018).
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физико-математическая литература, 2003. – 848 с.
3. Лукьянов А.Ю., Погорелко А.А. Фазовый (интерференционный) фототермический метод для раздельного измерения поверхностного и объёмного поглощения // Журнал технической физики. 2002, т. 72, вып. 5. С. 72 – 77.
4. Новиков М.А. О предельной чувствительности оптических методов фототермической спектроскопии. Препринт. – Н. Новгород: Академия наук СССР, 1989. – 25 с.

Исследование уровня электромагнитного излучения мобильных телекоммуникационных устройств

Дмитриева Ольга Юрьевна

9 класс, Школа № 173, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.А. Гунбина,
стажёр-исследователь ИПФ РАН



На данный момент, по сравнению даже с последними 3 – 5 годами, значительно возросло использование мобильной техники – источников электромагнитного излучения. Сотовые телефоны сегодня – это не просто средство связи. Это постоянно используемый «помощник» в повседневной жизни с доступом в интернет и развитием технологий. С каждым годом возрастает количество вышек сотовой связи, и «электромагнитная обстановка», измеренная несколько лет назад, уже не актуальна. В данной работе мы постарались дать ответ на вопрос: как изменился уровень электромагнитного излучения от мобильных устройств за последнее десятилетие?

Проблемой исследования является уровень электромагнитного фона. Цель работы – оценить и сопоставить плотность потока энергии (ППЭ – величина, характеризующая количество энергии, протекающей за единицу времени через единицу площади, в нашем случае измерялась в мкВт/см²) излучения от мобильных телефонов разных марок и годов выпуска.

Для проведения эксперимента было выбрано несколько телефонов различных поколений: Xiaomi Redmi3S, Samsung GT-S5230 La Fleur, Siemens A60 и SonyEricsson W300i. Основные характеристики рассматриваемых мобильных телефонов представлены в таблице. Так как в настоящее время затруднительно найти работающие телефоны 2003 и 2006 годов выпуска, данные были взяты из работы, проводимой в 2013 году [1], а ППЭ исследуемых телефонов 2016 и 2009 годов были измерены тем же прибором ПЗ-31 (рис.1).

Для чистоты эксперимента все измерения были проведены для каждой из частот стандарта GSM, в качестве примера можно привести график измерения ППЭ при входящем звонке на телефон Xiaomi Redmi3S (рис. 2). Первый проведенный эксперимент – измерение



Рис. 1. Прибор ПЗ-31

фоновой ППЭ. Давно не секрет, что, помимо собственного мобильного телефона, нас окружают устройства, также излучающие электромагнитное поле. Чтобы определить уровень ППЭ, исходящий только от мобильного телефона, для каждой из этих частот измеряли фоновое излучение, окружающее нас, в течение одной минуты, усредняли это значение, а затем вычитали этот уровень из полученных экспериментальных данных. Зависимость ППЭ от времени для различных частот и среднее значение представлены на рисунке 3. В ходе данной работы были проведены следующие измерения ППЭ: измерения в режиме вызова и передачи вызова, с обратной и наружной сторон телефонов, в плотную и на расстоянии (15 см) от телефона, с различными операторами сотовой связи (МегаФон и Теле2).

Таблица. Основные характеристики мобильных телефонов

Характеристика	Xiaomi Redmi3S	Samsung GT-S5230 La Fleur	Sony Ericsson W300i	Siemens A60
Выпуск (год)	2016	2009	2006	2003
SAR, Вт/кг	0.49	0.53	1.2	0.67
Поколение связи	4G	2.5G	2.5G	2G
Частоты GSM	850 МГц 900 МГц 1800 МГц 1900 МГц	850 МГц 900 МГц 1800 МГц 1900 МГц	850 МГц 900 МГц 1800 МГц 1900 МГц	900 МГц 1800 МГц 1900 МГц

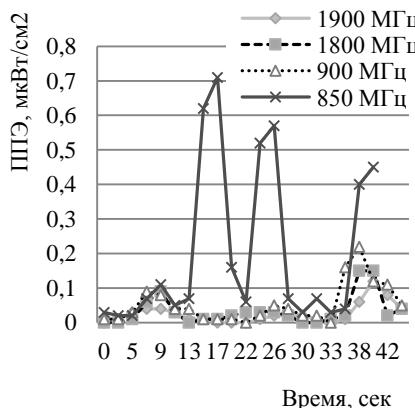


Рис. 2. ППЭ, измеренная при вызове на телефон Xiaomi Redmi3S для различных диапазонов частот

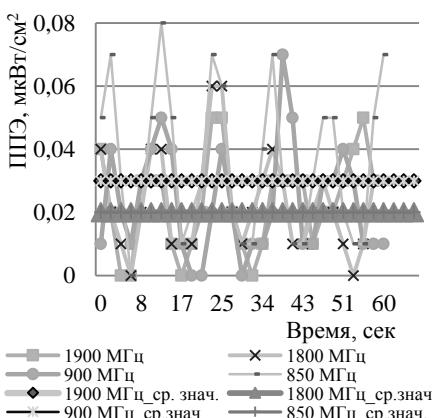


Рис. 3. ППЭ и среднее значение фонового излучения

Сравнительные графики измеренной ППЭ для телефонов различных поколений в режиме передачи и приёма вызова представлены на рисунке 4 (а, б). Приведены сравнительные графики измерения с обратной и внешней сторон телефонов (в, г). По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод, что современные телефоны излучают заметно меньшую мощность.

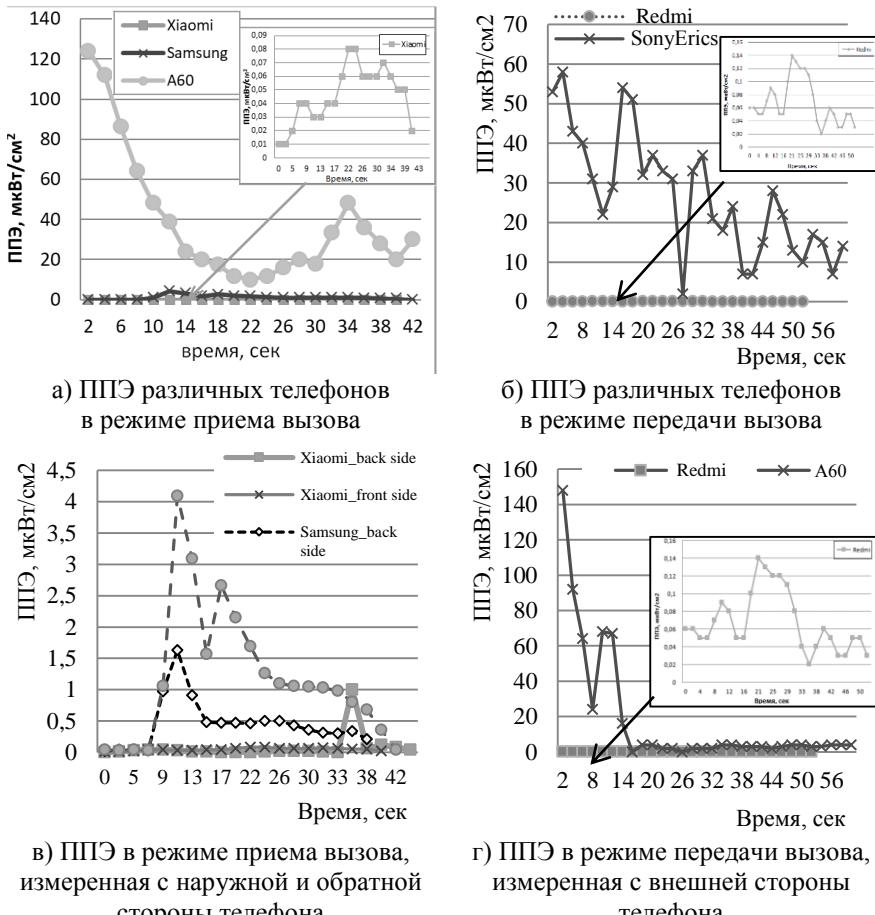


Рис. 4. Измерения ППЭ для различных телефонов и режимов

Мощность, излучаемая сотовым телефоном, зависит не только от модели телефона, но и от расположения абонента относительно вышек базовых станций. Мы попытались понять, как много вышек БС

расположено вблизи ИПФ РАН: для этого воспользовались реестром санитарно-эпидемиологических заключений и отметили часть БС на карте [4].

Как можно заметить по графику (рис. 5), показатели ППЭ резко отличаются при разных сотовых операторах (МегаФон и Теле2). Это обусловлено тем, что вышка МегаФон располагается в здании проведения эксперимента. Также по графику видно, что у показаний с оператором Теле2 есть особенность – резкий скачок уровня ППЭ при сбросе вызова. Аналогичный скачок наблюдался и для всех остальных измерений с СИМ-картой данного оператора (рис. 6). Это не может быть связано с дальностью расположения БС, т.к. тогда мы бы наблюдали такой же скачок во время начала вызова/приёма вызова, т.е. это особенность данной сети. Обсудив этот вопрос с сотрудниками компании Теле2, мы выяснили, что при режимах приёма вызова и разговоре работает 3G, а при сбросе переходит на стандарт LTE, что является логичным обоснованием скачка уровня ППЭ.

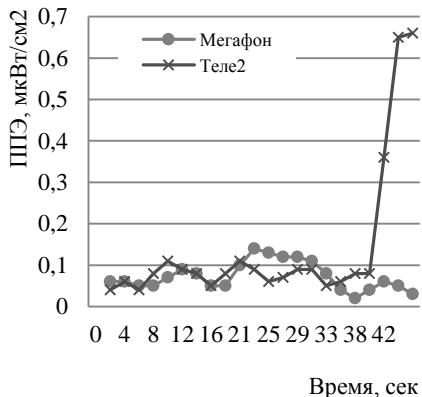


Рис. 5. ППЭ телефона Redmi3 с СИМ-картами разных операторов в одинаковых условиях

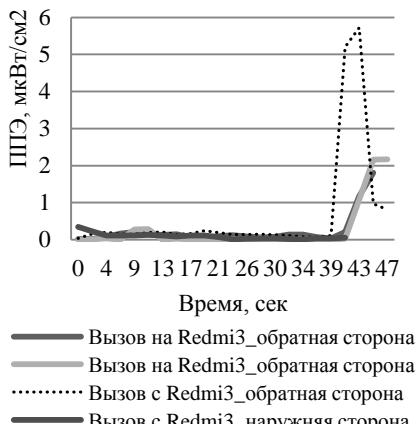


Рис. 6. ППЭ в режимах вызов и прием вызова на Redmi3

По полученным экспериментальным данным можно сделать вывод, что низкий уровень излучения сотовых телефонов в сравнении с данными предыдущих годов связан не только с совершенствованием технологий, но и со значительно возросшим количеством базовых станций. Показатели ППЭ варьируются в зависимости от многих факторов:

- 1) режим работы телефона;

- 2) расположение вышки сотовой связи данного оператора;
- 3) модель: телефон 2003 года излучает ППЭ в несколько раз больше, чем телефон 2016 года выпуска; Samsung больше излучает с внешней стороны, а Xiaomi с обратной.

Для получения полной картины электромагнитного излучения современных мобильных устройств необходимо провести следующие исследования: измерение ППЭ сотового телефона вдали от скопления вышек базовых станций и в экранированной комнате, измерение ППЭ с дополнительными включенными опциями телефона: передача данных, GPS и Wi-Fi, исследование Wi-Fi роутеров в различных режимах: раздача интернета и в процессе скачивания файлов, проведение исследований на добровольцах

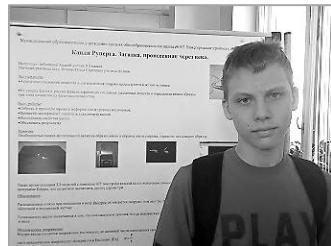
Литература

1. Вдовин В.Ф., Коротаев Д.В., Сидоров Д.С., Шампоров В.А. Тепловой эффект излучения мобильных телефонов // Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 6. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2013. С. 159 – 168.
2. Грачев Н.Н., Мырова Л.О. Защита человека от опасных излучений. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 317 с.
3. Как просто [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kakprosto.ru/kak-841050-na-kakih-chastotah-rabotayut-sotovye-telefony#ixzz5gdDIv6Rf>.
4. Реестр санитарно-эпидемиологических заключений на проектную документацию. [Электронный ресурс]. URL: <http://fp.crc.ru/doc>.

Капли Руперта. Загадка, пронесенная через века

Заблоцкий Андрей Владиславович
8 класс, Школа № 102, Нижний Новгород

Научные руководители О.С. Ионова,
учитель физики МОУ СОШ № 102



Проведен анализ литературных данных о механизмах образования и разрушения стеклянной капли, ее уникальных свойств. Получены экземпляры капель в домашних условиях, измерены их некоторые физические величины (масса, объем), на их основании проведена оценка давления внутри капли.

«Слеза принца Руперта», «батавские или голландские капли», «слеза дьявола» – все это имена одного и того же физического явления. Когда капля стекла, расплавленного при температуре 400–600°C, попадает в воду, её внешний слой охлаждается так быстро, что структура стекла не успевает перестроиться. Внутри каждой капли образуется высокое механическое напряжение, а соответствующее изменение (уменьшение) объёма мало. С другой стороны, сердцевина капли остывает медленно, и потому структура стекла сердцевины изменяется в гораздо большей степени, чем у стекла в наружном слое. Между оболочкой и ядром возникает очень сильное напряжение, соответственно, сжатию на внешнем слое и растяжению – на внутреннем. Иначе говоря, во внутренней части остывшей капли действуют механические напряжения растяжения, а во внешней части – напряжения сжатия, что приводит к необычным свойствам капли: высокая прочность и в то же время хрупкость.

Предмет исследования – прочность капли. Гипотеза – каплю Руперта можно получить в домашних условиях, свойства данного материала уникальны и имеют практическое значение. Цель работы – экспериментально получить стеклянную каплю и исследовать её свойства.

Необычайная прочность стеклянной капли и ее связь с тоненьким хвостом, как выяснили ученые, основаны на сжимающем напряжении, а не напряжении растяжения, как предполагалось. Свои результаты исследователи изложили в статье, опубликованной в журнале *Applied Physics Letters* [1]. Группа измерила напряжение сжатия в головке капли, которое оказалось эквивалентно более чем 4000-кратному атмосферному давлению, что делает каплю такой же прочной, как некоторые марки стали.

Математическая модель «взрыва» капли Руперта была продемонстрирована в работе Патрушева Г.О. [2]. Там объяснили, почему «взрывы» происходят из середины. В ряде работ было показано: чем ниже температура воды в стакане, в который падают «батавские слезки», тем выше вероятность их самопроизвольного разрушения, связанная, по-видимому, с тем, что толщина «корочки» с ростом температурного градиента уменьшается. Существует такая температура (~20°C), при которой слезки получить не удается: они все взрываются при остывании на дне стакана с водой.

Оборудование и материалы: портативная газовая горелка с газовым баллоном с пропан-бутановой смесью, лабораторная химическая стеклянная палочка, ведро с водой Т 24°C, ПК с программным обеспечением Eclipse для трехмерного планирования, весы портативные электронные 200 г точность 0,01 г, прозрачный скотч.

Нагреем стеклянную палочку в пламени газовой горелки над емкостью с водой до тех пор, пока палочка не начнет размягчаться и от нее не начнут отрываться капли. Достанем застывшие капельки стекла (рис. 1), положим на твердую поверхность и ударим по ним молотком. Капельки останутся целыми. Возьмем капельку и надломим бокорезами хвостик (у основания). Капелька рассыплется или даже взорвется, при этом во все стороны полетят мелкие кусочки стекла (рис. 2).

Оценим давление внутри стеклянной капли на внешний слой с помощью уравнения Ламе.

$$\sigma = \frac{pr}{h},$$

где p – давление изнутри; r – радиус внутренней части; h – толщина.

Значение механического напряжения взяли из работы [1] и приняли равным $4000 \cdot p_0$.

Учитывая небольшой объем, отличающиеся формы, массу и малое количество самих капель, измерение внешнего объема проводили с помощью снимков компьютерной томографии. На их основании была построена 3D-модель капель Руперта в программе Eclipse, а также измерен внешний объем капель.

Будем принимать капли за сферу (рис. 3).

Плотность стекла, из которого изготовлены капли $\rho = 2,53 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, получена на основа-



Рис. 1. Стеклянные капли, полученные в домашних условиях



Рис. 2. Демонстрация разрушения капли Руперта

нии измерений массы и геометрических размеров исходной стеклянной палочки. Учитывая эти параметры r , r_1 и h , нашли из следующих соотношений:

$$V_{\text{стекла}} = \frac{m}{\rho}; V_{\text{полости}} = V_{\text{капли}} - V_{\text{стекла}};$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V_{\text{полости}}}{4\pi}}; r_1 = \sqrt[3]{\frac{3V_{\text{стекла}}}{4\pi}};$$

$$h = r_1 - r.$$

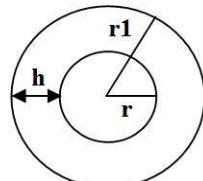


Рис. 3. Схематическое изображение капли

Таблица. Данные эксперимента

№ Капли	Масса, г	Объем V , см ³	Радиус r , см	Толщина стенки h , см	Давление p , МПа
Капля 1	0,56	0,36	0,322	0,119	150
Капля 2	0,52	0,32	0,297	0,127	173

Таким образом, внутреннее напряжение в капле Руперта, многократно превышает атмосферное давление. Для сравнения: предел прочности обычных отожженных стекол при сжатии составляет 500–2000 МПа (оконного стекла 900... 1000 МПа), а предел прочности стекла при растяжении составляет 35 – 100 МПа. Учитывая, что напряжение сжатия возникают на внешнем слое, а растяжения – на внутреннем, получается, что внешняя оболочка удерживает внутреннее давление, которое больше предела прочности и при разрушении внешнего слоя происходит взрыв.

Выводы

В ходе работы мы изготовили капли Руперта, провели испытания, доказывающие их необычайную прочность и в то же время хрупкость, оценили внутреннее давление, которое оказалось во много раз превосходящее атмосферное. Полученные данные сопоставимы с результатами, опубликованными в мировой литературе.

Принцип получения стеклянных капель, который мы представили в работе, лежит в основе создания закаленного стекла, которое используют в автотранспорте. Помимо повышенной прочности такое стекло имеет серьезное преимущество в безопасности: при повреждении оно разбивается на множество мелких кусочков с тупыми краями. Обычное же стекло разлетается на крупные острые осколки, которыми можно серьезно пораниться. Закаленное стекло в автомобильной промышленности используют для боковых и задних окон.

Лобовое стекло для автомобилей делают многослойным: два или более слоя склеивают полимерной пленкой, которая при ударе удерживает осколки и не дает им разлетаться.

Применение свойств данного стекла требует современная электроника для защиты в виде чехлов, пленок, что адаптирует смартфоны и планшеты будущего под современный ритм жизни.

Литература

1. *Aben H. On the extraordinary strength of Prince Rupert's drops // Appl. Phys. Lett.* 109, 231903 (2016).
2. Видеозадачи в лекционном курсе общей физики: термодинамика [Электронный ресурс]. URL: <http://izron.ru/articles/sovremenney-vzglyad-na-problemy-pedagogiki-i-psikhologii-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhduna/sektsiya-9-innovatsionnye-protsessy-i-informatsionnye-tehnologii-v-obrazovanii/videozadachi-v-lektsionnom-kurse-obshchey-fiziki-termodinamika/>

Вращение поляризации и деполяризация света в рассеивающих оптически активных средах

Иванов Андрей Вадимович
8 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель В.В. Иванов,
научный сотрудник ИФМ РАН,
кандидат физико-математических наук



Экспериментально исследовано влияние рассеяния света на результат измерения концентрации оптически активного вещества в растворе поляриметрическим методом. Найдено, что рассеяние в оптически активной среде не приводит к дополнительному повороту поляризации, то есть неискажает поляриметрические данные по меньшей мере до тех пор, пока мощность рассеянного неполяризованного излучения, попадающего на детектор, мала по сравнению с мощностью нерассеянного излучения. Обнаружена деполяризация света за счет рассеяния.

В настоящее время интенсивно развиваются методы оптической диагностики биологических тканей. Одной из актуальных проблем биомедицины является неинвазивное измерение содержания оптически активных веществ внутри живого человека. Для определения содержания глюкозы и других сахаров в растворе часто используется поляриметрический метод, основанный на измерении поворота поляризации света, проходящего через раствор. Однако для эффективного применения поляриметрического метода в неинвазивной биомедицинской диагностике необходимо исследовать влияние рассеяния света на измерение поворота поляризации, так как почти все биологические ткани и среды сильно рассеивают свет [2]. Ранее [1] обнаружено увеличение поворота поляризации за счет многократного рассеяния света и связанного с ним увеличения пути света в оптически активной среде. Был исследован водный раствор глюкозы, содержащий рассеивающие свет полистироловые сферы. В данной работе предпринята попытка проверить и уточнить данные [1] о влиянии рассеяния света на поворот поляризации на других образцах.

Мы экспериментально исследовали поворот поляризации света, прошедшего через эмульсию жидкого мыла в водном растворе оптически активного вещества – сахараозы. Экспериментальный стенд представляет собой (рис. 1) расположенные на оптической оси уста-

новки гелий-неоновый лазер, кювета с исследуемым раствором, поляризатор и измеритель мощности. Лазер излучает непрерывный линейно поляризованный свет с длиной волны 633 нм. Поляризатор расположен на управляемом компьютером поворотном столике и может вращаться на 360 градусов; ось вращения параллельна лазерному пучку. Линейно поляризованный свет лазера, проходя через кювету с исследуемым раствором и поляризатор, попадает на измеритель мощности. Излучение на выходе кюветы почти полностью линейно поляризовано, т.е. существует положение поляризатора, при котором мощность света на его выходе достигает минимума, а при повороте поляризатора на 90 градусов относительно этого положения – максимума. Приблизительно найдя минимум мощности, поворачиваем поляризатор в диапазоне ± 2.5 градусов вокруг него с шагом 0.5 градуса. На каждом шаге поляризатора мощность света на его выходе определяется измерителем мощности, результат передается в компьютер. Измерительная программа аппроксимирует полученную экспериментальную зависимость «ориентация поляризатора - мощность» в окрестности минимума параболой. Низшая точка этой параболы принимается за точный минимум (рис. 2). Далее поляризатор поворачивается на 90 градусов от точного минимума, и производится измерение мощности, прошедшей сквозь образец, в максимуме пропускания поляризатора. Это позволяет найти ослабление света из-за рассеяния и степень поляризации излучения. Программа сохраняет в файл ориентацию поляризатора, при котором достигается минимум мощности, значения минимума и максимума мощности, и экстинкцию, то есть отношение максимума к минимуму мощности, которая характеризует степень поляризации излучения. Этот цикл повторяется от 3 до 6 раз для каждого образца для точности и оценки случайной погрешности измерений.

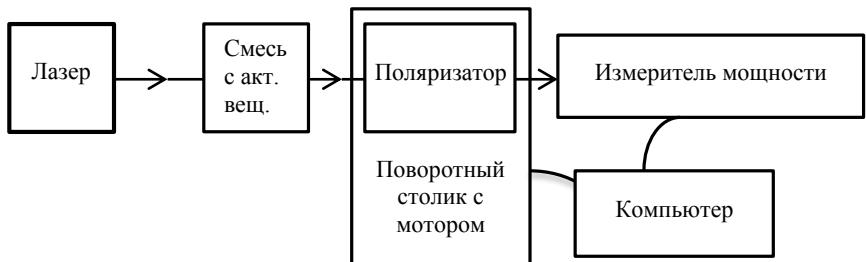


Рис. 1. Схема установки

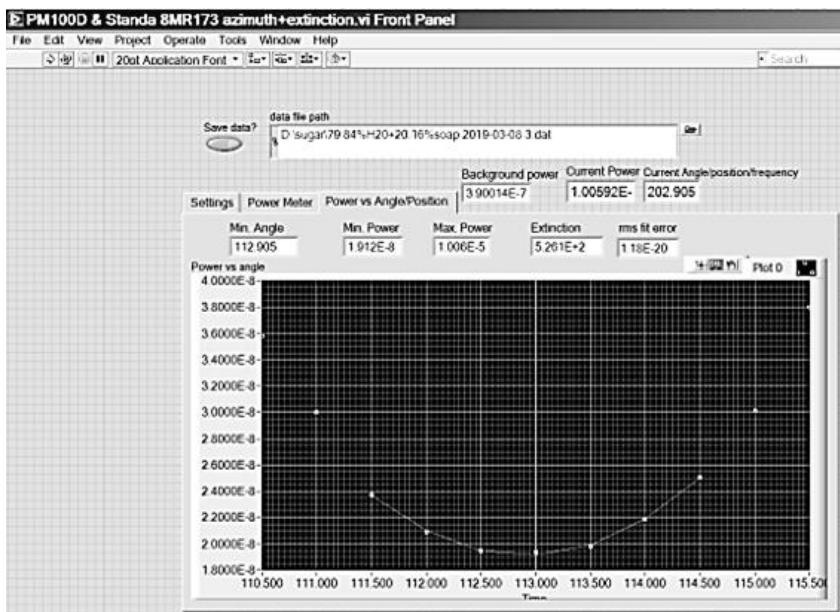


Рис. 2. Скриншот измерительной программы с графиком зависимости мощности от ориентации поляризатора. Красная линия – аппроксимация экспериментальных точек параболой

В начале каждой серии измерений производится измерение с дистиллированной водой в кювете. Положение поляризатора, при котором достигается минимум проходящей мощности для дистиллированной воды, принимается за нулевую точку α_0 . Далее в кювету помещается эмульсия из водного раствора сахарозы и жидкого мыла с известными массовыми долями всех составляющих. Сахароза поворачивает поляризацию света, поэтому положение минимума мощности на выходе поляризатора α отличается от α_0 . Поворот поляризации находим как $\theta = \alpha - \alpha_0$. Чтобы исключить возможный вклад жидкого мыла в поворот поляризации, проведено контрольное измерение вращения поляризации в эмульсии без добавления сахара. Найдено, что с точностью до случайных погрешностей измерения ± 0.1 градус жидкое мыло не вращает поляризацию проходящего света.

В работе проведено три серии измерений зависимости поворота поляризации от массовой доли сахарозы в растворе (рис. 3). Синяя линия на графике рисунка 3 получена для водного раствора сахарозы

без добавления жидкого мыла, то есть в отсутствие рассеяния. Сиреневая линия и точки – поворот поляризации в эмульсии жидкого мыла при коэффициенте рассеяния около 1 см^{-1} . В «синем» и «сиреневом» измерениях расстояние между образцом и измерителем мощности составило 1 м. При диаметре измерителя мощности 9 мм. в него попадают только рассеянные лучи с углом рассеяния не более $0.5 \times 9/1000 = 0.0045$ рад: доля рассеянного излучения, достигающего измерителя мощности, составляет $\pi \cdot 0.0045^2 / (4\pi) = 5 \times 10^{-6}$ от всего рассеянного излучения, если считать, что рассеяние происходит равномерно во всех направлениях. Тем не менее, сиреневая линия лежит выше синей, что позволило заподозрить вклад многократного рассеяния в поворот поляризации. Для проверки этого предположения было сделано третье измерение приблизительно с тем же коэффициентом рассеяния 1 см^{-1} , но при расстоянии от образца до измерителя мощности 30 см (желтые точки и линия на рис. 3). В этом измерении доля рассеянного излучения на измерителе мощности в 10 раз больше, чем в «сиреневом», но наклон зависимости «массовая доля сахарозы – поворот поляризации» меньше. По-видимому, разброс наклонов линий (рис. 3) связан со случайными погрешностями измерений. Попытка приблизить измеритель мощности еще ближе к образцу и увеличить тем самым долю рассеянного излучения на измерителе мощности привела к резкому увеличению шума, из-за чего ошибка нахождения минимума мощности рис. 2 стала недопустимо большой. Возможно, это связано с интерференцией нерассеянного пучка и рассеянного излучения.

В эксперименте наблюдалась сложная нелинейная зависимость коэффициента рассеяния от массовой доли компонента,

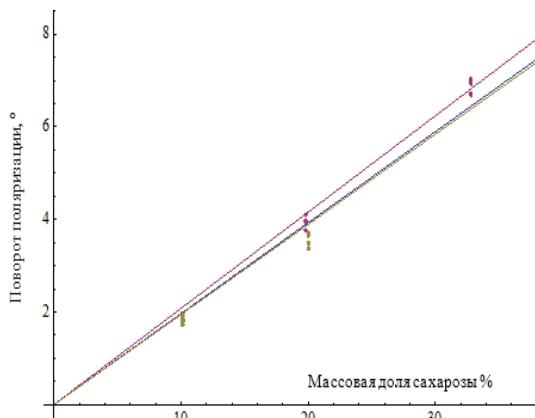


Рис. 3. Зависимость угла поворота поляризации от массовой доли сахарозы в отсутствие рассеяния (синий), и для коэффициента рассеяния 1 см^{-1} при расстоянии до измерителя мощности 1 м (сиреневый) и 30 см (желтый)

образующего водную эмульсию. Наблюдалась также частичная деполяризация прошедшего света: экстинкция падала почти линейно с уменьшением коэффициента прохождения через образец T от 4500 при $T = 0.1$ до 600 при $T = 0.006$.

Выводы

1. Рассеяние света в эмульсии из водного раствора сахарозы и жидкого мыла не влияет на результат измерения поворота поляризации до тех пор, пока мощность рассеянного неполяризованного излучения на измерителе мощности мала по сравнению с мощностью нерассеянного поляризованного пучка;
2. При мощности неполяризованного рассеянного излучения, сопоставимой с мощностью нерассеянного излучения, провести надежные измерения минимума мощности на выходе поляризатора не удалось. Для решения этой проблемы нужно исследовать характер шума и изменить способ нахождения минимума мощности.

Литература

1. *Cote D., Vitkin I.A.* Robust concentration determination of optically active molecules in turbid media with validated three-dimensional polarization sensitive Monte Carlo calculations. Opt. Express (2005) 13. С. 148 – 163.
2. *Tuchin V., Wang L., Zimnyakov D.* Optical Polarization in Biomedical Applications. Springer, 2006.

Исследование особенностей формирования проволочных соединений ультразвуковой сварки для задач микроэлектроники

Казанцев Георгий Викторович
10 класс, Лицей № 38, ШОИ ИПФ РАН
Научный руководитель Л.С. Ревин,
научный сотрудник ИФМ РАН



Исследованы проволочные соединения, сделанные с помощью ультразвуковой сварки. Изучены особенности и принцип работы микросварки. Рассчитаны сопротивления для коротких и длинных проволочных соединений. Проведены эксперименты по исследованию тока сгорания проволочных соединений в зависимости от температуры и давления.

Мобильные и компьютерные технологии прочно закрепились в любой сфере нашей деятельности и повседневной жизни. Большая часть научного мира работает в направлении оптимизации и совместимости электронных устройств. Каждую неделю появляются новые устройства, которые удивляют своими размерами и современной микроэлектроникой. Уменьшение размеров приводит к необходимости применения более совершенных материалов и технологий для создания комплектующих. В современное время ультразвуковая сварка – наиболее дешевый и точный метод создания прочных соединений в микроэлектронике.

Микроэлектронные интегральные схемы используются повсеместно: в обычной жизни, в условиях холода, разреженности воздуха, в космической отрасли. В наукоемкой сфере появляются новые задачи использования электроники в разных условиях, и для многих условий эта задача не решена.

В работе исследованы параметры прочности алюминиевых проводов, которые находились на плате (рис. 1). Проволочные соединения были сделаны с применением ультразвуковой сварки. На плате имелись проволочные соединения различной длины: 1.59 мм и 4.13 м. Их диаметр составлял 0.027 мм. Проволочные соединения были припаяны к микроконтактам на плате, которые выходили

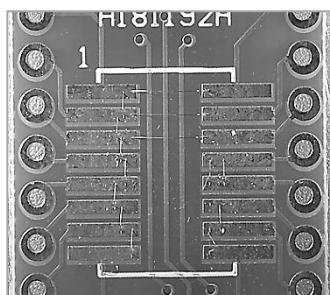


Рис. 1. Интегральная микросхема

на внешние соединительные провода. Они соединяли плату с источником тока.

Проведено два эксперимента с разными параметрами и конфигурациями установки. На проволочные соединения подавался ток от 0 А до 1 А. На графиках в реальном времени фиксировался момент сгорания проводов, то есть плавления вследствие нагрева.

В результате получены значения тока сгорания проводов различной длины для разных давлений. Они представлены на графике логарифмической шкалы, рисунок 2. К сожалению, нам не хватило экспериментальных образцов (длинных проволочных соединений с сопротивлением 0.2 Ом на интегральной плате) для проведения большего числа экспериментов. Поэтому получить зависимость тока сгорания от давления не удалось. Тем не менее, две крайние точки (при атмосферном давлении и среднем вакууме) дают возможность сделать некоторые выводы, насколько меняется электрическая прочность проводов. Как видно на графике, при снижении давления ток сгорания уменьшается, а значит, уменьшается прочность проволочных соединений. Данная зависимость объясняется тем, что при уменьшении давления теплообмен с воздухом уменьшается, и джоулев нагрев провода растет. Чем меньше давление, тем меньше ток сгорания, то есть меньше прочность соединений. Также было показано, что чем больше длина проводов (чем больше сопротивление), тем меньше ток сгорания.

Проведены исследования зависимости прочности проводов от температуры. Для этого эксперимента использовался сосуд Дьюара. Он предназначен для длительного хранения веществ при повышенной или пониженной температуре. В нашем случае хладагентом являлся жидкий азот, находящийся в Дьюаре при температуре 77 К. Для измерения температуры использовался прокалибранный термометр с измеренной нелинейной вольт-амперной характеристикой.

Для того чтобы максимально охладить интегральную плату, мы опустили ее в жидкий азот, а для того чтобы повысить температуру,

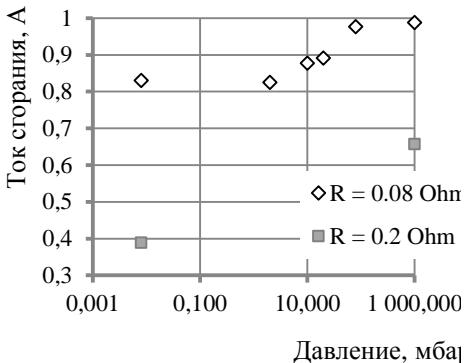


Рис. 2. Зависимость тока сгорания от давления при комнатной температуре

медный держатель закреплялся как можно выше над азотом. Далее в течение некоторого времени плата охлаждалась до определенной температуры. Затем подавался ток, равномерно увеличивающийся от 0 А до 1,4 А.

В ходе исследований тока сгорания проволочных соединений было замечено, что короткие провода сгорали в основном посередине. Сгорание провода вследствие нагрева происходило в точке с наименьшим теплообменом. Поскольку точки пайки проволочных соединений к контактным площадкам эффективно охлаждались не только через воздух, но и через теплообмен с металлом, «слабым местом» как раз и была центральная часть провода. На рисунке 3 представлены значения тока, при которых провод сгорает. Как видно из графика, чем меньше температура, тем больший ток может пропустить через себя провод. Это объясняется тем, что при уменьшении температуры окружающей среды проволочным соединениям требуется больше времени, чтобы достигнуть критической температуры, при которой рушится кристаллическая решетка (происходит плавление провода).

В ходе исследования были выполнены следующие задачи:

- изучен принцип работы ультразвуковой сварки. Получены зависимости тока сгорания от длины (сопротивления), температуры и давления;
- также было показано, что чем больше длина проводов (чем больше сопротивление), тем меньше ток сгорания.

Литература

1. Мендельсон К. Физика низких температур. – М.: ИЛ, 1963. – 277 с.
2. Панфилов Ю.В. Оборудование производства интегральных микросхем и промышленные роботы. – М.: Радиосвязь, 1988. – 320 с.
3. Рабай Жан М., Чандракасан Ананта, Николич Боривож. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования = Digital Integrated Circuits. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 912 с.

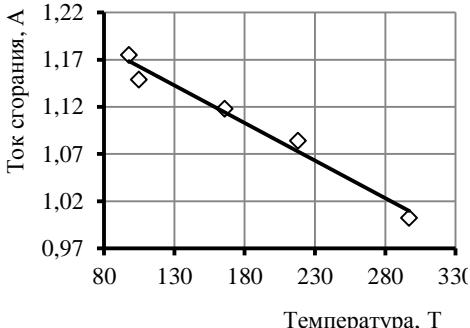


Рис. 3. Зависимость тока сгорания от температуры при атмосферном давлении

Исследование возбуждения волн на поверхности воды каплями дождя

Копьева Анна Олеговна

10 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель М.С. Рябкова,
стажер-исследователь ИПФ РАН



Данные дистанционного зондирования океана важны для метеорологии и судоходства: они дают возможность оперативно определять скорость ветра и высоту волн в океане. Однако все стандартные алгоритмы обработки спутниковых данных дают значительную ошибку при работе в условиях дождя. В работе изучен процесс возбуждения кольцевых волн на невозмущенной водной поверхности каплями воды. В ходе эксперимента капли генерировались клапаном, время открытия клапана определяет диаметр капли, волнение измерялось двухструнным волнографом. Оказалось, что высота волны от капли больше, чем от твердого тела сходного диаметра.

Существующие алгоритмы дистанционного определения скорости ветра в океане и высоты волн дают значительную ошибку в условиях дождя. Вопрос об определении интенсивности дождя по данным дистанционного зондирования, а также о влиянии дождя на взволнованную водную поверхность начали исследовать недавно. Эксперименты в этой области, как следующие за ранее проведенными работами, так и принципиально новые, важны для понимания проблемы.

Проводится ряд исследований [2, 4, 5], основная цель которых – определение зависимости коэффициента перехода между кинетической энергией капли и энергией волны от высоты, с которой падает капля, и ее размеров. Это продолжается работой, посвященной определению зависимости энергии волны от высоты падения и размеров капли. Также мы проверили, можно ли использовать формулы для расчета падения твердого тела [2] для капель воды.

Для капель диаметром от 1 до 6 мм справедливо утверждение, что в целом их поведение при падении совпадает с поведением твердых шариков с тем же радиусом и плотностью [1]. При столкновении, соответственно, твердого тела с жидкостью оно образует в жидкой среде полость с вертикальной осью симметрии, которая под влиянием гидростатического давления начинает схлопываться, что приводит к отсечке стенками жидкости воздушной полости. Энергия, потерянная в ходе данного процесса, компенсируется за счет умень-

шения потенциальной энергии ближайших молекул воды, что придает волнам форму кольца.

Энергию E серии кольцевых волн, порожденных падением капли, можно вычислить по формуле [3, с. 225]:

$$E = \rho g (H_s)^2 \pi r^2, \quad (1)$$

зная их значительную высоту (среднюю высоту трех высочайших волн) H_s и начальный радиус r (то есть радиус капли), плотность воды ρ и ускорение свободного падения g . Во время эксперимента капли генерировались клапаном, а волнение измерялось двухструнным волнографом. В данной работе были экспериментально определены значения высоты и энергии волн от капель разных диаметров, падающих с разных высот.

В используемой нами установке (рис.1), сделанной в 2016 году в ШЮИ Д.А. Ковалевым [4], капли генерируются с помощью клапана Airtac 2V025. H – высота падения капли, R – расстояние от места падения капли до волнографа. Клапаном можно управлять с компьютера с помощью программы Dropplet, время открытия клапана определяет размер получающейся капли. В прошлой работе [5] было проведено несколько серий измерений объема и скорости капли для разных времен открытия клапана.

Из капельницы, установленной на некоторой высоте (H) над водой, запускались серии из 15 – 20 капель разного диаметра. В нижней

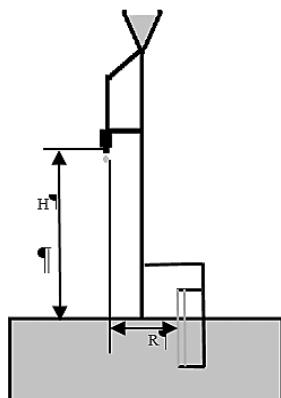


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

части штатива, внутри поставленного в его основание контейнера с водой, помещался волнограф. Пока капля падала в воду и от нее начинали расходиться волны, он фиксировал изменение уровня воды, менявшего сопротивление при-

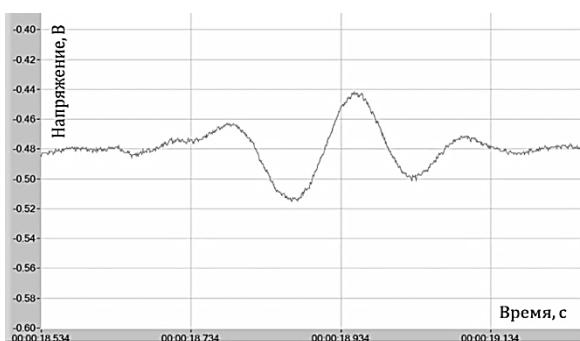


Рис. 2. Осциллографический график волны

бора, что приводило к изменению напряжения, наблюдаемому и записываемому нами на компьютере (рис. 2).

Зная коэффициент пересчета между напряжением на волнографе и уровнем воды, мы рассчитывали по этому изменению значительную высоту волн от данной капли через дисперсию (2,3) и их энергию (1) (табл. 1, 2):

$$Var(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2, \quad (2)$$

$$H_s = 4\sqrt{Var} [2], \quad (3)$$

где Var – дисперсия, x_i – значение высоты в точке на графике осциллографа, n – количество этих точек в записи, H_s – значительная высота волн, в данном случае это и их средняя высота по серии.

Таблица 1. H_s в зависимости от высоты падения для разных диаметров, мм

D, мм\\H, см	64,8	81,6	90,6	96,7	100	110,5	115	120,5	125	130,5	135
4,4	5,98	6,97	6,22	5,91	7,35	8,78	8,71	7,01	7,92	5,79	10,06
4,6	7,05	7,11	6,66	6,71	7,59	10,46	8,55	7,70	8,90	8,13	10,12
5,1	7,63	7,28	7,63	7,78	9,66	8,65	9,83	9,39	8,33	9,24	9,58

Таблица 2. E в зависимости от высоты падения и диаметра, мкДж

D, мм\\H, см	64,8	81,6	90,6	96,7	100	110,5	115	120,5	125	130,5	135
4,4	0,18	0,24	0,19	0,17	0,26	0,29	0,29	0,19	0,24	0,13	0,38
4,6	0,29	0,29	0,26	0,26	0,33	0,48	0,32	0,26	0,35	0,29	0,45
5,1	0,36	0,32	0,36	0,37	0,57	0,46	0,59	0,54	0,424	0,52	0,56

В экспериментах стандартное отклонение значений высоты волны от средней по всем измерениям колеблется в пределах от 15 до 20 % (рис. 3) для энергии (то есть 35 – 50%) и для коэффициента перехода, который является глобальной целью нашей работы (соответственно, 40 – 75%). На рисунке 3 пред-

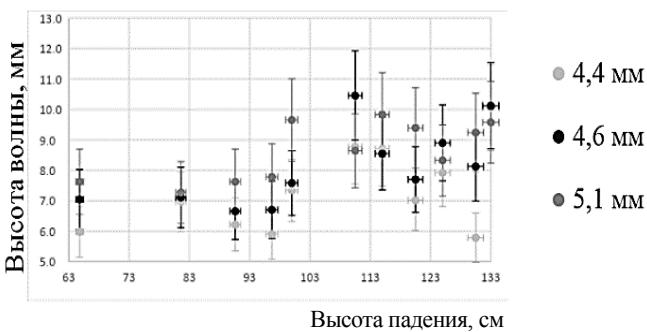


Рис. 3. Зависимость высоты волны от высоты падения капли

ставлена зависимость энергии волны от высоты падения и диаметра капли с учетом погрешности измерений.

Мы оценили коэффициент перехода энергии падающей капли в энергию волны, возбужденной ее падением в воду, на основе прошлой работы [5]. Он принимает значение от $3 \cdot 10^{-6}$ до $11 \cdot 10^{-6}$ и зависит от диаметра капли. Исследования показали, что значения высоты и энергии волны от капли воды (учитывая погрешность) оказались больше, чем для твердых тел сходных размеров. Согласно работе [2], твердое тело диаметром 7 мм, падающее с высоты 137 см, возбуждает волну высотой 4,2 мм, а для высоты 96,7 см при таком же диаметре – 2,6 мм с учетом угасания с расстоянием. Различие между результатами работы по возбуждению волны твердым телом и каплей можно объяснить тем, что капли и твердые тела в экспериментах имели разные диаметры и разную форму.

Поскольку погрешность определения полученных значений велика, следующей задачей будет увеличить точность измерений, что позволит уточнить значение коэффициента перехода энергии между каплей и волной от нее. Также требует дополнительного исследования вопрос о различии между возбуждением кольцевых волн падающим твердым телом и каплей того же диаметра.

Литература

1. Гегузин Я.Е. Капля. – М: Наука, 1973. – 11 с.
2. Дмитричева А.А. Исследование кольцевых волн на воде от упавшего твердого тела // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 11. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2018. С. 51 – 54.
3. Егоров Н.И. Физическая океанография. – Л: Гидрометеоиздат, 1974. С. 215 – 225.
4. Ковалдов Д.А. Моделирование установки для создания дождя и расчет ее характеристик // Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 9. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2016. С. 82 – 86.
5. Копьева А.О. Установление зависимости кинетической энергии капли дождя от ее диаметра и высоты падения // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 11. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2018. С. 93 – 97.

Исследование распространения коротких лазерных импульсов в различных средах

Кочаровский Денис Владимирович
11 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель А.В. Афанасьев,
научный сотрудник ИПФ РАН



С помощью экспериментальной установки, использующей фемтосекундные лазерные импульсы и включающей линию задержки их прихода, проведено измерение показателя преломления различных материалов, в том числе с нановключениями. Разработана численная программа, которая позволяет характеризовать искажение фемтосекундных импульсов, возникающее при их распространении в диспергирующей среде. Она создана на основе анализа спектра второй гармоники излучения, генерируемого в результате взаимодействия фемтосекундных импульсов с нелинейным кристаллом.

Материалы с включениями наночастиц проявляют уникальные физические свойства и оказываются полезными для многих практических приложений [1 – 3]. Такие материалы уже начинают применяться в современных бытовых устройствах (например, мониторы на квантовых точках), и данная область науки и техники стремительно развивается. Для создания более совершенных устройств электроники, фотоники и медицины необходима разработка новых материалов, содержащих различные наночастицы, например, наночастицы благородных металлов. Для ряда проектируемых устройств необходимо размещать такие частицы в определенной области исходно однородного материала, создавая тем самым материал с нановключениями.

Проблема – на стадии изготовленияnanostructured materials требуется быстрая диагностика среды путём измерения тех или иных макроскопических параметров. При этом невозможно использование ряда хорошо известных методов тонких исследований среды (таких как электронная микроскопия или рассеяние рентгеновских лучей), которые являются весьма затратными и долгими. Вместе с тем взаимосвязь микропараметров и макропараметров среды для таких материалов является еще не до конца изученной и представляет значительный интерес. Поэтому желательна разработка более оперативных методов измерения различных параметров nanostructured materials, прежде всего оптических.

Цель работы – реализовать метод измерения показателя преломления среды с использованием фемтосекундных импульсов и разработать численную программу, позволяющую судить о пространственно-временной форме и частотном спектре фемтосекундных импульсов по спектру излучения второй гармоники, возникающей при их нелинейном смещении на кристалле с квадратичной нелинейностью.

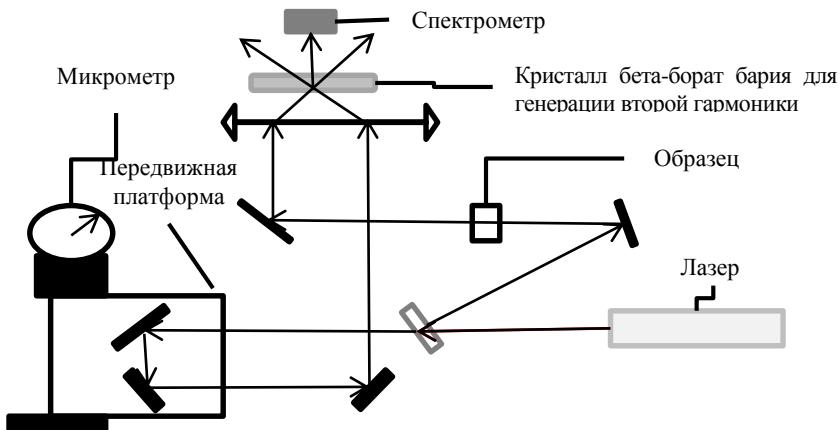


Рис. 1. Схема измерения показателя преломления, включающая фемтосекундный лазер, измеряемый образец, линию задержки, нелинейный кристалл ВВО и спектрометр

Среди методов определения показателя преломления наиболее оперативным представляется реализованный метод, основанный на измерении времени запаздывания фемтосекундного импульса при помещении на его пути исследуемого образца в схеме (рис. 1). Короткий лазерный импульс является световой «пулей», то есть имеет малую протяженность в пространстве (в нашем случае примерно 30 мкм). Установливая пластину из исследуемого материала на пути луча, можно зафиксировать запаздывание прошедшего импульса при помощи линии задержки в схеме совпадения прихода импульсов, которая содержит нелинейный элемент, генерирующий вторую гармонику (ГВГ) излучения при одновременном действии двух фемтосекундных импульсов [4 – 6]. Это запаздывание связано с различием скоростей распространения света в среде, имеющей показатель преломления n , и в воздухе, где $n=1$. Из указанных измерений, зная толщину образца d , можно вычислить показатель преломления образца и оценить точность проведённых измерений (оказавшуюся

$\sim 0,3\%$). Зная по сигналу ГВГ изменение положения зеркал линии задержки $\Delta L = d(n - 1)/2$, находим искомый показатель преломления $n = (2\Delta L / d) + 1$. Типичные результаты наших измерений для ряда исследованных материалов приведены в таблице.

Таблица. Результаты измерения для ряда исследовательских материалов

Материал	Положение микрометра в момент ГВГ	До $\frac{1}{2}$ max, микрона	После $\frac{1}{2}$ max, микрона	Толщина d, микрона	Показатель преломления n
Воздух	80	71	88	-	1
Оргстекло ДОС1	654	645	663	2402	1,478
Образец AuPPh ₃ до термообработки	473	465	481	1598	1,492
Образец AuPPh ₃ после термообработки	395	386	405	1299	1,485
Халькогенидное стекло As ₄₀ S ₁₀ Se ₅₀	671	663	681	646	2,830

С использованием компьютерного пакета программ Mathematica написана программа для моделирования спектрально-динамических свойств импульсов, позволяющая сопоставлять форму и спектр исходного импульса со спектром излучения второй гармоники, возникающего на нелинейном кристалле при подаче на него двух фемтосекундных импульсов с определённой временной задержкой. Программа осуществляет:

- 1) аппроксимацию спектра импульса, измеренного спектрометром, при помощи нескольких функций Гаусса (пример грубой аппроксимации двумя функциями Гаусса приведён на рис. 2);
- 2) восстановление временной формы импульса с помощью преобразования Фурье (рис. 2);
- 3) вычисление амплитуды огибающей импульса по его известной интенсивности;
- 4) вычисление формы импульса второй гармоники, получаемого путём нелинейного смешения двух сигналов – одного с задержкой и другого без неё;

5) построение динамического (по переменной, задаваемой временем задержки) спектра импульса смешения сигналов с помощью преобразования Фурье по указанной переменной.

Одним из преимуществ определения спектра и формы фемтосекундного импульса при помощи спектра излучения второй гармоники является фактическое исключение из него вклада несинхронизированных мод лазера. Их непрерывное излучение неизбежно присутствует между фемтосекундными импульсами, создаваемыми только синхронизированными модами, но практически не влияет на

спектр генерации второй гармоники из-за очень малой интенсивности. Вводя различные времена задержки в разработанную схему моделирования, можно построить частотно-временной портрет импульса на второй гармонике и сравнить его с полученным экспериментально излучением второй гармоники при соответствующих временах задержки. На основе данной программы можно также рассчитать расплывание фемтосекундного импульса при прохождении образца с линейной дисперсией показателя преломления и оценить вносимую ей погрешность измерения показателя преломления использованным методом.

Выводы

В работе с помощью удобного и быстрого метода, базирующегося на использовании фемтосекундных импульсов, были определены оптические показатели преломления новых соединений на основе органического стекла, халькогенидного стекла и материалов с золотыми нановключениями, а также оценена точность сделанных изме-

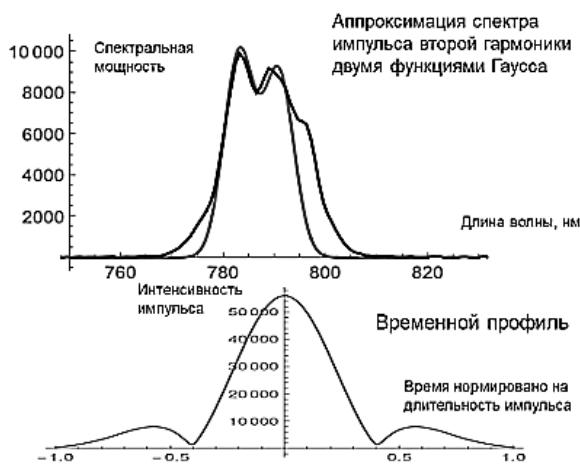


Рис. 2. Пример работы программы, позволяющей найти временной профиль интенсивности исходного фемтосекундного импульса по аппроксимации формы измеренного спектра излучения его второй гармоники, получающегося на выходе нелинейного кристалла

рений. Для исследованных ранее материалов измерения дали значения, совпадающие с известными. Была написана программа в среде Mathematica для сопоставления формы и спектра фемтосекундных импульсов со спектром излучения второй гармоники, получающегося при смешении двух фемтосекундных импульсов на нелинейном кристалле при различных временах задержки их прихода. Использование этой программы может позволить снизить погрешность измерения показателя преломления рассмотренным в работе методом, а также исследовать искажение фемтосекундных импульсов при их распространении в диспергирующих или нелинейных средах.

Литература

1. *Bityurin N., Alexandrov A., Afanasiev A., Agareva N., Piknlin A., Sapogova N., Soustov L., Salomatina E., Gorshkova E., Tsverova N., Smirnova L.* Photoinduced nanocomposites – creation, modification, linear and nonlinear optical properties // Appl. Phys. A, V. 112. 2013. P. 135 – 138.
2. *Novotny L., Hetet B.* Principles of Nano-Optics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
3. *Афанасьев А.В., Александров А.П., Мочалова А.Е., Агарева Н.А., Сапогова Н.В., Смирнова Л.А., Битюрин Н.М.* Индуцированное ультрафиолетовым излучением изменение оптических свойств диэлектриков в инфракрасном диапазоне // Оптический журнал. Т. 8. 2011. С. 90 – 99.
4. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн: учебное пособие для физических специальностей вузов. – М.: Наука, 1990. – 432 с.
5. *Ландсберг Г.С.* Оптика. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
6. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Наука, 1986. – 752 с.

Исследование параметрического резонанса в системе комбинированных маятников

Лебедев Евгений Игоревич

9 класс, Лицей № 40, ШПОИ ИПФ РАН

Научный руководитель О.Ю. Кузнецов,
учитель физики МБОУ Школа № 113



Исследовано явление параметрического резонанса системы комбинированных маятников. Как пример такого резонанса взято увеличение амплитуды колебаний нитяного маятника. Экспериментально определено такое соотношение параметров системы, при которых происходит резонанс. Проведены расчёты соотношений параметров на основании теоретических данных. Сравнение расчётов с практикой выявило их верность.

Параметрические колебания – колебания, происходящие в системе за счет периодического изменения тех параметров системы, которые определяют величину запасенной колебательной энергии [2]. В установке, используемой в нашем случае, изменяется величина l , расстояние от центра масс груза до точки крепления нити или пружины к штативу. При $v_1 = \frac{2v_2}{A}$, где $A \in N$, v_1 – частота вертикальных колебаний, v_2 – частота горизонтальных колебаний, происходит увеличение амплитуды горизонтальных колебаний. Наиболее сильная раскачка будет происходить при $v_1 = 2v_2$. Причём изначально горизонтальные колебания могут отсутствовать и раскачиваться из-за наличия малых отклонений маятника от положения равновесия вследствие случайных взаимодействий с окружающей средой [2]. Это увеличение и есть параметрический резонанс.

Для его исследования использовали установку из штатива и подвешенного к нему груза на связанные нити и пружине (рис. 1). Эксперимент проводился следующим образом. Грузик оттягивался на некоторое расстояние вниз для растягивания пружины и отпускался. Далее следили за тем, будут ли вертикальные колебания переходить в горизонтальные. Если колебания не переходили, то писали минус, если переходили – плюс. Проделали те же действия

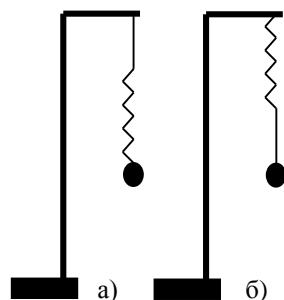


Рис. 1. Схемы установки

при отклонении грузика вбок, а не вниз, записывая все параметры системы. Затем повторили эксперимент с другой длиной нити.

Изменения величины l – колебания пружинного маятника. Если частота колебаний по горизонтали, то есть частота нитяного маятника кратная удвоенной частоте пружинного маятника, то амплитуда колебаний нитяного маятника должна возрастать, и происходит резонанс. Каждому моменту нахождения ниже точки равновесия груза пружинного маятника соответствует момент нахождения выше неё. В среднем на протяжении всех колебаний получается, что груз находится в точке равновесия, и тогда средняя длина пружинного маятника в течение всех его колебаний равна его длине в состоянии покоя. Частоту колебаний по горизонтали можно рассчитать по формуле $\nu_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$ [4], а по вертикали $\nu_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ [4], где m – масса груза, подвешенного к штативу, k – жёсткость пружины, используемой при проведении опыта. Запишем условие резонанса:

$$\begin{cases} 2\nu_2 = A\nu_1 \\ A \in N \end{cases}$$

Из этого и формул (1), (2) получаем:

$$\begin{cases} \frac{4mg}{kA^2} = l \\ A \in N \end{cases}$$

Расчёт по этому равенству производился при $A=1$:

$$l = \frac{4mg}{k}$$

Для схемы б) произведено лишь два эксперимента. Так как они проводились для проверки того, будет ли меняться величина l при изменении схемы установки, сразу же выбиралось то расстояние, при котором в схеме а) резонанс уже наблюдался, и после первых двух экспериментов стало очевидно, что ничего не меняется.

Таблица. Сравнение результатов теории и практики

k , Н/м	m , кг	l теор., м	l эксп., м Схема а) установки	l эксп., м Схема б) установки
2,1	0,032	0,6	$0,55\text{м} \leq l \leq 0,67\text{м}$	$l = 0,6$
7,64	0,1	0,51	$0,51\text{м} \leq l \leq 0,545\text{м}$	$0,5 \text{ м} \leq l \leq 0,54 \text{ м}$
6,64	0,032	0,2	$0,185\text{м} \leq l \leq 0,235\text{м}$	Эксперимента нет

Выходы

Доказано, что расстояние от точки крепления до центра масс маятника при его колебаниях по горизонтали и вертикали можно считать в среднем равным этому расстоянию, когда маятник в состоянии покоя, так как формула нахождения величины l , выведенная при этом допущении, работает.

От перемены мест пружины и нити в установке величина l , при которой наступает резонанс, не меняется.

Формулу $l = \frac{4mg}{k}$ можно использовать для расчёта величины l .

Литература

1. Колебания и волны [Электронный ресурс] // Энциклопедия кругосвет: сайт. URL: <https://www.krugosvet.ru/enc/fizika/kolebaniya-i-volny> (дата обращения 09.03.2019).
2. Параметрические колебания. Параметрический резонанс [Электронный ресурс] // Студопедия: сайт. URL: <https://studopedia.info/1-67585.html> (дата обращения 09.03.2019).
3. Резонанс [Электронный ресурс] // Физическая энциклопедия: сайт. URL: http://femto.com.ua/articles/part_2/3354.html (дата обращения 24.03.2019)
4. Физика. 11 класс: учебник для общеобразовательных учреждений базовый и профильный уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин; под ред. В.И. Николаева, Н.А. Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2010. – 65 с.

Создание модели захвата робототехнического комплекса с новой технологией очуствления

Марьевичев Николай Евгеньевич
10 класс, Школа № 49, Нижний Новгород
Научный руководитель И.Е. Никифорова,
учитель физики МАОУ Школа № 49



Исследована одна из проблем робототехники, а именно – проблема выскальзывания. До сих пор не созданы дешёвые и качественные датчики для манипуляторов, позволяющие с высокой точностью регистрировать выскальзывание предмета из захватного устройства робота. Собрана экспериментальная установка, которая позволила доказать возможность реализации предложенного в работе решения.

Почему манипуляторы используются не так часто в повседневной жизни, а применяются преимущественно на предприятиях? Ведь использование подобного оборудования было бы удобно, например, в магазинах для быстрого и качественного раскладывания товара по полкам. Однако создать такой же совершенный механизм для манипуляций над предметами, как человеческая рука, не так уж просто. Первое поколение промышленных роботов не способно было даже регистрировать взятие предмета в захватное устройство, так как для этого нужны были специальные датчики. Второе поколение уже обладало такими датчиками и даже десятком других, если в них была необходимость. Третье поколение роботов-манипуляторов тоже имело ряд преимуществ над предыдущими, но спустя пятьдесят лет «эволюции» роботов-манипуляторов всё-таки остались уязвимости, из-за которых использование данных механизмы ограничено.

Одной из таких уязвимостей является проблема выскальзывания предмета, которая характеризуется невозможностью зарегистрировать его выскальзывание из захвата устройства манипулятора. Решение этой проблемы является основополагающим для дальнейшего развития роботов-манипуляторов.

Цель работы – создание нового способа очувствления робот-манипулятора до момента, когда последний будет способен зарегистрировать выскальзывание взятого в захватное устройство предмета.

Для создания действующей модели был разработан захват робототехнического комплекса в 3D-редакторе (рис. 1). С помощью 3D-принтера, использующего технологию FDM (англ. *Fused deposition modeling* – моделирование методом послойного наплавления) модель была распечатана. Схема электронной части модели состояла из платы Arduino Nano v.3 с чипом AtmelMega 328P, электрического двигателя (коллекторный двигатель с элементами редуктора), датчика касания (кнопка с двумя выходами и одним входом), универсальной вилки с контролем выходного напряжения, микросхемы TCST-2103 и других радиодеталей. Для подвижности модели использованы направляющие для шкафов, для крепости – болты, шайбы, гайки (рис. 2). В качестве датчика регистрации выскальзывания использованы валик и фотоворот (плата TCST-2103). Технология фотоворот ранее использовалась в механических компьютерных мышках. Составные части фотоворот – излучатель инфракрасного излучения, приёмник такого излучения и диск с прорезями, расположенный между источником и приёмником.

В процессе выскальзывания предмета из захватного устройства манипулятора валик вращается. Энергия вращения переносится с валика на редуктор (шестерни), а впоследствии на диск с прорезями, который уже непосредственно участвует в технологии фотоворот (рис. 3, 4). С помощью аналогового порта на плате

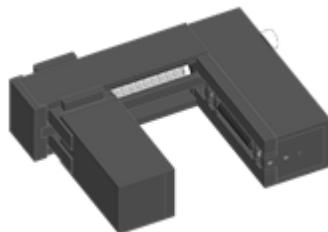


Рис. 1. Модель в 3D-редакторе



Рис. 2. Получившаяся модель

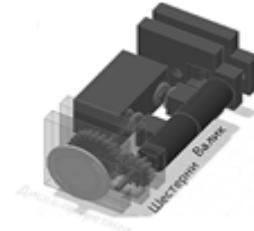


Рис. 3. Механизм датчика выскальзывания

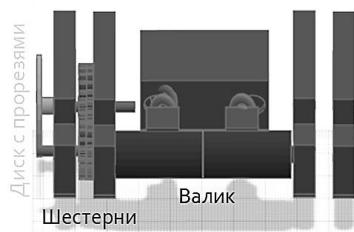


Рис. 4. Механизм датчика выскальзывания с другого ракурса

Arduino Nano можно регистрировать данные, поступающие с фотоворот и делать выводы о выскальзывании предмета.

Для работы модели было написано программное обеспечение в среде программирования Arduino IDE. Модель имеет следующий рабочий цикл: запуск, схватывание предмета. В случае отсутствия предмета модель переходит в начальное состояние, и цикл начинается заново. Когда предмет схвачен, загорается информирующий об этом зелёный светодиод. Начинается регистрация данных с датчика выскальзывания. В процессе выскальзывания предмета горит малый красный светодиод. В случае если время горения красного светодиода доходит до 1000 мс, модель информирует одновременным миганием красного и зелёного диодов. Тем самым она сообщает, что было зарегистрировано выскальзывание предмета, что и требовалось в итоге достигнуть. Далее модель отпускает объект манипуляций, и цикл повторяется сначала.

Таким образом, цель была достигнута. Реализованная идея может использоваться практически везде, где уже применяются манипуляторы. Робот сможет определить, какую примерно силу нужно использовать, чтобы поднять предмет, попытавшись сделать это сначала у земли, задействуя минимум усилий, а в дальнейших попытках всё больше. Можно будет применять данную технологию в протезировании, так как установка протезов рук/ног с данной технологией облегчит психологическую травму пациента от потери конечности посредством увеличения чувствительности протеза. Эта технология пригодится во всех средах, где фигурируют опасные для человека среды.

В планы на будущее входит усовершенствование созданной модели, доработка данного способа регистрации выскальзывания предмета и нахождение новых методов для достижения поставленной цели посредством внедрения ультразвукового и фоточувствительного датчика, которые будут объединены в единый комплекс с уже имеющимися.

Литература

1. Булгаков А.Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 486 с.
2. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. для вузов по специальности «Роботы и робототехнические системы». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 478 с.
3. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие. – СПб: Лань, 2012. – 605 с.

Создание соленоида с длинным участком однородного магнитного поля

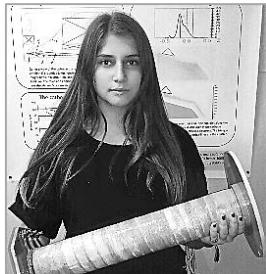
Розенталь Сусанна Романовна

10 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель М.В. Морозкин,

научный сотрудник ИПФ РАН,

кандидат физико-математических наук



Для эксперимента по получению «волн-убийц» в гиротронах (мощных источниках СВЧ-излучения) необходим соленоид с длинным участком однородного магнитного поля. В ходе работы было выполнено моделирование соленоида с неравномерной обмоткой и проводящей вставкой, за счет чего неоднородность поля снижена более чем на порядок. Разрабатываемый соленоид в дальнейшем будет использован для генерации случайных последовательностей гигантских импульсов («волн-убийц») в диапазоне 33 ГГц.

Недавно в Институте прикладной физики РАН была теоретически доказана возможность генерации в источниках СВЧ-излучения гиротронов «волн-убийц» – ультракоротких импульсов с пиковой мощностью, существенно превосходящей среднюю мощность электронного потока [2]. Источником излучения в гиротроне является электронный пучок, врачающийся в магнитном поле, которое создает соленоид. Распределение индукции магнитного поля, созданного стандартным соленоидом (с равномерной обмоткой), сильно неоднородно вдоль оси: величина магнитной индукции максимальна в центре и падает при приближении к краю соленоида. Но, так как появление сверхмощных импульсов в гиротронах носит случайный характер, даже незначительное изменение индукции магнитного поля соленоида может привести к существенному (в несколько раз) падению мощности генерируемых «волн-убийц». Поэтому соленоид с равномерной обмоткой оказывается малоэффективен при генерации «волн-убийц». Следовательно, необходимо создать такой соленоид, который будет иметь более длинный «рабочий» участок поля, чем соленоид с равномерной обмоткой, неоднородность поля на котором будет укладываться в допустимые пределы.

Цель работы – разработка и изготовление соленоида, создающего магнитное поле с индукцией до 1.2 Тл и неоднородностью не более 0.1% на участке длиной 20 – 25 см. Соленоид, созданный в ходе работы, позволит реализовать в гиротроне режим случайной генерации «волн-убийц», пиковая мощность которых в 5-6 раз превышает среднюю мощность электронного пучка и достигает 45кВт.

На первом этапе работы на языке PascalABC.NET была написана программа расчета поля соленоида. С ее помощью было вычислено, что неоднородность поля соленоида с равномерной обмоткой на необходимом нам участке длиной 25 см составляет 1.9%, что на порядок превышает допустимые значения.

Если разредить обмотку в центре соленоида, то и магнитная индукция на этом участке уменьшится, значит, снизится неоднородность поля. С помощью программы, написанной нами на языке PascalABC.NET, были найдены такие значения длины участка соленоида с разреженной обмоткой и плотности обмотки на этом участке, при которых неоднородность магнитного поля минимальна и составляет 0.11 %.

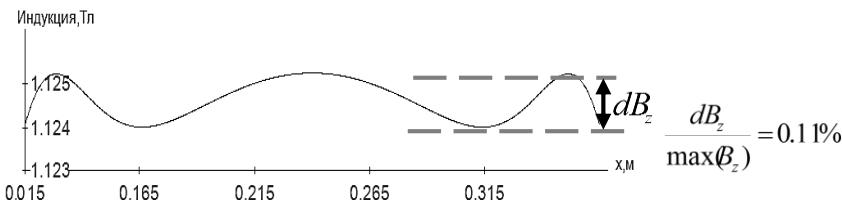


Рис. 1. Поле соленоида с равномерной обмоткой

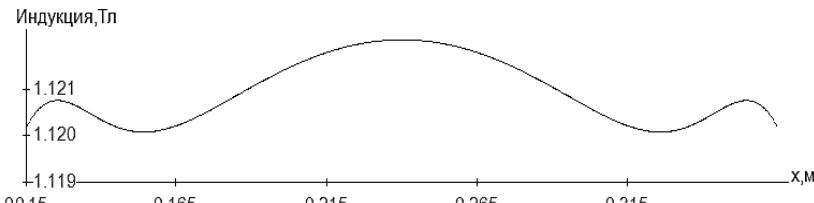


Рис. 2. Поле соленоида с дробным числом витков – «идеальная» модель

Однако такой соленоид сложно изготовить, так как он будет иметь нецелое число витков намотки. Кроме этого, если сделать соленоид с целым числом витков, его поле не будет симметричным, что может

привести к снижению эффективности генерации «волн-убийц». Соленоид с наиболее близкими к «идеальным» значениями длины неоднородного участка и плотности обмотки на нем, число витков в котором целое на всех участках, имеет неоднородность поля 0.18%.

Для эффективной генерации сверхмощных «волн-убийц» необходимо, чтобы неоднородность не превышала 0.1 %. Гиротрон, используемый в экспериментальной установке, работает в импульсном режиме, соответственно, на соленоид подается импульс тока. Если в такой соленоид поместить вставку из проводящего материала, то в ней под действием ЭДС самоиндукции возникают вихревые токи (токи Фуко), которые по правилу Ленца направлены таким образом, что стремятся ослабить ток в обмотке соленоида. Этот эффект дает дополнительные возможности для корректировки поля соленоида.

Моделирование поля соленоида с неравномерной обмоткой и проводящей вставкой выполнялось в программе инженерного решения задач методом конечных элементов ELCUT [1].

Моделируя вставки разной толщины, мы построили график зависимости величины ослабления поля (%) от толщины вставки (мм). С помощью этой зависимости был синтезирован профиль вставки, необходимый для снижения неоднородности поля соленоида с неравномерной обмоткой. Соленоид с неравномерной обмоткой и данной вставкой, работающий в импульсном режиме, имеет неоднородность поля 0.1%.

Но в действительности технически сложно выточить длинную вставку толщиной в несколько миллиметров. Было добавлено 2 «технических» миллиметра по всей толщине вставки, которые практически не изменяют конечную форму поля, но значительно упрощают изготовление вставки. Итоговая неоднородность поля соленоида с неравномерной обмоткой и вставкой составляет 0.11% (рис. 8). Этого достаточно для эффективной генерации «волн-убийц» в гиротронах.

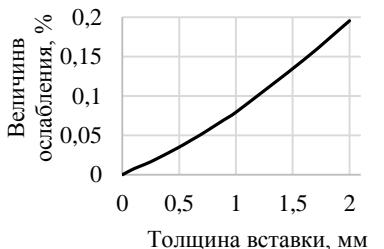


Рис. 4. График зависимости величины ослабления поля (%) от толщины проводящей вставки

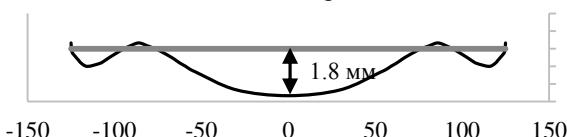


Рис. 5. Небходимый профиль вставки

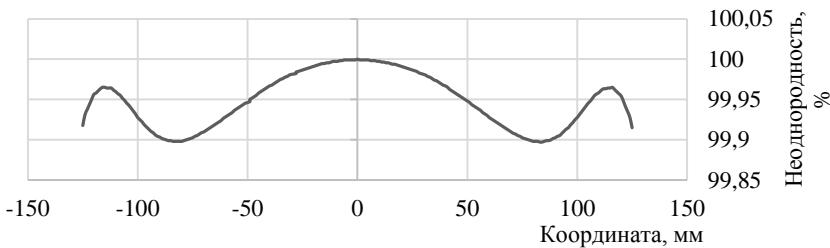


Рис. 6. Поле соленоида с неоднородной обмоткой и проводящей вставкой

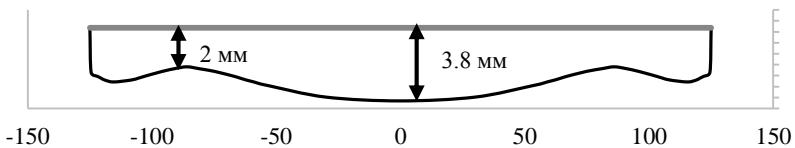


Рис. 7. Профиль вставки с учетом технических возможностей

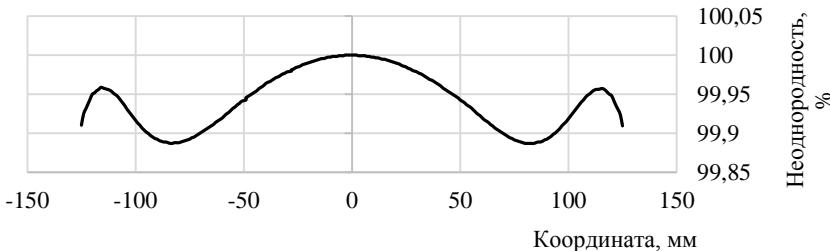


Рис. 8. Поле соленоида с неравномерной обмоткой и проводящей вставкой с учетом технических возможностей

Результаты моделирования показали, что в соленоиде с неравномерной обмоткой и проводящей вставкой возможно создание магнитного поля, которое будет иметь неоднородность не более 0.1 % на участке 25 см. Дальнейшими целями работы будут изготовление этого соленоида и экспериментальное определение длины высокодендронного участка магнитного поля в нем.

Литература

1. ELCUT. Моделирование электромагнитных тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. – СПб: ООО Топр.
2. Ginzburg N.S, et al. Generation of Rogue Waves in Girotrons Operating in the Regime of Developed Turbulence // Phys. Rev. Lett., 2017, v. 119.

Изучение свойств замерзающей воды и проектирование устойчивой к разрывам трубы

Сполохов Данила Рудольфович

8 класс, Школа № 117, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.В. Чалова,

студентка НГПУ им. К. Минина



Исследованы свойства изменения объёма воды при нагревании и замерзании. Разработаны и проверены экспериментами возможные варианты устойчивой к разрывам трубы, которые при дальнейшей оптимизации можно использовать в быту.

В зимний период во время наступления отрицательных температур возникает проблема расширения твёрдой воды в различных емкостях. Часто вода разрывает трубы, что приводит к большим потерям жидкости и необходимости ремонта системы водоснабжения. Проблема разрыва труб решается их заглублением на глубину – ниже промерзания земли (глубина промерзания грунта различна для каждого региона и регулируется СНиП) – или утеплением труб, что не всегда возможно. Поэтому необходимо решить проблему прокладывания водных коммуникаций без углубления и утепления.

Цель работы – установление причин разрыва труб и разработка возможных вариантов устойчивых к разрыву.

В начале эксперимента нашли линейное расширение воды при нагревании от +4°C до +100°C. Было проведено три эксперимента с разными экспериментальными установками. Когда вода достигла +38°C, треснуло основание мерного стакана, эксперимент пришлось остановить. Установка оказалась нерабочей, и в дальнейшем была применена другая, в которой этот эксперимент провели до +90 °C. Вода увеличилась на 4 мл с 1 литра за период с +20 до +90°C. В третьем опыте объём воды увеличился на 4 мл с +20°C до +100°C. Рассматривалось линейное расширение в диапазоне от +4°C до +100°C. Эксперимент показал изменение объёма воды в жидком состоянии при изменении температуры на 90°C составляет 2,68%.

Чтобы узнать, на сколько вода будет расширяться при охлаждении, было проведено несколько экспериментов с резиновыми шариками, в которые наливали воду. Во время проведения опыта на улице было достаточно холодно, чтобы вода замерзла за несколько дней.

Таблица 1. Изменение объема при охлаждении до -10 °C

Процесс \ Образец	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Объем до охлаждения, мм ³	190	228	228	380
Объем после охлаждения, мм ³	200	268	275	413
Изменение объема	10	40	47	33
Изменение объема, %	5	18	21	9

Первый опыт по заморозке воды с разными объемами проводился 7 суток, температура окружающей среды была около -10°C. В среднем объем воды в первом опыте увеличился на 12,7%.

Второй опыт также проводился с шариками, но в них уже было приблизительно одинаковое количество воды до заморозки, она различалась буквально на ±13,4 см. Все эти шарики пролежали одинаковое время при одной температуре -20±10 °C.

Таблица 2. Изменение объема при охлаждении до -10 °C

Процесс \ Образец	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Объем до охлаждения, мм ³	186,6	206,7	206,7	213,4	213,4	213,4
Объем после охлаждения, мм ³	213,4	233,5	240,2	233,5	233,5	240,2
Изменение объема	26,8	26,8	33,5	20,1	20,1	26,8
Изменение объема, %	14	13	17	9	9	13

Из этого опыта следует, что объем воды увеличился на 13%.

Было принято решение развивать работу в инженерном направлении, разрабатывая план трубы, которая будет деформироваться без разрывов на поверхности.

Трубы были в таких же условиях, что и шарики. С одной стороны трубы припаяна затычка из ПВХ. С другой стороны наливалась вода с некоторым материалом внутри и закрывалась корковой пробкой, она достаточно хорошо держалась в трубке. Взято три варианта трубы. Первый вариант представлял из себя трубку, в которой по всей длине расположен гофрированный полиэтилен с пузырьками воздуха, имитирующий гофрированный шланг с воздухом внутри. Он

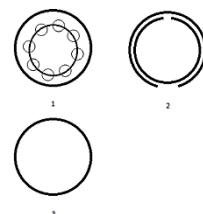


Рис. 1. Исследуемые варианты труб

был использован из-за того, что воздух сжимаем, при этом пропускная способность трубы уменьшилась на 13%, чтобы компенсировать расширение замерзающей воды. Второй вариант – трубка, разрезанная по длине, одевалась на другую разрезанную трубу. Этот вариант оказался не герметичным, и он протекал на концах из-за того, что внутренний разрез был плохо закрыт. Третий вариант – трубка без дополнительных материалов, наполненная водой.

Первые два опыта не дали действительных результатов, но стало ясно, что варианты трубок с расширяющимся механизмом и содержащие полости с воздухом внутри лучше подходят для деформации изнутри. Третий опыт самый удачный: в трубе с расширяющимся механизмом пробку выдавило на 6 мм там, где не было расширяющегося механизма, а где не было плёнки – на 12 мм. Там, где были воздушные полости из полиэтиленовой плёнки, пробки вообще не выдавило.

Фактор расширения жидкости при нагревании до температуры ниже температуры кипения является несущественным, а наличие в трубе воздуха позволяет его полностью скомпенсировать. В ходе работы был найден один из вариантов, позволяющих учесть этот фактор расширения жидкости и предотвратить такого рода механическое повреждение водопровода.

Литература

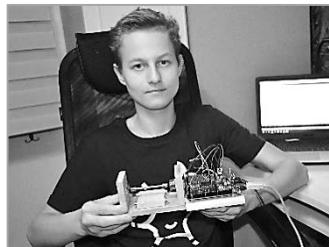
1. *Варламов С.Д.* Тепловые свойства воды // Квант. 2002, № 3. С. 12.
2. *Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А.* Химия. Для школьников старших классов и поступающих в вузы. – М.: Изд-во МГУ, 2008 – 480с.
3. *Реми Г.Н.* Курс неорганической химии. Т. 1. Пер. с нем. – М.: ИИЛ, 1963. – 922 с.

Разработка бесконтактной системы контроля положения левитирующих тел в пространстве

Шагалов Никита Алексеевич

9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.А. Романов,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Работа посвящена созданию системы управления положением тел в пространстве, левитирующих в магнитном поле. Разработанная система состоит из четырех постоянных неодимовых магнитов в основании и двух на левитирующем теле, а управляющий электромагнит закреплен рядом с ним. Для достижения динамической устойчивости системы и контроля положения левитирующего тела предлагается эффективный алгоритм управления напряжением электромагнита на основе временного анализа перемещения левитирующего тела в пространстве.

Магнитная левитация – это технология подъема объектов с помощью магнитного поля. Несмотря на то что магнитную левитацию изучают уже более 100 лет, а активно на протяжении 50 лет, интерес к данной теме только возрастает [2, 3]. Это связано с созданием в будущем высокоэффективных транспортных систем, основанных на магнитной левитации. В медицине на базе бесконтактного перемещения тел в пространстве возможно производить неинвазивное лечение, доставляя лекарственные препараты в нужную область организма. Реализовать эти идеи позволяют активные магнитные системы. Они представляют собой катушки с током, такие как электромагниты или соленоиды. Изменяя ток внутри катушек, меняем величину магнитной индукции. На этом свойстве основывается работа различных магнитных систем. На их базе можно создавать системы левитации тел, а также возможно управление левитирующими телами. Проблема заключается в обеспечении стабильности левитирующих систем.

Цель работы – разработать систему управления положением левитирующих тел в пространстве.

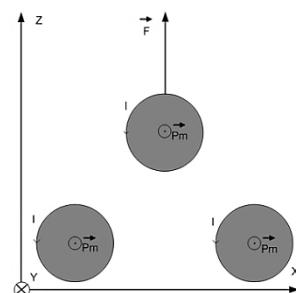


Рис. 1. Взаимодействие
3-х сонаправленных
магнитных диполей

Работа в области магнитной левитации ведется нами уже два года. В прошлом году мы рассмотрели взаимодействия магнитных диполей, находящихся в одной плоскости [3, 4]. Сонаправленные магнитные диполи отталкиваются, а противоположно направленные притягиваются. Мы выяснили, что на основе отталкивания сонаправленных магнитов можно добиться левитации [7]. Для этого необходимо использовать три магнита: два закреплены в основании и один сверху над магнитами основания, находящийся в одной плоскости с ними (рис. 1). На основе данной системы были рассмотрены силы, действующие на левитирующий магнит [1]. Со стороны магнитов основания на него действует сила, направленная вверх вдоль оси Z, но, если магнит сместится из плоскости, на него начнут действовать сила вдоль оси Y и врачающий момент, стремящийся перевернуть его. Это впоследствии приведет к падению левитирующего магнита, где \vec{F} – сила, действующая на левитирующий магнит со стороны магнитов основания; $\vec{P_m}$ – магнитный момент; l – сила тока.

Мы решили усовершенствовать данную систему и создали новую, состоящую из четырех закрепленных магнитов в основании и двух магнитов на левитирующем теле (рис. 2). Особенность полученной системы в том, что для левитирующего тела требуется дополнительная опора в стенку [6].

Для данной системы был проведен численный расчет энергии взаимодействия магнита левитирующей оси с магнитами основания системы по осям Y, Z и X. Если рассмотреть график по оси Y, то можем заметить отсутствие устойчивой потенциальной ямы (рис. 3а). Этим объясняется, почему для левитирующего тела требуется дополнительная опора в стенку. По графикам осей Z и X можем заметить, что система устойчива при расстоянии между магнитами основания по оси X от трех до пяти сантиметров (рис. 3б, в).

Мы решили обеспечить левитацией уже созданную систему. Отличительной особенностью полученной системы является то, что левитирующее тело больше не будет нуждаться в дополнительной опоре в стенку, а будет удерживаться с помощью магнитного поля (рис. 4).

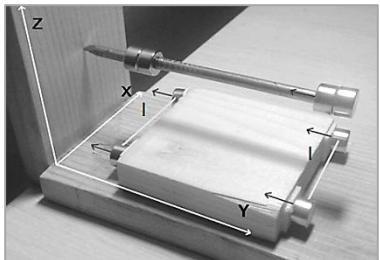


Рис. 2. Система левитирующих магнитов

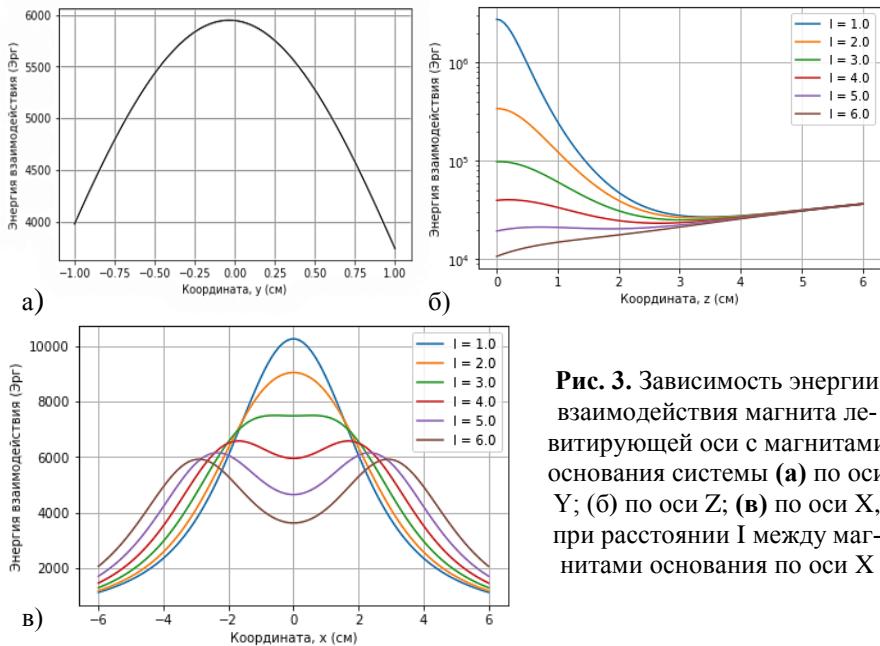


Рис. 3. Зависимость энергии взаимодействия магнита левитирующей оси с магнитами основания системы (а) по оси Y; (б) по оси Z; (в) по оси X, при расстоянии I между магнитами основания по оси X

Для этого использовали активные магнитные системы, представителем которых является электромагнит. Он располагается на одной линии с левитирующим телом. На электромагнит можно подавать напряжение от 0 до 5 Вольт. С его помощью можно управлять левитирующим телом, обеспечивая стабильную левитацию. Чтобы подавать напряжение на электромагнит, нужно знать, с какой силой магниты основания действуют на магниты левитирующего тела вдоль оси Y. При подаче напряжения на электромагнит появляется сила $F_{el.mag}$, зависящая от напряжения в катушке и от расстояния между магнитом левитирующего тела и электромагнитом. В итоге получаем общую формулу, в которой F_y зависит от силы, действующей при движении тела αy , и от силы, которая влияет со стороны электромагнита:

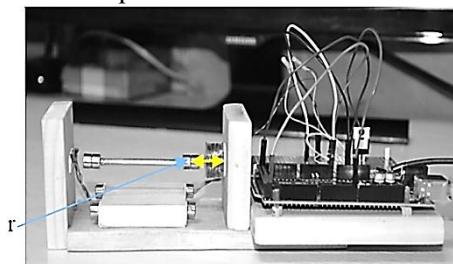


Рис. 4. Система управления левитирующим телом

$$F_y = \alpha y + F_{el.mag}(U; r). \quad (1)$$

Если сила электромагнита будет равна нулю, левитирующее тело выйдет из устойчивого положения. Это объясняется неустойчивостью системы по оси Y (рис. 3а).

Мы можем управлять напряжением U , значит, можем создавать необходимую для устойчивости силу $F_{el.mag}$. Следовательно, у нас появилась возможность изменять её. Так как сила позволяет обеспечить устойчивость системы, она должна быть равна члену $-by$, где b – коэффициент, больший по сравнению с коэффициентом α . Коэффициент $-by$ – это сила, возвращающая тело в изначальное положение.

Система будет работать так, что если тело сдвигается от равновесной точки, то включается электромагнит, который с помощью притягивания возвращает тело обратно в равновесную точку. В таком случае имеем, что система будет раскачивать левитирующее тело. С каждым включением электромагнита амплитуда колебаний тела увеличивается. Система должна гасить эти колебания. Для этого необходимо, чтобы сила $F_{el.mag}$ равнялась $-by - cv_y$, где член $-cv_y$ – это сила, зависящая от скорости движения левитирующего тела вдоль оси Y. Коэффициенты b и c подбирались экспериментальным путем по достижении устойчивости системы.

$$F_y = \alpha y - by - cv_y. \quad (2)$$

Данную формулу тоже можно преобразовать, записав зависимость от напряжения, откуда можно выразить напряжение. Именно такое напряжение мы подаем на электромагнит.

$$U = \frac{r^4(by + cv_y)}{6SNPm_{obj}}. \quad (3)$$

где r – расстояние между электромагнитом и магнитом левитирующей системы, см; S – сечение витков проволоки в электромагните, см^2 ; N – количество витков в электромагните; Pm_{obj} – магнитный момент постоянного неодимового магнита, Эрг.

После создания системы были проведены эксперименты. Мы исследовали устойчивость системы при наклоне оси Y. Левитирующее тело теряет устойчивость при наклоне системы на семь и более градусов по часовой стрелке, относительно рис. 4. Также тело теряет устойчивость при наклоне системы на пятнадцать градусов и более против часовой стрелки. Различие значений максимальных отклонений оси Y отличается чуть более чем в два

раза. Это объясняется тем, что электромагнит работает на притягивание магнита левитирующей оси. При наклоне системы против часовой стрелки, увеличивается проекция вектора силы тяжести на ось Y. Программа управления, написанная для системы, не предусматривала обеспечение устойчивости системы, находящейся под действием силы тяжести. Левитирующее тело стремится упасть влево, а электромагнит создает большее магнитное поле, с большей силой притягивая левитирующую ось. Но этого недостаточно для обеспечения устойчивости системы, находящейся под действием силы тяжести. Электромагнит не способен отталкивать тело, следовательно, быстро теряется устойчивость при наклоне системы по часовой стрелке, по причине отсутствия силы, противодействующей движению левитирующего тела.

Выводы

В ходе исследования была выявлена высокая практическая значимость работы. На основе активных магнитных систем можно реализовать магнитную левитацию. Её можно использовать в создании эффективного транспорта. Также возможно производить неинвазивное лечение, доставляя лекарственные препараты в нужную область организма. Была разработана и создана система управления левитирующими телами, проведены эксперименты с ней, выявлены её достоинства и недостатки. Собранная система управления послужит выявлению более эффективных и совершенных левитирующих магнитных систем.

В результате работы мы сравнили две сделанные нами системы: стационарной левитации магнитных тел и управляемой левитирующими тел. Управляемая система левитирующих тел способна перемещать левитирующие тела в пространстве, но она обладает малой устойчивостью. При этом стационарная система левитации тел является более устойчивой, но требует дополнительную опору в стенку, что является существенным недостатком. Каждая из систем имеет свои полезные свойства. Так, стационарная система левитации магнитных тел лучше подойдет там, где требуется обеспечение стабильной или пассивной левитации, например, магнитные амортизаторы. Управляемая система левитирующих тел лучше подойдет для таких систем, где требуется производить различные манипуляции с телами в пространстве. Представителями таких систем являются, например, поезда на магнитной подушке (маглев).

Литература

1. *Zheng X.J., Wu J.J., Zhou Y-H.* Effect of spring non-linearity on dynamic stability of a controlled maglev vehicle and its guideway system // *J Sound Vib* 279, 2005. P. 201 – 215.
2. Изменяемое тяготение // Юный Техник, 2017, № 6. – 79 с.
3. *Ландсберг С.Г.* Элементарный учебник физики. Т. 2. – М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 1984. – 486 с.
4. *Мартыненко Ю.Г.* О проблемах левитации тел в силовых полях // Соросовский образовательный журнал, 1996, № 3. С. 82.
5. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики Электричество. Т. 3. – М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004. – 656 с.
6. *Шагалов Н.А.* Исследование взаимодействия магнитных диполей // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 11. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2018. С. 128 – 133.
7. Эксперименты с магнитами // Юный техник. 2017, № 9. – 80 с.

Определение дисперсии ультразвука в различных материалах

Шагалова Анна Андреевна

8 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

**Научный руководитель Д.А. Собгайда,
младший научный сотрудник ИПФ РАН**



Были созданы два магнитострикционных излучателя с различными собственными частотами колебаний, которые являлись источниками ультразвуковых волн. Оценена скорость распространения ультразвуковых волн в намагниченном ферритовом стержне. Удалось получить фигуры Хладни на квадратных и круглых пластинах различных материалов и толщины. Для круглых пластин определена дисперсия ультразвука, теоретические данные сравнены с экспериментальными.

Ультразвук активно используется в медицине и технике, в частности в диагностике и в эхолокации. Эти приложения основаны на особенностях распространения ультразвуковых волн в различных материалах. Поэтому изучение этого физического явления актуально.

Цель работы – исследовать особенности распространения ультразвуковых волн в некоторых твердых материалах.

Фигуры, образуемые скоплением мелких частиц вблизи пучностей или узловых линий на поверхности упругой колеблющейся пластинки, являются наглядным примером стоячих волн. Такие фигуры называются фигурами Хладни.

Стоячая волна – это две волны, которые накладываются друг на друга, создавая новую: с измененной амплитудой, но лишенной распространения. Точки стоячей волны, которые колеблются с наибольшей амплитудой, называются пучностями, а те, которые не колеблются – узлами. Стоячая волна возникает, когда волна отражается от какой-либо границы. В нашем эксперименте это края фигур.

Для получения ультразвука мы собрали магнитострикционный излучатель, который состоит из ферритового стержня, катушки (по ней протекает ток, от которого зависит мощность акустических колебаний), постоянных магнитов и источника Agilent 33250A, позволяющего контролировать его частоту. Ферритовый стержень поддерживается в намагниченном состоянии магнитом, а переменный ток, протекающий через катушку со стержнем, поочередно уменьшает и увеличивает намагничивание стержня. Электрические коле-

бания преобразовываются в акустические. Происходят сильные колебания. Бегущая волна в стержне отражается от края и бежит по всему стержню. У нас получается две волны. При определенных частотах на стержне укладывается целое число полуволн, и отраженная волна конструктивно складывается с бегущей. Такие частоты отвечают собственным модам продольных колебаний в стержне. В эксперименте мы возбуждали основную моду (с наименьшей частотой), для которой в точке закрепления стержня (в середине) наблюдается узел колебаний. В феррите скорость распространения продольных звуковых колебаний не зависит от частоты. Для нее верна следующая формула: $c = 2fl$, где c – скорость звука, f – частота основной моды колебаний стержня, l – длина стержня.

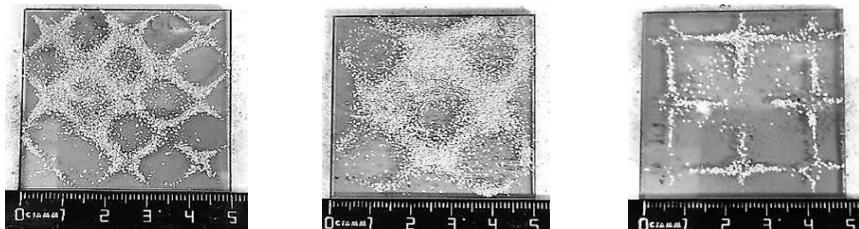
Для получения ультразвука с разными частотами для данного излучателя мы взяли несколько ферритовых стержней: 99,5 мм (частота ультразвука для данного стержня 28 кГц); 63 мм (43,99 кГц); 160 мм (17, 36 кГц).

Второй излучатель работает по такому же принципу. Для данного излучателя мы взяли стержень длиной 46 мм (частота ультразвука для данного стержня 58 кГц).

Из четырех частот для соответствующих длин стержня можно оценить скорость распространения продольных звуковых колебаний по формуле $c = 2fl$, где c - скорость звука, f – частота основной моды колебаний стержня, l - длина стержня. Подставляя значения частот, получим, что скорость звука в образце $\sim 5,5$ км/с.

С другой стороны, скорость звука описывается формулой $c = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$ [1, с. 22], где k – модуль упругости, ρ – плотность среды. Известно, что плотность феррита $\sim 4,7$ г/см³, отсюда можно получить величину модуля упругости феррита $k \sim 14.2 \times 10^{10}$ дин/см².

Касаясь стержнем, подключенным к генератору, пластины, мы наблюдали следующую картину: хаотично разбросанный песок начинал образовывать различные узоры. Линии узора соответствуют узловым линиям на поверхности колеблющейся среды. Наблюдавшие нами фигуры Хладни отвечают собственным колебаниям поверхности пластины. С другой стороны, частота колебаний стержня фиксированная и определяется его длиной. Поэтому наблюдения фигур Хладни возможны в двух случаях: либо частота колебаний стержня близка к частоте колебаний пластины, либо кратна.



а) полученные на фильтре
ОД 03 со стержнем 160
мм в центре пластины

б) полученные на фильтре
ОД 03 со стержнем
160 мм в углу пластины

в) полученные на фильтре
ОД 03 со стержнем 99,5 мм
в центре пластины

Рис. 3. Фигуры Хладни

Из теории следует, что для собственных колебаний симметричной квадратной пластины узловые линии должны пересекаться. С другой стороны, на фото (рис. 3в) можно увидеть, что линии песка почти пересекаются. Это «почти пересечение» связано с нарушением симметрии фигуры в результате приложения к ней колеблющегося стержня.

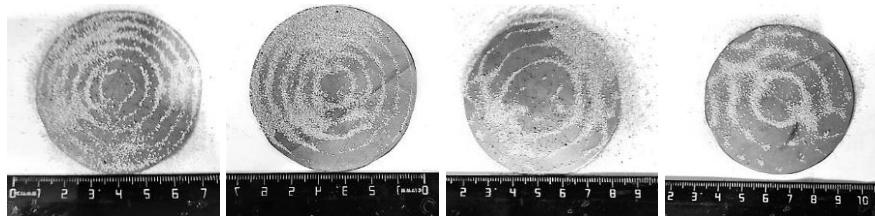


Рис. 4. Фигуры, полученные на пластине из текстолита, фольгированного
меди, с различным стержнем

В круглой пластинке, помимо рассмотренных ранее собственных колебаний, отвечающих фигурам Хладни, возможна также другая ситуация. Приложенный к центру пластины стержень является источником расходящихся ультразвуковых волн, которые отражаются от границ пластины и складываются. Это приводит к образованию картин, состоящих из концентрических окружностей.

Концентрические окружности отвечают узлам стоячей волны. Волна отражается от границы с сохранением фазы, край пластины отвечает пучности, поэтому первый узел будет

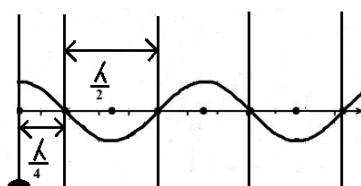


Рис. 5. Схема стоячей волны
в круглой пластинке

стоять от границы на расстоянии $\frac{\lambda}{4}$. Между последующими узлами расстояние будет $\frac{\lambda}{2}$.

Мы построили графики зависимости длины волны от частоты ультразвука, сравнив экспериментальные данные с теоретическими. Формула, по которой определяется дисперсия в теории: $\lambda_i \sim \frac{1}{\sqrt{f}}$ [3, с. 85]. Графики практически совпали.

Мы взяли круглый пластиковый диск и получили результаты аналогичные предыдущему. Построили графики зависимости длины волны от частоты ультразвука, также сравнив экспериментальные данные с теоретическими. Графики снова почти совпали.

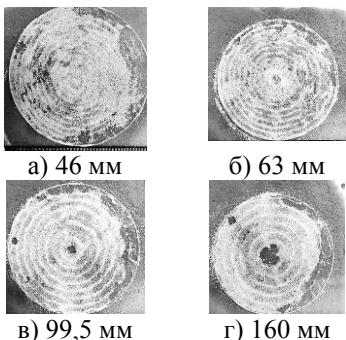


Рис. 7. Фигуры, полученные на пластиковом диске со стержнем

Мы смогли измерить зависимость длины волны изгибной волны от частоты только в фигурах, полученных на пластинах круглой формы, так как на данный момент численный анализ собственных мод пластин других форм не представляется выполнимой задачей.

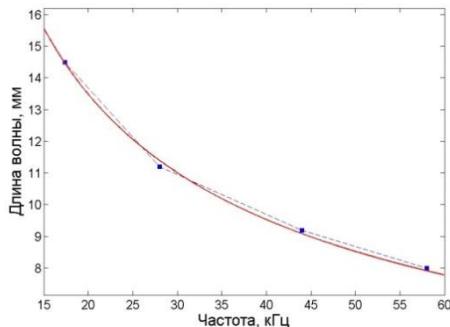


Рис. 6. График зависимости длины изгибной волны от частоты УЗ колебаний в фольгированном текстолите круглой формы

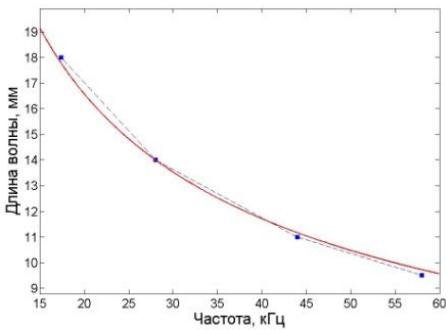


Рис. 8. График зависимости длины изгибной волны от частоты УЗ колебаний в пластиковом диске

Выходы

Мы собрали два ультразвуковых излучателя, измерили зависимость длины волны от частоты ультразвука в круглых пластинах. Оказалось, что скорость распространения изгибных волн пропорциональна квадратному корню из частоты колебаний, что согласуется с теоретической формулой. Изучили стоячие волны и их возбуждение. В перспективах определить дисперсию в квадратных пластинах, улучшить излучатели для большего удобства измерений, а также установить зависимость скорости распространения ультразвука в одних и тех же материалах от толщины пластины.

Литература

1. *Донат Б.* Звуковые фигуры Хладни // Физика в играх [Электронный ресурс]. URL: <http://uchifiziku.ru/2012/11/13/zvukovoye-figury-xladni>.
2. Магнитострикционные свойства ферритов [Электронный ресурс]. URL: <http://radiopolus.ru/article/299-magnitostrikzionnye-svojstva-ferritov>.
3. *Майер В.В.* Простые опыты с ультразвуком. – М.: Наука, 1978. – 160 с.
4. *Оликевич А.А., Котов Р.О., Жилин Д.М.* Язык дельфинов. Опыты с ультразвуком в домашних условиях. – М.: ООО «Научные развлечения», 2009.

Исследование прозрачных объектов с помощью эффекта Тальбота

Яковлев Михаил Иванович
10 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель И.В. Кузьмин,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Изучена теория эффекта Тальбота и проверен образец, имеющий периодическую фазовую решетку. Проведен эксперимент с исследуемым прозрачным образцом при использовании периодической фазовой решетки. Экспериментально показано преимущество фазовой маски над амплитудной. В установке по наблюдению фазовых искажений необходимо использовать более высокие порядки Тальбота. Оптическая схема с двумя проходами имеет более высокую чувствительность к фазовым искажениям.

В эффекте саморепродукции (самовоспроизведения), открытом Генри Тальботом в 1836 году, дифракция коллинированного пучка когерентного излучения на фазовой или амплитудной периодической структуре (решетке) воспроизводит на определенных расстояниях ее изображение. Изображение возникает «само собой», без каких-либо оптических систем, поэтому эффект Тальбота называют эффектом самовоспроизведения. Положение плоскостей самовоспроизведения определяется формулой:

$$z_m = \frac{2d^2}{\lambda} m, \quad (1)$$

где d – период структуры, λ – длина волны излучения, m – целое число. Ось z перпендикулярна плоскости структуры. Плоские волны разных пространственных частот u_n при распространении через промежуток свободного пространства z приобретают разные набеги фаз:

$$\varphi_n = k_z z = \sqrt{k^2 - u_n^2} z = kz - \frac{z}{2k} u_n^2 = kz - \frac{z}{2k} u_0^2 n^2, \quad (2)$$

где k_z – проекция волнового вектора на ось z , $u_0 = 2\pi/d$. Разность фазовых набегов для двух любых плоских волн с пространственными частотами $u_n = nu_0$ и $u_l = lu_0$ равна:

$$\Delta\varphi_{nl} = \frac{z}{2k} (l^2 - n^2) u_0^2 = \pi(l^2 - n^2) \frac{\lambda z}{d^2}. \quad (3)$$

Для самовоспроизведения изображения нужны расстояния, для которых величины $\Delta\varphi_{nl}$ кратны 2π для любых плоских волн в суперпозиции, то есть когда для любых l и n выполняется равенство $\Delta\varphi_{nl} = 2\pi q$, где q – целое число. Таким образом, из (3) следует выражение (1) для расстояния Тальбота.

Для исследования прозрачных объектов была создана установка (рис. 1).

В качестве источника излучения использовался лазер 1 средней мощностью 25 мВт на длине волны 1054 нм. Далее находился расширяющий телескоп 2, образованный линзами с фокусными расстояниями 54 мм и 170 мм. После телескопа излучение проходило через периодический объект 3 (набор фазовых микро-кружков или амплитудная сетка), попадая на цифровую камеру 6.

Ниже приведены фотографии использованных в экспериментах амплитудной и фазовой масок (рис. 2а, б). Фазовая маска представляет собой массив кругов диаметром 290 мкм и высотой 250 нм. Приведены различные дифракционные картины от фазовой маски внутри одного расстояния Тальбота (рис. 2в – д).

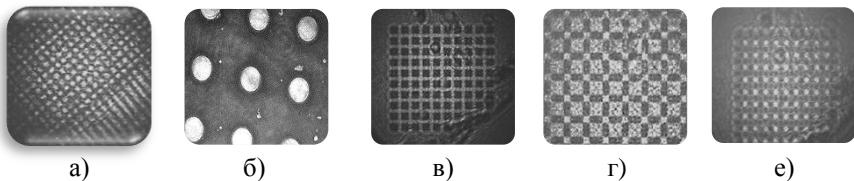


Рис. 2. Изображения амплитудной маски (а), фазовой (б) и дифракционные картины внутри одного расстояния Тальбота для фазовой маски (в – д)

В качестве опорного изображения была выбрана интерференционная картина в виде черных квадратов (рис. 2в), далее наблюдалась саморепродукция этой интерференционной картины через каждые 20 см, что полностью подтверждало эффект Тальбота. Для фазовой и амплитудной масок был проведен эксперимент по исследованию расстояния Тальбота (L) разных порядков (m) от расходимости пучка излучения, падающего на маску. Расходимость изменялась путем смещения положения (x) выходной линзы телескопа 2 (рис. 1). Приведены результаты этих экспериментов для фазовой и амплитудных масок (рис. 3). Из рисунка 3б следует, что с увеличением величины x растет разница между расстояниями Тальбота различных порядков из-за увеличения расходимости пучка после телескопа. Наличие экстремумов связано с тем, что изначально телескоп был настроен в сторону уменьшения размера пучка. При изменении положения выходной линзы сначала достигается

положение идеальной настройки, а затем расходимость монотонно увеличивается. Идеальная настройка телескопа соответствует равным расстояниям Тальбота. Таким образом, при использовании данного эффекта в фазочувствительном приборе необходимо использовать более высокие порядки Тальбота и более коротковолновое лазерное излучение для повышения расстояния между порядками.

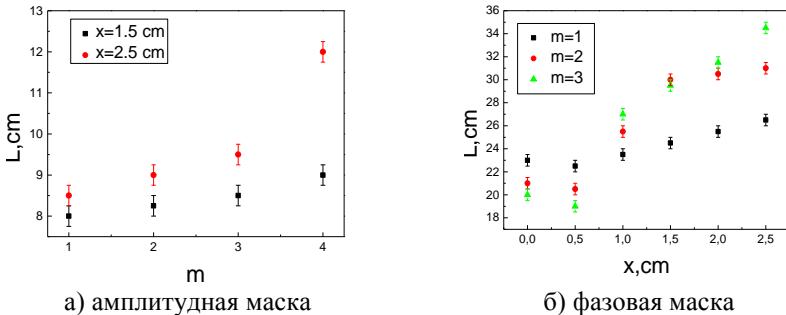
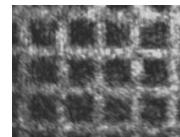


Рис. 3. Зависимость расстояния Тальбота от смещения выходной линзы телескопа

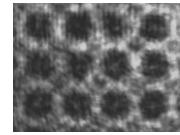
При использовании амплитудной маски расстояние Тальбота значительно ниже, равно как и его изменение в зависимости от величины x . Поэтому амплитудная маска выглядит менее предпочтительной для использования в приборе, чувствительном к фазовым искажениям.

Приведенная схема (рис. 1), при ее использовании в качестве прибора, обладает низкой чувствительностью к фазовым искажениям. Если в телескоп 2 поместить толстую стеклянную пластину (~3 см), то изменения в интерференционной картине крайне незначительны (рис. 3б камера оставалась в прежнем положении). Черные квадраты немного округлялись, что свидетельствует об изменении расстояния Тальбота.

Для увеличения чувствительности требуется модифицировать схему. При использовании результатов первого эксперимента, была собрана вторая экспериментальная схема (рис. 4). Для дополнительного увеличения чувствительности собранного прибора был организован второй проход излучения через фазовую пластинку с помощью



а) исходное изображение



б) изображение при внесении в оптическую схему толстой пластины

Рис. 3. Внесение пластины в телескоп 1

полупрозрачного зеркала 4 и глухого зеркала 5. С помощью зеркала 5 и линзы 6 был собран телескоп, в который помещался исследуемый прозрачный образец 8. Длина волны лазера 1 составляла 532 нм.

Приведены результаты эксперимента при использовании в качестве образца тонкой стеклянной пластины (~3 мм) (рис. 5). Показана исходная интерференционная картина (рис. 5а) и картина, полученная после внесения в прибор стеклянной пластины (рис. 5б). Продемонстрировано изображение, близкое к исходному при смещении положения камеры на 5,5 см (рис. 5в). Таким образом, наличие фазовых искажений в оптическом тракте сильно изменяет результирующую интерференционную картину при заданном положении камеры, что позволяет их определять.

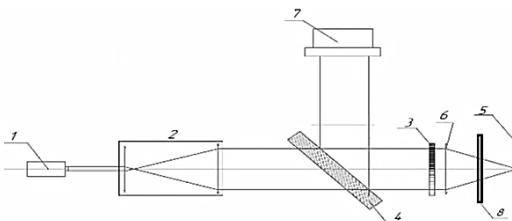


Рис. 4. Схема экспериментальной установки 2
 1 – источник излучения, 2 – расширяющий телескоп, 3 – периодический фазовый объект, 4 – полупрозрачное зеркало, 5 – глухое зеркало, 6 – линза, 7 – цифровая камера, 8 – исследуемый образец

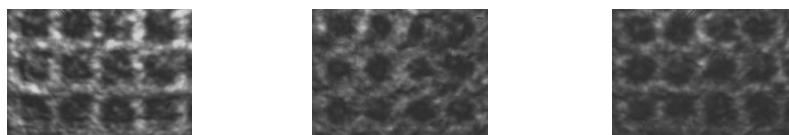


Рис. 5. Проведение эксперимента с тонкой стеклянной пластиной

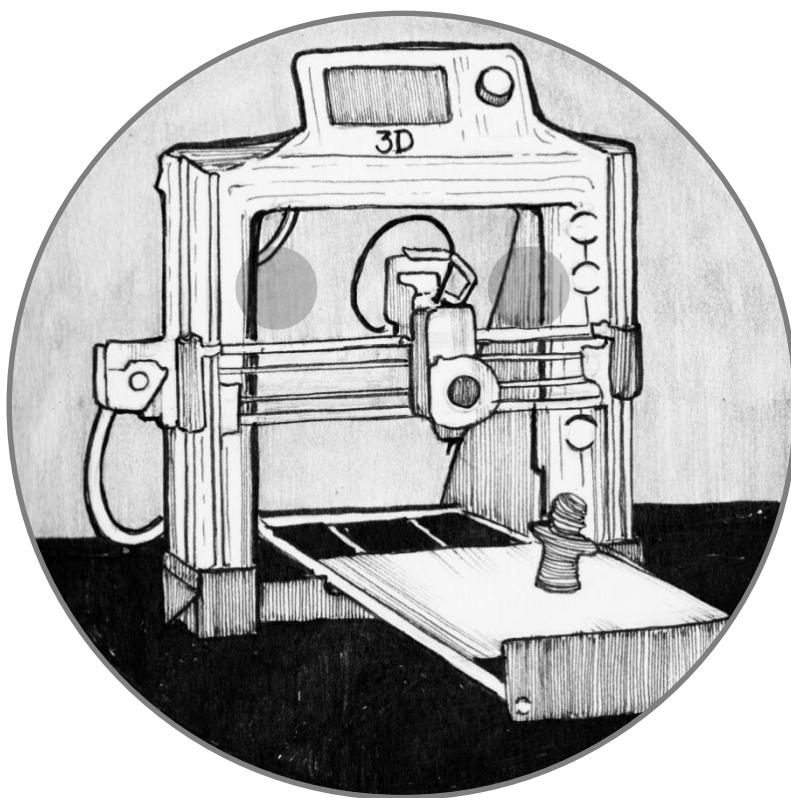
Выводы

В результате работы создан экспериментальный стенд для исследования фазовых искажений с помощью эффекта Тальбота. Показано преимущество использованной фазовой маски над амплитудной. Доказано, что оптическая схема с двумя проходами обладает более высокой чувствительностью. Для повышения чувствительности при использовании неколимированного излучения требуется использовать более высокие порядки самовоспроизведения.

Литература

1. Кандидов В.П., Корольков А.М. Эффект Тальбота и его демонстрация в курсе общей физики // Физическое образование в вузах. 1998. Т. 4. № 3.
2. Локшин Г.Р. Основы радиооптики: Учебное пособие. – Долгопрудный: Интелллект, 2014. – 344 с.

Техника



Универсальный многоцелевой беспилотный аппарат

З布鲁ев Денис Андреевич

10 класс, Лицей № 38, Нижний Новгород

Научный руководитель А.Ю. Еделев,
учитель физики МАОУ Лицей № 38



Для освоения труднодоступных районов предложено использовать универсальный многоцелевой беспилотный аппарат (УМБА). УМБА – принципиально новое техническое решение, способное передвигаться по суше и по воде в различных режимах (в том числе под водой и на подводном крыле). Его можно применять для самых различных целей: перевозка жидкких и негабаритных грузов, проведение спасательных операций, ремонтных и профилактических работ, а также в различных исследованиях.

Главной проблемой освоения труднодоступных районов нашей страны является фактическое отсутствие дорог, что затрудняет доставку необходимых грузов, оборудования и людей. Поэтому принято решение создать действующую модель гибрида подводной лодки, транспортного корабля и вездехода. Он обладает некоторыми свойствами: возможность надводного хода и передвижения под водой; ход на подводном крыле, перемещение по суше при помощи специальных ног, модульность конструкции и большая грузоподъемность для установки дополнительного оборудования и аккумуляторных батарей, а также увеличение массы перевозимого груза.

Для проектирования модели необходимы некоторые начальные параметры – масса электронной начинки, грузоподъемность. Масса электронники была измерена и составила 2,5 кг. Было решено взять грузоподъемность примерно 10 кг, так как этой величины вполне достаточно, чтобы перевозить дополнительное оборудование или грузы. Необходимо рассчитать объем V_0 для обеспечения нулевой плавучести аппарата (пока без учета массы самого корпуса).

$$\rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг/м}^3, m_{\text{нагрузки}} = 12,5 \text{ кг, тогда } V_0 = 12,5 \text{ литра.}$$

Чтобы перевести электронику и груз общей массой 12,5 кг, необходим корпус массой 2,5 кг (с учетом креплений). Однако аппарат должен погружаться и всплывать, и для этого необходимы запас по объему и балластная цистерна. Было решено сделать запас 1 литр, а объем балластной цистерны – 2 литра, чтобы эффективно погружаться и всплывать, регулируя уровень заполнения балластной

цистерны. Итак, водоизмещение, при котором лодка имеет нулевую плавучесть, составляет $0,015 \text{ м}^3$, или 15 литров.

Так как для аппарата предусмотрена возможность хода на подводном крыле, появилась необходимость произвести следующие расчеты: на основании испытаний в аэродинамической трубе (рис.1) определить гидродинамический коэффициент и вычислить подъемную силу крыла модели. Было сделано крыло из древесины, покрытое слоем нитрокраски, не пропускающей воду, которое испытывали в аэродинамической трубе. Крыло ставилось на электронные весы, затем включали вентилятор. Объект располагался так, что поток воздуха из вентилятора создавал прижимную силу, которую и фиксировали весы.

Разность показаний на весах $\Delta m = 0,026 \text{ кг}$. Следовательно, если $g = 10 \text{ м/с}^2$: $F_{\text{прижимная}} = \Delta m \cdot g = 0,26 \text{ Н}$, скорость потока воздуха в трубе: $V_{\text{потока}} = 3,5 \text{ м/с}$, плотность воздуха при температуре $t = 20^\circ\text{C}$: $\rho_{\text{воздуха}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

По III закону Ньютона прижимная сила равняется подъемной силе подводного крыла.

$$F_{\text{прижимная}} = F_{\text{подъемная в трубе}} = 0,26 \text{ Н}.$$

Формула подъемной силы крыла:

$$F_{\text{подъемная}} = C_y \cdot \frac{v^2}{2} \cdot S, \quad (1)$$

где C_y – гидродинамический коэффициент подъемной силы, S – площадь подводной поверхности крыла ($S=0,084 \text{ м}^2$), ρ – плотность воды, v – скорость движения (предполагаемая скорость модели: $v=1,5 \text{ м/с}$).

Так как гидродинамический коэффициент подъемной силы для одной модели крыла постоянный, можно рассчитать его на основании испытаний в аэродинамической трубе, а затем подставить в формулу расчета подъемной силы.

$$C_y = \frac{2 \cdot F_{\text{подъемная в трубе}}}{\rho \cdot v^2 \cdot S}. \quad (2)$$

Получаем: $C_y = 0,421$, $F_{\text{подъемная}} = 39,78 \text{ Н}$.

Корпус и модуль управления модели выполнены из сантехнических труб диаметром 110 мм. Герметизацию отверстий для проводов сделали с помощью герметизирующих втулок и силиконового гер-

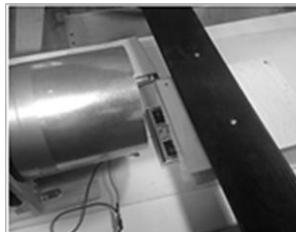


Рис. 1. Испытание в аэродинамической трубе

метика. Трубы между собой скрепляли специальными хомутами и болтами. При изготовлении гребных винтов применена 3D печать.

Аппарат состоит из пяти отсеков (рис. 2). Размеры и основные характеристики УМБА (табл. 1, 2):

1. Модуль управления (труба диаметром 110 мм и длиной 300 мм, жестко прикреплена к грузовому отсеку при помощи специальных хомутов и болтов. Резиновые сальники в этой трубе делают ее абсолютно герметичной. В нем располагается вся электроника).

2. Грузовой отсек (сантехнические трубы, собранные так, чтобы значительно повысить остойчивость модели);

3. Моторный отсек (вынесен наружу и представляет из себя два герметичных электромотора, обеспечивающих движение аппарата. Питание осуществляется из модуля управления, отверстия под провода загерметизированы втулками);

4. Подводное крыло (само подводное крыло, а также механизм его выдвижения, находящийся в носу аппарата. Таким образом, крыло может опускаться и подниматься при необходимости, а также быть рулем глубины в подводном режиме);

5. Лапы для передвижения по суше (состоит из 6 лап и 6 моторов, закрепленных внутри корпуса лодки).

Произведены расчеты

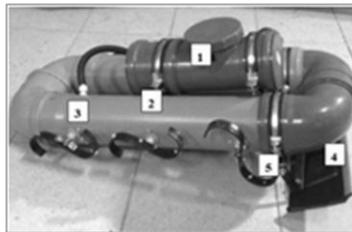


Рис. 2. Модель УМБА

Таблица 1. Размеры УМБА

Параметр	Значение, м
Длина общая	0,79
Ширина корпуса	0,30
Высота корпуса	0,20
Длина грузового отсека	0,79
Длина модуля управления	0,3
Диаметр модуля управления	0,11
Диаметр вала двигателя	0,003
Диаметр гребного винта	0,09
Шаг гребного винта	0,2565

Таблица 2. Характеристики УМБА

Параметр	Значение
Максимальная скорость надводная без крыла	1 узел
Максимальная скорость надводная с крылом	5 узлов
Суммарная мощность двигателей	350 Ватт
Напряжение в системе	12 V
Масса полностью снаряженной модели	14 кг
Водоизмещение надводное	0,0014 т
Водоизмещение подводное	0,0015 т
Объем балластных цистерн	2 л

остойчивости и построены графики (рис. 3, 4, 5) в программе FREESHIP.

Аппарат достаточно остойчивый, что позволяет преодолевать сильный шторм.

Для управления моделью используется:

- Шестиканальная пропорциональная система радиоуправления PILOTAGE (аналог JR), работающая на частоте 40МГц (рис. 6).

Дальность управления в надводном положении составляет около 100 м, под водой 15 – 20 м при максимальной глубине погружения 3 м. Далее происходит потеря сигнала. Для увеличения дальности управления можно использовать усилители передаваемого сигнала. Минусом данной системы является низкая помехозащищенность, связанная с небольшой полосой пропускания на этих частотах по сравнению с более высокими частотами 2,4 ГГц и 5,8 ГГц, и, как следствие, – малое число каналов передачи. Предлагается работать на частотах 40 МГц. При данной частоте длина волны $\frac{c}{\nu\sqrt{\epsilon}} = \lambda$ составляет около 0,8 м.



Рис. 4. График поперечной и продольной остойчивости



Рис. 7. Система передвижения по заданному курсу

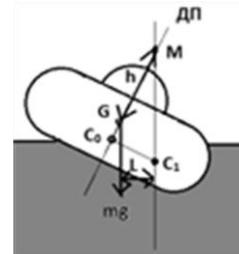


Рис. 3. Остойчивость

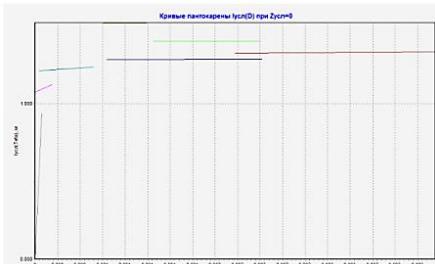


Рис. 5. Пантокарены – кривые плеч остойчивости формы, построенные для различных углов крена, в зависимости от водоизмещения судна

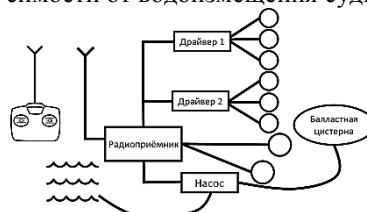


Рис. 6. Схема системы управления

2. Система передвижения по заданному курсу на базе Arduino. В неё заранее закладывается программа, которая в нужный момент активируется. Состоит из двух драйверов-моторов, моторов, перистальтического насоса (рис.7).

Первые испытания проходили в ванне. Проверялась центровка и герметичность корпуса лодки. В качестве грузов использовались гвозди и два обрезка лома общей массой 5 кг. Испытания показали, что центровка модели произведена без дефектов и вес балласта расчитан правильно. Аппарат с помощью моторов двигался ровно и плавно. Последующие испытания проходили в бассейне. Модель погружалась, двигалась под водой, и действовала в надводном положении в соответствии с заранее заданной программой. После проведения испытаний были вскрыты все отсеки модели для проверки герметичности. Отсеки были сухие. Уплотнения с успехом выдержали ходовые испытания в бассейне. Окончательные испытания проводились на Горьковском водохранилище.

Создана принципиально новая действующая модель универсального аппарата, способного перемещаться в подводном и надводном положениях, а также на подводном крыле и по суше. Она совмещает преимущества транспортного корабля и подводной лодки для перевозки жидких или негабаритных грузов, а также использования при проведении различных ремонтных, профилактических и спасательных работ на больших глубинах и в труднодоступных местах.

Литература

1. *Лучининов С.Т.* Юный моделист-кораблестроитель. – М.: Судпромгиз, 1963. – 194 с.
2. Морской моделизм. Пособие для морских моделлистов ДОСААФ / Под ред. Ю.В. Емельянова. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1955. – 338 с.
3. *Brian King.* Advanced Ship Modelling (Brian King). – Изд-во Nexus Special Interests, 2000. – 128 с.

Астрономия



Получение спектра звёзд и его обработка

Домбек Евгений Максимович

11 класс, Школа № 55, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель П.М. Землянуха,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Основная проблематика состоит в невозможности непосредственно определения характеристик звёзд. Была разработана установка получения спектра источников излучения, получены спектры нескольких звёзд, произведена их обработка.

Экспериментальная астрономия – уникальная наука. Большая часть космических событий никогда не повторится. Поэтому крайне важно иметь возможность оперативно исследовать быстропеременные или катастрофические объекты. Для таких задач создаются специализированные сети обсерваторий, например, МАСТЕР, ГАИШ МГУ. Однако имея собственный телескоп со спектрометром, можно проводить наблюдения и получать научно-значимые результаты самостоятельно, что ценно для любительской астрономии.

Цель исследования – изучение и практическое применение методики дистанционного анализа состава космических объектов.

Наша установка выполняет разложение пришедшего пучка света в спектр и его регистрацию для дальнейшего его анализа. В качестве регистрирующего устройства используется фотоаппарат, что и ограничивает спектр до видимого диапазона. Для ограничения поля приходящего излучения в установку внедрена щель. Оптическая схема установки представлена на рисунке 1.

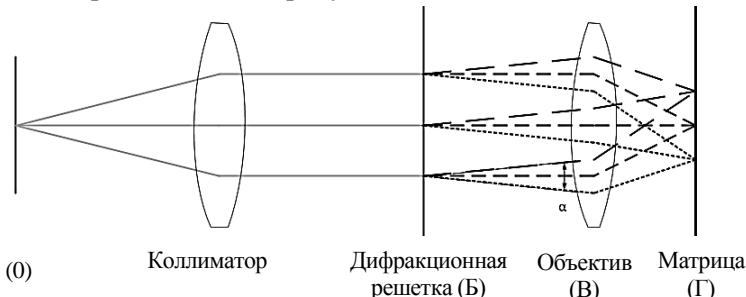


Рис. 1. Оптическая схема

Чтобы разгрузить приводы телескопа, оптическая ось повёрнута с помощью пентапризмы. На нее крепится щель, которая должна находиться в фокусе телескопа и коллиматора. На телескоп крепится каркас (уголок шириной 10 см), после которого подвижно закрепляются на оптической оси коллиматор и дифракционная решётка. На этом же каркасе устанавливается фотоаппарат, с возможностью поворота от оптической оси порядка 10 градусов в плоскости преломления. Поворот позволяет выбрать наиболее яркий максимум дифракционной решетки. Схема установки представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Схема установки

Разрешение установки составило 4.8 точек/нм. Такое разрешение при условии полной фокусировки системы позволит наблюдать спектральные линии шириной в 0.5 нм. Подобные ширины линий характерны для фотосфер звезд, пылевых и планетарных туманностей [2].

Для обработки фотографий спектров разработана оригинальная программа. Её основная функция – преобразовать фотографию в спектр, то есть зависимость интенсивности принимаемого излучения от частоты. Код написан на C++ с использованием библиотеки gd [1]. Программа позволяет автоматически кадрировать фотографию по 5-кратному уровню шумов. Шумы в основном являются тепловыми и определяются выбором светочувствительности матрицы фотоаппарата. Интенсивность излучения вычисляется по сумме RGB каналов пикселя, а также усредняется для каждой длины волны по всему спектру. По этим данным строится график интенсивности излучения в не градуированной шкале.

Из-за наличия случайных шумов на фотографиях спектров для подавления случайной составляющей нужно использовать усреднение серий кадров. Так как наше поле ограничено щелью, то картины на серии кадров не будут смещаться друг относительно друга по горизонтали. Поэтому был написан скрипт на языке Python, усредня-

ющий между собой сырые необработанные камерой кадры с их калибровкой, по общепринятому алгоритму [3]. После чего результат обрабатывался программой, описанной выше. Для оценки оптимального количества кадров нами был построен график (рис. 3), на котором показана зависимость величины среднеквадратичного отклонения интенсивности

пикселей после усреднения серии из n фотографий с закрытой крышкой объектива.

Таким образом,

мы измерили собственные шумы приемной аппаратуры. Из графика видно, что для данной методики полезно усреднять до 10 кадров, для достижения лучшего результата придётся использовать более сложные статистические оценки.

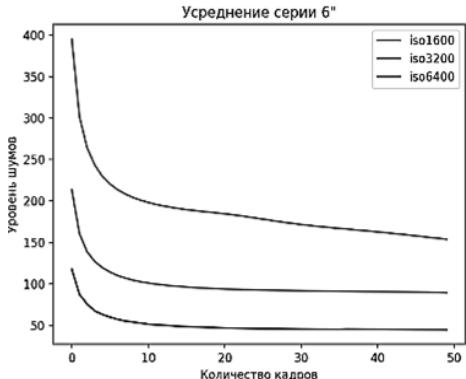


Рис. 3. Оценка эффективности усреднения



Рис. 4. Серия Бальмера

Рис. 5. Фотография спектра Бетельгейзе

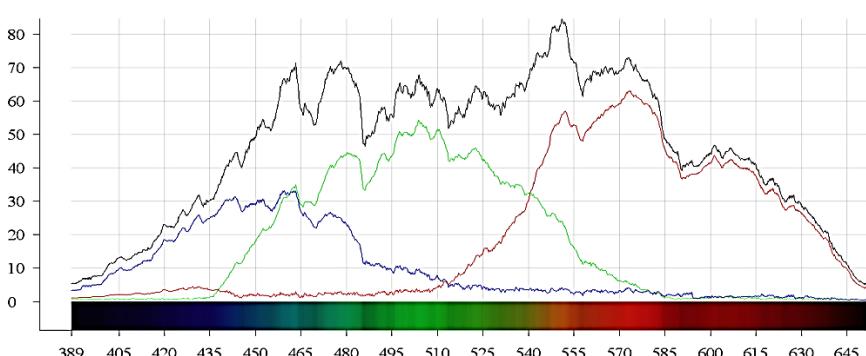


Рис. 6. Спектр Бетельгейзе

В составе большинства космических объектов присутствует водород, в том числе в фотосферах звезд [6]. Он поглощает излучение только на нескольких, характерных длинах волн. Одна из серий таких линий приходится на видимый диапазон излучения и называется серией Бальмера (рис. 4).

Сопоставляя положение линий поглощения на фотографиях спектров с длинами волн серии Бальмера (434.1нм, 486.1нм, 656.3нм), мы градуируем шкалу длин волн в нанометрах. Так как для всех фотографий величина дифракции неизменна, мы привязали полученные нами спектры к линии поглощения на длине 486.1нм.

В ходе работы был проведен ряд наблюдений. Представлена фотография спектра Бетельгейзе (рис. 5) и результат его обработки (рис. 6). На графике присутствует характерная изрезанность. Часть этих провалов является особенностью излучения, свойственного звездам класса «M» [6] (Красный гигант) к которому относится Бетельгейзе [4]. Спектр отличается от чёрнотельного, свойственного для большинства других классов звезд.

В ходе работы была разработана и собрана установка, теоретические и практические характеристики которой сошлись. Разработана программа для обработки полученных снимков спектров. Проведены успешные наблюдения. В дальнейшем планируется калибровка шкалы потока по звезде спектрального класса A0 (Вега) и полная автоматизация наблюдений.

Литература

1. GD Graphics Library [Электронный ресурс]. URL: <http://libgd.github.io/pages/docs.html> (дата обращения 21.04.17).
2. Jim Ferreira, Livermore CA Special Interest Spectroscopy [Электронный ресурс] // PHOTOGRAPHY by Jim Ferreira – San Francisco Bay Area URL: http://www.lafterhall.com/Special_Interest_Spectroscopy.html (дата обращения 18.04.18).
3. Siril: Tutorial preprocessing – FreeAstro [Электронный ресурс]. URL: http://freeastro.org/index.php/Siril:Tutorial_preprocessing (дата обращения 14.05.19)
4. Tsuji T. Atmospheres of red supergiant stars. II. The M2 supergiant Betelgeuse. // Publications of the Astronomical Society of Japan. 1976, V. 28. P. 567 – 586 .
5. Масевич А.Г. Спектральные классы звезд // Физика Космоса. 1986 [Электронный ресурс] // Астронет: сайт. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1201949> (дата обращения 17.03.18).
6. Хохлова В.Л. Фотосфера // Физика космоса. 1986 [Электронный ресурс] // Астронет: сайт. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1188589> (дата обращения 17.03.18).

Исследование мазеров SiO при помощи 20-метрового радиотелескопа в Онсала

Золотавин Михаил Александрович
11 класс, Школа № 45, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель А.В. Лапинов,
заведующий лабораторией ИПФ РАН,
доктор физико-математических наук



Проведён анализ данных, полученных при наблюдении космических мазеров с помощью 20-метрового радиотелескопа в Онсала (Швеция) с целью исследования эффективности антенны радиотелескопа. Установлено, что, несмотря на проведённую в 2018 г. модернизацию системы управления вторичным зеркалом, точность наведения антенны радиотелескопа, по сравнению с наблюдениями за 1999 г., практически не изменилась.

В феврале 2018 года на 20-метровом радиотелескопе в Онсала была осуществлена модернизация системы управления вторичным зеркалом (дис. 1). Наблюдения мазеров SiO (монооксид кремния) на частоте 86 ГГц являются частью стандартной процедуры при оптимизации наведения телескопа.

Мазерный эффект (в космосе) – усиление интенсивности проходящего через космическую среду радиоизлучения за счёт индуцированного испускания резонансных фотонов возбуждёнными молекулами среды [2]. Мазерный эффект наблюдается в облаках межзвёздного газа, в околозвёздных оболочках и атмосферах комет. Данное явление возникает при сильной «перенаселённости» верхних энергетических уровней атомов и молекул по сравнению с нижними. Радиоизлучение, проходящее на частоте энергетического перехода, вызывает большое количество вынужденных переходов молекул и атомов с верхних уровней на

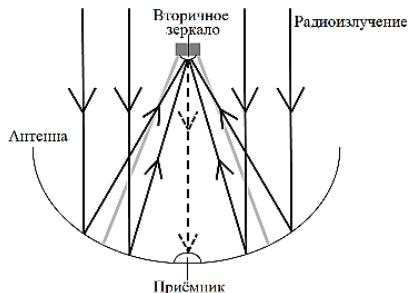


Рис. 1. Принцип работы радиотелескопа: космическое радиоизлучение попадает на антенну параболической формы и собирается в фокусе антенны, где находится вторичное зеркало. Отразившись от вторичного зеркала, радиоизлучение попадает на приёмник

нижние. При этом радиоизлучение значительно усиливается. Пере-населённость может возникать из-за множества различных факторов, например, из-за воздействия инфракрасного излучения звёзд. Мазерные источники излучают в линиях различных молекул – H_2O (вода), SiO (монооксид кремния), CH_3OH (метиловый спирт) и других.

Источники мазерного излучения часто представляют собой множество отдельных точечных источников, расположенных на пренебрежимо малом для диаграммы радиотелескопа угловом расстоянии. При этом каждый из точечных источников обладает собственной лучевой скоростью, что может отражаться в виде набора отдельных широко разнесенных по частоте узких линий (рис. 2, 3).

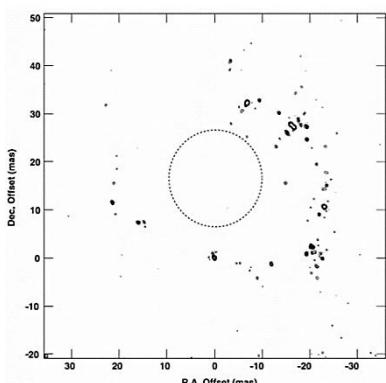


Рис. 2. Мазерный источник при «ближнем рассмотрении» с использованием интерферометра.

По осям отложены угловые расстояния (в миллисекундах)

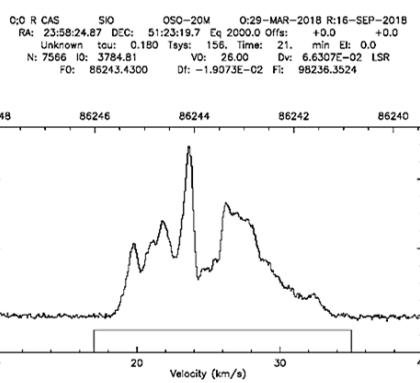


Рис. 3. График зависимости интенсивности принимаемого радиотелескопом излучения от доплеровской скорости. Получен в результате наблюдения за мазерным источником R Cas в 2018 году

Мазерные источники подходят для оптимизации наведения радиотелескопов, поскольку имеют большую яркость и пренебрежимо малые угловые размеры по сравнению с диаграммой радиотелескопа.

Качество проводимых на радиотелескопе измерений зависит от того, насколько точно антenna наведена на наблюдаемый объект. Процедура калибровки происходит следующим образом: по центру, сверху, снизу, справа и слева от предполагаемого расположения объекта на небе выбираются точки, удаленные на половину ширины диаграммы антенн по половинному уровню. Производятся наблюдения всех пяти точек неба, от каждой из которых на радиотелескоп поступает радиоиз-

лучение определённой мощности. Интенсивность излучения, исходящего от каждой из точек, различна. Таким образом, определяется примерное расположение наблюдаемого объекта по отношению к каждой из выбранных точек. Погрешность определения расположения объекта на небе является ошибкой наведения радиотелескопа. При калибровке радиотелескопа учитываются такие виды ошибок наведения, как ошибка по высоте (ΔE) и ошибка по азимуту места (ΔAz).

Чтобы понять, насколько точнее стали проводимые наблюдения на радиотелескопе после модернизации, можно провести математический анализ данных об ошибках наведения по азимуту и высоте местности, собранных до и после внесённых изменений. В нашем случае проведено сравнение данных за 1999 и 2018 год. Для наглядности были использованы графики.

Анализ данных проводился в несколько этапов. Сначала были найдены значения среднеквадратического отклонения ошибок наведения по азимуту и по высоте места при помощи формулы:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_i – случайный элемент выборки из n элементов, σ_x – среднеквадратическое отклонение значений x .

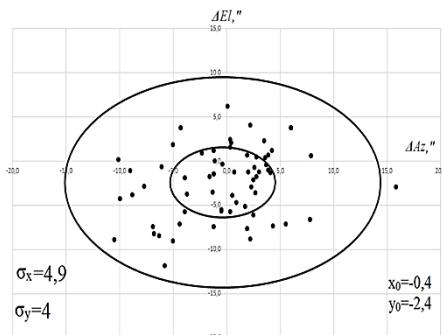


Рис. 4. График соотношения значений ошибок наведения по углу местности ошибкам по азимуту с построенными для наглядности малым и большим среднеквадратическими эллипсами. Построен путём анализа данных, полученных при наблюдениях в 2018 году

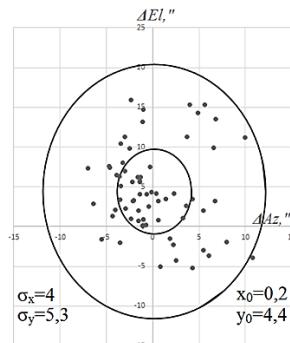


Рис. 5. График, построенный путём анализа данных, полученных при наблюдениях в 1999 году

Чтобы понять, не отклоняется ли «разброс» ошибок от нормы распределения, применено правило трёх сигм (3σ). Суть – если случайная величина распределена нормально, то с вероятностью более 99% все её значения будут лежать в интервале от $(\bar{x} - 3\sigma)$ до $(\bar{x} + 3\sigma)$. На завершающем этапе анализа данных построены графики для наблюдений 2018 и 1999 гг. (рис. 4, 5). Полуоси малых эллипсов соответствуют значениям σ_x и σ_y по осям ΔAz и ΔEl соответственно, больших – $3\sigma_x$ и $3\sigma_y$. Величины ошибок измеряются в угловых секундах.

Несмотря на модернизацию радиотелескопа в 2018 году, точность наведения антенны осталась прежней. В то же время эта модернизация была крайне необходима для настройки оптимального положения вторичного зеркала вдоль оптической оси в зависимости от условий наблюдения. В результате выполненной модернизации существенно улучшилась форма диаграммы направленности антенны в сравнении с 1999 годом. То, что поправки при этом изменились, незначительно означает, что основными факторами, влияющими на дальнейшие ошибки наведения, являются уводы антенны в сторону из-за различных эффектов (неравномерность нагрева зеркала излучением Солнца, точность механического привода антенны, накопленная статистика отклонений по азимуту и углу места), что лишь незначительно связано с дальнейшим улучшением положения вторичного зеркала. Таким образом, незначительные изменения поправок говорят о том, что они определяются другими факторами, а именно – системой управления движением антенны, которая не изменилась.

Литература

1. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Введение в математическую статистику. – М.: Изд-во ЛКИ, 2010. – 600 с.
2. Стрельницкий В.С. Космические мазеры // Успехи физических наук. 1974. № 3 (113). С. 463 – 464.

Изучение спектров молекул межзвездной среды

Калинин Даниил Дмитриевич

9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Р.А. Алексеев,
стажёр-исследователь ИПФ РАН



Проблема работы заключается в медленной обработке информации, полученной со спектрометров и радиотелескопов методом провала Лэмба. Были проведены эксперименты и получены спектры молекулы изотополога HC^{13}CCN , написана программа на python по обработке экспериментальных данных на основе уже имеющейся программы на Fortran. В результате исследования получена частота перехода в данной молекуле.

Основной целью спектроскопии на данный момент является изучение скорости газа в области звездообразования, для этого необходимо знать частоты перехода молекул в межзвездной среде.

Цель работы – определить частоту перехода молекул межзвездной среды. Для этого используются субдоплеровские спектрометры, один из которых работает в ИПФ РАН. В институте создан широкодиапазонный безрезонаторный спектрометр миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн. Он обеспечивает получение методом провала Лэмба узких нелинейных резонансов с минимальной шириной до $5\div10$ кГц внутри доплеровского контура линий поглощения [1, 2] вращательных переходов молекул и измерение их частот с абсолютной точностью лучше 1 кГц. Данный метод позволяет получить узкий нелинейный резонанс строго в центре спектральной линии в результате насыщения населённостей уровней молекулярного перехода встречными волнами излучения. При этом повышается точность измерений центральных частот молекулярных переходов и открывается возможность изучения сверхтонкой структуры внутри доплеровской линии, что имеет интерес для наземной и космической радиоастрономии.

Чтобы определить скорость газа в области звездообразования необходимо знать, молекулы каких газов входят в его состав. Хорошим индикатором физических условий является молекула цианоацетилена. Изотополог этой молекулы является объектом данного



Рис. 1. Химическая структура изотополога цианоацетилена HC^{13}CCN

исследования. Это даёт нам возможность изучать излучаемые в этот момент спектры молекул, в нашем случае молекул HC_3N .

На спектрометре в ИПФ РАН была проведена серия из шести экспериментов, получены экспериментальные данные, демонтирующие спектры изотополога цианоацетилена. С целью обработки данных для получения точного значения частоты перехода была написана программа на языке программирования Python на основе уже имеющейся на Fortran. Обработка данных в данной программе стала в 180 раз быстрее (если ранее этот процесс занимал около 3 часов, то теперь стал меньше минуты). Нововведением стала пакетная обработка данных, совмещённая с построением графиков зависимости поглощения от разности частот. Изначально было несколько программ, написанных на Fortran: по обработке данных, по построению графиков и вычислению частоты перехода. Написанная программа объединила в себе обе предыдущие, что так же ускорило процесс общей обработки, так как теперь загрузка файла в программу происходит автоматически, а не вручную. В программе на fortran на вход можно было подавать только по одному файлу, в новой программе на вход могут поступать сразу пакеты файлов, что позволило ускорить процесс обработки.

Для аппроксимирования графиков был выбран метод наименьших квадратов [5], который заключается в минимизации сумм квадратов отклонения. Так как наш график необычен, мы сразу не смогли подобрать необходимый полином для аппроксимации, поэтому было решено сделать аппроксимацию полиномом второй степени. Полиномом второй степени аппроксимировали провал Лэмба, так как он выражен параболой. А полиномами первой степени аппроксимировали оставшуюся часть графика, мы разделили график на много маленьких частей по несколько точек и аппроксимировали их как прямые на данном отрезке. Для аппроксимации

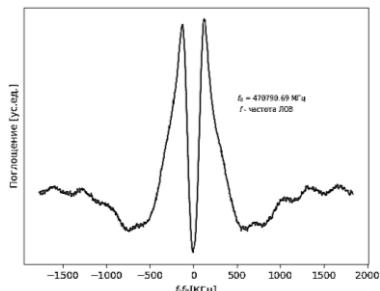


Рис. 2. График по экспериментальным данным при давлении в 0.93 мТорр*

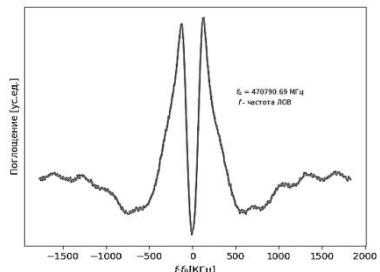


Рис. 3. График с аппроксимацией при давлении в 0.93 мТорр*

мации мы решили матричные уравнения и написали алгоритм решения подобных уравнений в программу, чтобы не пришлось каждый раз решать подобную задачу. После усовершенствования программы был получен график (рис. 3), на котором представлен доплеровский контур линии с провалом Лэмба на частоте перехода, то есть зависимость поглощения вещества от разности частот испускаемой на источнике и известной частоты с каталога CDMS [3, 4] с иностранного радиотелескопа. Форма доплеровского контура определяется распределением скоростей молекул газа в ячейке. Провал на графике связан с особенностью спектрометра. Метод провала Лэмба заключается в том, что на доплеровском широком контуре появляется узкий провал Лэмба на частоте перехода. Благодаря данному провалу метод обладает высокой точностью определения параметров линии.

Видно, что при уменьшении давления в газовой ячейке линейно меняется измеряемая нами частота (рис. 4). Такая форма графика получается из-за влияния столкновений молекул со стенками ячейки и между собой.

Выводы

Написана программа по обработке результатов со спектрометра и аппроксимации экспериментальных данных, которая позволила увеличить скорость обработки данных в 180 раз за счёт пакетной обработки данных и объединения двух программ. Выявлено, что частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена равна 470790.6776 МГц (данные из каталога CDMS [3, 4] 470790.679 МГц).

Литература

1. Lapinov A.V. HCN and HNC spectroscopy in dark clouds // Abstracts of IAU Symposium 197 «Astrochemistry: From Molecular Clouds to Planetary Systems», Sogwipo, South Korea, 1999, August 23 – 27. P. 99 – 100.
2. Lapinov A.V. Precise spectroscopy of astrophysically important species // Invited talk on the XV Symposium on High Resolution Molecular Spectroscopy (HighRus-2006), Proceedings of SPIE (Eds. Ponomarev Yu. N., Mikhailenko S. N., Sinitsa L. N.), 2006, V.6580, P. 6580011 – 6580012.
3. Molecular spectroscopy [Электронный ресурс]. URL: <https://spec.jpl.nasa.gov/ftp/pub/catalog/catdir.html> (дата обращения 17.03.2019).
4. Метод наименьших квадратов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/6218855/page:2/> (дата обращения 14.03.2019).

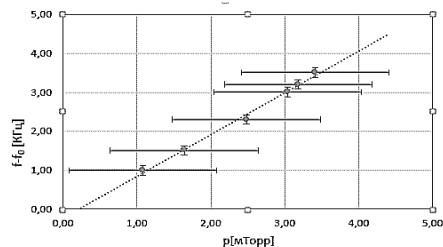


Рис. 4. Экспериментальные данные

изменения частоты в зависимости от давления

и аппроксимация линейной зависимостью

для определения частоты перехода

в молекуле изотопоположа цианоацетилена

470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоацетилена

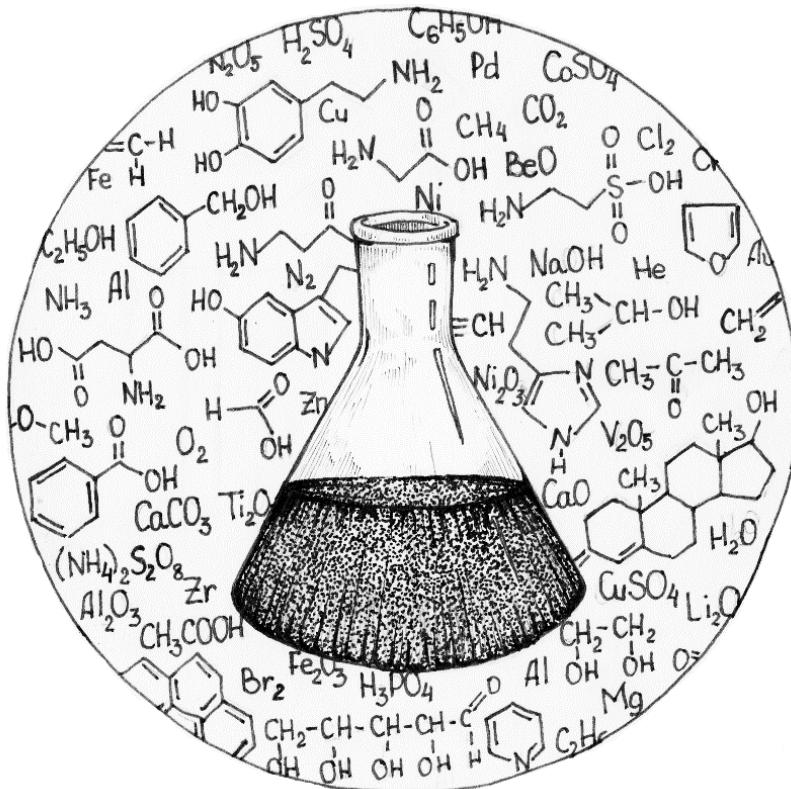
равна 470790.6776 МГц

(данные из каталога CDMS [3, 4])

470790.679 МГц.

Частота перехода в молекуле изотопоположа цианоац

Химия



Подтверждение образования фенильных радикалов при фотораспаде металлорганических соединений висмута методом полимеризации метилметакрилата

Аристархова Дарья Владимировна
11 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН,



Научный руководитель А.В. Гущин,
профессор ННГУ им. Н. И. Лобачевского, доктор химических наук

В работе доказана гипотеза, что гидрохинон и 3,6-дигтрем-бутил-ортобензохинон являются ингибиторами и улавливают фенильные радикалы, выделяющиеся при разложении диацетата трифенилвисмута. Гидрохинон является более эффективным ингибитором. Произведен синтез диацетата трифенилвисмута, очистка гидрохинона. Изучена новая реакция диацетата трифенилвисмута с гидрохиноном, продуктом которой является хинон. Исследована реакция полимеризации метилметакрилата в присутствии диацетата трифенилвисмута в присутствии и в отсутствие гидрохинона или 3,6-дигтрембутил-ортобензохинона.

Современные детекторы радиоактивных лучей, ускорители элементарных частиц используют пластиковые полистирольные сцинтилляторы с ограниченной радиационной стойкостью. Для лучшей работы устройств надо ввести в пластик чистое металлоорганическое соединение с сохранением прозрачности. Соединение за счет металла переменной валентности может обеспечить увеличение радиационной стойкости пластика [3].

Ранее для получения полимеров использовался диакрилат трифенилвисмута, в результате чего концентрация чистого металла в полимере составляла 12%. В качестве инициатора реакции использовался пероксид бензоила. Однако эта система имела недостатки. Во-первых, реакция полимеризации шла слишком бурно, приводила к вскипанию смеси во время периода гель-эффекта и полимер терял прозрачность. Во-вторых, при распаде пероксида бензоила кроме образования фенильных радикалов выделяется углекислый газ, который повышает вероятность вскипания раствора и помутнения полученного пластика. Также реакцию нужно подогревать, что требует дополнительных затрат энергии.



Синтезированное соединение $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$ можно будет использовать в качестве радикального инициатора полимеризации взамен традиционных пероксидов в случаях, когда не допускается выделение газа при полимеризации [1], и вместе с тем висмутсодержащего наполнителя полимера.

Цель работы – доказать образование фенильных радикалов при фотораспаде металлоорганического соединения висмута $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$ методом полимеризации. Гипотеза: гидрохинон и 3,6-дитрет-бутил-ортого-бензохинон являются ингибиторами и ловят фенильные радикалы, выделяющиеся при разложении диацетата трифенилвисмута. Задачи: очистка гидрохинона для синтеза, синтез МОС висмута, исследование реакции полимеризации метилметакрилата с добавкой диацетата трифенилвисмута в присутствии и в отсутствие гидрохинона или 3,6-дитрет-бутил-ортого-бензохинона.

Ход работы: 1) очистка гидрохинона по методике [4]; 2) синтез диацетата трифенилвисмута (ДАТФВ); 3) синтез *n*-бензохинона; 4) полимеризация метилметакрилата (ММА).

В три ампулы на 10 мл налили по 2 мл MMA. Первая ампула содержала только MMA и служила холостым опытом. Во вторую, кроме MMA, добавляли инициатор ДАТФВ массой 0,008 г (0,014 ммоль), в третью ампулу добавляли инициатор ДАТФВ и ингибитор в виде 3,6-дитрет-бутил-ортого-бензохинон (ДТБОХ) массой 0,003 г (0,014 ммоль), в четвертую добавили ДАТФВ с ингибитором в виде гидрохинона (ГХ) массой 0,00015 г (0,014 ммоль). Дегазировали три раза, запаивали и оставляли на рассеянном свету, периодически проверяя ход полимеризации по степени загустевания раствора.

Таблица. Результаты полимеризации

Время, ч	Опыт 1 2 мл MMA	Опыт 2 2 мл MMA, ДАТФВ 0,008 г (0,014 ммоль)	Опыт 3 2 мл MMA, ДАТФВ 0,008 г (0,014 ммоль), ДТБОХ 0,003 г (0,014 ммоль)	Опыт 4 2 мл MMA, ДАТФВ 0,008 г (0,014 ммоль), ГХ 0,00015 г (0,014 ммоль)
14	Подвижная жидкость бесцветная	Вязкая жидкость бесцветная	Подвижная желто-зеленая жидкость	Подвижная бесцветная жидкость
21	Подвижная жидкость	Почти застывшая жидкость	Подвижная жидкость	Подвижная жидкость

Продолжение таблицы

36	Вязкая жидкость	Почти застывшая жидкость	Вязкая жидкость	
60	Почти застывшая жидкость	Твердый прозрачный, не вспененный блок, без отлипания	Почти застывшая жидкость	Вязкая жидкость
120	Твердый прозрачный, не вспененный блок, без отлипания	Без изменений	Твердый желто-зеленый не вспененный блок, без отлипания	Вязкая жидкость

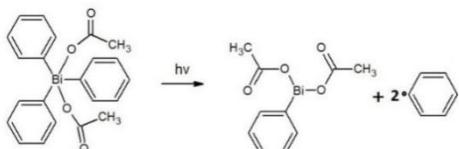


Рис. 1. Разложение ДАТФВ под действием света

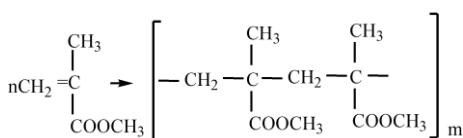


Рис. 2. Реакция полимеризации ММА ($n=2m$)

Диацетет трифенилвисмута является инициатором полимеризации (рис. 1).

Выделившийся фенильный радикал является инициатором в реакции полимеризации MMA (рис. 2). Таким

образом, в первых двух ампулах мы проверяем скорость застывания MMA с инициатором и без него. Опыт показал, что во второй ампуле полимеризация и загустевание массы происходило уже через 14 часов, а полное застывание наблюдалось через 60 часов. А в первой ампуле без инициатора раствор только начал загустевать через 36 часов.

ДТБОХ служит спиновой ловушкой, где R – фенильный радикал (рис. 3). Предполагаем, что дальнейшая реакция может идти по следующим направлениям (рис. 4, 5).

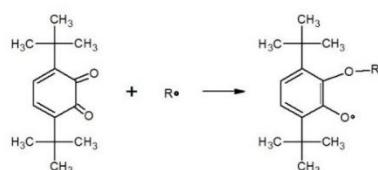


Рис. 3. Реакция присоединения радикала к спиновой ловушке (ДТБОХ)

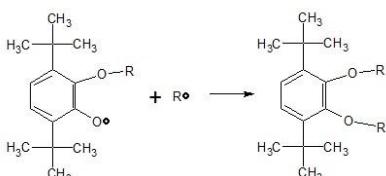


Рис. 4. Первый путь продолжения реакции

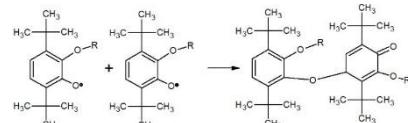


Рис. 5. Второй путь продолжения реакции

Таким образом, спиновая ловушка ловит на себе фенильный радикал и MMA не полимеризуется. В ампуле № 3 через неделю раствор всё ещё переливался, что свидетельствует о правильности гипотезы.

В реакции с ГХ фенильный радикал отщепляет водород в гидроксильной группе, доводя ГХ до стабильного хиона. В этом случае затвердевание массы не происходит даже через 120 часов.

Выводы

В результате работы была доказана гипотеза, что гидрохинон и 3,6-дитрет-бутил-ортобензохинон являются ингибиторами и улавливают фенильные радикалы, выделяющиеся при разложении диацетата трифенилвисмута. Гидрохинон является более эффективным ингибитором.

В ходе проделанной работы был синтезирован диацетат трифенилвисмута, был очищен гидрохинон. Была изучена новая реакция диацетата трифенилвисмута с гидрохиноном, продуктом которой является хион. Была исследована реакция полимеризации метилметакрилата в присутствии диацетата трифенилвисмута в присутствии и в отсутствие гидрохинона или 3,6-дитретбутил-ортобензохинона.

Литература

1. Кнорре Д.Г., Крылова Л.Ф., Музыкантов В.С. Физическая химия. Учеб. для биол. ф-тов университетов и пед. вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с. – С. 178 – 181.
2. Металлорганические соединения // Энциклопедия Брокгауза Ф.А., Ефрана И.А. [Электронный ресурс]. URL <http://www.brocgaus.ru/text/065/324.htm> (дата обращения 20.02.2019).
3. Рейтв О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. В 4 ч. – М.: Бином, 1999. – 2336 с.
4. Семишин В.И. Лабораторные работы по общей химии. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1971. – 272 с.



Рис. 6. Взаимодействие ГХ с фенильным радикалом

Под слоем времени. Очистка медной иконы и серебряных украшений

Журилова Дарья Сергеевна

8 класс, Школа № 94, Нижний Новгород

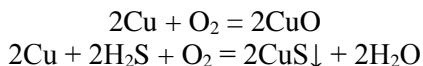
Научный руководитель Е.Г. Гусева, учитель химии,
Школа № 94, Нижний Новгород



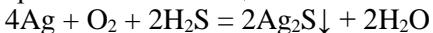
Экспериментальная работа выполнена в школьной лаборатории с использованием растворов уксусной и серной кислот, нашатырного спирта для очистки медной иконы и серебряных украшений. Выявлены лучшие очистители медных и серебряных изделий.

Как с помощью химических веществ восстановить первоначальный вид металлической иконы и серебряных украшений? Для ответа на этот вопрос мы провели эксперименты и проанализировали, какие химические вещества можно применять для очистки металлических изделий. Используя полученные знания, мы очистили потемневшие серебряные украшения и медную икону в условиях химической лаборатории.

Воздух – сложная смесь газов, где, кроме кислорода и азота, есть углекислый газ CO_2 , пары воды и небольшая примесь сероводорода H_2S . Они вызывают образование на поверхности медных изделий веществ CuO и CuS .

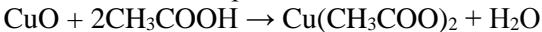


Потемнение серебра зависит от содержания сероводорода в атмосфере, а также от степени потливости человека и концентрации сульфидов в выделяемом поте. Под воздействием кислорода металл вступает в реакцию с сероводородом, и происходит химическая реакция, которая называется окислением серебра. В результате на поверхности серебряных изделий появляется темный слой сульфида серебра Ag_2S , который и меняет их цвет.



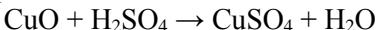
Осветление медной иконы

Осветление иконы в растворе CH_3COOH . После нанесения раствора уксусной кислоты была удалена вся запылённость иконы. Осветления добиться не удалось, было лишь помутнение в воде, в которой смачивали кисть. Потемнение – это, вероятно, выделился ацетат меди(II).



Мы применили более «сильные» средства. С обратной стороны иконы нанесли две пробы: одну – 10%-процентным раствором

нашатырного спирта, другую – раствором серной кислоты. После наблюдения за нанесёнными пробами с обратной стороны иконы мы приступили к работе с лицевой стороной. Снова беличью кистью стали наносить раствор H_2SO_4 , продолжая исследование. Первый результат появился на стартовой минуте эксперимента – начал светлеть лик на иконе.

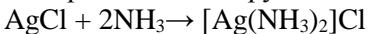


Дальнейшее осветление иконы мы провели в 10%-процентном растворе $NH_3 \times H_2O$. Практически сразу произошло окрашивание раствора в синий цвет. Осветление усилилось, но ненадолго, проявились сине-зелёное окрашивание.



Осветление серебряных украшений

Осветление потемневших монет в растворе $NH_3 \times H_2O$. Налили на фланелевую ткань 10%-ный нашатырный спирт и протёрли в нем серебряные монеты. После промыли под струей холодной воды.



Осветление серебряных колец и серёжек в растворе H_2SO_4 . В ёмкость раствор серной кислоты положили кольца и поддержали некоторое время, потом промыли водой.

Выводы

В ходе исследования по осветлению потемневшей старинной иконы и серебряных украшений мы выяснили, что лучше всего осветляет поверхность медных предметов раствор H_2SO_4 (серной кислоты). А растворы мыла, CH_3COOH (уксусной кислоты) и $NH_3 \times H_2O$ (нашатырного спирта) дают небольшой или временный эффект. Наша гипотеза оказалась верной: с помощью определённых химических веществ можно вернуть первоначальный вид металлической иконе и серебряным украшениям, или, как минимум, осветлить их. Но, вероятно, должны применяться и более сложные или комплексные методы.

Литература

1. Аликберрова Л.Ю. Занимательная химия: Книга для учащихся, учителей и родителей. – М.: АСТ ПРЕСС, 2002. – 560 с.
2. Маршанова Г.Л. Техника безопасности в школьной химической лаборатории: сборник инструкций и рекомендаций. – М.: Аркти, 2002. – 80 с.
3. Юдин А.М. Химия в нашем доме. – М.: Химия, 1991. – 272 с.

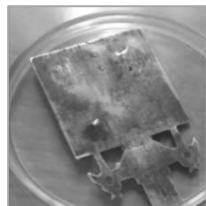


Рис. 1.
Осветление
иконы



Рис. 2.
Осветление
украшений

Микрокристаллоскопический анализ фармацевтических препаратов

Задорожный Егор Максимович

10 класс, Школа № 117, ШЮИ ИПФ РАН

**Научный руководитель П.В. Мосягин,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук**



Изучена методика микрокристаллоскопии для определения фальсификатов в фармацевтических препаратах. Произведен анализ таких лекарств, как кордиамин, прокайн, пилокарпин и анальгин. Доказано отсутствие фальсификатов среди данных фармацевтических препаратов. Сделано предположение, что форма кристаллов зависит от примесей и концентрации анализа. Предположение подтверждено в опытах с прокианом и пилокарпином.

По оценкам аналитиков, от 10 до 20% отечественных предприятий занимаются выпуском фальсификатов на производствах. Наиболее часто выявлялись подделки оригинальных препаратов Германии (10%), Бельгии (10%), Венгрии (7%), Польши (7%), Италии (4,5%), Франции (4,5%) [3]. Производство поддельной фармацевтической продукции представляет собой угрозу как здоровью населения, так и экономике. Фальсифицированные лекарственные средства наносят ущерб их потребителям и производителям, системам здравоохранения и государствам в целом.

Для выявления фальсификатов среди оригинальных препаратов нужно использовать сложные методики, которые требуют значительных затрат времени. Поэтому разработка методик экспрессного и мало-затратного определения действующего вещества в фармацевтическом препарате является серьезной проблемой. Цель исследования – разработать и изучить методики микрокристаллоскопии для определения фальсификатов среди оригинальных фармацевтических препаратов.

Микрокристаллоскопический анализ фармацевтических препаратов состоит в следующем: образовавшиеся при действии аналитических реагентов кристаллы исследуют под микроскопом, после по форме кристаллов, а также по их цвету и размеру идентифицируют вещества. Образующиеся кристаллы приобретают характерную форму только при медленном выделении, то есть в разбавленных растворах. При высоких концентрациях осаждаемых веществ, а также при наличии посторонних соединений возможно искажение формы кристаллов.

В ходе работы получены следующие результаты:

1. В реакциях кордиамина с роданидным комплексом кобальта [2] образовались пучки оранжевых кристаллов. Предел обнаружения аналита данной методикой составил 0,3%. В ходе опыта изучено влияние механических воздействий на кристаллообразование. Если в ходе реакции перемешивать реагенты, то в реакцию вступит весь роданидный комплекс кобальта: произойдет окрашивание образовавшихся кристаллов избытком роданидного комплекса кобальта, и они станут большего размера, но количество будет меньше.

2. В реакциях прокaina с пикиновой кислотой [2] образуются пучки игольчатых кристаллов. Получена зависимость времени кристаллообразования от объема аналита.

Таблица. Зависимость времени кристаллообразования от объема аналита

Отношение объемов аналита и реагента Vпрок:Vпикр	Время выпадения кристаллов, мин	Время выпадения кристаллов при увеличении концентрации прокaina в растворе в два раза, мин	Время образования кристаллов при помещении кристалла прокaina в раствор реагента, мин
1:1	97	38	19
2:1	79	32	15
4:1	63	27	9
6:1	46	19	6



Рис. 1. Кристаллы, полученные в ходе реакции раствора кордиамина (1%) с роданидным комплексом кобальта

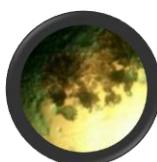


Рис. 2. Кристаллы, полученные в ходе реакции раствора кордиамина (25%) с роданидным комплексом кобальта



Рис. 3. Пикрат прокaina
(Аналит – раствор прокaina)



Рис. 4. Пикрат прокaina
(Аналит – кристалл прокaina)



Рис. 5. Пикрат пилокарпина



Рис. 6. Кристаллы, полученные в ходе реакции анальгина с реагентом Стефана

3. В реакциях пилокарпина с пикриновой кислотой [2] образуются игольчатые кристаллы желтого цвета. Изучено влияние примесей на кристаллообразование. В опытах использовался пилокарпин от разных производителей: «Диафарм Институт молекулярной диагностики» и Промышленно-финансовая корпорация «Обновление». Наличие борной кислоты в составе препарата от Промышленно-финансовой корпорации «Обновление» мешало кристаллизации: она была менее интенсивна и заняла 20 минут, при этом кристаллов выпало меньше. Предел обнаружения данного вещества составил 0,01%.

4. В реакциях анальгина с реагентом Стефана [1] выпадают красные нитевидные кристаллы. Наблюдается влияние примесей. Если не фильтровать анальгин от оболочки таблетки, то будет происходить растворение кристаллов. Следовательно, оболочка таблетки влияет на кристаллообразование и на результат анализа в целом.

Выводы

1. Состав проверенных микрокристаллоскопическим методом фармацевтических препаратов соответствует описаниям, указанным в инструкциях по применению. Предел обнаружения анализаторов данной методикой колеблется в интервале от 0,01% до 0,3%, но чувствительности разработанных методик достаточно для определения действующих веществ в пилокарпине, анальгине и кордиамине.

2. Идентификация методом микрокристаллоскопии не всегда возможна, так как форма кристаллов часто зависит от условий кристаллизации (концентрации исследуемого раствора, наличия примесей и т.п.). Для более точной идентификации фармацевтических препаратов целесообразно исследование кристаллических характеристик веществ, так как они не зависят от условий кристаллизации.

3. Изучено влияние объема анализа на время кристаллообразования и влияние механического воздействия на кристаллообразование.

4. Метод имеет практическую значимость, поскольку изученная методика позволяет проводить анализ не в лабораторных условиях.

Литература

- ГОСТ 4517-87 Реактивы. Методы приготовления вспомогательных реагентов и растворов, применяемых при анализе. – М., 2008.
- Позднякова В.Т. Микрокристаллоскопический анализ фармацевтических препаратов и ядов. – М.: Медицина, 1968. – 228 с.
- Фальсифицированные лекарственные средства на фармацевтическом рынке // Право. Учебные материалы онлайн [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/581540/pravo/falsifitsirovannye_lekarstvennye_sredstva_na_farmatsevticheskem_rynke (дата обращения: 09. 11. 2018).

Применение метакрилата тетрафенилсурьмы в реакции С-фенилирования метилакрилата в присутствии катализитических количеств ацетата палладия

Кипелкин Евгений Валерьевич

10 класс, Школа № 44, ШЮИ ИПФ РАН

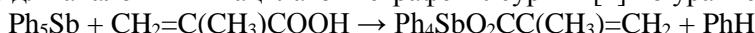
Научный руководитель А.И. Малеева, аспирант ННГУ им. Лобачевского



Синтезировано новое соединение – метакрилат тетрафенилсурьмы, строение которого изучено методами ИК, ЯМР и РСА-спектроскопии. Полученный Ph₄SbO₂CC(CH₃)=CH₂ был использован в качестве фенилирующего агента в реакции С-фенилирования метилакрилата при 50° в течение 6 ч. Продукты реакции выделены при помощи колоночной хроматографии. В качестве основного продукта получен метилициннамат, строение которого подтверждено методом ¹H-ЯМР спектроскопии, а также найден его выход относительно МОС, который составил 26%. В дальнейшем полученные в ходе работы данные могут быть применены в разработке синтеза новых соединений как агентов проведения селективных реакций.

Актуальной и быстро развивающейся областью химии является химия органических пятивалентных соединений сурьмы. Некоторые ее органические соединения используются в тонком органическом синтезе в реакциях С-, N-, O-арилирования непредельных соединений в присутствии соединений переходных металлов. Тетраарилстибины Ar₄SbX могут быть использованы в качестве реагентов в реакции С-фенилирования через формирование PhPd(OAc)₂ *in situ* [1]. Производные Ph₄SbX показали меньшую активность по сравнению с Ar₃Sb(OAc)₂. Только одна фенильная группа была вовлечена в реакцию С-фенилирования, что представляет интерес в получении монофенилзамещенных ненасыщенных соединений, что приводит к селективному получению одного продукта.

Цель работы – получить новое органическое соединение метакрилат тетрафенилсурьмы, провести реакцию С-фенилирования метилакрилата метакрилатом тетрафенилсурьмы, осуществить количественный и качественный анализ продуктов реакции. Синтез Ph₄SbO₂CC(CH₃)=CH₂ проводился по методике, применявшейся ранее для аналогичных ациллатов тетрафенилсурьмы[2] по уравнению:



Строение метакрилатата тетрафенилсульфуры подтверждалось с помощью ИК и ЯМР – спектроскопии, а также методом РСА. Таким образом, доказано получение $\text{Ph}_4\text{SbO}_2\text{CC}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$ и изучена его структура для дальнейших исследований. Реакция С-фенилирования проводилась по методике, применявшейся ранее для аналогичных галогенидов и ацилатов тетрафенилсульфуры [2]:



Для проведения реакции в ампулу на 20 мл поместили 257 мг (0,5 ммоль) $\text{Ph}_4\text{SbO}_2\text{CC}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$, 0,135 мл (1,5 ммоль) метилакрилата, а затем раствор 11,2 мг (0,04 ммоль) $\text{Pd}(\text{OAc})_2$ в 4 мл ацетонитрила. Ампулу запаяли и термостатировали при 50°C в течение 6 ч. В процессе ампулу периодически встряхивали. После окончания реакции ампулу вскрыли при комнатной температуре и отконденсировали жидкую часть в ловушку, охлаждаемую жидким азотом.

Для разделения веществ и нахождения их количества в получившейся смеси применили метод препаративной колоночной хроматографии.

К полученному твердому остатку в ампуле прилили элюент (гексан : этилацетат = 4:1). Полученный раствор, содержащий продукты реакции, поделили на колонке с силикагелем (высота столба силикагеля 7 см, ширина 2 см) с использованием элюента (гексан : этилацетат = 4 : 1). При этом собрали 10 фракций в среднем по 10 мл каждая.

Растворы во фракциях рассмотрели на наличие непредельных и металлоорганических веществ и выявили их методом тонкослойной хроматографии при сличении $R(f)$ с эталоном. Во фракциях 2 и 3 был найден метилциннамат $\text{CH}_3\text{O}_2\text{CCH}=\text{CHPh}$, а во фракциях с 4-10 была найдена трифенилсульфур Ph_3Sb .

Доказательство получения метилциннамата производили также с помощью спектроскопии ЯМР.

В спектре ^1H -ЯМР (CDCl_3) метилциннамата наблюдаются следующие сигналы протонов:

- в области слабого поля сигналы протонов фенильной группы: $\delta = 7.36 - 7.55$ (m, 5H) – соответствует орто-, мета- и пара-протонам фенильной групп;

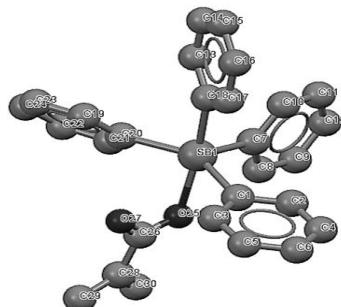


Рис. 1. Строение молекулы $\text{Ph}_4\text{SbO}_2\text{CC}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$

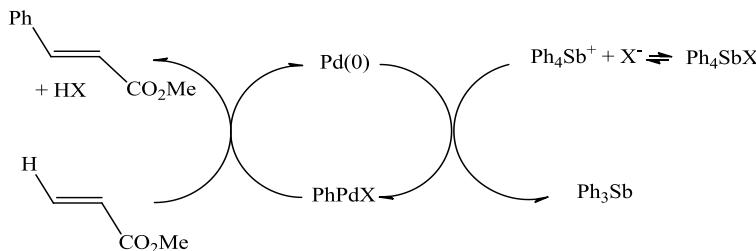
– в области более сильного поля сигналы протонов: $\delta = 6.42 - 6.47$ (d, 1H) – соответствует протону метиленовой группы акрилатного остатка; $\delta = 7.65 - 7.72$ (d, 1H) – соответствует протону метиленовой группы акрилатного остатка;

– в области более сильного поля сигнал протонов метильной группы: $\delta = 3.8 - 3.82$ (s, 3H) – соответствует протонам метильной группы.

Чтобы определить выход полученного в реакции метилциннамата, применили ГЖХ. Методом внешнего стандарта нашли выход количественно.

ГЖХ осуществляли на хроматографе Цвет-162 с пламенно-ионизационным детектором (ПИД); колонка Apiezon 15% Chromaton N-AW-HMDC; температура колонки 175°C, испарителя – 260°C; газ-носитель – аргон. Отбирали пробы объёмом 1 мкл с помощью микроришпинца МШ-10. Содержание метилциннамата во фракциях 2 и 3 определили, используя метод внешнего стандарта. Было проведено хроматографирование раствора эталона метилциннамата в ацетонитриле, после чего, исходя из сравнения найденных площадей под графиком хроматограммы, была найдена концентрация метилциннамата в растворе, полученном после проведения реакции С-фенилирования. Таким образом, была найдена масса полученного метилциннамата и выход реакции (по отношению к кол-ву МОС), который составил 26%.

Исходя из новых данных, был составлен каталитический цикл реакции С-фенилирования метилакрилата:



В результате проведённого исследования можно сказать, что метакрилат тетрафенилсурымы способен участвовать в Pd -катализируемом С-фенилировании метилакрилата. Эффективность использования данного типа МОС невысока, так как в фенилировании участвует только одна из четырех фенильных групп. Однако в результате мы получаем лишь незначительное количество побочных продуктов, что говорит о высокой селективности протекания реакции.

В результате работы был осуществлён синтез неизвестного ранее метакрилата тетрафенилсурьмы, подтверждено его строение методами ИК, ЯМР-спектроскопии, а также методом РСА. Проведена реакция С-фенилирования метилакрилата, осуществлены качественный и количественный анализ продуктов реакции, подтверждено строение продуктов реакции методом ЯМР-спектроскопии, изучен процесс протекания реакции С-фенилирования метилакрилата.

Литература

1. Moiseev D.V., Morugova V.A., Gushchin A.V., Shavirin A.S., Kursky Y.A., Dodonov V.A. Tetraphenylantimony carboxylates in the cascade Pd-catalyzed C-phenylation reaction of methyl acrylate in the presence of peroxide // Journal of Organometallic Chemistry. 2004. V. 689. P. 731 – 737.
2. Гущин А.В., Грунова Е.В., Мoiseев Д.В., Морозов О.С., Шавырин А.С., Додонов В.А. Галогениды и некоторые карбоксилаты тетрафенилсурьмы в каталитической реакции фенилирования метилакрилата // Изв. АН. Сер. хим. 2003. № 6. С. 1302 – 1305.
3. Гущин А.В., Шашкин Д.В., Щербакова Т.С., Сомов Н.В., Фукин Г.К., Шавырин А.С., Рыкалин В.И., Додонов В.А. Синтез. Строение акрилата тетрафенилсурьмы и введение его в полиметилметакрилат // Вестник ННГУ. Сер. Химия. 2010. Вып. 6. С. 68 – 72.

Титриметрическое определение концентрации пероксида водорода в лекарственных формах разных производителей

Комиссарова Анна Вадимовна

10 класс, Школа № 94, Нижний Новгород

Научный руководитель Е.Г. Гусева,
учитель химии, Школа № 94, Нижний Новгород



Изложены исторические факты, состав, строение, химические свойства, способы получения и области применения пероксида водорода. Методом титриметрического анализа – перманганатометрией – количественно определено содержание пероксида водорода в исследуемых препаратах разных производителей, результат сравнили с заявленным на этикетке.

Цель работы – определить концентрации пероксида водорода в лекарственных формах разных производителей. Задачи: выбрать метод титриметрического анализа и титруемое вещество, провести титрование редокс-методом; определить и вычислить процентное содержание пероксида водорода в лекарственных формах у разных производителей.

Перманганатометрия – один из наиболее часто применяемых методов окислительно-восстановительного титрования. В качестве титранта используют растворы перманганата калия, окислительные свойства которого можно регулировать в зависимости от кислотности раствора. По сравнению с другими методами окислительно-восстановительного титрования рассматриваемый метод отличается рядом достоинств:

1. Так как одна капля раствора KMnO_4 даже при малой концентрации окрашивает 50 мл раствора в отчетливый розовый цвет в конце титрования, его можно проводить, не прибегая к использованию индикаторов по появлению розовой окраски при прямом титровании или по её исчезновению при обратном.

2. Титрование перманганатом можно осуществлять в любой среде (кислой, нейтральной, щелочной).

3. Перманганат калия имеет очень высокий окислительно-восстановительный потенциал. Поэтому многие вещества, которые невозможно оттитровать более слабыми окислителями, можно определять методом перманганатометрии.

Для практической части были использованы реактивы и оборудование школьной лаборатории.

Таблица 1. Выбор лекарственных препаратов, содержащих пероксид водорода

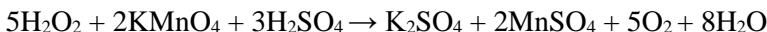
Компания производителя	Концентрация (ω), заявленная на этикетке
«Лекарь» (г. Чапаевск)	3%
«Тульская фармацевтическая фабрика» (г. Тула)	3%
«Экотекс» (г. Электросталь)	3%
«Йодные Технологии и маркетинг» (г. Москва)	3%

Для приготовления растолкли шесть таблеток гидроперита и добавили 91 мл воды – так получили 3% раствор гидроперита.

Перманганатометрическое титрование. Налили в конические колбы 10 мл пероксида водорода разных производителей и добавили по 5 мл H_2SO_4 , для создания кислой среды. Также поступили с гидроперитом: к 10 мл полученного раствора добавили 5 мл H_2SO_4 . Каждый раствор титровали несколько раз, чтобы образовать средний объем титра. Сначала раствор $KMnO_4$ был розовым, но после определенного количества капель он обесцвекился в кислом растворе H_2SO_4 .

Таблица 2. Результаты титрования

1)V($KMnO_4$), мл	2)V($KMnO_4$), мл	3)V($KMnO_4$), мл	4)V($KMnO_4$), мл	5)V($KMnO_4$), мл
15,0	14,8	15,7	15,6	16,7
14,9	14,9	15,4	15,8	16,9
14,8	14,7	15,5	16,0	16,7
15,2	15,1	15,6	16,2	17,0
15,4	15,0	15,4	15,7	16,8
15,0	14,9	15,5	15,8	17,2
15,1	14,8	15,4	15,7	16,7
14,9	15,0	15,5	15,8	16,9



$$n(\frac{1}{2}H_2O_2) = n(1/5 KMnO_4)$$

$$c(\frac{1}{2}H_2O_2) = c(1/5 KMnO_4) \cdot V(1/5 KMnO_4) / V(\frac{1}{2}H_2O_2)$$

$$m(H_2O_2) = C(\frac{1}{2}H_2O_2) \cdot M(\frac{1}{2}H_2O_2) \cdot V$$

$$\omega(H_2O_2) = m(H_2O_2) / m(p-pa)$$

1) Перекись водорода «Лекарь»

$$c(\frac{1}{2}H_2O_2) = \frac{0,1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 15,1 \text{мл}}{10 \text{мл}} = 0,151 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$m(H_2O_2) = 0,151 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}} * 0,1 \text{л} = 0,256 \text{г}$$

$$\omega(H_2O_2) = \frac{0,256 \text{г}}{10 \text{г}} * 100\% = 2,56\%$$

2) Перекись водорода «Тульская фармацевтическая фабрика»

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 14,9 \text{ мл}}{10 \text{ мл}} = 0,149 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$
$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,149 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}} * 0,1 \text{ л} = 0,253 \text{ г}$$
$$\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,253 \text{ г}}{10 \text{ г}} * 100\% = 2,53\%$$

3) Перекись водорода «Мосфарм»

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 15,5 \text{ мл}}{10 \text{ мл}} = 0,155 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$
$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,155 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}} * 0,1 \text{ л} = 0,263 \text{ г}$$
$$\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,263 \text{ г}}{10 \text{ г}} * 100\% = 2,63\%$$

4) Перекись водорода «Йодные технологии и маркетинг»

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 15,8 \text{ мл}}{10 \text{ мл}} = 0,158 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$
$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,158 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}} * 0,1 \text{ л} = 0,268 \text{ г}$$
$$\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,268 \text{ г}}{10 \text{ г}} * 100\% = 2,68\%$$

5) Раствор гидроперита «Титхимвармпрепараты»

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,1 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 16,9 \text{ мл}}{10 \text{ мл}} = 0,169 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$
$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,169 \frac{\text{моль}}{\text{л}} * 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}} * 0,1 \text{ л} = 0,287 \text{ г}$$
$$\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,287 \text{ г}}{10 \text{ г}} * 100\% = 2,87\%$$

Выводы

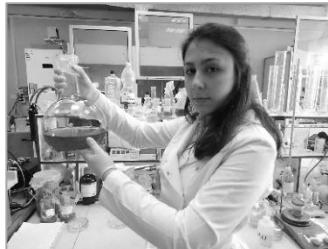
Во всех случаях титрования получилось несколько меньшее содержание пероксида водорода, чем указано на упаковке. Возможно, это связано с тем, что титрование произошло неточно (в условиях школьной химической лаборатории) или что в лекарство неправильно хранили в аптеке. С гидроперитом так получилось, скорее всего, из-за изготовления по неточным пропорциям.

Литература

1. Васильев В.П. Аналитическая химия. Кн. 1. Гравиметрический и титриметрический анализ. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.
2. Золотов Ю.А. Основы аналитической химии. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения. – М.: Высшая школа, 2000. – 351с. Кн. 2. Методы химического анализа. – М.: Высшая школа, 2004. – 361с.
3. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Кн. 1. Общие теоретические основы. Качественный анализ. Кн. 2. Количественный анализ. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. – М.: Высшая школа, 2003. – 615, 559 с.

Биоразлагаемые сорбенты ионов металлов на основе крахмала, хитозана и акриламида

Мирзаева Сабина Элмаг-кызы
10 класс, Лицей № 28, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель С.З. Зейналова,
магистрант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Проведен синтез биоразлагаемого сорбента металлов из крахмала, хитозана и акриламида и исследованы его свойства. Получены сорбенты с различным соотношением крахмала, хитозана и акриламида, определен выход реакции сополимеризации. Исследованы сорбционные свойства, которые были получены сорбентом по отношению к катионам хрома (III, VI). Результаты анализа доказывают высокую сорбционную способность по отношению к катионам металлов. Доказаны способность сополимеров к биоразложению под действием ферментов альфа-амилазы и глюкоамилазы, а также разложение в ходе 30-дневной инкубации образцов с плесневым грибом *Aspergillus niger* в питательной среде.*

Перед человечеством остро стоит проблема загрязнения гидросферы. Существует большое количество сорбентов и флокулянтов для очистки воды, но их использование также приводит к загрязнению окружающей среды, поскольку они не способны к биоразложению. Сорбенты на основе полиакриламида эффективно сорбируют ионы металлов, но после использования заражают воду и делают не-пригодной для потребления [3]. В связи с этим создание конкурентоспособных аналогов сорбентов для очистки воды от вредных ионов металлов, которые способны разлагаться на безвредные металлы под действием факторов окружающей среды, является перспективным направлением современной химии.

Крахмал и хитозан хорошо подходят для создания сорбента, так как являются доступными, биоразлагаемыми веществами с высокими сорбционными свойствами.

Цель работы – создание биоразлагаемых сорбентов ионов металлов на основе сополимеров акриламида, крахмала и хитозана [1].

Для совмещения крахмала и хитозана в сополимер использовался акриламид, который выступал в роли компатибилизатора. Поскольку крахмал не растворяется в кислой среде (в отличие от хитозана), на первом этапе синтеза проводилась модификация крахмала методом привитой сополимеризации с акриламидом [2].

Для этого крахмал и акриламид в нужных пропорциях (1:2 и 1:0,5) растворили в 0,5%-ом растворе гидроксида натрия, смесь поместили в термостат, затем при достижении температуры 60°C добавили инициатор реакции полимеризации – персульфат аммония. Синтез шел 2 – 2,5 ч. Для определения выхода реакции провели двукратное осаждение сopolимера этанолом и высушивание. Выход составил 20%.

Получение привитого сopolимера доказали с помощью ИК-спектроскопии (рис. 1). На спектре чистого крахмала отсутствуют валентные колебания, характерные для спектра сopolимера и соответствующие аминогруппе и карбонильной группе.

Получение блок-сopolимера модифицированного крахмала и хитозана провели с помощью ультразвуковой диспергатора для жидкостей И100-6/4. Доведенный до кислой среды раствор привитого сopolимера крахмала и акриламида смешали с раствором хитозана в 3%-й уксусной кислоте. Ультразвуковое воздействие проводилось 15 – 30 минут. По данной методике были получены шесть блок-сopolимеров различного состава (табл. 1). В процессе ультразвуковой диспергации в полимерах разрушились старые химические связи и образовались новые межмолекулярные водородные связи. Строение полученного сopolимера представлено на рисунке 2.

Эффективность сорбции катионов хрома +3 и +6 изучили при обработке загрязненной воды растворами сорбента. На атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой PRODIGY был проведен анализ обработанных сточных вод на содержание ионов хрома. Полученные данные занесли в таблицу 2.

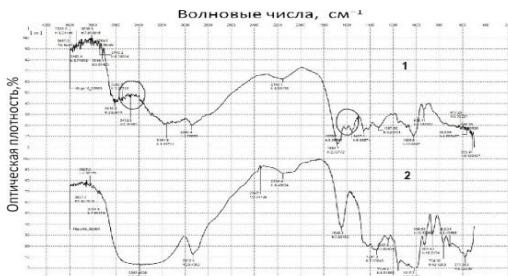


Рис. 1. Сравнение ИК-спектров чистого крахмала (2) и привитого сopolимера (1)

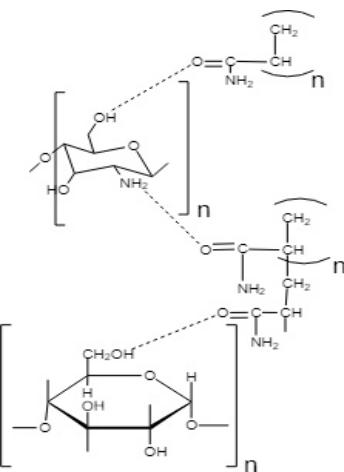


Рис. 2. Структура блок-сopolимера крахмала, хитозана и акриламида

Таблица 1. Составы блок-сополимеров, полученных в ходе работы

Состав Кр:АА	Раствор ХТЗ	Соотношение (Кр:АА) : ХТЗ
1:2	3% ХТЗ в 1,5% УК	1:1
1:2	3% ХТЗ в 1,5% УК	1:0,5
1:2	3% ХТЗ в 6% УК	1:1
1:2	3% ХТЗ в 1,5% УК	1:0,5
1:0,5	3% ХТЗ в 1,5% УК	5:1
1:0,5	3% ХТЗ в 1,5% УК	3:1

Таблица 2. Данные по сорбции ионов Cr (+3,+6), полученными сополимерами

№ образца	Состав образца	Масса образца (по сухому веществу), г	Масса хромовых стоков, г	Содержание Cr после обработки, мг/л
1	- (исходные стоки)	-	30	50,6
2	3%ХТЗ в 1,5% УК	0,22	30	33,7
3	Кр:АА - 1:2	0,67	30	44,0
4	(Кр:АА):3%ХТЗ в 1,5% УК – (1:2):1	0,45	30	16,3
5	(Кр:АА):3%ХТЗ в 1,5% УК – 3(1:0,5):1	0.39	30	10,2

Доказаны способность сополимера к биоразложению под действием ферментов альфа-амилазы и глюко-амилазы, а также разложение в ходе 30-дневной инкубации образцов с плесневым грибом *Aspergillusniger* в питательной среде.

В ходе работы был осуществлен синтез блок-сополимеров крахмала, хитозана и акриламида с различными соотношениями реагентов и исследованы их сорбционные свойства. Полученный сорбент способен снижать концентрацию катионов хрома в пять раз, что говорит о его высокой эффективности. Проведенные опыты доказывают способность сополимера разлагаться в окружающей среде под действием биотических факторов. Таким образом, созданные сорбенты в перспективе могут использоваться для очистки воды от ионов тяжелых металлов.

Литература

1. Быков В.П. // Тез. V Всерос. конф. «Новые перспективы в исследовании хитина и хитозана». Щелково, 2001. С. 15.
2. Кряжев В.Н., Романов В.В., Широков В.А. Последние достижения химии и технологии производных крахмала. // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 5 – 12.
3. Максимова Ю.Г., Максимова А.Ю., Демакова В.А., Будников В.И. Влияние гидрогелей поликариламида на микрофлору почвы // Вестник Пермского Университета. 2010, № 1. С. 45 – 49.

Синтез биодеградируемого привитого сополимера коллагена и полиметилметакрилата

Пряжникова Мария Игоревна,
11 класс, Школа № 30, ШЮИ ИПФ РАН,
Научный руководитель Ю.Л. Кузнецова,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук



Предложена методика синтеза привитого сополимера полиметилметакрилата и коллагена в присутствии трибутилборана при различных температурах. Прививка осуществляется по механизму обратимого ингибиования за счет реакционных центров, образующихся при взаимодействии трибутилборана с гидроксильными группами звеньев оксипролина. Увеличение температуры синтеза способствует снижению выхода гомополимера, при этом доля привитого полиметилметакрилата не меняется. Сополимер охарактеризован с помощью методов ИК-спектроскопии и гель-проникающей хроматографии, оценена его способность к биодеградации.

Интерес исследователей направлен на совмещение положительных характеристик природных и синтетических полимеров путем создания гибридных материалов. Они обладают желаемыми механическими и физическими свойствами и в тоже время способны к биодеградации после завершения срока эксплуатации. Применение таких материалов актуально для многих сфер деятельности человека [3]. Гибридные материалы на основе коллагена или продукта его денатурации – желатина – находят свое применение в производстве адгезивов, защитных покрытий [4, 6], упаковочных материалов; продуктов биомедицинского назначения – скаффолдов [1, 2].

Цель работы – создание легко биодеградируемого привитого сополимера коллагена и полиметилметакрилата (ПММА) в присутствии трибутилборана (ТББ). Задачи: исследовать прививочную сополимеризацию метилметакрилата (ММА) и коллагена при различных температурах; изучить способность сополимеров к биодеградации в естественных условиях. Для проведения сополимеризации по запатентованной методике [5] из кожи трески была получена уксуснокислая дисперсия коллагена, определено содержание коллагена и доведено до 1%. Коллагеновые дисперсии были выдержаны в токе аргона при постоянном перемешивании 3.5 ч при 25, 45 и 60⁰С, затем исследованы методом гель-проникающей хроматографии.

Молекулярно-массовое распределение (ММР) коллагена при 25°C (рис. 2, кр. 1) и 45°C (рис. 1, кр. 2) практически не меняются по сравнению с ММР исходного коллагена (рис. 2, кр. 4), а при 60°C наблюдается значительное смещение основной моды ММР в сторону меньших молекулярных масс. Такое смещение может быть связано с частичным разрушением структуры коллагена. Поэтому для дальнейших исследований выбраны температуры синтеза сополимера 25 и 45°C.

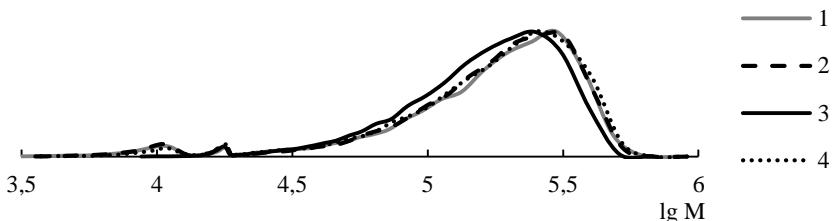


Рис. 1. ММР коллагена, прогретого при 25 (1), 45 (2), 60°C (3), и исходного коллагена (4)

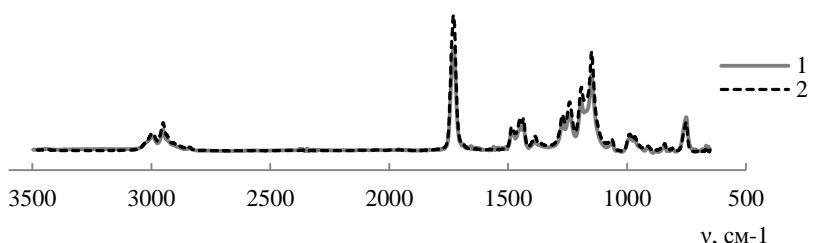


Рис. 2. ИК-спектры гомополимера ПММА, полученного полимеризацией ММА в присутствии ТББ и коллагена (1), и ПММА, синтезированного традиционной радикальной полимеризацией (2)

Для проведения прививочной полимеризации к уксуснокислой дисперсии, содержащей 1% коллагена, добавили ТББ, реакционную смесь выдержали 30 минут, затем прилили ММА, смесь выдержали еще 3 часа. Все операции провели в токе аргона при заданной температуре и постоянном перемешивании реакционной смеси. Во всех опытах была получена водная дисперсия привитого сополимера ПММА на коллаген и осадок гомополимера белого цвета, что подтверждается ИК-спектром (рис. 2, кр. 1). Последний полностью совпадает со спектром ПММА, синтезированном без коллагена (рис. 2, кр. 2). Выход гомополимера уменьшается с увеличением температуры (табл. 1).

В ИК-спектре выделенного из дисперсии сополимера (рис. 3, кр. 1, 2) наблюдаются полосы поглощения, относящиеся к коллагену (рис. 3,

кр. 3) и ПММА (рис. 3, кр. 4). Это подтверждает тот факт, что на растворенный в воде коллаген осуществляется прививка ПММА.

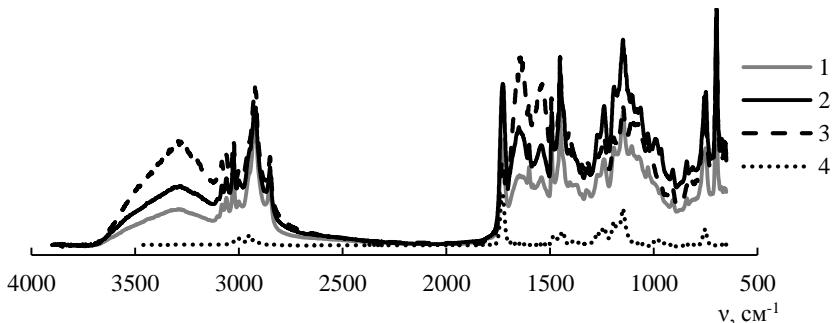


Рис. 3. ИК-спектры сополимера, полученного полимеризацией ММА в присутствии ТББ и коллагена при 25 (1), 45°C (2), коллагена (3) и ПММА (4)

Таблица 1. Выход гомополимера и доля ПММА в привитом сополимере коллагена и ПММА, синтезированного в присутствии ТББ при различных температурах. Исходные массы: коллаген - 0.30 г; MMA - 2.81 г.

Температура, °C	Масса гомополимера ПММА, г	Выход гомополимера ПММА, %	Масса сополимера, г	Масса ПММА в сополимере, г	Доля ПММА в сополимере, %	Масса оставшегося MMA, г
25	0.85	30.4	0.56	0.30	53.0	1.66
45	0.28	10.0	0.48	0.24	50.6	2.29

Дисперсии сополимера высушили на воздухе для удаления воды и непрореагировавшего MMA, затем обработали коллагеназой для гидролиза коллагеновых фрагментов сополимера. Оставшийся ПММА довели до постоянной массы и рассчитали процент прививки. Как видно из таблицы 1, температура полимеризации не оказывает существенного влияния на долю ПММА в сополимере. Вид криевых ММР ПММА, полученного ферментативным гидролизом, не зависит от температуры синтеза сополимера (рис. 4).

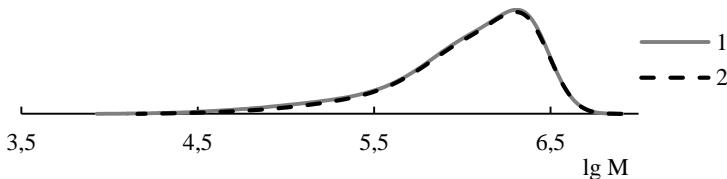
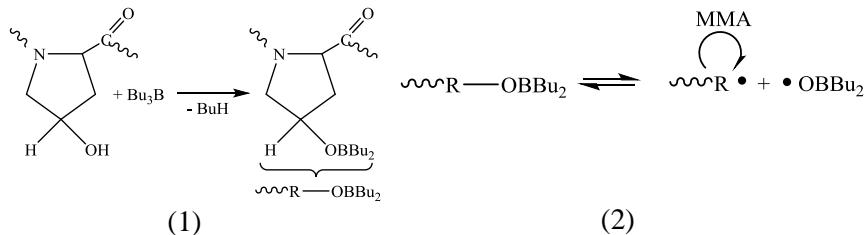
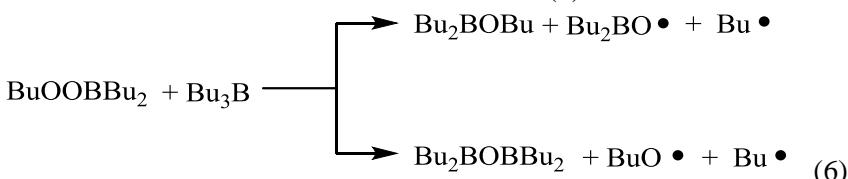


Рис. 4. Кривые ММР ПММА, полученного ферментативным гидролизом сополимера, синтезированного при 25 (1) и 45°C (2)

Сополимер образуется в две стадии. Сначала на поверхности коллагена формируются реакционноспособные борсодержащие аддукты (1), которые обратимо гомолитически диссоциируют (2), способствуя образованию сополимера по механизму обратимого ингибирования.



Гомополимер получается в результате полимеризации ММА, инициируемой радикалами, которые образуются при окислении ТББ кислородом (3 – 6).



Взаимодействие алкилборанов с гидроксилсодержащими соединениями катализируется аминокислотами, которые образуются в результате гидролиза коллагена. С повышением температуры синтеза увеличивается вероятность образования аминокислот, о чем свидетельствуют MMP (рис. 1) коллагена. Значит, вероятность протекания реакции с повышением температуры выше, а следовательно, в меньшей степени происходит окисление ТББ по схемам (3 – 6) и меньше образуется гомополимера (табл. 1).

Поставленной в работе целью получения новых привитых сополимеров коллагена и ПММА является их способность к биодеградации. Образцы сополимеров и коллагена помещали в чашки Петри на хлеб, покрытый плесневелыми грибами, при комнатной температуре, и выдерживали в интервале заданных условий определенные проме-

жутки времени. Наблюдения за изменениями, происходящими с (ко)полимерами, проводили в течение девяти недель невооруженным взглядом и с помощью бинокулярного микроскопа с применением сорока восьми кратного увеличения (марки МБС-2). Сополимеры коллагена и ПММА начинали обрастать плесневыми грибами уже на 2 неделе эксперимента. Так как эксперимент был рекогносцировочным, полученные результаты не позволяют сравнить способность к биоразложению коллагена и его сополимеров, однако однозначно свидетельствуют о том, что полученные сополимеры коллагена и ПММА являются биоразлагаемыми.

Выводы

1. Синтезированы сополимеры коллагена и полиметилметакрилата в присутствии трибутилбора при температурах 25 и 45°C. Показано, что с увеличением температуры уменьшается выход гомополимера полиметилметакрилата, а состав и молекулярная масса сополимера не меняется.

2. Изучена способность сополимеров коллагена и полиметилметакрилата к биодеградации в естественных условиях. Показано, что сополимеры имеют тенденцию к биоразложению.

Литература

1. *Ibrahim S., Nawwarb G.A.M., Sultan M.* Development of bio-based polymeric hydrogel: green, sustainable and low cost plant fertilizer packaging material. // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2016. P. 203 – 227.
2. *Khanna N.D., Kaur I., Bhalla T.C., Gautam N.* Effect of Biodegradation on Thermal and Crystalline Behavior of Polypropylene–Gelatin Based Copolymers. // Journal of Applied Polymer Science. 2010. V. 118. P. 1476 – 1488.
3. *Laycock B., Nikolić M., Colwell J.M., Gauthier E., Halleya P., Bottle S., George G.* Lifetime prediction of biodegradable polymers. // Progress in Polymer Science. 2017. 71. P. 144 – 189.
4. *Варламов А.В., Зуев А.Н., Латинский Е.Е.* Модификация свойств желатина эмульсионного слоя фотопленки стиролакрилатными латексами // Химическая промышленность. 2008. Т. 85. № 3. С. 135 – 137.
5. *Семеновичева Л.Л., Астанина М.В., Кузнецова Ю.Л., Гераськна Е.В., Таранкова О.А.* Способ получения уксусной дисперсии высокомолекулярного рыбного коллагена. ПатентРФ № 2567171. 2014.
6. *Ярышева Л.М., Авербух М.З., Бакеев Н.Ф., Козлов П.В.* Исследование физико-механических свойств привитых сополимеров желатины с синтетическими полимерами и их смесей. // Высокомолек. соед. 1974. XVI. С. 1807 – 1812.

Повышение эффективности рационального использования природных полимеров путём получения биоразлагаемых материалов

Рындык Мария Павловна

10 класс, Лицей № 8, Нижний Новгород

Научный руководитель Г.В. Икренникова,
учитель химии Лицей № 8, Нижний Новгород



Работа посвящена повышению эффективности рационального использования природных полимеров путём получения биоразлагаемых материалов. Исследованы свойства природных полимеров: пектина и хитозана. Выделен пектин из четырёх видов растительного сырья (цитрусовое, свёкла, яблоко, груша), получен раствор хитозана (полифракционный хитозан из панциря ракообразных + HCl). Проведена качественная реакция на наличие в пектине D-галактуроновой кислоты (ацетат свинца + полученный раствор пектина при нагревании). Добыты биоразлагаемые плёнки на основе комплекса пектин – хитозан, доказаны их антибактериальные свойства на среде МПА. Сделано предложение о способе применения плёнок в пищевой, медицинской и косметической промышленностях.

До начала XX века люди широко применяли природные полимеры. С развитием органического синтеза появилось большое разнообразие полимеров синтетического происхождения, которые медленно разлагаются в естественных условиях среды. При производстве многих полимеров, например, полистирола, сжигании его отходов выделяются токсичные соединения, опасные для здоровья человека. Особую опасность представляют пластмассовые тары разового использования, пленка и упаковочные материалы. В связи с этим необходим поиск и использование полимеров природного происхождения, подвергающихся биодеструкции, например, пектина и хитозана.

Цель исследования – получить углевод – углеводные комплексы с антибактериальными агентами, обладающие целостной структурой, прочностью, способностью к биоразложению в естественных условиях среды, с установлением их антибактериального эффекта. Задачи: провести выделение пектина, получить устойчивые полимерные комплексы пектина с хитозаном, внести в комплексы антибактериальные агенты и установить антибактериальное действие полученных комплексов, провести исследование относительно способности полимеров-комплексов к биоразложению. Объект исследо-

вания – природные и модифицированные полимеры (пектин, хитозан). Предмет исследования – биоразлагаемые свойства полученных полимерных комплексов.

Исходя из теории пектиновых веществ, пектин – полисахарид клеточной ткани наземных растений, обладает свойствами, обуславливающими его применение и в различных отраслях промышленности. Пектины имеют коллоидную природу, способны к набуханию, поглощают токсины. Их основу составляет D-галактуроновая кислота, этирифицированная метиловым спиртом, а также нейтральные и кислые сахара. Полный гидролиз пектина в кислой среде приводит к D-галактуроновой кислоте, L-рамнопиранозе и метиловому спирту.

Пектин выделяли методом экстракции из различных видов растительного сырья (свёклы, апельсина, яблока, груши). Из 25 г свежего материала трехкратной обработкой спиртом извлекали сахара, помещали в коническую колбу, добавляли 50 мл раствора соляной кислоты и 50 мл дистиллированной воды. Полученную смесь нагревали, затем охлаждали. Была проведена качественная реакция на наличие в полученном материале галактуроновой кислоты. Небольшое количество пектина (на кончике шпателя) растворяли в 3 – 4 мл воды, добавляли несколько капель 10%-го раствора основного ацетата свинца и нагревали на кипящей водяной бане. Вначале образовался белый осадок пектината свинца, который постепенно окрашивался в оранжевый цвет.

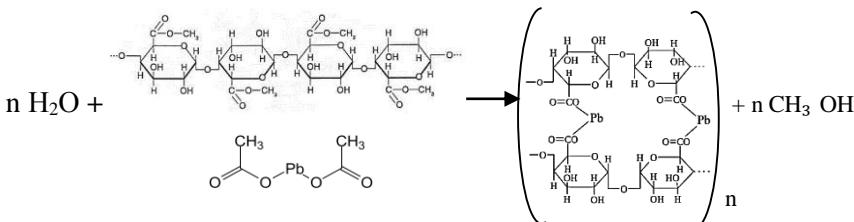


Рис. 1. Доказательство наличия D-галактуроновой кислоты в полученном пектине

Для характеристики пектина, полученного из растительного сырья, определили ряд показателей и свойств: влажность, массовую долю пектина, сопутствующие вещества, свободные карбоксильные группы, степень ацетилирования, pH 1%-го раствора пектина, а также его студнеобразующую и комплексообразующую способность. Полисахарид хитозан образуется при деацетилировании хитина (структурный полисахарид беспозвоночных животных). Структуру хитина

составляют N-ацетил-D-глюкозаминовые звенья, соединенные β -(1,4)-гликозидными связями. Структура молекулы хитозана обуславливает проявление сорбционных свойств, а также его низкую токсичность и способность к биодеградации. Раствор хитозана получен при нагревании полифракционного хитозана из панциря ракообразных с 1н. соляной кислотой.

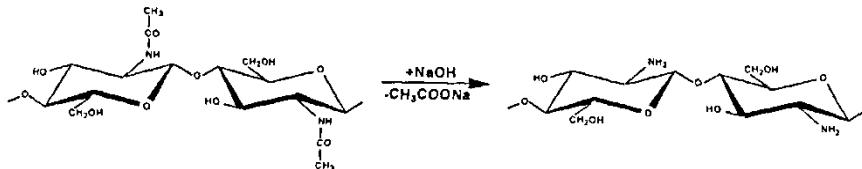


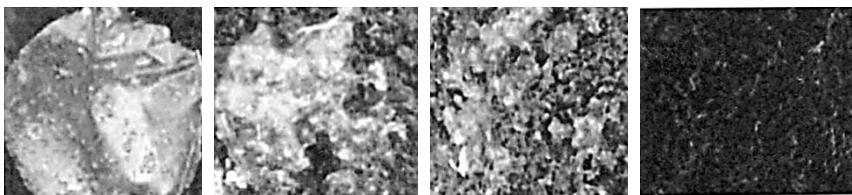
Рис. 2. Схема реакции получения хитозана из хитина

При осторожном наслаждении на раствор хитозана раствора пектина происходит образование биоразлагаемой плёнки на основе смеси природных полимеров, тонкой, но очень прочной полимерной плёнки, образованной за счёт ион-ионного взаимодействия хитозана и пектина. Для придания пластичности плёнки в композицию вводили пластификатор (варьируя процентное соотношение хитозана, пектина и пластификатора). Наилучшими показателями обладали плёнки со средним содержанием пластификатора (1,5 мл глицерина). Толщина плёнок была измерена при помощи высокоточного аналогового микрометра модели G-6С компании «ПолиФлекс». Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние состава комплексов пектин – хитозан на отдельные показатели плёнок

№ образца	Состав плёнки			Показатели	
	Пектин, %	Хитозан, %	Глицерин, мл	Толщина, мкм	Структура
1	25	75	-	2-3	Хрупкая
2	25	75	3	5-6	Влажная, липкая
3	30	70	1,5	4-5	Гомогенная, пластичная
4	30	70	3	6-7	Влажная, липкая
5	50	50	-	3-4	Хрупкая
6	50	50	1,5	4-5	Гомогенная, пластичная
7	50	50	3	6-7	Влажная, липкая

Оценка биоразлагаемости плёнок была проведена в водно – почвенной среде (плёнки были положены на сырую землю). Полученные комплексы полностью биоразлагаемы за 8 суток (рис. 3).



а) 1-й день б) 3-й день в) 6-й день г) 8-й день
Рис. 3. Процесс биоразложения плёнки на основе пектина и хитозана в водно-почвенной среде

Получены антимикробные комплексы, содержащие в своем составе растворы йода и йодида калия в соотношении 1:3 со следующими концентрациями в составе плёнок: 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,5%, 1%. Доказательство антибактериальных свойств было проведено на микроорганизмах и грибах, выращенных на твёрдой питательной среде (мясо - пептонный агар). В качестве контроля использовали аптечный препарат «Йодинол». Результаты чувствительности микроорганизмов на твёрдой питательной среде представлены в таблице 2. Комплексы с иммобилизованным йодом превосходят по своей эффективности препарат «Йодинол» по отношению к выращенным нами микроорганизмам.

Таблица 2. Интерпретация чувствительности микроорганизмов на твёрдой питательной среде (мясо – пептонный агар)

Состав плёнки	Концентрация йода, %	Диаметр зоны задержки роста, мм			
		≤10	10-15	15-20	≥25
Хитозан–пектин	0,05	+			
	0,10		+		
	0,20			+	
	0,50			+	
	1,00				+
Контроль – препарат «Йодинол»	0,25	+			
	0,50		+		
	1,00			+	



Рис. 4. Полученная биоразлагаемая плёнка

Выводы

1. Получен пектин с помощью метода экстракции из нескольких видов растительного сырья (свёклы, апельсина, яблока, груши).
2. Получены новые биодеградируемые плёнки на основе пектина и хитозана с добавкой глицерина в качестве пластификатора.
3. Установлено, что плёнки на основе смеси хитозан – пектин полностью биоразлагаемы.
4. Установлены антибактериальные свойства полученных комплексов при внесении йода.

Итак, полученные биоразлагаемые плёнки можно будет использовать в тароупаковочных или медицинских целях в качестве медицинских повязок, обработки операционных полей и рук хирургов, а также для разработки различных продуктов в фармацевтической, медицинской, пищевой и косметической отраслях промышленности.

Литература

1. Вихорева Г.А., Варламова В.П., Скрябина К.Г. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение. – М.: Наука, 2002. – 368 с.
2. Гальбраих Л.С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение // Соросовский образовательный журнал. 2001. № 1. – 42 с.
3. ГОСТ 29186-91 «Пектин. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 2003.
4. Каблов В. Ф., Агаянц И.М., Иощенко Ю.П., Кондратукий Д.А. Получение полимолекулярных компонентов хитозана с биоразлагаемыми полимерами и исследование их свойств. – М.: Вестник МИТХТ. 2006. № 5. С. 17 – 23.
5. Севастьянов В.И., Перова Н.В. Медико-биологические свойства полиоксилканоатов – биодеградируемых бактериальных полимеров // Перспективные материалы. 2001. № 5. С. 47 – 55.
6. Фомин В.А., Гузеев В.В. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования // Пластические массы. 2001. № 2. С. 42 – 46.

Перегонка нефти при атмосферном, пониженном давлении и паровым способом

Струев Никита Иванович

10 класс, Лицей № 8, Нижний Новгород

Научный руководитель Г.В. Икренникова,
учитель химии Лицей № 8, Нижний Новгород



Экспериментально исследованы на базе лаборатории ННГУ им. Н.И. Лобачевского химический и фракционный составы нефти: осуществлена первичная перегонка нефти паровым и вакуумным способами. Зафиксированы параметры полученных в ходе исследования продуктов. Собрана информация по процессу переработки нефти и параметрам конечных продуктов на НПЗ «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтесинтез». Проведено сравнение объемов выхода и ключевых параметров конечных продуктов, полученных в лабораторных и заводских условиях. В целях экономии нефти как конечного ресурса по итогам исследования сделаны предложения по увеличению глубины переработки исходного продукта: помимо первичной переработки нефти требуется и вторичная, позволяющая в 1,5 раза увеличить выход светлых продуктов, а также существенно снизить объем отходов.

Знание химического и фракционного составов нефти необходимо для выбора наиболее оптимальных направлений процессов нефтепереработки, расчета мощности нефтеперерабатывающих установок, а также для решения экологических проблем. Данная работа является попыткой систематизации знаний теоретического и прикладного характера о современных методах анализа органических соединений и их смесей природного и искусственного происхождения. Цель работы – используя различные методы перегонки, определить практический выход продуктов, сравнить их качественные характеристики и выбрать наиболее оптимальные условия переработки в целях оптимизации объемов исходного сырья.

Гипотеза: если изучить свойства нефти и узнать, как наиболее оптимально осуществлять ее переработку, удастся понять, как экономить на ее добыче, а также ответить на вопрос о предотвращении экологических последствий. Предпосылки: 1) в процессе первичной нефтепереработки остается много отходов, которые в дальнейшем можно использовать как самый дешевый вид топлива или переработать вторично; 2) в нефтепереработке большой объем выходного сырья используется как топливо, хотя спектр

применения нефти в промышленности очень широк; 3) нефть – исчерпаемый ресурс; 4) экологические последствия переработки и использования нефтяного топлива все больше оказывают влияние на окружающую среду и жизнь человечества. Объект исследования: нефть. Предмет исследования: глубина переработки нефти.

Результаты лабораторного исследования: 1) процент выхода светлой фракции составляет 40%; 2) светлые продукты (бензин, керосин и дизель) имеют мутный оттенок, следовательно, в них присутствует вода, что подтверждено действием безводного сульфата меди(II); 3) доказано наличие серы реакцией с использованием нитрата свинца(II).

Результаты переработки нефти на НПЗ «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтесинтез»: 1) процент выхода светлой фракции составляет 61% и более; 2) продукты реакции, полученные на Лукойле, не имеют в примеси воду, так как они подвергались гидроочистке.

В ходе исследования гипотеза нашла подтверждение: 1) экспериментально установлено, что нефть – смесь жидких углеводородов в различных пропорциях. Доказательство – процесс перегонки, в котором углеводороды поэтапно разделяются на фракции; 2) продукты, полученные термическим способом, содержат в себе примеси воды, серы и других соединений. Наличие воды доказано экспериментально; 3) в продуктах переработки,обретенных в заводских условиях, содержание воды менее 0,5%, что значительно меньше, чем в продуктах, полученных в лабораторных условиях (1,5% – 3%); 4) эксперимент показал практический выход при термическом способе – 52%, в заводских условиях выход составляет более 61%; 4) более высокие показатели глубины переработки в заводских условиях связаны с наличием вторичной переработки, что доказывает ее эффективность.

Выходы

Выход светлой фракции в заводских условиях 1,5 раза выше, чем в лабораторных. В светлых фракциях, полученных в заводских условиях, содержание воды менее 0,5%, в продуктах, полученных в лабораторных условиях, данный показатель составляет от 1,5% до 3%.

В заводских условиях используется не только первичная переработка нефти, по своему процессу схожая с лабораторной, но и вторичная, в результате которой есть возможность получить различные фракции, в том числе и светлые, из отходов от первичной переработки. Таким образом, внедрение нескольких этапов переработки нефти в

технологический процесс позволяет увеличить глубину переработки исходного продукта и получать: а) лучший выход, б) более высокое качество конечного продукта с минимальным количеством примесей, в) меньший объем отходов от переработки.

Внедрение вторичной переработки в процесс перегонки позволяет экономить на объемах добычи нефти без снижения объемов конечных продуктов, решить ряд экологических проблем НПЗ путем переработки части отходов производства в продукты, используемых далее в химическом производстве.

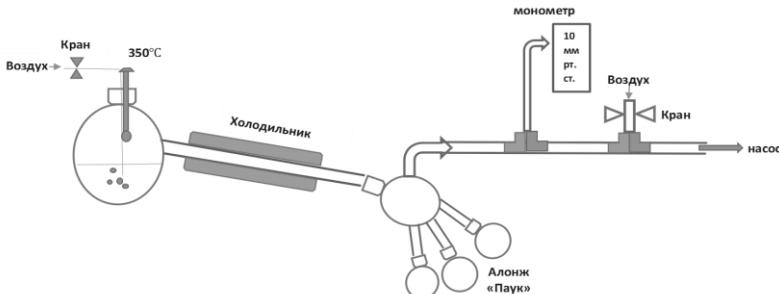


Рис. 1. Установка для проведения перегонки при атмосферном и пониженном давлении

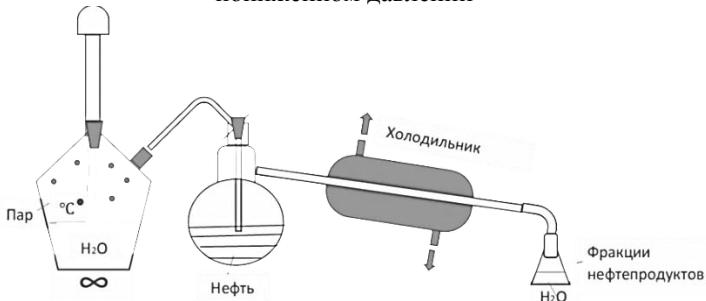


Рис. 2. Установка для проведения перегонки паровым способом

Литература

1. Бартон Д., Оллис У.Д. Общая органическая химия. Т. 1. – М.: Химия, 1981. С. 92.
2. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков В.А. Начала химии. Современный курс для поступающих в вузы. – М.: Экзамен, 2002.
3. Физер Л., Физер М. Органическая химия. Т. 2. – М.: Химия, 1966. С. 160.
4. Перегонка нефти, первичная и вторичная переработка нефти [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/38043/peregonka-nefti-pervichnaya-i-vtorichnaya-pererabotka-nefti>

Определение флавоноидов в лекарственных растениях в условиях школьной химической лаборатории

Сухоручкин Данила Алексеевич

11 класс, Школа № 94, Нижний Новгород

Научный руководитель Е.Г. Гусева, учитель
химии, Школа № 94, Нижний Новгород



Экспериментально подтверждено наличие флавоноидов в лекарственных травах, приобретённых в аптечном пункте. Исследованы некоторые их свойства. Установлена роль флавоноидов в природе. Произведено сравнение качественного состава флавоноидов в данных растительных объектах.

Лечебные травы пользуются огромной популярностью в медицине. Объёмы производства различных экстрактов, масел, отваров на основе лекарственных растений достигли мирового уровня, а популярность рецептов, базирующихся на свойствах лечебных трав, соперничает с известностью некоторых химически-синтезированных лекарственных препаратов. Это связано с проявлением побочного действия антибиотиков и устойчивости к ним микроорганизмов. «Чудодейственные» свойства растений обуславливаются наличием в них флавоноидов, которые и стали объектами нашего исследования.

Цель работы – изучить флавоноиды и их основные свойства, научиться определять их наличие в растительных объектах, познакомиться с отдельными представителями класса этих соединений.

Флавоноиды – крупнейший класс растительных полифенолов. С химической точки зрения они представляют собой гидроксипроизводные флавона (лавониды), 2,3-дигидрофлавона (флаваноны) изофлавона (изофлавониды), 4-фенилкумарина (неофлавониды), а также флавоны с восстановленной карбонильной группой (флаванолы). Зачастую к флавоноидам относят и другие соединения C₆-C₃-C₆ ряда, в которых имеются два бензольных ядра, соединенных друг с другом трёхуглеродным фрагментом – халконы, дигидрохалконы и аулоны. Среди флавоноидов есть водорастворимые и липофильные соединения, окрашенные преимущественно в жёлтый, оранжевый и красный цвета.

Для обнаружения флавоноидов в растениях используют химические реакции, подразделяющиеся на цветные и реакции осаждения.

Цветные реакции:

1) Цианидиновая проба (проба Шинода). Реакцией на флавоноидные соединения является цианидиновая проба, проводимая с помощью концентрированной соляной кислоты и металлического магния. Действие водорода в момент выделения приводит к восстановлению карбонильной группы и образованию соединения, имеющего окраску от оранжевой и зелёно-коричневой (флавоны) до красно-фиолетовой (флаваноны, флавонолы, флаванонолы).

Вывод: На основании взятой цианидиновой пробы выяснено, что в таких растениях, как дуб и календула, содержатся флавоны, а в зверобое, луке репчатом и рутине – флавонолы.

2) Взаимодействие со щелочами. Характерной реакцией на флавоноиды является их взаимодействие со щелочами с образованием желтой окраски. Халконы и аулоны дают со щелочами красное или ярко-желтое окрашивание, антоцианидины – синее окрашивание.

Вывод: Во всех исследованных нами препаратах не оказалось антоцианидинов. Однако все они содержали халконы.

3) Реакция с солями алюминия. Как все фенольные соединения, флавоноиды взаимодействуют с хлоридом алюминия с образованием различно окрашенных комплексов (от зеленого до коричневого).

Реакция мало специфична. Образуются комплексные соединения, окрашенные в

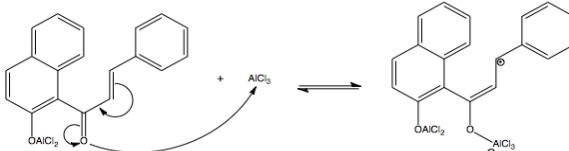


Рис. 3. Взаимодействие биофлавоноидов с хлоридом алюминия на примере разновидности халкона



Рис. 1. Цианидиновая проба: 1 – рутин, 2 – лук, 3 – зверобой, 4 – календула, 5 – кора дуба



Рис. 2. Взаимодействие со щелочами



Рис. 4. Взаимодействие с ацетатом свинца



Рис. 5. Антиоксидантная активность флавоноидов
1 – контроль,
2 – зверобой, 3 – дуб

чёрно-синий цвет, если флавоноиды – тригидроксипроизводные, в зелёный – если дигидроксипроизводные. Жёлтый цвет дают флавоноиды разных типов. Зелёный цвет – флавоноиды, в которых содержатся дубильные вещества

Вывод: Из всех отобранных препаратов флавоноиды, содержащие дубильные вещества, экспериментально наблюдаются у дуба и зверобоя. В остальных случаях флавоноиды лишены дубильных веществ.

Реакции осаждения – реакция с ацетатом свинца. Все флавоноиды с ацетатом свинца образуют осадки, окрашенные в ярко-жёлтый или красновато-бурый цвет.

Вывод: Во всех, выбранных веществах содержатся флавоноиды (препараты рутинна и лука репчатого окрасились в ярко-жёлтый цвет; зверобоя, календулы и коры дуба – в красновато-бурый цвет).

Изучение антиоксидантного действия флавоноидов. Несколько образцов куриной печени положили в чашки Петри и залили растворами рутинна, коры дуба, шелухи лука, цветков ноготков, зверобоя. Один кусок положили для контроля, чтобы проверить, действительно ли флавоноиды инактивируют работу некоторых ферментов. Наблюдали через два дня признаки разложения белка в контролльном образце и на участках, не погруженных в раствор флавоноидов. Особенно заметный результат получили в экстрактах коры дуба и зверобоя.

Способность флавоноидов замедлять процессы окисления (на примере окисления белка мяса) была обнаружена у зверобоя и дубовой коры. Флавоноиды действительно способны подавлять деятельность некоторых белково-разрушающих ферментов и тормозить процессы естественного окисления, останавливая тем самым процесс гниения.

Выходы

Мы смогли экспериментально подтвердить литературные данные, свидетельствующие о нахождении тех или иных видов флавоноидов в лекарственных растениях. Выяснили, какие типы флавоноидов характеризуют тот или иной окрас некоторых растений. Определили, в каких видах флавоноидов содержатся дубильные вещества, и смогли доказать антиоксидантную активность флавоноидов опытным путём.

Литература

1. Ботиров Э.Х., Дренин А.А., Макарова А.В. Химическое исследование флавоноидов лекарственных растений // Химия растительного сырья. 2006. № 1. С. 45 – 48.
2. Лобанова А.А., Будаева В.В., Сакович Г.В. Исследование биологически активных флавоноидов в экстрактах из растительного сырья // Химия растительного сырья. 2004. № 1. С. 47 – 52.

Исследование миграции эфиров фталевой кислоты из полимерных материалов

Тарасова Ксения Андреевна

10 класс, «Березовская школа» Богословского
р-на Нижегородской обл., ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель: С.А. Буланова,
магистрант ННГУ им. Лобачевского



Разработана методика исследования миграции эфиров орто-фталевой кислоты из полимерных материалов с помощью хромато-масс-спектрометрического анализа с предварительным концентрированием образцов. Подобран оптимальный экстрагент для проведения экстракции, определен предел обнаружения, рассчитан коэффициент корреляции. Проведены лабораторные исследования над полимерными образцами.

Пластмассовые предметы широко распространены: упаковочные материалы, элементы мебели, посуда. Пластификаторы в составе придают им пластичность и облегчают переработку. Одними из распространенных пластификаторов являются эфиры *орт*-фталевой кислоты, так называемые фталаты. Их количество в пластмассе может достигать 30 – 50% от массы полимера. Фталаты являются канцерогенными соединениями. При попадании в организм они вызывают проблемы сердечнососудистой системы, заболевания печени и почек, нарушения работы репродуктивной системы. Поэтому важно контролировать содержание фталатов в полимерных материалах.

Наиболее информативным и чувствительным детектором, используемым в газовой хроматографии, является масс-спектрометрический [3], который в совокупности с хроматографией позволяет разделить и идентифицировать все элементы исследуемой пробы [2]. Вследствие этого хромато-масс-спектрометрический метод уникален. Поэтому для исследования миграции эфиров *орт*-фталевой кислоты показан хромато-масс-спектрометрический метод с предварительным концентрированием пробы [4]. В данной работе в качестве метода концентрирования предложена экстракция. Количественной характеристикой экстракции является коэффициент концентрирования [1]:

$$K_k = \frac{C_o}{C_b}, \quad (1)$$

где K_k – коэффициент концентрирования, C_o – концентрация аналита в экстракте, C_b – концентрация аналита в водной части.

Важным этапом разработки методики концентрирования является выбор экстрагента. Для экстракционного концентрирования характерны специфические требования [2]. Общим из них является низкая растворимость в воде и относительно низкая летучесть, что определяет стабильность и эффективность концентрирования. Плотность органических растворителей должна отличаться от плотности воды и водных растворов. При большой разности плотностей указанных жидкостей разделение фаз происходит быстро. Также важным критерием выбора экстрагента для хроматографического разделения является его совместимость с неподвижной фазой. Время экстракции зависит от скорости массопереноса аналита из матричного раствора в экстрагент.

Экспериментальным путем было установлено, что оптимальным экстрагентом является октан. Предел обнаружения принимали равным концентрации, при которой соотношение высота пика к уровню шумовой дорожки было равно трем [2]:

$$C_{min} = \frac{3C}{s/n}, \quad (2)$$

где С – концентрация вещества, s – высота пика, исследуемого вещества, n – уровень шумовой дорожки.

Модельные растворы эфиров *ортого*-фталевой кислоты в водно-спиртовых растворах готовили на основе исследуемых веществ (дигидрофталата, бис (2-этилгексил) фталата) в дистиллированной воде (модельный раствор) и этиловом спирте (раствор сравнения) для определения коэффициента корреляции. Точность приготовления контролировали путем взвешивания на аналитических весах.

Для определения скорости поступления происходила экстракция нескольких идентичных примеров. С каждым последующим образом время проведения экстракции увеличивалось и производился отбор по 1 мкл органического растворителя для проведения хромато-масс-спектрометрического анализа. Затем находили скорость поступления эфиров в растворитель исходя из измеренных концентраций фталатов во времени. Экспериментально установлено, что оптимальным временем для проведения экстракции является 10 минут.

Для вычисления коэффициента корреляции готовили раствор ДБФ и ДЭГФ в спирту с известной концентрацией и проводили хромато-масс-спектрометрический анализ. Затем производился расчет K_c с помощью отношения концентрации аналита на площадь пика хроматограммы. На основе приготовленного спиртового раствора готовили водный с известной концентрацией фталатов. Для проведения экстракции добавляли выбранный экстрагент к полученному раствору в

соотношении 1:1 (1 мл водного раствора и 1 мл экстрагента). В завершении экстракции проводили хромато-масс-спектрометрический анализ экстракта и рассчитывали концентрацию фталатов.

Процесс работы можно разделить на несколько стадий: отстаивание исследуемой жидкости в определенном полимерном образце, забор пробы спустя определенное количество времени, проведение экстракции, анализ на хромато-масс-спектрометре, расчет концентрации и построение графиков скорости извлечения фталатов из полимеров.

Исследование миграции эфиров фталевой кислоты из полимерных материалов производили на двух видах полимеров. Одним из образцов был отрезок резиновой трубы. Первоначально измерили площадь ее внутренней поверхности, затем прилили воду и герметично запаковали. После чего проводили извлечение фталатов водой и забор пробы через 1 минуту, 10, 30, 60 минут. С отобранными пробами проводили экстракцию в течение 10 минут. Затем производили хромато-масс-спектрометрический анализ экстракта, подсчет концентрации фталатов, вычисление зависимости извлечения ДЭГФ из трубы в течение времени на единицу площади. Аналогичным образом произвели извлечение октаном. На графиках скорости извлечения ДЭГФ можно заметить большую концентрацию при извлечении октаном (рис. 3б), чем водой (рис. 3а), что обуславливается их большей растворимостью в органических растворителях.

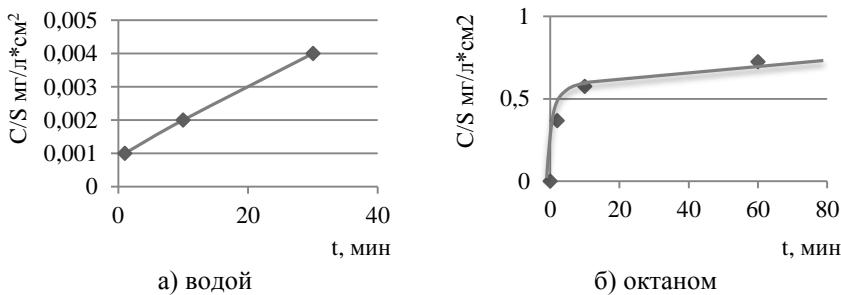


Рис. 3. Графики скорости извлечения ДЭГФ из отрезка трубы

Ещё одним исследуемым полимером был кувшин из полистирола. Сначала так же, как и при анализе трубы, измерили площадь внутренней поверхности контактирующего с водой участка кувшина и прилили воду до выбранной отметки. Производили извлечение фталатов водой и забор пробы через 1 минуту, 10, 30 и 60 минут. Затем с отобранными пробами в течение проводили экстракцию 10

минут. После завершения экстракции экстракт подвергали хромато-масс-спектрометрическому анализу, подсчитывали концентрацию фталатов, вычисляли зависимость извлечения ДБФ и ДЭГФ в течение времени на единицу площади и строили графики.

На графиках скорости извлечения можно заметить общий возрастающий тренд и переход в константу, что означает установившееся в системе равновесие. Результаты (рис. 4) показали, что степень извлечения фталатов не лежит в пределах ПДК фталатов по воде, хотя полистирол обычно не пластифицируют. Это можно объяснить тем, что для проведения исследований был взят неиспользованный новый кувшин, и на его поверхности могли остаться сорбированные молекулы фталатов.

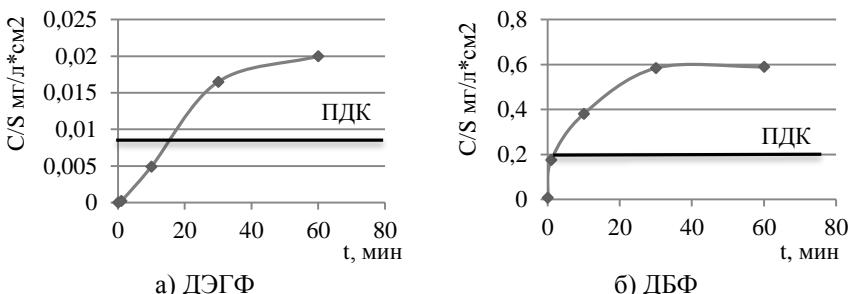


Рис. 4. Графики скорости извлечения ДБФ и ДЭГФ из полистирола

В ходе работы была разработана методика определения диалкил-*o*-фталатов из полимерных материалов. Экспериментальным путем подобран экологичный и эффективный для проведения экстракции экстрагент – октан, что является научной новизной данного исследования. Ранее в подобных работах использовались хлорпроизводные, токсичные растворители.

Лабораторные исследования проведены над двумя видами полимерных материалов. При извлечении водой из полимерной трубки содержание фталатов лежит в пределах допустимой концентрации, однако при извлечении октаном концентрация эфиров намного выше ПДК, что объясняется большей растворимостью фталатов в органических растворителях, нежели чем в воде. Мы можем утверждать, что полимерные трубки не подходят для использования с органическими растворителями, если нам важна чистота растворителя.

Степень извлечения фталатов из полистирольного кувшина не лежит в пределах ПДК по воде. Поэтому рекомендуется тщательно мыть новые полимерные емкости и отстаивать воду, которую затем выливать.

В дальнейшем планируется продолжение исследования, усовершенствование методики и её проверка на других видах полимеров.

Литература

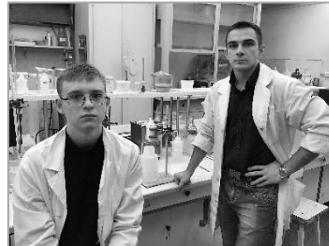
1. Золотов Ю.А., Кузьмин Н.М. Концентрирование микроэлементов. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
2. Карасек Ф., Клемент Р. Введение в хромато-масс-спектрометрию. – М.: Мир, 1993. – 237 с.
3. Коренман И.М. Экстракция в анализе органических веществ. – М., Химия, 1977. – 200 с.
4. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 493 с.
5. Мосягин П.В., Крылов В.А. Газохроматографическое определение органических токсикантов в воде // Электронное учебно-методическое пособие. 2012. С. 64.

Оценка эффективности применения фильтров кувшинного типа для очистки водопроводной воды

Терехов Михаил Павлович

9 класс, Школа № 20, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Р.Г. Сироткин,
аспирант ННГУ им. Лобачевского



Исследованы возможности фильтров кувшинного типа при очистке водопроводной воды от различных загрязнителей. Проведено сравнение фильтрующих кассет разных марок («Аквафор», «Каждый День», «Гейзер», «Барьер») по умягчающей способности и эффективности очистки воды от остаточного хлора. Эксперименты осуществляли, опираясь на соответствующие методики ГОСТ (ГОСТ 4151-72 «Вода питьевая. Метод определения общей жесткости» и ГОСТ 18190-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора»). Все кассеты проявили одинаковую эффективность при очистке водопроводной воды от остаточного хлора, наилучшей умягчающей способностью обладает кассета «Аквафор». Оценен ресурс фильтров данного типа, показана возможность регенерации отработанной кассеты.

Из-за ухудшающейся экологической обстановки и возрастающего антропогенного влияния сегодня достаточно остро стоит вопрос качества воды, в частности, питьевой. Обеззараживание водопроводной воды также предполагает её загрязнение остаточным хлором и другими хлорсодержащими соединениями. На рынке представлено огромное множество различных фильтров для домашнего использования. Самыми простыми в эксплуатации и доступными по цене являются фильтры кувшинного типа. Главным элементом такого устройства является сменная кассета, проходя через которую водопроводная вода очищается от различных примесей.

Цель работы – оценка эффективности применения фильтров кувшинного типа по некоторым параметрам (умягчающая способность, очистка водопроводной воды от остаточного хлора, ресурс фильтрующей кассеты), а также проведение регенерации загрязненной (отработанной) кассеты.

Для исследования были взяты фильтрующие кассеты четырех марок: «Аквафор», «Каждый День», «Гейзер» и «Барьер», тип «Стандарт» или «Универсал». По устройству кассеты принципиально не отличаются друг от друга, они представляют собой пластиковые цилиндры с отверстиями

для слива и подачи воды и несколькими слоями фильтрующих материалов. Самый верхний и нижний слои – волокнистый материал или сетка, предназначенные для задерживания мелких частиц и предотвращения высыпания сорбента. Между ними заключен основной слой – активированный или высокоочищенный кокосовый уголь, иногда с добавлением других материалов. В качестве основного метода исследования в работе применен титриметрический метод анализа. Для определения общей жесткости фильтрованной и водопроводной воды использовалось комплексонометрическое титрование с трилоном Б [2, 3]. Содержание суммарного остаточного хлора в воде до и после фильтрации определяли йодометрическим методом [1]. Установлено, что кассеты всех четырех марок одинаково эффективно производят очистку водопроводной воды от остаточного хлора. Наибольшей умягчающей способностью обладает кассета марки «Аквафор», наименьшей – «Барьер» (таблица 1).

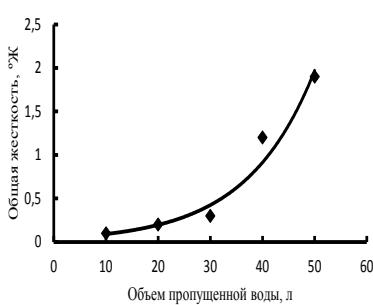
Таблица 1. Общая жесткость водопроводной воды до и после фильтрации разными марками кассет

Марка фильтра	Общая жесткость, °Ж	
	После фильтрации	До фильтрации (водопроводная вода)
Аквафор	0.10 ± 0.03	
Каждый День	0.30 ± 0.10	
Гейзер	0.60 ± 0.10	6.60 ± 0.10
Барьер	1.80 ± 0.10	

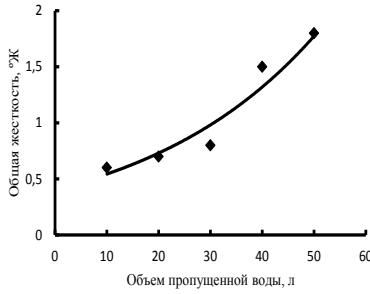
Оценка ресурса фильтрующих кассет производилась по изменению их умягчающей способности за определенный период времени. На протяжении пяти месяцев через каждую кассету было пропущено около 50 л водопроводной воды. Фиксировалась общая жесткость фильтрованной воды через каждые 10 л (или каждый месяц). На основании построенных зависимостей выявлено возрастание жесткости фильтрованной воды после четырех месяцев нечастой эксплуатации для трех кассет: «Аквафор» (рис. 1а), «Гейзер» (рис. 1б), «Каждый день» (рис. 1в). Наибольшее ухудшение умягчающей способности произошло у кассеты «Барьер» (рис. 1г), которая изначально показывала более низкий результат по сравнению с другими. Поэтому использование любой фильтрующей кассеты более трех месяцев бесполезно.

Способы регенерации, описанные в литературе, относятся к очистке других фильтрующих систем [4], методы очистки кассет для фильтров-кувшинов не упоминаются. Очевидно, это обусловлено дешевизной сменных кассет, их своевременная замена проще и быстрее. Однако

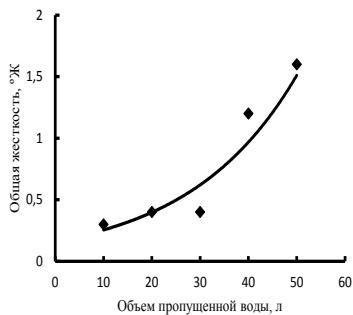
загрязненную фильтрующую кассету можно очистить от накопившихся в ней за время эксплуатации примесей. Регенерация загрязненной кассеты (на примере марки «Каждый День») проводилась в два этапа: кипячение в дистиллированной воде и ультразвуковая обработка в 10%-ном растворе хлорида натрия. В результате эксперимента удалось восстановить кассету практически до состояния новой (табл. 2).



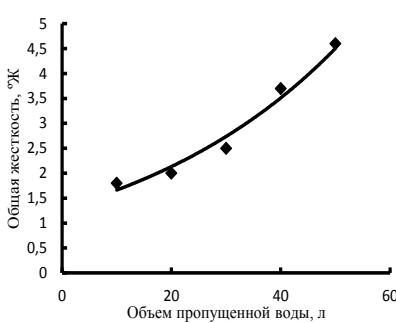
а) «Аквафор»



б) «Гейзер»



в) «Каждый День»



г) «Барьер»

Рис. 1. Зависимости жесткости фильтрованной воды от объема пропущенной водопроводной воды для фильтров

Таблица 2. Значения жесткости водопроводной и фильтрованной воды

Жесткость воды, °Ж			
Водопроводная	Фильтрованная загрязненной кассетой	Фильтрованная кассетой после регенерации кипячением	Фильтрованная кассетой после двух этапов регенерации (кипячение и УЗ-воздействие)
6.6±0.1	4.6±0.1	4.4±0.1	0.5±0.1

Выходы

Проведена оценка эффективности фильтров кувшинного типа для очистки водопроводной воды по различным параметрам. Приблизительно равной эффективностью обладают кассеты марок «Аквафор», «Каждый День» и «Гейзер». Кассета «Барьер» показала несколько худший результат. Продемонстрирована возможность регенерации загрязненной кассеты до исходного состояния. Результаты работы могут быть полезны при выборе модели фильтра для бытового использования. Также они могут послужить основой для дальнейшей разработки темы, к примеру, самостоятельного изготовления фильтра для воды с заданными характеристиками.

Литература

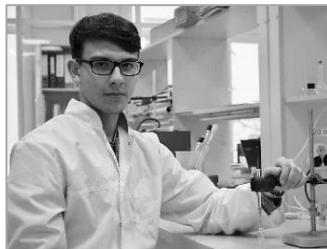
1. ГОСТ 18190-72 Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.
2. ГОСТ 31865-2012 Вода. Единица жесткости. – М.: Стандартинформ, 2013. – 8 с.
3. ГОСТ 4151-72 Вода питьевая. Метод определения общей жесткости. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 4 с.
4. Регенерация фильтра для воды — инструкция к процессу [Электронный ресурс] // Гид — помощник по фильтрам для очистки: сайт. URL: <https://filteru.ru/regeneratsiya-filtra-dlya-vody/> (дата обращения 20.02.2019).

Исследование концентрирования ионов металлов из воды с помощью жидкофазной микроэкстракции

Якубов Артур Зинюрович

10 класс, Школа № 37 г. Дзержинска,
ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель П.В. Мосягин,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук



Представлено исследование возможности микроэкстракционного концентрирования ионов Fe^{3+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Ag^{+} , Zn^{2+} из воды для последующего их определения с помощью классического химического анализа. Были подобраны оптимальный хелатирующий агент и экстрагент для проведения микроэкстракции. Использование разработанной методики позволило значительно понизить предел обнаружения по сравнению с прямым определением анализаторов, а также проанализировать реальные образцы водных объектов г. Н. Новгорода и г. Дзержинска.

Миниатюризация методов концентрирования является современной тенденцией развития аналитической химии. Разработка эффективных методов концентрирования для последующего анализа ионов металлов в составе воды – одно из перспективных направлений данной темы [2]. В последние несколько лет особый интерес вызывают новые методы, в частности, метод жидкофазной микроэкстракции, который отличается рядом преимуществ по сравнению с аналогами [3]. Основное его отличие от традиционной жидкостной экстракции заключается в понижении предела обнаружения, сокращении времени анализа и в высокой степени экологичности, которая обусловлена минимизацией использования дорогостоящих и не всегда экологически безопасных растворителей. Жидкофазную микроэкстракцию применяют для анализа биологических проб, пищевых продуктов, высокочистых веществ, лекарственных препаратов, в криминальном анализе, токсикологии, и т.д [2]. Тем не менее, возможности метода жидкофазной микроэкстракции и влияние различных факторов на применимость метода в отдельных случаях в настоящее время изучены не в полной мере.

Цель работы – исследование возможности микроэкстракционного концентрирования ионов Fe^{3+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Ag^{+} , Zn^{2+} из воды для последующего их определения с помощью классического

химического анализа. Актуальность изучаемого метода обусловлена существенным понижением предела обнаружения определяемых катионов металлов и минимизацией объема используемого в ходе анализа экстрагента. Это в значительной степени повышает селективность и экологичность исследуемого метода в сравнении с традиционной жидкофазной экстракцией.

Перед изучением механизма жидкофазного микроэкстракционного концентрирования ионов металлов была предпринята предварительная оценка эффективности классической жидкостной экстракции путем проведения экспериментальной экстракции с последующим проведением качественных реакций на определяемые ионы металлов.

В ходе эксперимента в виалы объемом 5 мл шприцем дозировали 0,5 мл модельного раствора соли соответствующего анализируемого металла с добавлением 0,5 мл хелатирующего агента: в первом случае – трилона Б (15% водн. р-р), во втором – натрия диэтилдитиокарбамата (5% спирт. р-р). Добавляли 0,3 мл экстрагента: в первом опыте в качестве экстрагента выступал петролейный эфир, во втором – изоамиловый спирт. Виалу закупоривали и производили встряхивание содержимого в течение 10 минут для ускорения процесса перехода хелатного комплекса в объем экстрагента [4]. Затем виалы помещали в центрифугирующую установку для достижения лучшего визуального эффекта разделения органической и водной фаз после процесса экстракции. Впоследствии экстракт извлекался шприцем и дозировался в виалу, которую помещали в термостат при $t=100^{\circ}\text{C}$. Происходило выпаривание экстракта, сопровождающееся удалением органической фазы из его состава. Необходимо это для дальнейшего проведения анализа в водной фазе, так как качественные реакции на определяемые катионы металлов проходят именно в водной фазе.

После выпаривания экстракта были проведены качественные реакции с сухим остатком на обнаружение определяемых катионов металлов. Наличие катионов Al^{3+} определяли добавлением к сухому остатку раствора ализаринсульфонатного натрия (ализарина) в присутствии концентрированного раствора аммиака. Содержание катионов Pb^{2+} в составе экстрагированного комплекса определяли раствором йодида калия, Ag^+ – йодидом калия в присутствии раствора аммиака, Fe^{3+} – раствором гексацианоферрата(II) калия, катионы Ni^{2+} определяли добавлением к сухому остатку диметилглиоксими в присутствии раствора аммиака, Cu^{2+} – избытком концентрированного раствора аммиака, Zn^{2+} – гексацианоферратом (II) калия.

После экстракции петролейным эфиром хелатного комплекса (хелатирующий агент – трилон Б), содержащего в своем составе катионы Al^{3+} , качественная реакция на сухой остаток подтвердила наличие данных катионов. Аналитический сигнал наблюдался при определении катионов Al^{3+} и Pb^{2+} в составе сухого остатка после экстракции изоамиловым спиртом хелатного комплекса (хелатообразователь – натрия диэтилдитиокарбамат), содержащего определяемые катионы металлов.

На основе полученных данных был сделан вывод о большей эффективности сочетания натрия диэтилдитиокарбамата как хелатирующего агента и изоамилового спирта как экстрагента. При проведении экстракции данная комбинация хелатообразователя и экстрагента была выбрана перспективной для проведения микроэкстракции.

В ходе эксперимента в виалы объемом 5 мл шприцем дозировали 1 мл модельного раствора соли соответствующего анализируемого металла с добавлением 1 мл хелатирующего агента (5% спирт. р-ра натрия диэтилдитиокарбамата). Полученный раствор насыщали каплей растворителя. Впоследствии в микрошприц отбирался определенный объем экстрагента, после чего кончик иглы микрошприца осторожно помещался в толщу исследуемого раствора. Микрошприц предварительно закрепляли в штативе. Затем при помощи поршня аккуратно выдавливали в раствор экстрагент. Процесс сопровождался образованием капли объемом 1 мкл на конце иглы. В течение 15 минут в объем капли концентрировался хелатный комплекс, включающий в свой состав конкретный определяемый катион металла. Данное время для проведения микроэкстракции было выбрано оптимальным [3]. После накопления хелатного комплекса каплю затягивали в микрошприц, который впоследствии извлекался из штатива.

Таблица 1. Определение ионов Al^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} в составе модельных растворов их солей с помощью классического химического анализа путем предварительного проведения микроэкстракции

Аналит	Al^{3+}	Pb^{2+}	Ni^{2+}
Реагент	ализарин + р-р NH_4OH	р-р KI	реактив Чугаева + р-р NH_4OH
Фотография			

Извлеченная капля экстракта дозировалась в микровиалу, которая затем помещалась в термостат. После выпаривания экстракта проводился качественный анализ сухого остатка, при этом аналитический сигнал наблюдался при определении ионов Al^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} (табл. 1).

Таблица 2. Прямой предел обнаружения и предел обнаружения при микроэкстракции катионов Al^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+}

Определяемый кation	Прямой предел обнаружения, мг/л	Предел обнаружения при микроэкстракции, мг/л
Al^{3+}	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-8}$
Pb^{2+}	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-7}$
Ni^{2+}	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$

После успешного проведения микроэкстракционного концентрирования катионов Al^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} с последующим их обнаружением посредством классического химического анализа был определен прямой предел обнаружения и предел обнаружения при микроэкстракции данных катионов (табл. 2). В некоторых исследованных образцах реальных водных объектов были обнаружены ионы алюминия (табл. 3).

Разработанная методика представляет собой альтернативный метод идентификации ионов металлов в составе воды. Он построен на началах жидкофазного микроэкстракционного концентрирования катионов металлов из воды с последующим их определением с помощью классического химического анализа. На данный момент это единственная работа, в которой возможности жидкофазной микроэкстракции были бы объединены с классическим химическим анализом.

Таблица 3. Результаты анализа реальных водных объектов

Определяемый ион	Водный объект			
	Холодная проточная вода с Тепловского грунтового водозабора	Холодная проточная вода со Слудинской водопроводной станции	Горячая проточная вода со Слудинской водопроводной станции	Образец речной воды из реки Параша (приток р. Левинки)
Ni^{2+}	–	–	–	–
Pb^{2+}	–	–	–	–
Al^{3+}	–	–	+	+

Перспективы дальнейшей работы над разработанной методикой могут быть обусловлены исследованием иного ряда хелатообразующих агентов и экстрагентов. Планируется исследовать возможности микроэкстракционного концентрирования ионов металлов с ультразвуковым диспергированием экстрагента, так как некоторые исследования в этой области [1] указывают на очевидное преимущество данного метода в сравнении с капельной микроэкстракцией.

Литература

1. Крылов В.А., Волкова В.В., Савельева О.А. Микроэкстракционное концентрирование примесей из воды с ультразвуковым диспергированием экстрагента. // Аналитика и контроль. 2013. Т.17. № 1. С. 63 – 71, 81–82.
2. Крылов В.А., Крылов А.В., Мосягин П.В., Маткivская Ю.О. Жидкофазное микроэкстракционное концентрирование // Журн. аналит. химии. 2011. Т. 66. № 4. С. 341 – 360.
3. Крылов В.А., Мосягин П.В. Аналитические возможности твердофазного и жидкофазного микроэкстракционного концентрирования примесей: Учебное пособие. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – 80 с.
4. Москвин Л.Н., Родинков О.В. Методы разделения и концентрирования в аналитической химии: Учебник. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 352 с.

Биофизика и биология



Как распознать подлинность коровьего молока

Андреянова Анастасия Александровна
9 класс, Школа № 3 г. Павлово

Нижегородской области
Научный руководитель В.Б. Ларионова,
учитель биологии МБОУ СШ № 3, г. Павлово
Нижегородской области



Работа посвящена способам определения подлинности и качества молока.

С целью сохранения здоровья человек большое внимание должен уделять качеству употребляемых продуктов. Цель работы – изучение подлинности коровьего молока. Объект исследования – коровье молоко. Методы исследования [2]: изучение и анализ литературы; органолептический и физико-химический методы анализа; описательный, сравнительный и экспериментальный анализы. Гипотеза исследования: предположим, что все коровье молоко на прилавках магазинов одинаково по качеству и является полезным для здоровья.

Определены органолептические показатели качества молока (цвет, консистенция, запах и вкус) и выявлено, что цвет каждой пробы молока отличается, консистенция у всех однородная, запах у каждого продукта отличается, вкус также разный (табл. 1).

Далее выявлено наличие посторонних примесей в молоке [2]. Для этого молоко процидили через ватные фильтры, в процеженную жидкость добавили несколько капель уксусной кислоты. Появление в молоке пузырей указывает на наличие примесей. Доказано, что в данных пробах молоках примесей нет (табл. 2).

Для определения наличия крахмала и содержащих его веществ в молоке в пробирку налили 5 – 10 мл молока и добавили несколько капель раствора йода. Молоко с добавлением крахмала синеет, чистое – желтеет [1]. В результате эксперимента выяснено, что пастеризованное, топленое и домашнее молоко крахмала не содержат, в ультрапастеризованном молоке крахмал присутствует (табл. 2).

Определение кислотности разных проб молока проводили, используя полоски универсального индикатора. Если в молоке есть избыток щёлочи, например, от примеси к нему соды, то универсальная индикаторная бумажка синеет и показывает на шкале $\text{pH} > 7$. Если в молоке примешана кислота, например, борная или салициловая, то универсальная индикаторная бумажка, смоченная таким молоком, окрашивива-

ется в яркий красный цвет и показывает на шкале $\text{pH} < 7$. Присутствие кислот и щелочей в исследуемых образцах не обнаружено (табл. 2).

Таблица 1. Органолептические показатели качества молока

Молоко	Цвет	Консистенция	Запах	Вкус
Пастеризованное	Белый	Однородная	Специфический	Сладковатый, менее выражен
Топленое	Персико-вый	Однородная	Запах натурального топленого молока	Сладковатый
Ультрапастери-зованное	Бежевый	Однородная	Отсутствует	Менее выражен, немного пресный
Домашнее	Белый с желто-ватым оттенком	Однородная	Запах натурального молока, слабо выражен	Сладковатый, похож на пломбир

Исследуя состав молока на содержание витамина А мы добавили в пробы молока хлорид железа (III) и наблюдали за реакцией. Чем насыщеннее цвет, тем больше витамина А [2]. Сделан вывод, что в домашнем молоке витамина А больше, чем в покупном (табл. 2).

Для исследования состава молока на содержание железа добавили в пробы красную кровяную соль и наблюдали за реакцией. В присутствии ионов Fe^{2+} образуется темно-синий осадок (турнбулева синь) [2]. Таким образом, домашнее молоко наиболее богато железом (табл. 2).

Исследуя наличие белка в составе молока, добавили в пробы хлорид меди и гидроксид натрия. Нагрели пробирки на огне пламени спиртовки и наблюдали за реакцией. При обработке солями меди в щелочной среде все белки дают фиолетовой окрашивание [1]. Следовательно, домашнее молоко наиболее богато белком (табл. 2).

Для определения наличия в молоке воды (разбавлено молоко или нет) в молоко (5 мл) добавили этиловый спирт (10 мл), закрыли пробирку пробкой и смесь взболтали. Вылили смесь спирта и молока в стакан, внимательно наблюдая за состоянием смеси и фиксируя время,

через которое в ней появятся хлопья белого цвета. Если молоко цельное (без воды), то оно мгновенно свернется [2]. Разбавленное водой молоко начинает сворачиваться только через несколько секунд. По времени, которое ушло на свертывание, можно судить, насколько молоко разбавлено водой. Если хлопья образовались за 40 – 60 секунд, то примерно 20% объема молока заменено водой, если же хлопья начали появляться лишь спустя 30 – 40 минут, это молоко наполовину разбавлено водой. В результате исследования доказано, что домашнее молоко не разбавлено. В молоке, срок годности которого составляет 10 суток, наличие воды присутствует. В ультрапастеризованном молоке воды больше, чем в других образцах (табл. 2).

Таблица 2. Сводная таблица исследования проб молока

Молоко	Наличие примесей	Наличие крахмала (результат)	Присутствие кислот и щелочей (есть, нет)	Наличие витамина А	Наличие железа	Наличие белка	Наличие воды
Пастеризованное	-	-	-	+	+	++	+
Топленое	-	-	-	+	+	++	+
Ультрапастеризованное	-	-	+	+	+	++	+
Домашнее	-	-	-	+++	++	+++	-

Выводы

Исследование качества молока, проведенное в соответствии с методиками, описанными в литературе, позволяет заключить, что лучшим по качеству является домашнее коровье молоко. Среди образцов коровьего молока, приобретенных в магазинах, лидером стало пастеризованное молоко. Последнее место по качеству из рассмотренных образцов получило ультрапастеризованное молоко.

Литература

- Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов. – СПб. ГИ-ОРД, 2004. – 314 с.
- Крусь Г.Н. Методы исследования молока и молочных продуктов. – М. Колос, 2002. – 367 с.

К вопросу о внедрении сбалансированного по каротину рациона питания молодняка крупного рогатого скота

Аргентовский Михаил Михайлович
11 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический
центр» Минпросвещения КБР, Нальчик

Научный руководитель Т.Ф. Карпенко,
педагог дополнительного образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР



Производство сельскохозяйственной продукции имеет огромное значение для деятельности государства. Проведен расчет корректировки сухих кормов по содержанию каротина для сбалансирования рациона крупнорогатого скота, подобраны доступные методики определения физических показателей объектов исследования; для определения экономической выгоды были сделаны расчеты потребления моркови в экспериментальный период. Экономическая выгода рассчитывалась по увеличению массы конечного продукта.

В среднем россияне должны потреблять 20 кг мяса в год, однако, по данным статистики, потребление составляет около 10 – 12 кг [7]. Откорм крупного рогатого скота предусматривает сбалансированный рацион основных компонентов, необходимых для жизнедеятельности животных, одним из которых являются каротины – провитамины А [11]. Цель работы – применение сбалансированного по каротину рациона питания молодняка КРС в период роста для получения экологически чистого мясного продукта в условиях малого фермерского хозяйства.

Задачи: выявить содержание каротина в исследуемых образцах: двух сортов моркови, двух сортов тыквы, а также сена травы «Суданка» и соломы «Овсяная»; провести расчет корректировки сухих кормов по содержанию каротина для сбалансирования рациона крупнорогатого скота; сравнить физические показатели объектов наблюдения в период роста; рассчитать экономическую выгоду полученного экологически чистого мясного продукта.

Методы исследований: 1) определение физических параметров КРС по методике Клювер-Штрауха; 2) расчет каротина в кормах (моркови и тыквы) на приборе для определения каротина в кормах «КН-2»; полученную вытяжку сравнивали с колориметрической шкалой [2, 3, 6]. Корм считается хорошим, если он содержит не менее 20 мг каротина на 1кг корма [5].

Результаты

Самое высокое содержание каротина в исследуемых образцах отмечено в оранжевой моркови и тыкве обыкновенной – 40 мг/кг. Меньше всего каротина из четырех образцов овощей содержит белая морковь – всего 10 мг/кг. Сено травы «Суданка» и Солома «Овсяная» содержат соответственно 10 и 5 мг/кг. На основании расчета [1] улучшения рациона питания молодняка КРС по каротину производился откорм испытуемого объекта и контрольного объекта без каротиносодержащих добавок. Определялись показатели роста, косой длины туловища, объем груди, на основании этих показателей производился расчет живого веса объектов [1] (рис.1 – 3). Объем груди испытуемого бычка увеличился на 92,3%, в то время как у контрольного бычка – на 69,8%, что составляет разницу в 22,5% (рис. 1). В конце эксперимента испытуемый объект по отношению к контрольному прибавил 7 см. Таким образом, испытуемый объект увеличил данный показатель на 38,9%, а контрольный – на 31,8% (рис. 2). Показатель «живой массы тела» имеет такую же тенденцию: испытуемый бычок

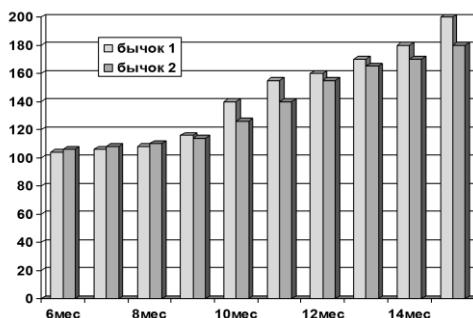


Рис. 1. Сравнительная гистограмма объема груди (см) объектов 1, 2

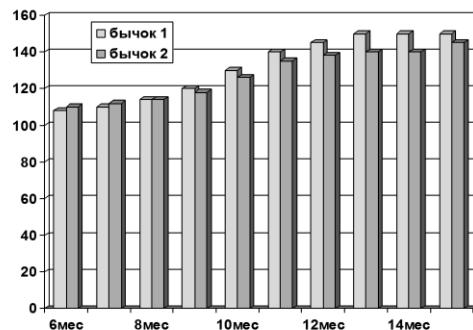


Рис. 2. Сравнительная гистограмма косой длины туловища (см) объектов 1, 2

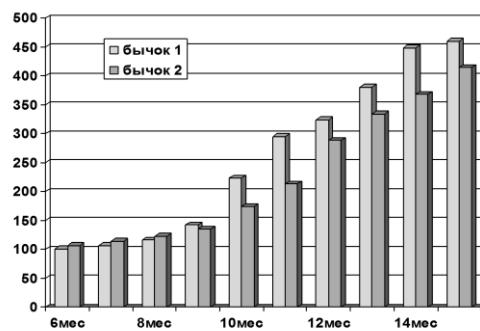


Рис. 3. Сравнительная гистограмма живой массы тела (кг) объектов 1, 2

отставал вначале по показателю «живая масса тела» от контрольного на 6 кг. В конце эксперимента испытуемый объект по отношению к контрольному прибавил 58 кг (рис. 3).

Для определения экономической выгоды были сделаны расчеты потребления моркови в экспериментальный период (табл.1).

Таблица 1. Добавка (кг) моркови в динамике

Возраст объекта, мес.	Потребление сена, кг/сутки	Добавка моркови		
		г/сутки	день/месяц	кг/мес.
6	0,5	120	31	3,72
7	1,0	250	30	7,50
8	1,5	370	31	11,47
9	2,0	500	30	15,00
10	2,5	620	31	19,20
11	3,0	750	30	22,50
12	3,0	750	31	23,25
13	3,0	750	31	23,25
14	3,0	750	30	22,50
15	3,0	750	31	23,25
Итого за период	6750 кг/период	5610 г/период	305 дней	171,10 кг

Рацион включает только сено, так как оно питательнее соломы и животные потребляют его охотнее. Солому обычно добавляют в зимний период, но в данном исследовании она не использовалась [9]. Морковь выращивалась на площади фермерского хозяйства, поэтому затраты рассчитаны только на покупку семян [10] (табл. 2, 3). На основании таблицы 2 рассчитана урожайность моркови (табл. 3).

Таблица 2. Расчет расхода семян моркови на площадь посева

Площадь посева, м ²	Норма высева, г/м ²	Расход семян, г	Цена, руб/пакет (6г)
30	0,1-0,2	6	20

Таблица 3. Урожайность моркови

Среднее кол-во семян, шт/г	Всхожесть, %	Расход семян на площади посева, шт.	Расход семян с учетом всхожести, шт.	Ср. масса 1 моркови, г	Урожай моркови, кг
800	83	4 800	3 984	150	598,6

Из полученного урожая (598,6 кг) 171,1 кг израсходован на откорм (табл. 6), что составляет значительно меньшую долю урожая.

Следовательно, расход на покупку семян настолько мал, что им можно пренебречь. Трудовые затраты также не учитывались, поскольку наемные работники в эксперименте не участвовали. Экономическая выгода рассчитывалась по увеличению массы конечного продукта, результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Экономическая выгода

Масса контрольного объекта, кг	Масса исследуемого объекта, кг	Δ массы, кг	Оптовая цена, руб./кг	Выгода, руб.
414	490	76	260	19 760

Экономическая выгода рассчитана по обычной оптовой цене [4, 8] и составляет около 20 тыс. рублей на 1 объект. В регионах, где существуют торговые точки по продаже экологически чистых продуктов питания, экономическая выгода будет значительно выше.

Таким образом, в результате внедрения сбалансированного по каротину корма у бычков увеличилась масса тела, то есть улучшен выход экологически чистого мясного продукта.

Литература

1. Аргентовский М.М, Архестова А. Использование сбалансированного по каротину рациона питания КРС в производстве экологически чистого мясного продукта в условиях малого фермерского хозяйства КБР / Материалы Международ. науч. конф. «Перспектива-2018», Нальчик 2018, Т. I. С. 358.
2. Богдановский Г.А. Химическая экология. – М.: МГУ, 1994. – 196 с.
3. Гост 4517-87. Реактивы. Методы приготовления вспомогательных реагентов и растворов, применяемых при анализе.
4. Девяткин А.И. Выращивание и откорм КРС на комплексах. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 184 с.
5. Минмедбиопром. Прибор для определения каротина в кормах. Паспорт 900.101.000. 5 с.
6. Муравьев А.Г. Руководство по определению количества каротина в продуктах питания. – СПб: Крисмас., 1999. – 90 с.
7. Петровский К.С. Ванханин В.Д. Гигиена питания. – М.: Медицина, 1982. – 190 с.
8. Топорова Л.В., Архипов А.В., Макарцев Н.Г. Практикум по кормлению животных. – М.: Колос С, 2005. – 358 с.
9. Трухачев В.И., Злыднев Н.З., Подколзин А.И. Кормление сельскохозяйственных животных на Северном Кавказе. – Ставрополь: АГРУС, 2015 – 316 с.
10. Газета «АиФ» [Электронный ресурс]. URL: http://gazeta.aif.ru/_/online/dochki/284/22_01
11. Семена [Электронный ресурс]. URL: <http://www.semennat.ru/catalog/morkov-vesom/htm>

Организация эффективной и безопасной акклиматизации в условиях особо охраняемой территории «Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник»

Ардавова Камила Музариновна

10 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический центр» Минпросвещения КБР

Научный руководитель Е. И. Берданова, педагог дополнительного
образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР, Нальчик



Пребывание в условиях умеренной гипоксии может быть применено в целях увеличения адаптационного резерва организма. Исследованы параметры физиологического состояния организма (коэффициент выносливости Кваса, индекс Кетли, адаптационный потенциал) для составления графика акклиматизации в условиях средних высот «Кабардино-Балкарского государственного высокогорного заповедника» (КБВЗ).

Объективно существуют проблемы, которые имеют место в горном мероприятии. К дестабилизирующим факторам относятся: высота, солнечная радиация, физические перегрузки, переохлаждения, обезвоживание и др. Все эти факторы можно минимизировать, поэтому, чтобы противостоять самому важному дестабилизирующему фактору – высоте, необходима эффективная, безопасная и не ослабляющая организм акклиматизация. Фактор «высота» воздействует на организм не прямо, а опосредованно через горную болезнь, проявление которой в условиях Северного Кавказа начинается на высоте 3000 – 3500 м. Большинство здоровых неакклиматизированных жителей равнин начинают ощущать действие высоты в районе 2500 – 3000 м, а при напряжённой физической работе и на меньших высотах [3]. Чем больше высота над уровнем моря, тем меньше давление воздуха. Недостаточное количество кислорода в крови называется кислородным голоданием или гипоксией [6]. Гипоксия приводит к развитию горной болезни. Акклиматизация, или более правильно, высотная адаптация невозможна без горной болезни. Более того, горная болезнь в легких формах включает механизмы перестройки организма.

Цель работы – исследование параметров физиологического состояния организма для составления графика поэтапной акклиматизации в условиях ООПТ «Кабардино-Балкарский высокогорный заповедник».

Задачи: измерение адаптационного потенциала (АП) [1, 2] обучающихся ЭБЦ (возраст 13 – 16 лет) в состоянии покоя и после кратковременного воздействия умеренных степеней гипоксии (на малых высотах: 1800 – 3050 м над у.м.); подсчет данных с применением функциональных проб: коэффициент выносливости Кваса (КВ) [3], индекс Кетли (ИМТ) [1]; формирование навыков использования методик оценки физического развития и функциональной подготовленности; формирование умений на основе анализа функциональных показателей формулировать рекомендации по снижению факторов риска здоровью с учетом составляющих здорового образа жизни.

Объект исследования – обучающиеся по программе учебно-исследовательского практикума «Биоразнообразие Кабардино-Балкарии. Основы мониторинга». В настоящее исследование были включены 13 обучающихся в возрасте 13 – 15 лет. Исследования проводились в Хазнидонском ущелье на малых и средних высотах.

Социально-физиологическая характеристика выборки: объективная оценка физического состояния и установление его динамики во времени являются непременными условиями эффективного управления учебно-тренировочным процессом. Более 1/3 участников имеют дефицит веса, 1 – имеет избыточную массу тела, что при неблагоприятных факторах высокогорья может привести к развитию преморбидного состояния. У двух участников имеется тахикардия, не соответствующая возрасту, причем у одного из них показатель ИМТ – в норме, у другого – дефицит веса; КВ соответствует «очень низкому» показателю, что требует особого внимания и свидетельствует об ослаблении функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы. Им рекомендовано избегать скоростно-силовых нагрузок, основная работа в аэробном режиме. 50% участников имеют нормальный значения КВ, что дает им возможность постепенно увеличивать аэробные нагрузки. 30 % участников имеют высокие показатели КВ, независимо от ИМТ, что свидетельствует об увеличении функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы. Все участники эксперимента имели удовлетворительную адаптацию системы кровообращения (АП), что означает – они в хорошей форме и здоровы. Высокогорный опыт имеют все участники исследования. Результаты исследования: на данном этапе горного мероприятия (посещение Хазнидонского ущелья) 8 участников, обучающихся ЭБЦ, имели удовлетворительную систему кровообращения (АП) (рис. 1).

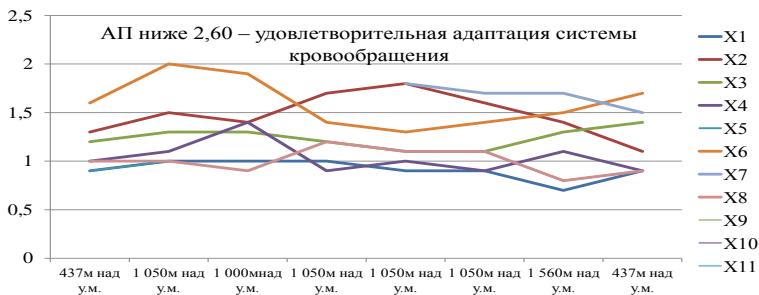


Рис. 1. График изменения адаптационного потенциала (АП) участников (X_1-X_{10}) горного мероприятия «Хазнидон» с высотой

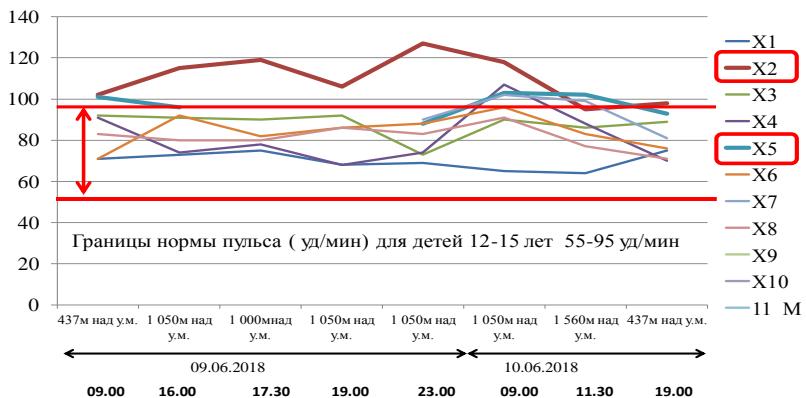


Рис. 2. График изменения частоты пульса участников (X_1-X_{10}) горного мероприятия «Хазнидон» с высотой

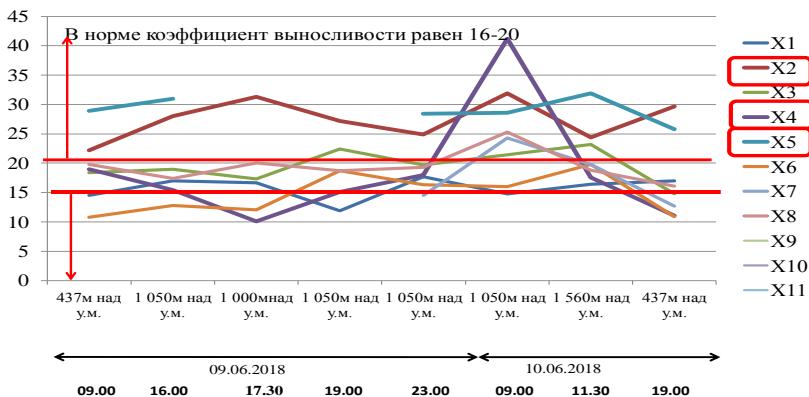


Рис. 3. График изменения коэффициента выносливости Кваса участников (X_1-X_{10}) горного мероприятия «Хазнидон» с высотой

При подъёме на высоты до 2000 – 4000 м кислородная недостаточность у здоровых людей компенсируется без какого-либо видимого вреда здоровью. Однако показатель ЧП (частота пульса) у двоих (X_2 и X_5) участников указывал на тахикардию (рис. 2). Поскольку даже в привычных условиях у этих участников значительно превышен данный показатель (ЧП), что указывает на компенсированную кардиопатологию, можно предположить, что индивидуальные физические факторы в дальнейшем сыграют усугубляющую роль в развитии горной болезни.

Сразу же после прекращения нагрузки (подъема в гору) у молодых, физически крепких людей и спортсменов пульс может превышать исходный на 70 – 200%. И это не будет указывать на болезнь. Нагрузки должны подбираться индивидуально [7]. Мы рассчитали КВ, который четко коррелирует с показателем ЧП. У обоих участников (X_2 и X_5) значение КВ указывает на ослабление возможностей сердечно - сосудистой системы (рис. 3).

На I Высоте (Базовый лагерь, 1050 м над у.м.) у X_2 и X_5 значительно ухудшился показатель КВ, что сопровождалось тошнотой и головокружением. Участник X_4 показал после ночевки утром КВ = 41,2 (очень низкий), хотя перед и после критического значение КВ было высоким. Объясняется тем, что накануне вечером участник X_4 делал силовые упражнения без акклиматизации.

Выводы

Объектом первого похода было выбрано Хазнидонское ущелье ввиду относительной доступности и постепенного набора высоты над уровнем моря: I выход (сразу после приезда без адаптации – перепад высот ≈ 500 м над у.м.; II выход (после ночевки) ≈ 1 000 м над у.м. Постепенность в повышении нагрузок от выхода к выходу – важный момент, о котором не следует забывать.

На малых высотах (до 2 км) кратковременное воздействие умеренных степеней гипоксии стимулирует аэробный обмен, повышает общую устойчивость организма к различным факторам, способствует развитию адаптации к неблагоприятным воздействиям. Пребывание в условиях умеренной гипоксии может быть применено в целях

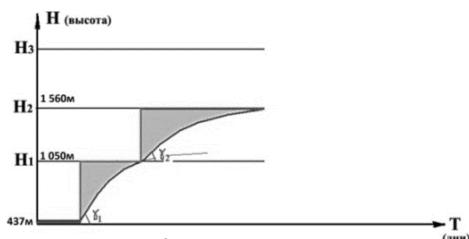


Рис. 4. Последовательная
акклиматизация во время горного
мероприятия «Хазнидон»

увеличения адаптационного резерва организма [6]. Исследование влияния воздействия факторов окружающей среды на организм человека будет продолжено в рамках программы учебно-исследовательского практикума «Биоразнообразие Кабардино-Балкарии. Основы мониторинга» на территории ООПТ КБВЗ и Национального парка «Приэльбрусье» (Безенгийское ущелье и ущелье Ирик) в режиме ступенчатой акклиматизации.

Литература

1. Айдаралиев А.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П. и др. Комплексная оценка функциональных резервов организма. – Фрунзе: Илим, 1988. –195 с.
2. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М., Медицина. 1997. – 236 с.
3. Мир путешествий и приключений/ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.outdoors.ru/book/alp/alp5-10.php>
4. Ревенко Е.М., Зелова Т.Ф. Выраженность динамики физической подготовленности в процессе взросления у учащихся, различающихся уровнем интеллекта // Образование и наука. 2016, № 7 (136).
5. Факторы, способствующие развитию горной болезни // Экваториал-тур [Электронный ресурс]. URL: <http://www.equatorial.by/content/>
6. Шкроботько П.Ю. Дозированная гипоксия как немедикаментозный метод терапии/ Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики (2011) випуск XXIV, № 1. [Электронный ресурс]. URL: irbis-nbuuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis
7. Экспресс-оценка уровня функционального состояния организма во время тренировочного процесса [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kakras.ru/mobile/>

Экологическое состояние пойменных почв высокогорья Кабардино-Балкарской республики

Бетрозова Сабина Муратовна

9 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический центр» Минпросвещения КБР, Нальчик

Научный руководитель Т.Ф. Карпенко,
педагог дополнительного образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР



Исследованы в полевых условиях пойменные почвы высокогорья ущелий рек Хазнидон, Черек Безенгийский, Баксан с последующей камеральной обработкой образцов в лабораторных условиях Эколого-Биологического центра г. Нальчик. В ходе работы произведены: морфологическое описание почвенных профилей, исследован характер прилегающих горных пород, определены типы почв, изучены некоторые химические свойства (кислотность, засоленность почв) и антропогенные факторы, влияющие на почвы.

Почва – самый поверхностный слой суши земного шара, возникший в результате изменения горных пород под воздействием живых и мертвых организмов (растительности, животных, микроорганизмов), солнечного тепла и атмосферных осадков [3]. Процесс почвообразования происходит в высокогорных системах, и в основном горные почвы изучаются в областях альпийских лугов и на прилегающих к ним территориях. Данная работа направлена на изучение прибрежных пойменных почв рек: Хазнидон, Черек Безенгийский, Баксан, что является на сегодняшний день актуальным, так как информации о качестве почв пойменных рек в настоящее время явно недостаточно. В Кабардино-Балкарии сформировались 9 основных типов почв: темно-каштановые, лугово-чернозёмные и луговые почвы степей, предкавказские чернозёмы, горно-лесные, горно-луговые, аллювиальные, чернозёмы горные, горно-тундровые почвы [1, 3].

Цель работы – исследования морфологических, некоторых химических свойств и антропогенных факторов, а также эрозийных процессов, влияющих на почвы. Задачи: 1) морфологическое описание почвенных профилей. 2) исследование характера прилегающих горных пород. 3) определение типов почв. 4) анализ кислотности. 5) анализ засоленности почвы легко растворимыми солями. 6) антропогенные факторы, влияющие на почвы. Методы: 1) метод взятия пробы почв – «метод конверта»; 2) органолептический анализ почвы

(цвет по Захарову; структура по Захарову; сложение по плотности и порозности, новообразования и включения, влажность, механический состав почвы); 3) качественный химический анализ (для установления засоленности и оглеения почв).

Результаты органолептического, качественного и физико-механического анализов почв представлены в таблицах 1 – 3. Как видно из таблицы 1, все три образца имеют разную окраску: а) темно-каштановая; б) серо-черная; в) темно-серая.

Таблица 1. Морфологические свойства пойменных почв высокогорья КБР

Морфологические свойства	Место взятия пробы		
	Ущелье Хазнидонлевый берег р. Хазнидон	Ущелье Безенги, р. Черек Безенгийский	Левый берег р. Баксан
Высота (м над у.м.)	2 000	2 050	1 080
Мощность гумусного горизонта	10 см	3 см	6 см
Цвет почвы	темно-каштановый	серо-черный	темно-серый
Структура	крупно-комковатая	мелко-комковатая	мелко-комковатая
Сложение по Плотности	плотное	рыхлое	рыхлое
Сложение по Порозности	тонко-пористое	тонкопористое	тонкопористое
Влажность	влажная	влажная	сухая
Новообразования и включения	отсутствуют	отсутствуют	отсутствуют
Механический Состав	шнур сплошной, Кольцо с трещинами, тяжелый суглинок	шнур сплошной, Кольцо с трещинами, тяжелый суглинок	зачатки шнура - супесь
Название почв на основе морфологических свойств	лесная, слабоподзолистая тяжело-суглинистая на бескарбонатной морене	дерново-слабоподзолистая, тяжелосуглинистая	дерново-слабоподзолистая на бескарбонатной морене

Структура также близка по форме. Сложение по плотности второго и третьего образца одинаково, первый образец отличается большей

плотностью. По порозности все образцы тонкокористые. По механическому составу два первых образца – тяжелый суглинок, 3-й образец супесь, то есть песчаная почва. На основе морфологических свойств определены типы почв: 1) лесная, слабоподзолистая, тяжёлосуглинистая на бескарбонатной морене; 2) дерново-слабоподзолистая тяжело-суглинистая; 3) дерново-слабоподзолистая на бескарбонатной морене.

Таблица 2. Определение некоторых показателей засоленности почв

Место взятия пробы	Высота (м над у.м.)	Мощность гумусного горизонта	Определение содержания солей в почве				
			pH	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ²⁺
Ущелье Хазнидон, левый берег р. Хазнидон	2 000	10 см	7,5	—	—	—	+
Ущелье Безенги, р. Черек Безенгийский	2 050	3 см	7,5	—	—	—	+
Левый берег р. Баксан	1 080	6 см	7,5	—	—	—	—

Таблица 3. Растительность на исследуемых почвах

Место взятия Пробы	Высота (м над у.м.)	Мощность гумусного горизонта	Растительность
Ущелье Хазнидон, левый берег р. Хазнидон	2 000	10 см	Лиственные кустарники: лещина Древесные породы: ольха, береза
Ущелье Безенги, р. Черек Безенгийский	2 050	3 см	Альпийское разнотравье: астра альпийская, астрагал, дифелипия красная, горечавка, кровохлебка, синяк красный, камнеломка, овсяница
Левый берег р. Баксан	1 080	6 см	Древесные породы: сосна Кустарники: облепиха, барбарис

В таблице 2 представлены результаты засоленности исследуемых почв, из которых видно, что все три образца характеризуются нейтральной средой. Исследования водной вытяжки позволили сде-

лать вывод об отсутствии засоленности почв легко растворимыми солями (карбонатами, хлоридами, сульфатами). Что касается содержания солей двухвалентного железа, то два образца почвы дали положительный результат, то есть развивается процесс оглеения почв в ущельях Безенги и Хазнидон.

Для определения экологического состояния пойменных почв было сделано описание растительного покрова (табл. 3). Наиболее богат растительностью гумусный слой первого образца (ущелье Хазнидон): здесь представлены лиственные породы деревьев и кустарников. Почвы второго образца (Безенги) характеризуются альпийским разнотравьем. Почвы третьего образца (верховье реки Баксан) дают жизнь хвойникам и таким кустарникам, как облепиха и барбарис.

Выводы

- 1) Исследованные образцы прибрежных почв рек: Хазнидон (2000 м над у. м.), Черек Безенгийский (2060 м над у. м.), Баксан (1800 м над у. м.), отличаются мощностью гумусных горизонтов.
- 2) Морфологическими показателями исследуемые почвы отличаются незначительно.
- 3) Пойменные почвы реки Хазнидон имеют наиболее богатый растительный покров, что коррелирует с мощностью гумусного горизонта. Пойменные почвы Черека Безенгийского имеют меньше древесных представителей, что также связано с меньшей мощностью гумусного горизонта. Наиболее однообразный растительный покров имеют пойменные почвы левобережья верховьев реки Баксан, представленный хвойниками.
- 4) Образцы почв рек Хазидон и Черек Безенгийский характеризуются как тяжёлый суглинок, в то время как образцы почвы реки Баксан – супесь.
- 5) Два первых образца указывают на развитие процесса оглеения, а третий образец имеет скучный питательный слой почвы. Возможно, поэтому процесс оглеения отсутствует в данном образце.
- 6) Замечено влияние антропогенных факторов: нарушение почвенного покрова крупным рогатым скотом, уплотнение почвы в местах выгула и наличия троп туристов. Положительное антропогенное влияние отмечается в верховьях реки Черека Безенгийского (3000 м над у. м.) в местах прикормки горных турков. В почвенном образце был обнаружен перегнойный отходов питания, положительно влияющий на процесс почвообразования.

7) Экологическое состояние исследованных почв приемлемое, однако были замечены природные и антропогенные эрозийные процессы.

Работа будет продолжена в плане изучения процессов нарушения почвенных покровов высокогорья в результате обрушений, прибрежной эрозии и других эрозийных процессов. Планируется более подробное изучение геологической составляющей в ущельях рек Хазнидон, Черека Безенгийского, Баксана с целью определения ее влияния на мощность гумусного горизонта.

Литература

1. *Молчанов А.А.* Атлас почв КБР.
2. Описание КБР // Сведения о состоянии окружающей среды КБР [Электронный ресурс]. URL: <http://ecology.gpntb.ru/ecolibworld>
3. Почва [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/4103744/>

Исследование ответа опухолевых клеток на фотодинамическое воздействие с порфиразином в зависимости от дозы облучения

Загородников Никита Владимирович
10 класс, Лицей № 28, ШОИ ИПФ РАН

Научный руководитель С.С. Сороко,
магистрант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Исследованы вязкостные показатели клеточной культуры эпидермоидной карциномы человека при фотодинамическом воздействии с использованием фотосенсибилизатора порфиразиновой природы. Он включает в себя свойства сенсора вязкости, что потенциально позволяет использовать его как агента для фотодинамической терапии и контролера эффективности проведенной терапии. Выявлена световая дозовая зависимость ответа опухолевых клеток на фотодинамическое воздействие с использованием фотосенсибилизатора порфиразиновой природы. Этот метод может стать новым подходом при проведении персонализированной фотодинамической терапии, в котором эффективность контролируется изменением вязкости сразу после проведения облучения.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) является современным и интенсивно развивающимся методом лечения онкологических заболеваний. Метод ФДТ основан на избирательном накоплении в опухолевой ткани фотосенсибилизатора, способного при локальном воздействии света с определенной длиной волны генерировать цитотоксические агенты, вызывающие гибель опухолевых клеток [3]. Метод ФДТ успешно применяется в клинической онкологии [2]. Однако одним из недостатков данного метода является отсутствие раннего морфологического контроля эффективности проведенной терапии и эмпирический характер подбора доз облучения.

Цель работы – выявление световой дозовой зависимости ответа опухолевых клеток на фотодинамическое воздействие с использованием фотосенсибилизатора-сенсора вязкости порфиразиновой природы.

В работе исследовались вязкостные показатели клеточной культуры эпидермоидной клетки карциномы человека А-431 при фотодинамическом воздействии с использованием тетра (4-фторфенил) тетрацианопорфиразина (далее порфиразин). Порфиразин объединяет в себе свойства фотосенсибилизатора и флуоресцентного молекулярного ротора, обладает высокой фотодинамической активностью и

является сенсором вязкости [1]. Так как вязкостные свойства внутриклеточной среды в процессе фотоиндуцированной смерти клеток существенно меняются, то, предположительно, с помощью молекулярных роторов можно осуществлять мониторинг фотодинамического процесса непосредственно в процессе воздействия. Мониторинг фотодинамического воздействия осуществлялся при помощи методов лазерной сканирующей флуоресцентной конфокальной микроскопии и время-разрешенной флуоресцентной микроскопии (FLIM).

Во время эксперимента в клетки эпидермойдной карциномы кожи человека добавили порфиразин вместе со средой без сыворотки в количестве 10^6 моль/л. Через 1 час после добавления порфиразина клетки облучили гелий-неоновым лазером длиной волны 594 нм. Облучение проводили в дозах 5-50 Дж/см². Фотодинамическому воздействию подвергалась только левая половина поля. С помощью метода FLIM проводилась регистрация времени жизни возбужденного состояния порфиразина в клетках. Показания лазерной сканирующей флуоресцентной конфокальной микроскопии и FLIM снимали и фиксировали через каждые 30 минут в первые три часа после облучения, а затем через 60 минут в течение еще трех часов. Для оценки времени жизни возбужденного состояния порфиразина в клетках была получена серия псевдоцветных изображений до и после облучения (рис. 1 – 4).

С помощью калибровочного графика, полученного с использованием спиртоглицериновых растворов разной концентрации, получили уравнение для зависимости вязкости от времени жизни возбужденного состояния порфиразина (1).

$$\lg(\tau)=0,49 \cdot \lg(\eta)+1,77, \quad (1)$$

где τ – время жизни возбужденного состояния флуоресценции, η – внутриклеточная вязкость.

Используя уравнение (1), определили значение вязкости для каждой временной точки и каждого облученного и необлученного участков. После построили гистограммы зависимости вязкости от временных точек (рис. 5 – 8) и сравнили изменение вязкости после облучения на облученных и необлученных участках для каждой дозы.

В ходе анализа и обработки полученных результатов исследования было выявлено, что на необлученных участках изменения показателей вязкости незначительные. На облученных участках с дозами 5 – 15 Дж/см² вязкость росла постепенно, а значимые изменения наблюдались через час после облучения (рис. 5). После облучения клеток дозой 20 Дж/см² значение вязкости возросло через 4 часа в 1,6 раза с 215,6 сП до

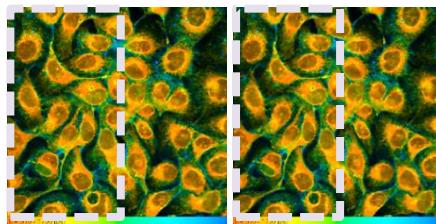


Рис. 1. Изображения клеток А-431 до (слева) и через 4 часа (справа) после проведения ФДТ с дозой $5 \text{ Дж}/\text{см}^2$. Облучаемый участок отделен пунктиром. Инкубация 4FPh-порфиразина 1 час. Возбуждение лазером с длиной волнами 594 нм

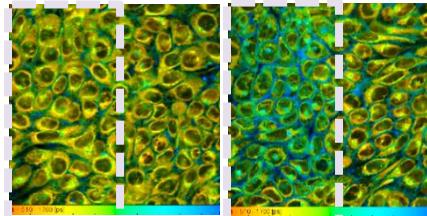


Рис. 2. Изображения клеток А-431 до (слева) и через 4 часа (справа) после проведения ФДТ с дозой $20 \text{ Дж}/\text{см}^2$. Облучаемый участок отделен пунктиром. Инкубация 4FPh-порфиразина 1 час. Возбуждение лазером с длиной волнами 594 нм

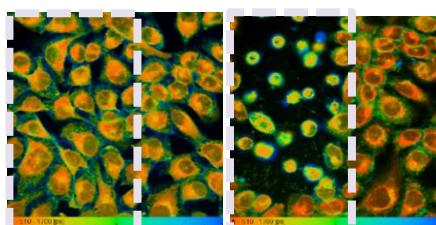


Рис. 3. Изображения клеток А-431 до (слева) и через 4 часа (справа) после проведения ФДТ с дозой $25 \text{ Дж}/\text{см}^2$. Облучаемый участок отделен пунктиром. Инкубация 4FPh-порфиразина 1 час. Возбуждение

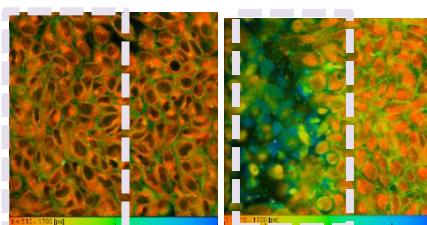


Рис. 4. Изображения клеток А-431 до (слева) и через 4 часа (справа) после проведения ФДТ с дозой $50 \text{ Дж}/\text{см}^2$. Облучаемый участок отделен пунктиром. Инкубация 4FPh-порфиразина 1 час. Возбуждение лазером с длиной волны 594 нм

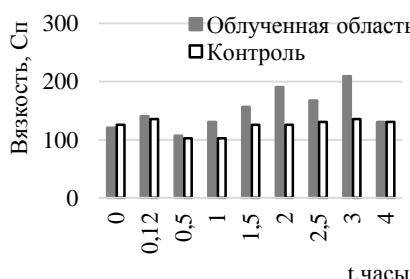


Рис. 5. Гистограмма зависимости вязкости от времени после облучения с дозой $5 \text{ Дж}/\text{см}^2$ в облученном и необлученном участках

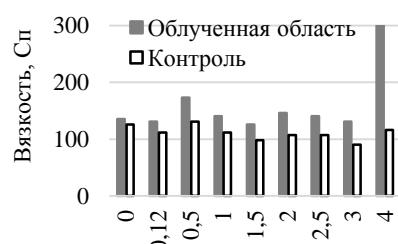


Рис. 6. Гистограмма зависимости вязкости от времени после облучения с дозой $20 \text{ Дж}/\text{см}^2$ в облученном и необлученном участках

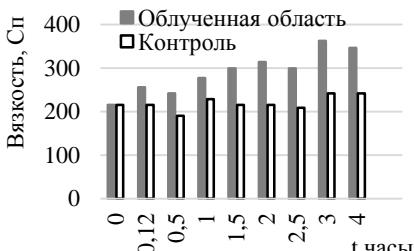


Рис. 7. Гистограмма зависимости вязкости от времени после облучения с дозой 25 Дж/см² в облученном и необлученном участках

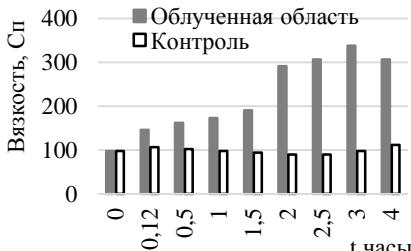


Рис. 8. Гистограмма зависимости вязкости от времени после облучения с дозой 50 Дж/см² в облученном и необлученном участках

346,3 сП (рис. 6), однако гибели клеток не наблюдалось. Не произошло открепление клеток от поверхности дна планшета, нарушения целостности клеточной мембранны, выхода цитоплазмы из клетки (рис. 2). Клетки погибали только при дозах облучения 25 Дж/см² и 50 Дж/см² (рис. 3, 4). При облучении дозой 25 Дж/см² значение вязкости после 4 часов после облучения возросло в 2,32 раз с 135,5 сП до 314,5 сП. При облучении дозой 50 Дж/см² значение вязкости после 4 часов после облучения возросло в 3,12 раз с 98,3 сП до 306,8 сП (рис. 7, 8).

Таким образом, при гибели клеток в процессе фотодинамической терапии происходит увеличение вязкости в 2 – 3 раза. В случае выживших клеток такое изменение вязкости не наблюдается. Можно сделать вывод, что фотодинамическая терапия носит дозозависимый характер. Доза облучения влияет на время ответа клеток. Предполагаем, что в будущем применение этой методики поможет контролировать эффективность фотодинамической терапии по изменению вязкости сразу после проведения облучения. В дальнейшем планируется повторение данного эксперимента для подтверждения полученных результатов и проведение эксперимента на животных.

Литература

1. Izquierdo M.A., Vyšniauskas A., Lermontova S.A., Grigoryev I.S., Shilyagina N.Y., Balalaeva I.V., Klapshina L.G., Kuimova M.K. Dual use of porphyrinzines as sensitizers and viscosity markers in photodynamic therapy // J. Mater. Chem. B. 2015, V.3. P. 1089 – 1096.
2. Мачинская Е.А., Иванова-Радкевич В.И. Обзор механизмов селективного накопления фотосенсибилизаторов различной химической структуры в опухолевой ткани. Фотодинамическая терапия и фотодиагностика. 2013, № 4. С. 28 – 32.
3. Узденский А.Б. Клеточно-молекулярные механизмы фотодинамической терапии. – М.: Наука, 2010. – 327 с.

Исследование эффективности загрузки липосом фотосенсибилизатором порфиразинового ряда

Захарова Диана Денисовна

8 класс, Лицей 28, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Д. В. Дьякова,
магистрант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Одним из наиболее эффективных способов увеличения селективности лекарств является использование липосом в качестве систем доставки. В работе проведено изучение методик загрузки фотосенсибилизатором порфиразинового ряда липосом трех липидных составов: из фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилхолина с добавлением холестерина (ФХ-Хол) и фосфатидилхолина с добавлением холестерина и дистеароилглицерофосфэтаноламина конъюгированного с полиэтиленгликолем (ФХ-Хол-ДСФЭ-ПЭГ). Показано, что липосомы, состоящие из ФХ-Хол-ДСФЭ-ПЭГ, имеют лучшую связываемость. Для липосом этого состава наблюдалась и максимальная загрузка фотосенсибилизатора (ФХ – 0,7; ФХ-Хол – 0,9; ФХ-Хол-ДСФЭ-ПЭГ – 1,3).

Одной из важнейших задач биомедицины является разработка новых лечебных и диагностических препаратов, обладающих высокой селективностью [1, 4]. Лекарственные средства с низкой селективностью могут наносить вред другим тканям и органам, в то время как нацеленная доставка лекарственных препаратов позволяет избежать этой проблемы и увеличивает время их циркуляции в кровотоке. Эффективный способ увеличения селективности лекарств основан на применении липосом в качестве систем доставки. По сравнению с препаратами в свободной форме использование липосомальных форм позволяет снизить токсичность, улучшить фармакодинамические и фармакокинетические профили загруженных в везикулы препаратов. Преимуществом липосом является их универсальность, благодаря которой можно широко варьировать размер липосом, их состав и снизить общетоксическое действие препарата на организм. Но у данной системы доставки лекарственных препаратов есть и недостатки: при попадании в организм часть липосом поглощается микрофагами [1].

В биомедицине широко используется фотодинамическая терапия (ФДТ) для лечения онкологических заболеваний. Этот метод является доступным и безопасным, недостаток его в низкой селективности фотосенсибилизаторов (ФС). Для ее увеличения используются липосомы, как средство доставки. При создании препаратов для диагности-

ки опухолей важным этапом является изучение эффективности загрузки липосом фотосенсибилизатором. Липосомы – это самопроизвольно возникающие при диспергировании полярных липидов в воде пузырькообразные частицы, которые состоят из одного или нескольких замкнутых липидных бислоев, разделяемых водными промежутками. Их диаметр может колебаться от 25 до 10000 нм. Свойства липосом и их поведение определяются, прежде всего, наличием у них замкнутой мембранный оболочки. Несмотря на молекулярную толщину (около 4 нм), бимолекулярный липидный слой отличается исключительной механической прочностью и гибкостью. Благодаря этому липосомы сохраняют целостность при различных повреждающих воздействиях, а их мембрана обладает способностью к самозалечиванию возникающих в ней структурных дефектов. Вместе с тем гибкость бислоя и его текучесть придают липосомам высокую пластичность.

В рамках этой работы было проведено исследование эффективности загрузки липосом фотосенсибилизатором порфиразинового ряда.

Методы и материалы. Объектами исследования служили однослойные липосомы, состоящие из яичного фосфатидилхолина (ФХ) и его смесей с холестирином (Хол) и дистеароилглицерофосфоэтаноламином, коньюгированным с полиэтиленгликолем (ДСФЭ-ПЭГ). В нашей работе липосомы пассивно загружались фотосенсибилизатором тетракис(4-бензолксифенил) тетрацианопорфиразином. Модификация поверхности липосом гидрофильными полимерами, например, ПЭГ, снижает взаимодействие с опсонинами сыворотки крови и последующее распознавание и фагоцитоз клетками системы мононуклеарных макрофагов, что увеличивает время циркуляции липосом в кровеносном русле. Наличие холестерина в липидном бислое приводит к увеличению жесткости мембран липосом, уменьшает текучесть липидного бислоя и ограничивает проницаемость липидных мембран для малых водорастворимых молекул, а также увеличивает упругость и механическую прочность бислоя. Таким образом, присутствие холестерина способствует увеличению стабильности липосом. Кроме того, добавление холестерина в состав липосом позволяет увеличить плотность загрузки лекарственного вещества [3].

В рамках работы липосомы изготавливались на основе растворенного в хлороформе липида с последующим удалением хлороформа путем его испарения [3, 4]. После образования тонкой липидной пленки добавлялся раствор PBS и проводился процесс гидратирова-

ния. На заключительном этапе посредством экструзии получались монодисперсные образцы липосом. Загрузка липосом фотосенсибилизатором проводилась пассивным способом. Отделение несвязавшегося препарата производилось с помощью центрифужных фильтров [2, 3].

Для оценки эффективности загрузки исследуемого фотосенсибилизатора в липосомы использовались следующие характеристики: эффективность связывания с липидным бислоем (EE, от англ. Encapsulation Efficiency) и эффективность загрузки липосом (LE, от англ. Loading Efficiency) [3]. Первая характеристика показывает, какая доля от общего количества добавленного к липосомам красителя загружена в липосомы, а вторая – эффективность применения липосом для доставки данного вещества. Для их расчета использовались

следующие формулы:

$$EE = \frac{C_B}{C_T} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$LE = \frac{C_B}{L}, \quad (2)$$

где L – концентрация липида в липосомах, C_B – концентрация связанного с липосомами ФС, C_T – общая концентрация добавленного препарата.



Рис. 1. Типичный вид спектров поглощения липосом с различной концентрацией добавленного препарата.

Исследование ассоциации фотосенсибилизатора с липидным бислоем липосом проводилось при помощи метода абсорбционной спектроскопии. Она является одним из самых эффективных параметров ассоциации благодаря высокой чувствительности, простоте, информативности, неинвазивной природе и широкому спектру измеряемых параметров. Были получены спектры поглощения разной концентрацией липосом фосфатидилхолина (рис. 1).

Расчет общей концентрации добавленного препарата С_T и препарата, связанного с липосомами ФС, C_B, проводился следующим образом. Известно, что оптическая плотность определяется по формуле A = Clε, где C – концентрация вещества, l – длина пути света в образце, ε – молярный коэффициент экстинкции. Для нахождения концентрации вещества эту формулу следует преобразовать к виду:

$$C = \frac{A}{\varepsilon l}. \quad (3)$$

Оптическая плотность А выводится из экспериментально полученного спектра поглощения на длине волны 600 нм. Коэффициент экстинкции для фотосенсибилизатора, в нашем случае, равен $2,57 \cdot 10^4$, а длина пути света (l) – 1. Для определения Ст необходимо взять спектр поглощения до отделения не связавшегося фотосенсибилизатора, а Св – после.

Полученные значения эффективности связывания фотосенсибилизатора с липидным бислоем и загрузки липосом приведены в таблице. Установлено, что при добавлении к ФХ смеси Хол и ДСФЭ-ПЭГ связываемость препарата с липосомами увеличивается. Наиболее эффективное применение имеют ФХ-Хол-ДСФЭ-ПЭГ-липосомы. Это связано с тем, что, с одной стороны, холестерин повышает плотность загрузки, а с другой, по нашей гипотезе, вследствие добавления ДСФЭ-ПЭГ фотосенсибилизатор загружается не только в сами липосомы, но и остается на поверхности между нитей ДСФЭ-ПЭГ.

Выводы

Проведено исследование эффективности загрузки фотосенсибилизатором порфиразинового ряда однослойных липосом, состоящих из яичного фосфатидилхолина (ФХ) и его смесей с холестирином (Хол) и дистеароилглицерофосфоэтаноламином, конъюгированным с полиэтиленгликолем (ДСФЭ-ПЭГ). Было показано, что с добавлением Хол и ДСФЭ-ПЭГ связываемость препарата с липосомами увеличивается, а самое эффективное применение имеют липосомы с добавлением ФХ-Хол-ДСФЭ-ПЭГ.

Литература

1. Барсуков Л.И. Липосомы // Соросовский образовательный журнал. 1998, № 10. С. 6 – 10.
2. Дьякова Д.В. Исследование стабильности липосом, загруженных тетра(4-бензилокси)фенил) тетра-цианопорфиразином. – М.: ИНГУ, 2017. С. 5 – 53.
3. Дьякова Д.В., Лермонтова С.А., Клатшина Л.Г., Юдинцев А.В., Балалагова И.В. Исследование стабильности липосом, загруженных тетракис(4-бензилоксифенил) тетрацианопорфиразином // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2018, № 4. С. 718 – 723
4. Кобринский Г.Д. Липосомы в медицине // Наука и жизнь. 1988, № 6. С. 67 – 71.

Таблица. Эффективность загрузки фотосенсибилизатора в липосомы

Липидный состав	ФХ	ФХ-Хол	ФХ-Хол-ДСФЭ-ПЭГ
EE, %	35	50	67
LE	0,7	0,9	1,3

**Анализ модификации параметров
сигналов проростков табака
(*Nicotiana benthamiana*) в условиях
сочетанного действия биотических
и абиотических факторов среды**

Козлова Елизавета Андреевна,

11 класс, Лицей № 8, ШПОИ ИПФ РАН

Научный руководитель М.А. Гринберг, магистрант ННГУ им. Лобачевского



Рассмотрена модификация параметров электрических сигналов (ЭС) растений в условиях сочетанного действия стрессовых факторов различной природы (вирусной инфекции и ожога). Показано, что вирусная инфекция в отсутствие абиотического стрессора не индуцирует стрессовых электрических сигналов, однако в условиях сочетанного действия стрессоров увеличивает амплитуду ЭС. Выдвинута гипотеза о причинах наблюдаемых изменений – роли других компонентов стрессовых сигналов (активных форм кислорода).

Большая часть исследований, затрагивающих компоненты системных стрессовых сигналов растений, проводится в рамках одного типа (биотического или абиотического) стрессовых факторов [1], в то время как в природе растения чаще подвержены их сочетанному воздействию [2]. Сочетанное действие факторов зачастую оказывает эффекты, отличные от тех, которые регистрируются при действии факторов по отдельности. Одной из возможных причин является модификация параметров дистанционных стрессовых сигналов, координирующих адаптацию растений. Поскольку наиболее эффективным стрессовым сигналом при действии быстroredрастающих абиотических факторов среды являются электрические сигналы (ЭС), была поставлена цель – изучить влияние хронического биотического фактора (вирусной инфекции) на параметры ЭС, индуцированных кратковременным абиотическим фактором (локальным нагревом).

Исследования проводились на 25-дневных растениях табака Бентхама (*Nicotiana benthamiana*). Растения выращивались в грунте для комнатных растений при среднесуточной температуре 23°C и продолжительности светового дня 16 часов. Заражение растений производилось вирусом картофельной мозаики (*Potato mosaic virus*) с встроенным зелёным флуоресцентным белком (GFP) для удобства анализа распространения инфекции при помощи метода флуоресцентного имиджинга.

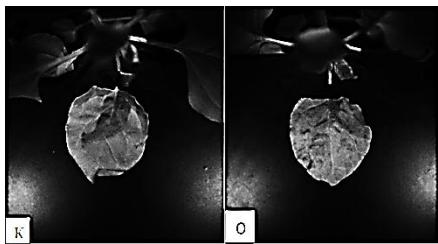


Рис. 1. Фотография контрольного и зараженного (опытного) растений

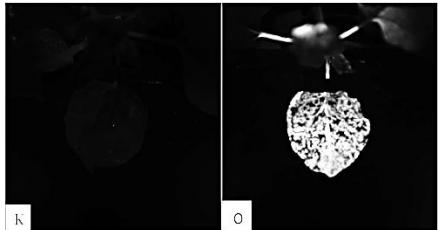


Рис. 2. Флуоресценция вируса у контрольного и опытного растений

стеблю и через 4 – 5 дней заражала верхние листья (6-й и 7-й). В ходе 5-дневного мониторинга электрических сигналов, индуцированных вирусной инфекцией, зарегистрировано не было. Однако в ходе экспериментов было обнаружено значимое возрастание амплитуды ЭС (рис. 4), индуцированных абиотическим фактором, у заражённых растений. Различия были более выраженным в листьях, подвергавшихся заражению наиболее продолжительное время. Это может быть объяснено накоплением химических компонентов иммунитета растений, связанных с ответом на вирусную инфекцию, таких как активные формы кислорода (ROS). Они, как сигнальные молекулы, имеют способность открывать кальциевые каналы, участвующие в генерации ЭС.

Выводы

Подводя итоги, можно сказать, что электрические сигналы растений могут модифицироваться в условиях действия стрессоров разной природы вследствие взаимовлияния различных иммунных ком-

Примеры анализа, полученного при помощи данной методики, представлены на рисунках 1 и 2.

Вирус вводился в 3-й лист, через 5 дней этот же лист подвергался абиотическому воздействию. В качестве абиотического стрессора применялся локальный нагрев листа резистором. Регистрация параметров ЭС проводилась посредством регистрации поверхностных потенциалов с использованием многоканальной макроэлектродной установки, схема которой представлена на рисунке 3.

Выяснено, что вирусная инфекция распространялась по стеблю и через 4 – 5 дней заражала верхние листья (6-й и 7-й). В ходе 5-дневного мониторинга электрических сигналов, индуцированных вирусной инфекцией, зарегистрировано не было. Однако в ходе экспериментов было обнаружено значимое возрастание амплитуды ЭС (рис. 4), индуцированных абиотическим фактором, у заражённых растений. Различия были более выраженным в листьях, подвергавшихся заражению наиболее продолжительное время. Это может быть объяснено накоплением химических компонентов иммунитета растений, связанных с ответом на вирусную инфекцию, таких как активные формы кислорода (ROS). Они, как сигнальные молекулы, имеют способность открывать кальциевые каналы, участвующие в генерации ЭС.

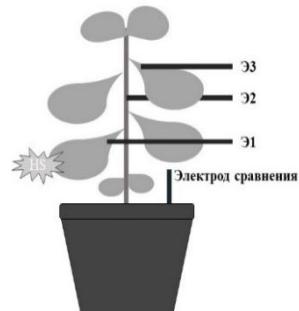


Рис. 3. Схема лабораторной установки: Э – электроды, HS – ожог листа

понентов, даже если электрические сигналы индуцируются только одним из нескольких стрессовых факторов.

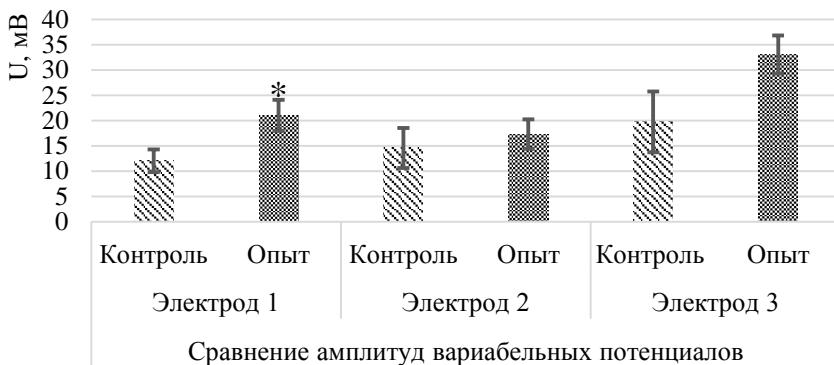


Рис. 4. Сравнение амплитуд вариабельных потенциалов, * - $p < 0,05$

Литература

1. Gilroy S. et al. ROS, calcium, and electric signals: key mediators of rapid systemic signaling in plants // Plant Physiology. 2016. Т. 171, №. 3. С. 1606 – 1615.
2. Ramegowda V., Senthil-Kumar M. The interactive effects of simultaneous biotic and abiotic stresses on plants: mechanistic understanding from drought and pathogen combination // Journal of plant physiology. 2015. Т. 176. С. 47 – 54.

Использование данных о грозовой активности при мониторинге лесных пожаров на особо охраняемых территориях Кабардино-Балкарской республики

Кулиева Танзилия Далхатовна

9 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический центр» Минпросвещения КБР, Нальчик

Научный руководитель Е. И. Берданова,
педагог дополнительного образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР



Выявлены очаги возгорания растительного материала (можжевельник) в ущелье Ирик. С учетом плотности молниевых разрядов исследован комплекс факторов, обуславливающих опасность возникновения лесных пожаров, а именно: климатические условия возникновения лесных грозовых пожаров; лесотипологическая характеристика насаждений и его способность к загоранию; качественные геолого-геофизические характеристики пожароопасных районов КБР. Прогноз на основе грозопеленгации станет основой для проектирования эффективности противопожарных мероприятий.

Естественной причиной возникновения огня обычно являются молнии. На долю лесных пожаров от гроз на территории России в среднем приходится 10 – 15% [1]. На территории РФ до настоящего времени не существует надежно отработанной системы прогноза возникновения пожаров от гроз. Создание такой системы актуально для отдельных регионов Сибири и Дальнего Востока, где расположены огромные лесные массивы [2]. Проблема пожаров, возникших от гроз, для различных районов Кабардино-Балкарской Республики пока еще не изучена и представляет собой новое поле для деятельности.

В Государственной программе Кабардино-Балкарской Республики «Развитие лесного хозяйства» на 2013 – 2020 годы есть специальная подпрограмма «Охрана лесов от пожаров» (в ред. Постановлений Правительства КБР от 02.12.2015 N 281-ПП, от 0.05.2016 N 103-ПП, от 16.12.2016 N 224-ПП), приоритетами которой являются «создание эффективной системы профилактики, обнаружения и тушения лесных пожаров». В связи с этим представляется важным исследование комплекса факторов формирования грозы, «выбора» точки удара молниевым разрядом на различных участках леса и состояния растительных горючих материалов в момент удара молнии. Учитывая, что леси-

стость республики составляет всего 15,3% [6], основной задачей лесоводов является охрана лесов от пожаров. Прогноз опасности возникновения лесных бедствий является основой для проектирования и оценки эффективности противопожарных мероприятий.

Цель работы – оценка опасности появления грозового пожара для растительности методом грозопеленгации. Задачи: оценка потенциально грозоопасных участков с учетом плотности молниевых разрядов; выявление и изучение связей возникновения лесных грозовых пожаров с лесотипологическими, климатическими и геологическими условиями. Объект исследования: защитные леса в Кабардино-Балкарской республике (КБР), а именно особо охраняемые природные территории (ООПТ) федерального значения, представленные Национальным парком «Приэльбрусье» и ФГУ «Кабардино-Балкарский Государственный Высокогорный Заповедник». На территории Северного Кавказа для изучения динамики и интенсивности грозовой активности осуществляется регистрация гроз грозопеленгационной сетью (ГПС) LS8000 («Vaisala») [5]. Впервые для прогнозирования грозовых пожаров в КБР были использованы данные грозопеленгации. Для выявления грозовых следов возгорания на территории ООПТ были предприняты полевые экспедиции. Районы исследования: Хазнидонское, Хуламо-Безенгийское ущелье, ущелье Ирик. Результаты: Лаборатория атмосферного электричества отдела стихийных явлений ФГБУ «Высокогорного Геофизического института» Росгидромета г. Нальчика предоставила в распоряжение карты плотности грозовых разрядов, полученных по данным грозопеленгационной сети (ГПС) LS8000 («Vaisala») на территории Северного Кавказа (рис. 1).

На рисунке 1 показана плотность молниевых разрядов по всей территории ЮФО и СКФО. Размер ячейки 10x10 км. Цвет показывает количество молниевых разрядов, приходящихся на 1 км² в этой ячейке, за период с 01.01.2009 года по 31.12.2017 года. Например, в выделенной ячейке цвет соответствует диапазону 8 – 16 разрядов на 1 км². Количество молний находится в диапазоне 800 – 1600 разрядов, так как в одной ячейке 100 км² (10000 га). На указанной территории отмечается высокая молниевая активность, в среднем около 450000 молниевых разрядов в год. Во время экспедиций в долине реки Ирик были обнаружены одиночные очаги удара молний (рис. 2а, б).

Ущелье Ирик расположено между юго-восточным и восточным отрогами Эльбруса и находится на территории Национального парка «Приэльбрусье» – это зона повышенной грозовой активности (рис. 3).

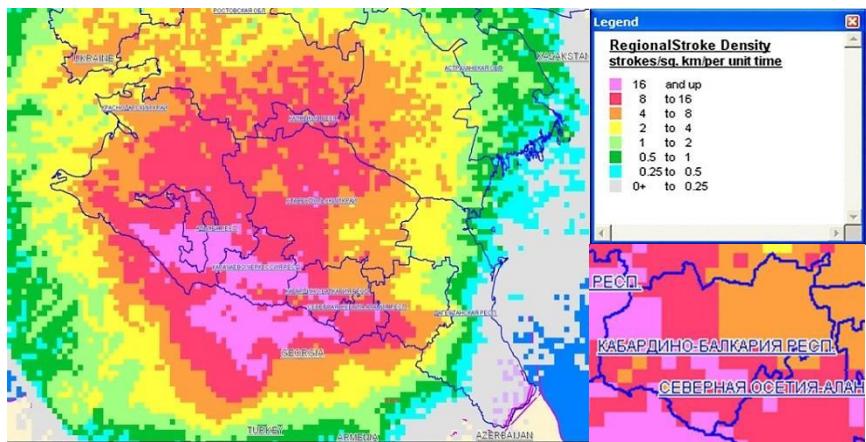


Рис. 1. Интегральная плотность грозовой активности за период 2009 – 2017 гг. на территории Северного Кавказа и в частности, КБР



а) Очаг № 1, июнь 2018 г.



б) Очаг № 2, июнь 2018 г.

Рис. 2. Очаги в ущелье Ирик

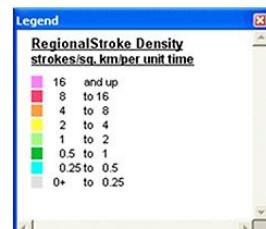


Рис. 3. Зона повышенной грозоактивности в районе Нацпарка «Приэльбрусье», 2009 – 2017 гг.

Исследован комплекс факторов, объясняющих опасность возникновения лесных пожаров.

1. Данная территория относится к высокогорному влажному климату, однако южные склоны ущелья Ирик больше освещены, здесь выше температура воздуха и пониженная влажность почвы.

2. Ущелье Ирик прорезано сквозь Главный Кавказский хребет, сложенный наиболее древними породами – докембрийскими (архейскими) кристаллическими сланцами и гнейсами, прорванными гранитами (так называемыми гранитами Главного хребта). Приведенные материалы геологических исследований свидетельствуют о существовании благоприятных геолого-тектонических условий для реализации процессов вертикального массо- и энергопереноса. Важно подчеркнуть, что многие разломы испытывают постоянное обновление на протяжении длительного времени геологической истории. Именно наличие сгущения разломной сети представляет хорошее условие для грозовой активности [3]. Разряд «выбирает» те участки, на которых требуется меньшее напряжение для пробоя. Стекольниковым отмечено, что ударам молнии подвержены участки с ярко выраженной неоднородностью электрической проводимости [4].

3. В возникновении лесного пожара от действия молниевого разряда важную роль играет способность к горению лесных горючих материалов, которая зависит от типов растительности и их влагосодержания. В нашем случае молния поражала кустарники можжевельника – род вечнозелёных хвойных кустарников и деревьев семейства Кипарисовые (*Cupressaceae*) – с пониженным влагосодержанием.

Литература

1. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы /МЧС РФ. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2014. – 312 с.
2. Дмитриев А.Н. Грозы и лесные пожары от гроз на территории Республики Алтай. – Горно-Алтайск, ГАГУ, 2011. – 155 с.
3. Дубров, А.П. Биологическая геофизика. Поля. Земля. Человек и Космос. – М.: Фолиум, 2009. – 176 с.
4. Стекольников И.С. Физика молнии и грозозащита. – М.: Изд-во АН СССР, 1943. – 230 с.
5. Предложения по развитию грозопеленгационной системы Росгидромета на азиатской территории России/ФГБУ ГГО им. А.И. Войков. – СПб, 2018.
6. УКАЗ от 31.12.2008 года № 143-УП Об утверждении Лесного плана Кабардино-Балкарской Республики на 2009 – 2018 годы [Электронный ресурс]. URL: <http://oopt.aari.ru/doc>

Влияние продолжительности сна на активность психических процессов у школьников

Панюшина Анна Андреевна

10 класс, Школа № 1 г. Павлово

Научный руководитель М.А. Матюшина,
учитель биологии СШ № 1 г. Павлово



Исследована активность психических процессов учащихся 10 класса в зависимости от продолжительности сна. Выявлена взаимосвязь между хронотипом человека, продолжительностью сна, временем засыпания, временем пробуждения, избирательностью и концентрацией внимания. По результатам проведённых исследований каждому участнику эксперимента были даны рекомендации для максимально эффективного использования своего времени.

Проблема влияния недостатка сна на производительность труда в настоящее время является актуальной для России. Согласно исследованиям многопрофильного аналитического центра, российские компании из-за недосыпа сотрудников ежегодно теряют 2,3 триллиона рублей. Активность психических процессов напрямую связана с производительностью труда. Продолжительность сна подростков менее 7 часов снижает умственную активность. Цель работы – определить влияние продолжительности сна на активность психических процессов учеников 10 класса, учитывая их хронотипы.

В исследовании принимали участие 10 учеников 10 класса, давших согласие на проведение эксперимента. Для определения хронотипов было проведено тестирование по двум методикам. Использована международная анкета Остберга и тест С.И.Степановой [1] для получения более достоверных данных. Тест Хорна-Остберга представлял собой опросник из 15 вопросов, на которые необходимо честно ответить, не возвращаясь к предыдущим для сверки ответов. В тесте С.И. Степановой нужно было ответить на вопросы анкеты, отметив соответствующие баллы. Результаты диагностического тестирования с использованием вышеуказанных методик совпали у 7 чел. (70%), из них хронотип «Голубь» отмечен у 6 чел. (60%), «Сова» - 1 чел. (10%). Результаты тестирования трёх человек показали, что они являются аритмиками со слабо выраженным вечерним или утренним типом (30%), двое из них – слабо выраженные «совы» (20%), а один – слабо выраженный «жаворонок» (10%) (рис. 1).

С целью определения избирательности и концентрации внимания учеников 10 класса был проведён эксперимент по методике

Мюнстерберга [3]. Тест представляет собой массив букв, сгруппированных в строки без пробелов, среди которых испытуемому предлагается найти и выделить слова. Время выполнения задания две минуты. Оценивается количество выделенных слов и количество ошибок. Эксперимент проводился в два этапа: первые пять дней участники выполняли задание в учебные дни и вторые пять дней – в каникулы. По результатам исследования для каждого участника был составлен график, который отображает зависимость избирательности и концентрации внимания от продолжительности сна. Мы обобщили полученные результаты и составили общий график зависимости избирательности и концентрации внимания от продолжительности сна (рис. 2). При продолжительности сна 8,5 и 12 часов наблюдается самая высокая избирательность и концентрация внимания учащихся 10 класса. Такие же высокие результаты получены учащимися при продолжительности сна 9 и 10 часов. При продолжительности сна 11 часов отмечен средний уровень избирательность и концентрация внимания учащихся. Самый низкий уровень наблюдается при продолжительности сна 7,5 часов.



Рис. 1. Диаграмма результатов определения хронотипов

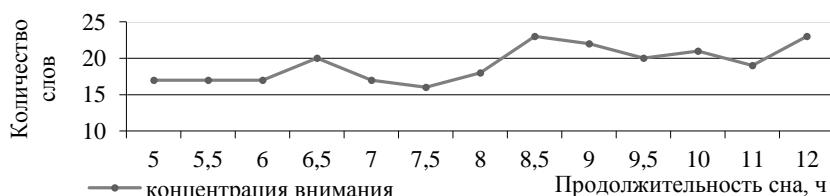


Рис. 2. Влияние продолжительности сна на избирательность и концентрацию внимания учащихся 10 класса

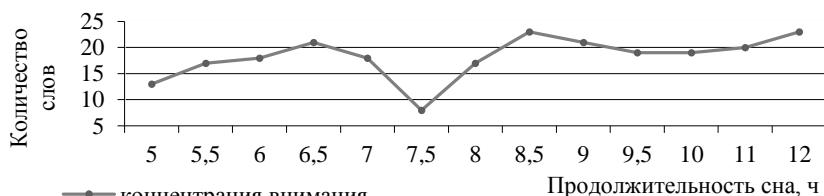


Рис. 3. Результаты определения избирательности и концентрации внимания учащихся хронотипа «Голубь»

Результаты определения избирательности и концентрации внимания были сопоставлены с хронотипами. Участники с хронотипом «Голубь» более внимательны и лучше концентрируются при продолжительности сна 8,5 – 9 часов. Благоприятно на них влияет подъем после 9 часов утра и время засыпания с 22 до 24 часов. (рис. 3 – 5).

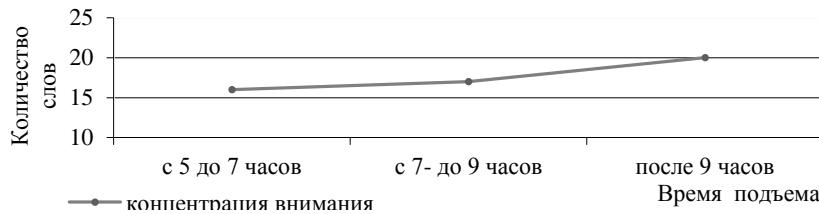


Рис. 4. Влияние времени пробуждения учащихся хронотипа «Голубь» на избирательность и концентрацию внимания

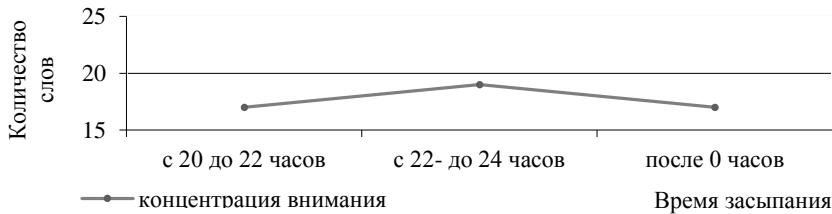


Рис. 5. Влияние времени засыпания учащихся хронотипа «Голубь» на избирательность и концентрацию внимания

Выходы

Выявлена связь между хронотипом человека, продолжительностью сна, временем засыпания, временем пробуждения и избирательностью и концентрацией внимания. Людям необходимо знать свой хронотип, чтобы максимально эффективно использовать время, в которое они наиболее работоспособны, а время спада активности посвятить отдыху.

В перспективе можно исследовать влияние дневного сна на активность психических процессов. Британские учёные обнаружили, что сон во время рабочего дня приносит пользу. Так, 26 минут лёгкой дремоты повышают работоспособность на 34%, а внимательность на 54% [2]. Компания Google позволяет вздремнуть своим сотрудникам в специальной энергетической станции, помогая им избежать ощущения разбитости. В дальнейшем можно изучить механизмы, позволяющие компенсировать недостаточную продолжительность сна и повысить активность психических процессов, а, следовательно, увеличить производительность труда.

Литература

1. Выявление хронотипа работоспособности человека [Электронный ресурс]. URL: <https://studopedia.info/4-93795.html>.
2. Сон на рабочем месте повышает производительность труда. [Электронный ресурс]. URL: https://www.dp.ru/a/2014/12/15/Komu_na_rabote_spat_horo.
3. Тест Мюнстерberга. [Электронный ресурс]. URL: <http://testoteka.narod.ru/pozn/1/26.html>

Исследование биоразнообразия насекомых в окрестностях поселка Рустай

Пряжникова Мария Игоревна

11 класс, ДЮЭЦ «Зеленый Парус»

Научный руководитель Мосягина А.Р.,
преподаватель ДЮЭЦ «Зеленый Парус»,
кандидат биологических наук, Нижний Новгород



Проведен мониторинг таксономического разнообразия в окрестностях Керженского заповедника. Методика работы состояла в отлове насекомых и определения их систематического положения с помощью атласов насекомых. Проанализировав сезонный аспект, типы питания и пространственные экологические ниши 77 видов насекомых, сделан вывод, что, ввиду сниженнного антропогенного воздействия, в биогеоценозе наблюдаются систематическое разнообразие, редкие и узкоспециализированные виды, которые могут обитать только в экологически благоприятных местах. Однако расширение ареала южных видов насекомых и увеличение сроков лета может указывать на систематическое изменение погодных условий – глобальное потепление.

Доказано, что необходимым условием нормального функционирования экосистем и биосфера в целом является достаточный уровень природного разнообразия на нашей планете [3]. Требуется обладать оперативными данными, где и с какой скоростью изменяется биоразнообразие. В связи с этим особое значение приобретает его инвентаризация. Она позволяет уточнить состав типичных, редких, исчезающих и эндемичных видов, их различные экологические группы, определить динамику изменения численности видов и наладить действенную систему мониторинга. Мы решили провести мониторинг близ Керженского заповедника, чтобы определить, в каком состоянии находится биогеоценоз и какие тенденции наблюдаются в жизни насекомых.

Цель работы – проведение мониторинга таксономического биоразнообразия насекомых в окрестностях поселка Рустай.

Методика проведения работы состояла в отлове насекомых по методу кошения, ловом на свет и ловушками для насекомых; определения их систематического положения при помощи атласов насекомых [2, 4, 6]. Были пойманы и идентифицированы 77 видов насекомых, которые принадлежат к 11 отрядам (рис. 1). Ввиду выбранных методов отлова наибольшее число насекомых наблюдается в отряде чешуекрылые.

Роль насекомых определяет их пища. Мы проанализировали тип питания каждого насекомого, однако наиболее интересны с точки зрения анализа биоразнообразия олигофаги и монофаги, которых мы рассмотрели на примере жуков (рис. 2) и ночных бабочек (рис. 3). Олигофаги и монофаги наиболее требовательны к условиям обитания, поэтому они будут редко встречаться в сильно нарушенных биоценозах с маленьким видовым разнообразием.

Помимо относительно большого количества олигофагов и монофагов, о благоприятной экологической обстановке также свидетельствует большое число видов бабочек, входящих в «Перечень видов (подвидов, популяций) животных, занесенных в Красную книгу Нижегородской области» [5]. Это лишайница обыкновенная, подалирий, совка зеленая, ленточница розовая. Также мы определили стрекозу и двух бабочек, исключенных из Перечня: кобылка голубая, желтушка шафрановая, махаон. Их исключение может быть связано с восстановлением их численности или уточнением данных мониторинга.

В окрестностях Керженского заповедника разнообразная флора, поэтому мы проанализировали пространственные экологические ниши фитофагов на примере ночных бабочек (рис. 4 – 5.).

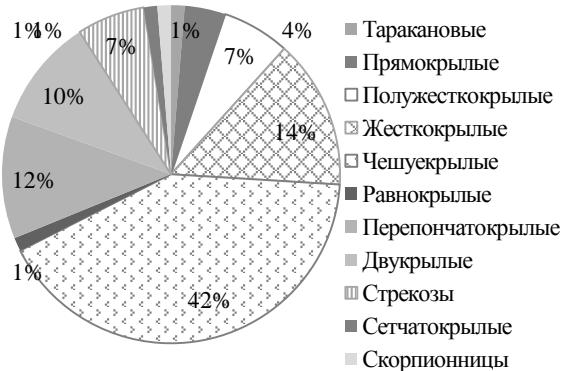


Рис. 1. Отряды пойманых насекомых

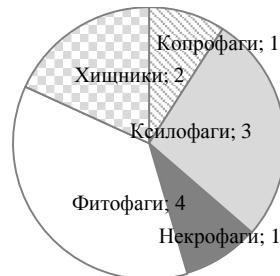


Рис. 2. Типы питания жуков

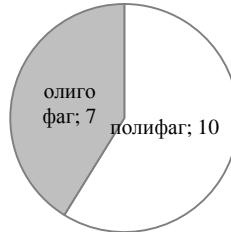


Рис. 3. Типы питания ночных бабочек



Рис. 4. Распределение бабочек в разных биотопах

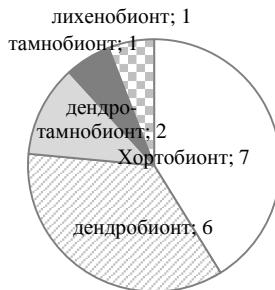


Рис. 5. Распределение бабочек в разных ярусах

Распределение ночных бабочек в биотопах зависит от места мониторинга. Исследование проводилось поздним летом, но ночных бабочек было выявлено относительно больше всего, по данным анализа, раннелетних и среднелетних бабочек (рис. 6). Это может указывать на систематическое потепление.

Не менее интересно, что нам встретилось насекомое, которое не входит в 1428 видов, описанных Керженским заповедником. Хотя миграционное поведение встречается у бабочек нечасто [1], иначе нельзя объяснить появление на территории близ заповедника вилохвоста букового (рис. 7). Вилохвост буковый – ночная бабочка из семейства холлатки. Евразийский лесной вид, населяющий зону лиственных лесов Европы и Азии. Предпочитает тёплые участки, летает в буковых лесах, на просеках и опушках лиственных и смешанных лесов. Хотя в зоне, где мы встретили этот вид, преобладают хвойные породы. Его появление может свидетельствовать о распространении южных видов, что может являться следствием глобального потепления климата.

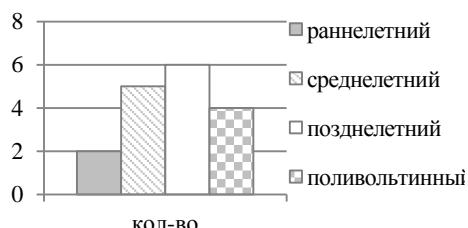


Рис. 6. Сроки лета ночных бабочек



Рис. 7. Гусеница вилохвоста букового

Выходы

В соответствии с задачами работы, была выбрана методика и произведен отбор экземпляров насекомых различных видов. Показано, что в исследуемом биогеноценозе, расположенном вблизи Керженского заповедника, наблюдается разнообразие насекомых, редкие и узкоспециализированные в плане питания виды, которые могут обитать только в экологически благоприятных местах. Это может быть следствием сниженного антропогенного воздействия. Увеличение продолжительности лета и распространение южных видов насекомых свидетельствуют о систематическом потеплении.

Литература

1. Senthilmurugan B. (2005). «Mukurthi National Park: A migratory route for butterflies». J. Bombay Nat. Hist. Soc. 102 (2): 241 – 242.
2. Горбунов П.Ю., Ольшванг В.Н. Жуки Среднего Урала (справочник-определитель). – Екатеринбург, 2008. – 384 с.
3. Лебедева Н.В. и др. Биологическое разнообразие: Учеб., пособие для студентов высших учебных, заведений. – М.: Т-во МК, 2004. – 111 с.
4. Мамаев Б.М., Медведев Л.Н., Правдин Ф.Н. Определитель насекомых европейской части СССР. Учебное пособие для студентов биол. специальностей пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1976. – 304 с.
5. Постановление от 9 июля 2013 года № 455 Об утверждении Перечней видов (подвидов, популяций) живых организмов, занесенных в Красную книгу Нижегородской области и в приложения к Красной книге Нижегородской области.
6. Сочивко А.В., Каабак Л.В. Определитель бабочек России. Дневные бабочки. – М.: Аванта+, 2012. – 320 с.

Исследование чистоты воздуха по фенотипическим изменениям листьев клена ясенелистного

Пузиков Ефим Сергеевич

8 класс, Михайловская СШ, Нижегородская область

Научный руководитель А.В. Доронина,
учитель биологии Михайловской СШ



Исследованы фенотипические изменения листьев клена с парковых, транспортных, рекреационных участков сел и городов Бора и Н. Новгорода. Проведены промеры длины, ширины, черешка листовых пластин клена, подсчитано количество фенов, вычислен коэффициент фенотипического сходства популяций. На основании статистической обработки данных исследования установлена зона с самым чистым и самым загрязненным воздухом.

Глобальное техногенное влияние человека на природу приводит к быстрой перестройке природных сообществ. В таких условиях оперативным, удобным, экономичными и достаточно объективными методами оценки состояния природных сообществ и качества среды могут быть методы фенотипической индикации растений.

Цель работы – исследование качества воздуха на основе фенотипической изменчивости листьев клена. Задачи: провести промеры фенотипических признаков клена ясенелистного, статистическую обработку и анализ полученных данных, выявить функциональные зоны с самым чистым и загрязненным воздухом.

Проведен сбор листьев клена ясенелистного (*Acer negundo*) из разных функциональных зон с разным уровнем загрязнения. В каждой зоне с дерева взято по 30 листьев. Выборка листьев проведена с участков: 1) транспортная зона Кузьмияр-Каменка, расстояние 1 м от дороги; 2) транспортная зона Разнекье – Михайловское; расстояние – 1 м от дороги; 3) парковая зона Н. Новгород, ул. Яблоневая, рядом автосервис (3 м); 4) парковая зона Н. Новгород, ул. Шишкова, спальный район, (3 м); 5) транспортная зона г. Бор, трасса Н. Новгород-Михайловское, (1 м); 6) рекреационная зона Михайловское; 7) рекреационная зона Каменка (контроль).

Для каждого листа проведены промеры длины черешка (ДЧ), длины листовой пластинки (ДЛ), ширины листовой пластинки (ШЛ) [3]. Данные измерений занесены в полевой дневник.

Выявлены фены листовых пластинок. Определены количество фенов, частота их встречаемости. Подсчитана доля редких фенов, выявлена средняя арифметическая ошибка.

Для оценки качественных признаков определены среднее квадратическое отклонение, вычислены значения средней арифметической ошибки.

Вычислен показатель фенотипического сходства популяций (r).

Определены коэффициенты Стьюдента (Td). Сравнили их со стандартными значениями критерия (p).

Таблица. Показатели фенотипического сходства и коэффициента Стьюдента клена ясенелистного (*Acer negundo*) в разных функциональных зонах

№	Места забора листьев	r	Td (к)	P (к)	Td (h)	Td ДЛ мм	Td ШЛ мм	Td ДЧ мм
1	Транспортная зона Каменка-Кузьмияр	0.53	3.89	0,001	0.79	11.02	23.5	10.68
2	Транспортная зона Разнекье-Михайловское	0.27	2.19	0,1	0.93	8.12	22.8 ₂	19.7
3	Парковая зона Н. Новгород ул. Яблоневая, 3м от автосервиса	0.47	4.15	0,001	0.93	8.32	26.9	21.8
4	Парковая зона Н. Новгород ул. Шишкова	0.38	5.98	0,001	1.16	4.85	19.3	21.97
5	Транспортная зона г. Бор, 1 м от дороги	0.86	2.25	0,1	0.19	5.57	16.5	16.2
6	Рекреационная зона Михайловское	0.76	2.23	0,1	0.17	5.02	22.4	24.3
7	Рекреационная зона Каменка			контроль				

Результаты исследований показали, что фенофонды группировок клена включали 5 – 10 фенов. Стоит отметить, что группировка деревьев в парковой зоне улицы Шишкова Н. Новгорода имеет наибольшее среднее число фенов (8,32) и наименьшую долю редких фенов (0,17), что говорит о следующем: интенсивное загрязнение выбросами автотранспорта биотопа клена ясенелистного уменьшает стабильность онтогенеза деревьев.

1. Наибольший показатель фенотипического сходства наблюдается между контрольным участком (Каменка) и г. Бор при $r = 0,86$, а наименьшее сходство между группировками деревьев из контрольного участка (Каменка, школа) и вторым участком Разнежье – Михайловское при $r = 0,27$.

2. По среднему числу фенов статистически значимые различия обнаружаются в сравнении с контрольным (Каменка) у группировок деревьев из таких зон, как транспортных зон Каменка – Кузьмляр, Разнежье – Михайловское, парковой зоны Н. Новгород, ул. Яблоневая с $p < 0,001$. Минимальными различия с контрольным являются транспортные зоны г. Бор, Разнежье – Михайловское и рекреационная зона Михайловское ($p < 0,1$). Максимальные различия – с парковой зоной Н. Новгорода, ул. Шишкова $T_d(k) = 5,98$.

3. По доли редких видов статистически значимых различий не обнаружено.

4. Выявлены статистически значимые различия по всем количественным признакам (длина листа, длина черешка и левой ширины листа) между контрольным биотопом и всеми сравниваемыми биотопами с $p < 0,001$.

5. В ходе работы выявлено, что интенсивность движения автомобилей приводит к загрязнению выбросами, а это приводит к изменению фенофондов популяции клена ясенелистного.

Выводы

Фенотипические изменения листьев клена могут служить индикатором чистоты воздуха. Проведены промеры фенотипических признаков листьев клена, статистическая обработка и их анализ. По статистическим данным измерения определена функциональная зона (Каменка) с самым чистым воздухом и самый загрязненная зона (парковая зона ул. Шишкова, Н. Новгород).

Литература

1. Жукова Л.А., Ведерникова О.П., Смирнова О.В. Популяционная экология растений. – Йошкар-Ола: Изд-во Марийского гос. ун-та, 1994. – 260 с.
2. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценотических популяций растений. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. – 174 с.
3. Урьяи В.Ф., Шурганова Г.М., Макеев И.С. Методы экологического мониторинга: Экологический практикум. – Н. Новгород: Нижегородский государственный университет, 2011. – 72 с.

Биосистематика бриофитов Хазнидонского ущелья Кабардино-Балкарской республики

Пшихачев Инал Хасанбиевич

9 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический центр» Минпросвещения КБР, Нальчик

Научный руководитель А.Б. Моллаева,
педагог дополнительного образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР



*Исследованы мохообразные Хазнидонского ущелья Кабардино-Балкарской республики. Работы проводились традиционными методиками флористических исследований, преимущественно маршрутным методом, с учетом особенностей изучения флоры горных территорий и особенностей изучения бриофитов. На основе полученных данных сделан вывод о бриологическом разнообразии на территории Хазнидонского ущелья, существуют виды, являющиеся редкими для республики и всего Кавказа (*Claopodium rostratum*).*

Мохообразные – неотъемлемая часть большинства растительных сообществ и в целом биосфера. Эта древнейшая группа растений является одной из самых слабо изученных для республики, в связи с этим является необходимой систематизация и составление бриологической карты. Цель исследования – изучить биосистематику мхов Кабардино - Балкарского высокогорного государственного природного заповедника (Хазнидонского ущелья).

Основным материалом послужил гербарий, собранный во время экспедиции в КБВГПЗ, фотографии и наблюдения, проводимые на его территории. Были критически просмотрены и определены образцы мхов из учебного гербария. Работы проводились по традиционным методикам флористических исследований, преимущественно маршрутным методом [2, 4] с учетом особенностей изучения флоры горных территорий, а также особенностей изучения бриофитов [1, 3].



Рис. 1. Точки сбора на территории КБВГПЗ

Образцы мхов были собраны с четырех точек заповедника (рис. 1). Собранный материал, соответствующий данный точкам, представлен в таблице 1 «Распределение мхов по точкам сбора» (табл. 1).

Таблица 1. Распределение мхов по точкам сбора

Наименования мхов	Точка № 1	Точка № 2	Точка № 3	Точка № 4
<i>Lunularia cruciata</i>			+	
<i>Leucodon sciuroides</i> (Hedw.) Schwägr			+	
<i>Claopodium rostratum</i> (Hedw.) Ignatov			+	+
<i>Philonotis fontana</i> (Hedw.) Brid			+	+
<i>Polytrichum commune</i> Hedw	+	+		

Предварительное определение ряда хорошо различимых таксонов проводилось в поле с использованием карманной лупы, окончательная идентификация образцов выполнялась в лабораторных условиях с применением микроскопов «МБС-10», «МСП-1» и «Биолам».

Результаты исследования. Номенклатура приводится согласно сводке М.С. Игнатова [1]. Далее представлен конспект некоторых представителей флоры мхов КБГПЗ, виды, замеченные на прилегающих к заповеднику территориях (ущелье Хазнидон, русло р. Хазнидон), нахождение которых в его пределах имеет высокую вероятность.

1. *Leucodon sciuroides* (Hedw.) Schwägr. [I, X, НЛ / Com]; бассейн р. Хазнидон: окрестности с. Ташлы - Тала, на стволах и в основании каштана (S+); вид.
2. *Philonotis fontana* (Hedw.) Brid. [II, III, САЛ-А / Fr]; в буково-грабовых лесах, на ключевых болотцах, на заболоченных участках, на берегах водоемов и водных потоков, в ручьях; в высокогорной зоне.
3. *Polytrichum commune* Hedw. [I-III, САЛ-А / Com]; на высокогорных болотах, заболоченных лугах, на почве в березовом и буковом криволесьях, на субальпийских и альпийских лугах.
4. *Lunularia cruciata*.
5. *Claopodium rostratum* (Hedw.) Ignatov [I, III, НЛ-СЛ / R]; ущелье Хазнидон – на поверхности пня под пологом буково-грабового леса; долина р. Хазнидон.

Выходы

1. На основе изученных и применяемых методик определили видовую принадлежность мхов, собранных с применением метода фиксации.

2. Сбор проводился на территории Хазнидонского ущелья, по руслу р. Хазнидон. В связи с неблагоприятными погодными условиями обширный сбор материала был невозможен, но в дальнейшем планируется сбор гербарного материала с разрешением руководителей КБГВПЗ в оставшейся высокогорной части республики.

3. На основе полученных данных можно сделать вывод о биологическом разнообразии на территории Хазнидонского ущелья. Также существуют виды, являющиеся редкими для нашей республики и всего Кавказа в целом, например, *Claopodium rostratum*.

Практическая значимость работы. Полученные данные будут использованы при подготовке научного издания «Флора мохообразных Кавказа», различных общих и региональных сводок, а также будут учтены при составлении очередного издания Красной книги КБР и природоохранными организациями.

План дальнейшей работы: исследовать географическую структуру и анализ высотного размещения мхов в КБР; провести эколого-ценотический анализ и бриосозологический анализ; собрать и гербализировать исследуемую группу организмов. Сбор осуществить на территориях нашей республики, включая зону ООПТ; провести всестороннее исследование мхов для дальнейшего их использования в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды; составить биологическую карту республики; установить сотрудничество со специалистами в бриологии; написать научно – практическую работу по теме «Биосистематика мхов Кабардино-Балкарии».

Литература

1. Абрамова А.Л., Абрамов И. И. О некоторых видах кавказской бриофлоры // Бот. мат. отд. споровых растений. 1962. Т. XV. С. 166 – 170.
2. Алехин В.В. Методика полевого изучения растительности и флоры. – М.: Наркомпрос, 1938. – 205 с.
3. Игнатов М.С., Игнатова Е.А., Пронькина Г.А. Мхи заповедников России // Современное состояние биологического разнообразия на заповедных территориях России. Т. 3. Лишайники и мохообразные. – М.: МСОП, 2004. С. 274 – 366.
4. Толмачев А.И. Изучение флоры при геоботанических исследованиях // Полевая геоботаника. Т. 1. – М.-Л.: изд-во АН СССР, 1959. С. 369 – 383.

Исследование стабильности липосом, загруженных фотосенсибилизатором порфиразинового ряда

Фомин Пётр Евгеньевич

9 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Д.В. Дьякова,
магистрант ННГУ им. Лобачевского



Перспективным способом лечения онкологических заболеваний является фотодинамическая терапия (ФДТ), однако она обладает низкой селективностью к опухолям. Использование липосом как систем доставки позволяет снизить токсичность и увеличить концентрацию красителя в опухоли. Важным при создании липосом является изучение модифицирующего влияния препарата на стабильность липидных везикул, в частности, на их размер и электрический потенциал (дзета-потенциал). Исследования проведены на липосомах, полученных из смесей фосфатидилхолина (ФХ), холестерина (Хол), фосфатидилглицерола (ФГ). Выявлено, что после загрузки липосом фотосенсибилизатором их размер значительно не изменился. Однако липосомы, полученные из ФХ , агрегировали, что говорит об их низкой стабильности. Дзета-потенциал увеличился по модулю после загрузки, что свидетельствует о повышении стабильности липосом за счет увеличения дзета-потенциала по модулю.

Один из наиболее перспективных на данный момент способов лечения злокачественных новообразований – фотодинамическая терапия [1]. Задачей биомедицины является создание новых препаратов, обладающих высокой избирательностью по отношению к опухолевым клеткам. Фотосенсибилизаторы (ФС) из группы порфиразинов являются перспективными красителями для фотодинамической терапии. Использование липосом [3] в качестве системы доставки фотосенсибилизатора позволяет снизить токсичность и риск повреждения здоровых тканей по сравнению с веществом в свободной форме. Не существует коммерческого липосомального препарата для фотодинамической терапии. Таргентная липосомальная доставка лекарственных препаратов является перспективным направлением, так как позволяет увеличить концентрацию необходимого вещества в опухолевой ткани, при этом снизив повреждения здоровых тканей и органов. Важным этапом при создании липосомальных форм является изучение влияния загруженного вещества на физико-химические свойства липидного бислоя. Анализ поверхностных

свойств липосом позволит предсказать их стабильность. Ключевой задачей исследования является получение информации о модифицирующем влиянии фотосенсибилизатора на размер и поверхностные свойства липосом. Цель данной работы – исследование стабильности липосом, загруженных фотосенсибилизатором порфиразинового ряда.

Однослойные липосомы были получены из фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилхолина + холестерина (ФХ-Хол), фосфатидилхолина + холестерина + фосфатидилглицерола (ФХ-Хол-ФГ) методом экструзии с использованием мембранных фильтров с диаметром пор 100 нм. Загрузка фотосенсибилизатора тетракис (4-бензилоксифенил) тетрацianопорфиразина [2] осуществлялась пассивным способом. Для загрузки фотосенсибилизатора к суспензии готовых липосом добавляли водный раствор ФС, приготовленный в фосфатном буферном растворе, и инкубировали в течение 30 – 60 мин при комнатной температуре. Для контроля агрегации частиц размер липосом измерялся с помощью метода динамического рассеяния света, а дзета-потенциал липидных везикул – методом электрофоретического рассеяния света.

По результатам исследования получено, что размер ФХ-липосом изменился на 5% с 106,4 нм до 112,6 нм. Однако в этой суспензии появились частицы размером 5500 нм, которые составляют 0,2% от общего числа, что говорит о низкой стабильности липосом. Размеры ФХ-Хол-липосом изменился на 2 нм. Это значит, липосомы до и после загрузки не поменяли своей стабильности. Для ФХ-Хол-ФГ-липосом изменение размера составило 8%, до загрузки размер составил 120,7 нм, а после – 130,5 нм, что также говорит об их высокой стабильности.

При анализе данных (рис. 1) обнаружено, что при загрузке липосом

ФХ-Хол и ФХ-Хол-ФГ фотосенсибилизатором их дзета-потенциал увеличивается по модулю. Это значит, что липосомы, выработанные из этих липидов, увеличили свою стабильность. Однако для липосом, полученных из ФХ

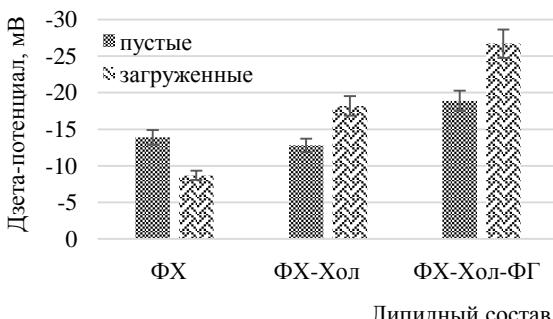


Рис. 1. Влияние загрузки на дзета-потенциал липосом

дзета-потенциал, наоборот, уменьшается по модулю, что влечет уменьшение стабильности липосом. Наибольшим дзета-потенциалом обладают липосомы, состоящие из ФХ-Хол-ФГ. Предположительно, это связано с тем, что в их состав входит фосфатидилглицерол, который имеет отрицательный заряд.

Проанализировав данные, полученные об индексе полидисперсности для каждого из видов, можно сделать вывод, что суспензии липосом, состоящих из ФХ-Хол и ФХ-Хол-ФГ, монодисперсные, в отличие от суспензии с липосомами ФХ, которая имеет склонность к полидисперсности.

В ходе работы проведено исследование стабильности липосом, загруженных фотосенсибилизатором порфиразинового ряда. Выявлено, что стабильность липосом зависит от их липидного состава. Наиболее устойчивыми по анализу размера были везикулы, полученные из ФХ-Хол и ФХ-Хол-ФГ. Показано, что загрузка ФС существенно не влияет на размер липосом, однако влияет на их дзета-потенциал, уменьшая его. Максимальное (по модулю) значение (-26,7 мВ) наблюдалось в липосомах, содержащих фосфатидилглицерол. Наиболее стабильными, по данным исследования размера и дзета-потенциала, являются липосомы, состоящие из смеси ФХ-Хол-ФГ. Получение систем-доставки, имеющих высокую стабильность, на данный момент является ключевой задачей биофизики. В дальнейшем возможно исследование большего количества факторов, влияющих на стабильность. Также возможно изучение стабильности липосом, полученных из других липидных составов.

Литература

1. *Lui, H. Photodynamic Therapy in Dermatology // Archives of Dermatology, Vol. 128, No. 12, December 1992, P. 1631-1636.*
2. *Yudintsev A.V., Shilyagina N.Yu., Dyakova D.V., Lermontova-Larisa S.A., Klapshina L.G., Guryev E.L., Balalaeva I.V., Vodeneev V. A. Liposomal Form of Tetra(Aryl) Tetracyanoporphyrazine: Physical Properties and Photodynamic Activity In Vitro // Journal of Fluorescence, Volume 28, Issue 2, March 2018, P. 513 – 522.*
3. *Барсуков Л.И. Липосомы // Соровский образовательный журнал. 1998, № 10. С. 32 – 37.*

Применение функциональных проб и таблиц для изучения уровня физической и умственной работоспособности обучающихся

Чабдарова Валентина Юрьевна

9 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический центр» Минпросвещения КБР, Нальчик

Научный руководитель М.Х. Циканова,
педагог дополнительного образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР



Для объективной оценки физического здоровья и уровня работоспособности применяли методики балльной и процентной регистрации состояния здоровья, в которые включены функциональные показатели и результаты нагрузочных проб. Провели исследование уровня умственной работоспособности при помощи корректурных проб (таблица Анфимова, проба Бурдона, счет по Крепелину), которые помогают изучить особенности внимания при действии однообразных раздражителей (букв и цифр).

Работоспособность определяется как потенциальная способность человека на протяжении заданного времени и с определенной эффективностью выполнять максимально возможное количество работы. В процессе трудовой и умственной деятельности степень работоспособности со временем снижается. Поэтому является актуальным ее поддержание на оптимальном уровне – это основная цель рационального режима труда и отдыха.

Факторами, влияющими на работоспособность, являются состояние здоровья, возраст, пол, питание, самочувствие, отдых, а также температура воздуха, освещение, уровень шума. Максимальная работоспособность наблюдается в утренние и дневные часы с 8 до 20 часов; минимальная – вочные часы [3, 4]. К параметрам умственной работоспособности можно отнести: специальные знания, умения, навыки, память и внимание, сообразительность, мотивацию [1]. Длительность периода устойчивой работоспособности является важнейшим показателем выносливости при данном виде работы и уровне интенсивности. Выносливость обусловливается интенсивностью и спецификой работы, возрастом, полом, тренированностью, эмоциональным состоянием [2]. Наиболее эффективная форма восстановления при умственном труде – активный отдых в виде умеренного физического труда или занятий физическими упражнениями. Рацио-

нально подобранный режим рабочего дня и занятия физкультурой помогут в снятии утомления [3]. При выполнении нагрузочных проб могут выявиться патологические реакции и процессы, свидетельствующие об ограничении резервов адаптации, предболезни или наличии скрытых форм заболеваний [5].

Цель – исследование уровня работоспособности обучающихся с использованием функциональных и корректурных проб. Задачи: 1) применение функциональных проб для оценки уровня физической работоспособности: индекс Руфье, Гарвардский степ-тест; 2) проведение корректурных проб для оценки умственной работоспособности: таблица Анфимова, пробы Бурдона, счет по Крепелин; 3) подсчет данных и сопоставление их с нормальными показателями; 4) определение способов повышения уровня работоспособности обучающихся.

Исследование, в котором приняли участие обучающиеся 8 – 11 классов, проводилось на базе ГКУ ДО ЭБЦ и включало в себя измерение функциональных проб – индекс Руфье, Гарвардский степ-тест и применение корректурных проб: таблица Анфимова, пробы Бурдона, счет по Крепелину.

Для выявления уровня работоспособности сердечно-сосудистой системы применяли индекс Руфье с измерением пульса в покое, сразу после физической нагрузки и в восстановительном периоде.

В таблицах 1, 2 представлены данные по физической и умственной работоспособности. Преобладает низкий уровень работоспособности по данным степ-теста (табл. 1). По результатам индекса Руфье отслеживается одинаковое количество нормальных, средних и низких значений работоспособности сердечно-сосудистой системы. В результатах таблицы Анфимова отмечается закономерность: чем больше полученный результат, тем большее подвижность нервных процессов превали-

Таблица 1. Значения физической работоспособности у обучающихся

кл	№	Уровень физической работоспособности	
		Гарвардский степ-тест	индекс Руфье
8 класс	1	43,48	2,1
	2	55,05	3,1
	3	37,97	3,2
	4	61,22	1,4
	5	70,59	3,5
	6	60,61	2,4
	7	59,41	11,2
9 класс	8		22
	9	36,81	14
	10	58,25	12
	11	58,25	14
	12	70,59	8,8
10 класс	13	68,97	8,8
	14	60	7,8
	15	30,46	16,4
	16	35,71	8,8
	17	51,28	7,6
11 класс	18	31,58	19,1

рут нормальные значения (табл. 2). В параметрах пробы Бурдона в большинстве случаев прослеживается низкая концентрация внимания; средняя устойчивость внимания; высокая его переключаемость.

Таблица 2. Значения умственной работоспособности у обучающихся

№	Уровень умственной работоспособности							
	таблица Анфимова		Проба Бурдона			счет по Крепелину		
	Подвиж-ть процессов	Продуктив. Работы	Конц. вним.	Устойч-ть внимания	Переключ. внимания	Скорость работы	Точность работы	
8 класс	1	1,51	0,44	7,25	4,83	27,59	70	1
	2	1,64	0,44	3,41	4,83	48,28	46	3
	3	1,62	0,34	5,56	4,17	20	60	2
	4	1,57	0,29	5,71	4,17	35	55	1
	5	1,69	0,33	40	3,17	0	48	1
	6	1,44	0,36	14,67	3,23	9,09	78	1
9 класс	7	1,63	0,32	13	4,5	11,54	95	0
	8	1,55	0,41	6,44	4,33	13,79	66	0
	9	1,18	0,24	8,67	4,83	19,23	57	5
	10	1,33	0,2	3,64	4,18	30	97	1
	11	1,58	0,29	5,11	3,22	26,09	70	6
	12	1,42	0,37	4,57	3,83	28,13	94	1
	13	1,72	0,32	7,43	5,33	19,23	93	2
	14	1,66	0,4	42	4,33	4,76	106	1
	15	1,35	0,23	3,5	3,41	35,71	48	0
	16	1,63	0,32	13	2,33	15,38	82	0
	17	1,67	0,37	2,63	4,33	33,33	96	1
	18	1,65	0,4	4,73	3,5	34,62	90	0
	19	1,44	0,32	11	4,33	18,18	101	1
10 класс	20	1,24	0,51	3,6	3,67	33,33	84	1
	21	1,42	0,29	22	6	9,09	80	0
	22	1,64	0,44	18,67	4,5	10,71	97	2
	23	1,57	0,46	4,46	4,59	31,03	94	4
	24	1,55	0,44	8,29	4,83	20,69	43	7
11 класс	25	1,7	0,41	9,6	4,83	12,5	101	5
	26	1,56	0,34	7,25	4,5	17,24	168	9
	27	1,42	0,41	4,43	4,83	29,03	109	0
	28	1,56	0,34	14,67	5,17	13,64	118	0
	29	1,78	0,39	6,4	3,67	31,25	94	0
	30	1,9	0,98	1,31	5,33	69,44	49	2

Выходы

1. Преобладает низкий уровень работоспособности (14) по данным степ-теста. По результатам индекса Руфье отслеживается одинаковое количество нормальных, средних и низких значений работоспособности сердечно-сосудистой системы (по 6).

2. В результатах таблицы Анфимова превалируют нормальные значения (13). Параметры коэффициента продуктивности характеризуются высоким уровнем работоспособности (12) и наличием 2-й фазы утомления.

В значениях пробы Бурдона фиксируются низкая концентрация (13), средняя устойчивость (21), высокая переключаемость внимания (23). В результатах счета по Крепелину отслеживается высокий уровень скорости (15) и точности (23) проделанной работы.

3. Составлены сводные таблицы и диаграммы, характеризующие уровень физической и умственной работоспособности обучающихся.

Литература

1. Валенский М.Я. Двигательная активность студентов в режиме учебно-трудовой деятельности быта и отдыха // Теория и практика физ. культуры. 1989. С. 60 – 64.
2. Курта И.В. Безопасность жизнедеятельности // Ухта: УГТУ, 2017. 86 с.
3. Мусина С.В. Физическая и умственная работоспособность студентов и влияние на нее различных факторов // Известия ВолгГТУ. 2008. С. 148 – 150.
4. Научное сообщество студентов: материалы IX Междунар. студенч. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 31 мая 2016 г.). В 2 т. Т. 1. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – 312 с.
5. Общая характеристика методов состояния сердечно-сосудистой системы [Электронный ресурс] URL: <https://valeologija.ru/knigi/posobie-po-omz/492-obshchaya-kharakteristika-metodov-issledovaniya-sostoyaniya-serdechno-sosudistoj-sistemy>.

**Биосистематика диатомовых
водорослей (Bacillariophyta)
национального парка
«Приэльбрусье»**

Шаваева Алима Магометовна,

9 класс, ГБУ ДО «Эколого-биологический центр» Минпросвещения КБР, Нальчик

Научный руководитель А.Б. Моллаева,
педагог дополнительного образования ГБУ ДО «ЭБЦ» Минпросвещения КБР



Несмотря на бурное развитие изучения диатомовых водорослей в России и в мире, сведения о составе флор и распространении видов нельзя назвать достаточными. Материал, необходимый для проведения исследования и количественного и качественного изучения диатомовых водорослей горных территорий КБР, был взят с водных объектов, находящихся на территории Баксанского ущелья - Национального парка «Приэльбрусье».

Цель исследования – изучить биосистематику диатомовых водорослей гидрообъектов национального парка «Приэльбрусье». Полученные данные могут быть использованы при подготовке научного издания «Систематика одноклеточных водорослей Северного Кавказа», различных общих и региональных сводок, а также природоохранными организациями.

Собрano по три пробы с каждого водного объекта: 1 проба – бентос; 2 проба – планктон; 3 проба – нейстон. Сбор материала производился непосредственно в контейнер для проб, которые заранее были этикетированы и пронумерованы в соответствии с номером водного объекта и пробой. Работа осуществлялась с помощью микроскопа Motic DM52 Digital Microscope, который, благодаря встроенной цифровой камере, дал возможность фиксировать объект, находящийся на предметном стекле.

1. Ручей Челмас, $t = 3^{\circ}\text{C}$, 13.30. Изучение бентоса этого объекта показали наличие диатомовых водорослей рода *Pinularia vidinis* (рис. 1, 2). У диатомовых четко просматривается структура, но большинство из них уже утратили свой пигмент. Планктон также показал наличие в небольшом количестве диатомовых водорослей рода *Amphora* (рис. 3). Исследование нейстона результатов не дало [1, 2].

2. Река Б. Челмас, $t = 1^{\circ}\text{C}$, время – 13.53 ч. Изучение планктона с этой территории показало, что в большинстве своем содержатся диатомовые водоросли рода *Cocconeis*. (рис. 4)

3. Исток озера Комсомльское. $t = 2^{\circ}\text{C}$, время – 14.01 ч. Проба планктона показала довольно плотное содержание водорослей на одном исследуемом участке препарата, находящегося на предметном стекле, одновременно обнаружены представители рода *Amphora*, *Ulnaria*, *Tabellaria* (рис. 5, 6, 7) [1, 2]. Другие виды пока определить не удалось, но в дальнейшем будет работа с определителями и консультантами. Размеры диатомовых водорослей сильно разнились: самая маленькая исследуемая водоросль – от 0,022 до 0,092 мм.

4. Четвертый объект – название у реки отсутствует. $t = 10^{\circ}\text{C}$. Исследование трех проб с данной водной экосистемы показали, что в своем преобладающем большинстве содержатся роды *Amphora* и *Synedra* (рис. 8).

5. Р. Адыр-суу. $t = 4^{\circ}\text{C}$. Наибольший видовой состав преобладает на пятом участке. Микроскопирование трех проб показали, что данный гидрообъект является местом обитания следующих представителей диатомовых водорослей: *Synedra* *Melosila* *Cocconies* *Amphora* *Melosira* (рис. 9 – 15).

6. Р. Баксан, место сбора в 9 км от г. Тырныауз. $t = 3^{\circ}\text{C}$.

Данный водный объект является биотопом для *Amphora* *Cymbella* *Pinnularia*. (рис. 16 – 18).

Используя полученные данные, был составлен список видов диатомовых водорослей, выявленных в гидрообъектах на территории национального парка «Приэльбрусье» (табл. 1) [1, 2].

Выводы

Сведения о биосистематике диатомовых водорослей, как на территории Баксанского ущелья, так и по Кабардино-Балкарии в целом, явно недостаточны. Для восполнения этого пробела начата работа

Таблица. Список видов диатомовых водорослей, выявленных в гидрообъектах на территории национального парка «Приэльбрусье»

Таксон	Наличие/отсутствие в изученных гидрообъектах					
	1	2	3	4	5	6
<i>Amphora copulata</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Cymbella affinis</i> Kützing 1844	-	-	-	-	-	+
<i>Cocconies planctula</i> sensulata	-	+	-	+	+	-
<i>Melosira varians</i>	-	-	-	-	+	-
<i>Melosira moniliformis</i>	-	-	-	-	+	-
<i>Pinnularia appendiculata</i>	-	+	+	-	-	+
<i>Pinularia vidinis</i>	+	-	-	+	+	-
<i>Synedra rumpens</i>	+	-	-	-	+	-
<i>Synedra</i> sp	-	+	-	-	+	-
<i>Tabellaria Frocculosa</i>	-	-	+	-	-	-
<i>Ulnaria</i> sp.	-	-	+	-	-	-



Рис. 1, 2. *Pinularia vidinis*

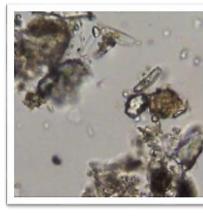


Рис. 3. *Amphora copulata*



Рис. 4. *Cocconeis placentula*



Рис. 5. *Amphora copulata*

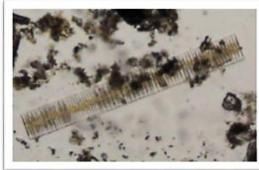


Рис. 6. *Tabellaria flocculosa*



Рис. 7. *Ulnaria sp.*



Рис. 8. *Amphora copulata*, *Synedra sp.*



Рис. 9 а, б. *Cocconeis placentula sensulata*



Рис. 10. *Melosira moniliformis*



Рис. 11. *Amphora copulata*

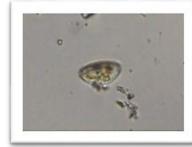


Рис. 12. *Cocconeis placentula sensulata*



Рис. 13. *Melosira varians*

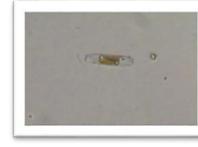


Рис. 14. *Synedra rumpens*

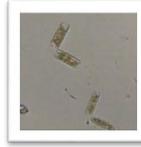


Рис. 15. *Synedra sp.*



Рис. 16. *Amphora copulata*



Рис. 17. *Cymbella affinis*



Рис. 18. *Pinnularia appendiculata*

по исследованию шести водных объектов, находящихся на территории парка «Приэльбрусье». Собран и микроскопирован биоматериал и определена видовая принадлежность одноклеточных водорослей. Работа будет продолжена.

Литература

1. Глазер З.И., Жузе А.П., Макарова И.П., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. – Л: Наука, 1974. – 403 с.
2. Species – Diatoms of North America [Электронный ресурс]. URL: <https://diatoms.org/species>

Исследование влияния антистрессовых гаджетов на функциональное состояние человека

Шакирский Иван Олегович,
8 класс, Гимназия № 13, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Л.В. Савчук,
младший научный сотрудник ПИМУ, аспирант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Проведён эксперимент для исследования влияния наиболее популярных антистрессовых гаджетов на функциональное состояние человека. Измерения проводились с помощью метода беспроводной кардиоинтервалографии. У 80 испытуемых оценивались уровень острых стрессов (УОС) и спектральные расчетные показатели (LF, HF, TP, ИВБ – LF/HF) до, во время и после использования антистрессовых гаджетов. Выявлено, что при высоком исходном уровне стресса антистрессовым эффектом без побочных действий обладают все игрушки, кроме эспандера. Ярко выраженный стресс сопровождается редукцией ВСР и снижением адаптивного потенциала, а антистрессовые гаджеты способствуют снижению уровня стресса и росту вариабельности. Наиболее безопасный и эффективный антистресс – воздушно-пузырьковая пленка, в то время как эффективность эспандера в качестве антистрессового гаджета не была экспериментально подтверждена.

Ежедневно мы все сталкиваемся со стрессом из-за тех или иных факторов. Они приводят к формированию множественных функциональных расстройств, а при комплексном хроническом воздействии – к отказу защитных систем организма и развитию серьезных болезней. По данным ВОЗ, 30% людей уходят из жизни по причине сердечно-сосудистых заболеваний, которые, в свою очередь, практически всегда вызваны стрессом. Слово «стресс» прочно вошло в наш обиход и стало общеупотребительным. Современное определение гласит, что стресс является неспецифической, защитной, стадийной, редуцированной психофизиологической реакцией на повреждение или угрозу повреждения [4].

В любом стрессе всегда есть и физиологические, и психологические компоненты [2]. Сердечно-сосудистая система – яркий пример уникальной системы управления, построенной по иерархическому принципу, где каждый нижний уровень в нормальных условиях функционирует автономно. Сердце является своеобразной автономной системой, у которой есть собственная «электростанция» – узлы, в которых образу-

ются нервные импульсы, заставляющие сердечные стенки сокращаться. Однако каким бы самостоятельным ни было сердце, на него оказывает влияние нервная система, как симпатическая, так и парасимпатическая, которая может привести к сбоям в работе сердца. Одним из современных методов оценки взаимосвязи сердца и нервной системы является оценка вариабельности сердечного ритма (ВСР) [1]. Она представляет собой показатель, благодаря которому можно оценить эффективность взаимодействия сердечно-сосудистой и других систем организма, поскольку отражает жизненно важные показатели управления физиологическими функциями организма [5].

Со стрессом необходимо бороться, однако запредельный темп современной жизни приводит к тому, что часто нам не хватает времени даже просто задуматься об этой проблеме. В ответ на это за последнюю пару десятков лет появилось большое количество антистрессовых гаджетов и игрушек, и каждый год появляются новые. Цель работы – исследование влияния антистрессовых гаджетов на функциональное состояние человека. Задача: выявить, какие из антистрессовых гаджетов являются самыми эффективными и дать рекомендации по их использованию.

В исследовании приняли участие 80 испытуемых в возрасте от 12 до 55 лет. В начале каждого обследования для оценки психофизиологического состояния на испытуемых одевали ЭКГ-датчик. Эксперимент начинался с 5-ти минутной фоновой записи, затем испытуемым предлагалось использовать в течение 10 минут один из четырёх отобранных нами антистрессовых гаджетов: крутить спиннер, сжимать эспандер, раскрашивать раскраску или лопать пузырьки упаковочной пленки, после чего делалась 5-ти минутная фоновая запись. Исследования проводились в местах без громких звуков, испытуемые не находились под действием алкоголя, кофеина или препаратов, оказывающих выраженный седативный или возбуждающий эффекты. На протяжении всего эксперимента испытуемые находились в сидячем положении.

Для объективной оценки динамики функционального состояния использована технология событийно-связанной телеметрии ритма сердца [3]. Был использован интернет-ресурс StressMonitor.ru на базе cogni-nn.ru для сбора данных телеметрии о функциональном состоянии и для детектирования стресса. Преимущество этой технологии заключается в возможности обнаружения ранних биомаркеров экстремальных состояний в онлайн-режиме, без ограничений подвижности, без привлечения внимания участника исследования к процессу измерения.

В течение всего эксперимента проводилась телеметрическая регистрация интервалокардиограммы. У испытуемых регистрировали нативную динамику R–R-интервалов и расчетные показатели: общую мощность спектра вариабельности ритма сердца (TP), мощность спектра в высокочастотном диапазоне (HF – характеристика активности парасимпатического контура вегетативной регуляции), мощность спектра в низкочастотном диапазоне (LF – характеристика активности симпатического контура вегетативной регуляции) и индекс вегетативного баланса (ИВБ – LF/HF). На основании динамики интервалокардиографических показателей для каждого задания вычисляли стресс-индекс (отношение продолжительности стресс-эпизодов к общей длительности задания) [5].

В качестве антистрессовых гаджетов для эксперимента были отобраны: спиннер – развлекающая вращательная игрушка, состоящая из подшипника и нескольких лопастей для утяжеления; эспандер – спортивный тренажёр, упражнения с которым основаны на упругой деформации; раскраска – книга или страница с контурными картинками; воздушно-пузырьковая плёнка – гибкий прозрачный полиэтиленовый материал с выступами, заполненными воздухом.

В результате эксперимента в трех контекстах: «плёнка», «спиннер», «раскраски» (рис.) (кроме контекста «эспандер») было выявлено достоверное снижение уровня острых стрессов. В каждом контексте был определен процент испытуемых, у которых УОС снизился до 0 или увеличился после использования антистресса.

По спектральным показателям не было выявлено достоверных различий ни внутри контекстов, ни между контекстами. Это может быть связано с неоднородностью выборки и тем, что детекция стресса осуществляется на основании совокупности параметров, тогда как отдельные

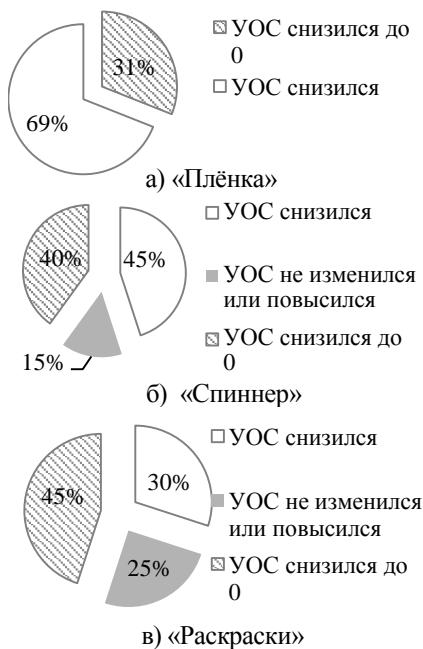


Рисунок. Динамика уровня острых стрессов в различных контекстах

параметры оказались менее чувствительными. В связи с этим, вне зависимости от контекста, из всей выборки были отобраны испытуемые с минимальным и максимальным (<20% и >80% от общей продолжительности записи) количеством стресс-эпизодов в исходной фоновой записи. В результате были выявлены достоверные различия между этими группами по показателю общей мощности спектра ТР.

В группе с максимальным (>80% от общей продолжительности записи) количеством стресс-эпизодов в исходной фоновой записи значения общей мощности спектра достоверно ниже, что подтверждает редукцию ВСР при стрессе и снижение адаптивного потенциала.

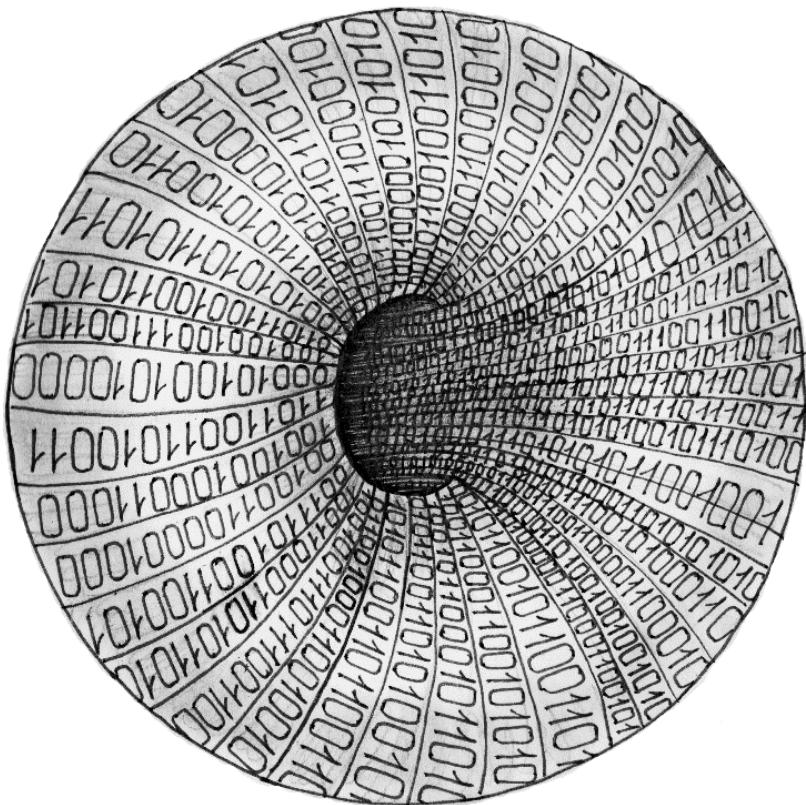
После использования любого антистресса в этой группе наблюдается достоверное снижение УОС и повышение общей мощности спектра.

Во всех контекстах («спиннер», «раскраски», «пленка»), кроме контекста «эспандер», было выявлено достоверное снижение уровня острых стрессов. Таким образом, эффективность эспандера в качестве антистрессового гаджета не была экспериментально подтверждена. Выявлено, что наиболее безопасный и эффективный антистресс – пленка. У всех испытуемых здесь наблюдалось снижение уровня острых стрессов, а у трети испытуемых после ее использования стресс отсутствовал полностью. Однако если стресс выражен сильно, то антистрессовым эффектом без побочных действий обладают все игрушки, кроме эспандера. Ярко выраженный стресс сопровождается редукцией ВСР и снижением адаптивного потенциала, а антистрессовые гаджеты способствуют снижению уровня стресса и росту вариабельности.

Литература

1. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. 2001., № 24.
2. Бахчина А.В. Динамика вегетативной регуляции кардиоритма при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках // Диссертация кандидата психолог. наук. – Н. Новгород, 2014, 44 с.
3. Некрасова М.М., Полевая С.А., Парин С.Б., Шишалов И.С., Бахчина А.В. Способ определения стресса // Freepatent – патентный поиск в РФ, новые патенты, заявки на патент, библиотека патентов на изобретения. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2531443> (дата обращения 21.03.2019).
4. Парин С.Б. Люди и животные в экстремальных ситуациях: нейрохимические механизмы, эволюционный аспект // Вестник Новосибирского гос. ун-та. Серия: Психология. 2008; 2(2). С. 118 –135.
5. Парин С.Б., Полевая С.А., Ковальчук А.В., Громов К.Н., Чернова М.А., Яхно В.Г. Моделирование вариабельности сердечного ритма при остром стрессе // Математическая биология и биоинформатика, доклады VI международной конференции. 2016. С. 38 – 39.

Прикладная информатика и математика



Численное моделирование внутриоблачного молниевого разряда

Жаворонков Илья Юрьевич
9 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель А.А. Сысоев,
стажер-исследователь ИПФ РАН



Представлена численная модель, симулирующая развитие биполярного внутриоблачного молниевого разряда. Модель учитывает эволюцию параметров разрядных каналов и имеет пространственно-временное разрешение, достаточное для описания основных электрических процессов, сопровождающих развитие молнии. С её помощью воспроизведен процесс развития внутриоблачной молнии с момента появления до полного затухания. Показано, что разрядное древо молнии в облаке поляризуется подобно проводнику, помещенному во внешнее электрическое поле и разряжающему в процессе развития слои облачного заряда. Оценен радиус молниевого канала. Предсказываемые моделью параметры модельного разряда хорошо согласуются с данными литературы.

Несмотря на многочисленные достижения современной науки, атмосферное электричество по-прежнему хранит множество загадок. Даже молния, будучи самым известным из его проявлений, изучена относительно слабо. До сих пор нет ответов на вопросы, какие физические механизмы отвечают за зарождение молнии в облаке и распространение различных типов молниевых разрядов [1]. Экспериментальные результаты работ [3, 5], посвященных высокоскоростной съемке молниевых разрядов, появление которых стало возможным в связи с развитием возможностей аппаратуры, требуют теоретического осмыслиения и создают почву для численного моделирования.

Область моделирования представляет собой прямоугольный параллелепипед, разбитый на $37 \times 37 \times 121$ кубических ячеек с длиной ребра $a = 100$ м, определяющей пространственное разрешение модели. Вершины ячеек образуют простую кубическую решетку, на узлах которых развивается модельный разряд. Модельный шаг по времени τ составляет 142 мкс. Фоновый потенциал, в котором начинает развиваться разряд, соответствует наиболее часто наблюдаемому распределению внутриоблачного заряда, когда слой основного положительного заряда находится над слоем основного отрицательного. Положения

представленной модели, в целом, повторяют идеи работы [2]. Разряд начинает развиваться из единственной связи, расположенной на высоте 7 км между основными слоями облачного заряда в области максимума электрического поля. Положительная часть разрядного древа распространяется вниз, отрицательная – вверх. Появление каждой новой связи (приращение уже существующего канала) между парой соседних узлов пространственной решетки с номерами i и j носит вероятностный характер и задается следующей функцией:

$$P(E_{i,j}) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left|\frac{E_{i,j} - E_{th1}}{E_{th2}}\right|^{2.5}\right], & E_{i,j} \geq E_{th1}, \\ 0, & E_{i,j} < E_{th1}, \end{cases} \quad (1)$$

аргументом которой является электрическое поле $E_{i,j}$ между данной парой узлов решетки. При этом связи положительной полярности растут в направлении электрического поля, а отрицательной – против него. Входящие в формулу (1) параметры E_{th1} и E_{th2} , первый из которых может быть назван порогом распространения, в соответствии с известным из теории газового разряда фактом падения поля пробоя с уменьшением плотности газа падают в e раз при увеличении высоты на каждые 8.4 км. Для уровня земли, соответствующего нормальной плотности воздуха, $E_{th1} = 140$ кВ/м, $E_{th2} = 320$ кВ/м.

Появление каждой новой связи сопровождается дипольным разделением заряда, причем положительный заряд выносится по направлению электрического поля, а отрицательный – против него. Величина разделяемого заряда $\delta q_{i,j} = \alpha E_{i,j}$ пропорциональна электрическому полю с коэффициентом пропорциональности $\alpha = 10^{-8}$ Кл·В·м⁻¹.

В нашей модели такие параметры разрядных каналов, как проводимость и продольное электрическое поле, не являются фиксированными параметрами, но эволюционируют во времени. В конце каждой временной итерации проводимость каналов пересчитывается в соответствии с итерационной формулой:

$$\sigma(t + \tau) = \sigma(t)(1 + \eta E^2 - \beta), \quad (2)$$

где t и $t + \tau$ – два последовательных момента дискретного модельного времени, а параметры $\eta = 5 \cdot 10^{-11}$ м²·В²·с⁻¹ и $\beta = 0.1$ с⁻¹ определяют скорость роста и диссиляции проводимости соответственно. Начальная проводимость только что появившегося канала $\sigma_0 = 10^{-10}$ См·м⁻¹.

По всем каналам разрядного древа постоянно протекают токи поляризации (выравнивания потенциалов), величина которых может быть найдена по закону Ома:

$$I_{i,j} = \pi r^2 \sigma_{i,j} E_{i,j}, \quad (3)$$

где $\sigma_{i,j}$ – проводимость канала, связывающего пару соседних узлов пространственной решетки с номерами i и j , $r = 0.5$ мм – одинаковый для всех каналов радиус, величина которого является фиксированным параметром модели.

Модель учитывает возможность роста и отмирания разрядных каналов. Периферийная связь удаляется из разрядной структуры, если в течение одного модельного шага по времени из ее вершины не появляется ни одной новой связи. Разделенный отмершим каналом пространственный заряд остается «замороженным» в узле пространственной решетки, что позволяет описать формирование чехла заряда молниевого канала.

В развитии модельного разряда можно выделить начальную стадию, стадию развитой молнии (рис. 1) и стадию затухания. На первой стадии разрядное древо состоит из нескольких десятков слабо проводящих каналов, распространение которых поддерживается за счет относительно сильного электрического поля в области появления разряда. Ближайшие к исходному каналу связи прогреваются токами поляризации, а их проводимость постепенно увеличивается за счет джоулева энерговыделения (см. член $\eta\sigma E^2$ в правой части формулы (2)): образуется хорошо проводящий каркас. По мере увеличения проводимости каналов продольное поле в них падает, а накапливающиеся на их концах (границах, на которых происходит скачок проводимости) заряды становятся достаточно большим для поддержания дальнейшего роста каналов. На пике развития ток молнии достигает 350 А, а свойства канала соответствуют дуге. Разрастание разряда продолжается до тех пор, пока он не нейтрализует большую часть внутриоблачного заряда, после чего начинается его постепенное отмирание. Как только разряд оказывается запертым внутри ранее сформированного чехла пространственного заряда, он блокируется в области слабого поля, и его гибель становится неизбежной.

В целом, с точки зрения электростатики, моделируемое разрядное древо ведет себя, как помещенный во внешнее электрическое поле проводник (см. графики в левой части рис. 1). Обладающий относительно высокой проводимостью разряд ослабляет электрическое поле внутри своего объема, вытесняя его на периферию. При этом вследствие поляризации разряда на его концах возникают максимумы распределения положительного и отрицательного заряда.

Основные параметры модельного разряда приведены в таблице. Они хорошо согласуются с экспериментальными данными. Так [4], типичные значения скорости, тока и погонной плотности заряда молнии составляют порядка 10^5 м/с, 100 А и $0.7 - 1$ мКл·м⁻¹ соответственно. Предсказываемые моделью проводимость и продольное электрическое поле канала развитой молнии, составляющие порядка 10^4 См⁻¹ и 10^4 В·м⁻¹ соответственно, типичны для дугового разряда, кантовым и является развитый канал молнии [4]. Соответствующие параметры приведены для хорошо проводящего каркаса разряда.

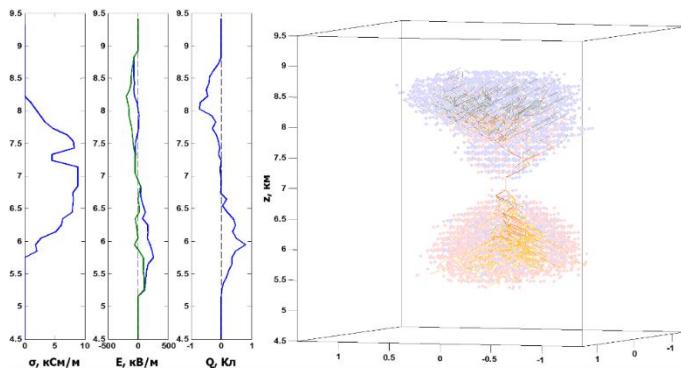


Рис. 1. Трехмерное изображение моделируемого разряда на пике развития (35.1 мс от начала моделирования). В левой части рисунка показаны (слева направо) распределения максимальной по всем каналам проводимости, максимальной (синяя линия) и минимальной (зеленая линия) по всем каналам проекций продольного электрического поля на вертикальное направление роста разряда и пространственного заряда вдоль вертикальной координаты

Тот факт, что результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, позволяет заключить, что используемый в модели радиус каналов $r = 0.5$ мм не должен сильно отличаться от радиуса токоносной части реального молниевого канала, прямое измерение которого не представляется возможным. Действительно, подставляя в формулу (3), типичные для развитого канала молнии значения тока, прово-

Таблица . Основные параметры модельного разряда

Параметр	Значение
Вертикальная протяженность	4.5 км
Время жизни	80 мс
Скорость ^a	10^5 м/с
Ток ^a	≤ 300 А
Проводимость ^a	$\leq 10^4$ См/м
Поле в канале ^a	10^4 В/м
Погонный чехол заряда канала	5 мКл/м

димости и продольного электрического поля, можно получить следующую оценку радиуса канала:

$$r = \sqrt{I/(\pi\sigma E)} = \sqrt{100 \text{ A}/(\pi \cdot 10^4 \text{ См}/\text{м} \cdot 10^4 \text{ В}/\text{м})} \approx 1 \text{ мм}, \quad (4)$$

что существенно отличается от детектируемого с помощью съемочной аппаратуры радиуса светимости канала, составляющего десятки метров.

Перспективы дальнейшего развития модели заключаются в учете асимметрии полей развития искровых разрядов различной полярности, что позволит описать образование ступеней, наблюдавшихся для отрицательной молнии. Учет термодинамики разрядных каналов сделает возможным воспроизведение процесса развития так называемых возвратных типов молниевых разрядов.

Литература

1. Dwyer J.R., Uman M.A. The physics of lightning // Physics Reports. 2014, Vol. 534, 4. P. 147 – 241.
2. Iudin D.I., Rakov V.A., Mareev E.A., Iudin F.D., Syssoev A.A., Davydenko S.S. Advanced numerical model of lightning development: Application to studying the role of LPCR in determining lightning type // J. Geophys. Res. Atmos. 2017, Vol. 122.
3. Qi Q., Lua W., Ma Y., Chen L., Zhang Y., Rakov V.A. High-speed video observations of the fine structure of a natural negative stepped leader at close distance // Atmos. Res. 2016, Vol. 178 – 179, 260 – 267.
4. Rakov V.A., Uman M.A. Lightning: Physics and Effects. – New York: Cambridge Univ. Press, 2003. – 687 p.
2. Saba M.M.F., Cummins K.L., Warner T.A., Krider E.P., Campos L.Z.S., Ballarotti M.G., Pinto O. Jr., Fleenor S.A. Positive leader characteristics from high-speed video observations // Geophys. Res. Lett. 2008, Vol. 35.

Оптимизация модели расчета свободных колебаний в аксиально-симметричном резона- торе со слабыми нерегулярностями

Червяков Владислав Олегович

10 класс, Лицей № 40, ШНОИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.С. Зуев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Рассмотрена проблема расчёта электромагнитных волн в аксиально-симметричном резонаторе со слабыми нерегулярностями. Резонаторы такого типа традиционно используются в гиротронах. Проведен сравнительный анализ перспективности применения различных методов интегрирования для решения соответствующего дифференциального уравнения.

Одними из источников миллиметрового и субмиллиметрового диапазона являются гиротроны – приборы вакуумной электроники, основанные на циклотронном резонансе. Они работают на квазикритической частоте, с минимальным числом продольных вариаций ВЧ- поля. В гиротронах используют аксиально симметричные резонаторы со слабой нерегулярностью, при этом профиль резонатора определяет спектр и структуру его собственных мод. Как показано ранее [4], продольная структура ВЧ-поля в резонаторе гиротрона существенно влияет на его эффективность, поэтому одной из ключевых задач является определение продольной структуры рабочей моды при заданном профиле резонатора.

Аналитическая оценка параметров рабочей моды электродинамической системы в гиротроне недостаточно точна. Продольную структуру и другие параметры рабочей моды можно измерить экспериментально, но это требует больших затрат времени и средств. Оптимальным является численное моделирование собственных мод в резонаторе гиротрона относительно простыми численными моделями.

Цель работы – оптимизация модели и разработка компьютерной программы для расчёта свободных колебаний в аксиально-симметричном резонаторе со слабыми нерегулярностями.

Продольное распределение собственных колебаний в аксиально-симметричном слабо нерегулярном волноводе, радиус которых близок к критическому радиусу рабочей моды, можно описать при помощи уравнения неоднородной струны [2, 3].

$$\frac{d^2F}{dz^2} + k_{\parallel}^2 F = 0, \quad (1)$$

где F – нормированная функция, определяющая продольную структуру поля $k_{\parallel}(z) = \sqrt{(\omega/c)^2 - (\vartheta_{mp}/R_r(z))^2}$ – продольное волновое число, c – скорость света; R_r – текущий радиус резонатора; ϑ_{mp} – первый корень производной функции Бесселя ($J'_m()$). Функция F на границе резонатора должна удовлетворять условиям Зоммерфельда (условиям излучения):

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dF}{dz} = ik_{\parallel}F, & z = z_{in}, \\ \frac{dF}{dz} = -ik_{\parallel}F, & z = z_{out}. \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dF}{dz} = ik_{\parallel}F, & z = z_{in}, \\ \frac{dF}{dz} = -ik_{\parallel}F, & z = z_{out}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Граничное условие (3) предполагает, что далее нет электродинамических неоднородностей системы, которые приводят к отражению выходного излучения. Условие (2) характеризует отражение бегущей волны от закритического сужения на входе электронного пучка в резонатор.

Упрощая задачу, вводим параметры op и oq , характеризующие реальную и мнимую часть частоты. Параметр op равен относительному отклонению в процентах реальной части собственной частоты ω от критической частоты рабочей моды $\omega_{kp} = \vartheta_{mp}c/R_{r0}$. Параметр oq равен относительному отклонению в процентах мнимой части собственной частоты ω от критической частоты рабочей моды. Параметр связан с добротностью гиротрона. Частота также зависит от op и oq .

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_{01} + i\omega_{02}, \\ \omega_{01} &= \left(\frac{op}{100} + 1 \right) \cdot \omega_{kp}, \\ \omega_{02} &= \frac{\omega_{01}}{Q} = \frac{\omega_{01} \cdot oq}{(50 + op/2)}. \end{aligned}$$

Для гиротронов рассматриваются профили резонаторов, ограничивающие выход излучения в сторону пушки, поэтому коэффициент отражения от прикатодного конца близок к единице.

Используя op и oq можно найти k_{\parallel} , а значит, и решить (1). Для этого представим уравнение неоднородной струны в виде системы из двух дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\left\{ \begin{array}{l} G = \frac{dF}{dz} \\ \frac{dG}{dz} + k_{\parallel}^2 F = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

с начальными условиями

$$\begin{cases} F_{(0)} = 0.1 \\ G_{(0)} = -ik_{||(0)}F_{(0)} \end{cases} \quad (5)$$

Уравнение неоднородной струны является дифференциальным уравнением 2-го порядка. Для решения подобных уравнений можно использовать разные методы. Рассмотрим численные метод ломаных Эйлера, метод Рунге-Кутта четвертого порядка и метод Нистрема [1, 5].

Метод Эйлера отличается высокой скоростью работы из-за малого количества вычислений, однако имеет значительные погрешности. Методы Рунге-Кутта 4-го порядка и Нистрема не различаются по точности, однако второй отрабатывает значительно быстрее. Главная цель программы – расчет параметров резонатора гиротрона в зависимости от его формы и определение продольной структуры рабочей моды. Для тестирования программы рассмотрен технологический гиротрон, работающий на mode $TE_{0,2}$ с частотой генерации 28 ГГц.

Для расчета продольной структуры поля требуется решить уравнение (1). Однако чтобы найти правильное решение, требуется достаточно точно посчитать параметры or и oq .

Для начала нужно интегрировать (1) с любыми значениями or и oq и искать истинные значения методами поиска минимума функции. Для этого был использован один из численных методов – координатного спуска [1]. Этот метод предполагает сводить решение двумерной задачи к последовательному решению двух одномерных. Сначала рассматриваем первую ось. Для случайной точки x рассчитываем значения функции в соседних точках ($x-dx$ и $x+dx$, где dx – текущий шаг), если одно из них меньше, чем предыдущее, то да-

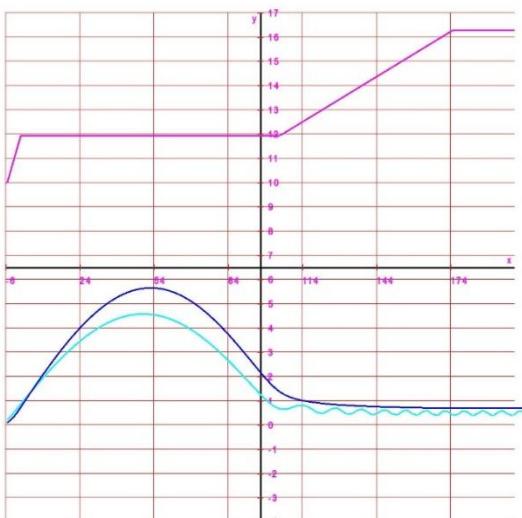


Рисунок 1. Сравнение графиков продольной структуры рабочей моды, построенных методом Нистрема по 4000 точкам (синий) и методом ломаных Эйлера по 200 точкам (голубой)

лее анализируем эту точку. Если же при x значение функции минимально, то рассматриваем следующую ось таким же способом. В ходе этого процесса происходит оптимизация функции вдоль каждой из осей. Однако если найдена точка, при которой значение функции минимально по всем осям, то шаг dx падает. Далее процесс циклически повторяется до момента достижения необходимой точности.

После определения op и oq можно найти частоту и добротность резонатора, вычислить время работы программы, а также рассчитать погрешности.

После нахождения всех параметров резонатора программа рассчитывает продольную структуру высокочастотного поля. На рисунке 1 изображен совмещенный график зависимости амплитуды электромагнитной волны от координаты, построенный методами Нистрема по 4000 точкам и методом Эйлера по 200 точкам. Так как масштаб достаточно велик, последний значительно уступает в точности.

Для оценки эффективности каждого метода были построены графики зависимости погрешности частоты и добротности от времени работы для каждого из рассмотренных численных методов решения дифференциальных уравнений (рис. 2, 3). На основе анализа этих графиков сделан вывод, что использовать метод Эйлера в данной задаче нецелесообразно, так как он имеет высокую погрешность при малом количестве точек. Однако если

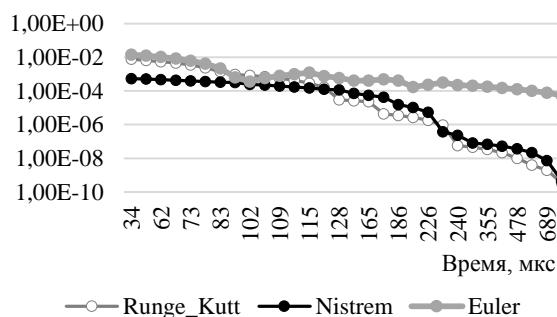


Рисунок 2. График зависимости погрешности частоты от времени работы

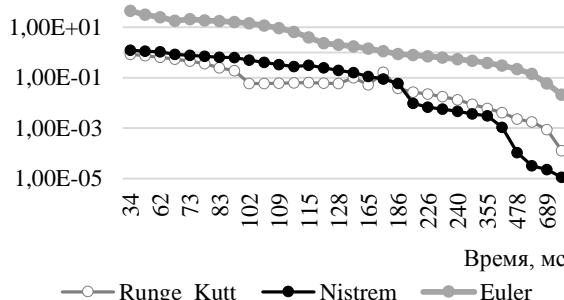


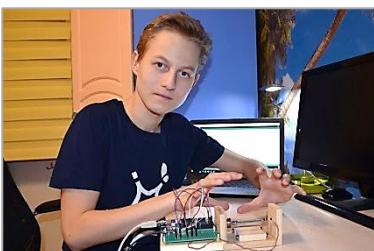
Рисунок 3. График зависимости погрешности добротности от времени работы

взять больше, он будет работать дольше остальных. Однозначно определить, какой из методов (Нистрема или Рунге-Кутта 4 порядка) наиболее оптимален, сложно. При использовании метода Рунге-Кутта 4 порядка погрешность вычислений минимальна, а метод Нистрема в данном случае работает значительно быстрее за счет снижения количества обращений к правой части уравнения неоднородной струны. Но при усложнении модели отклонения возрастут.

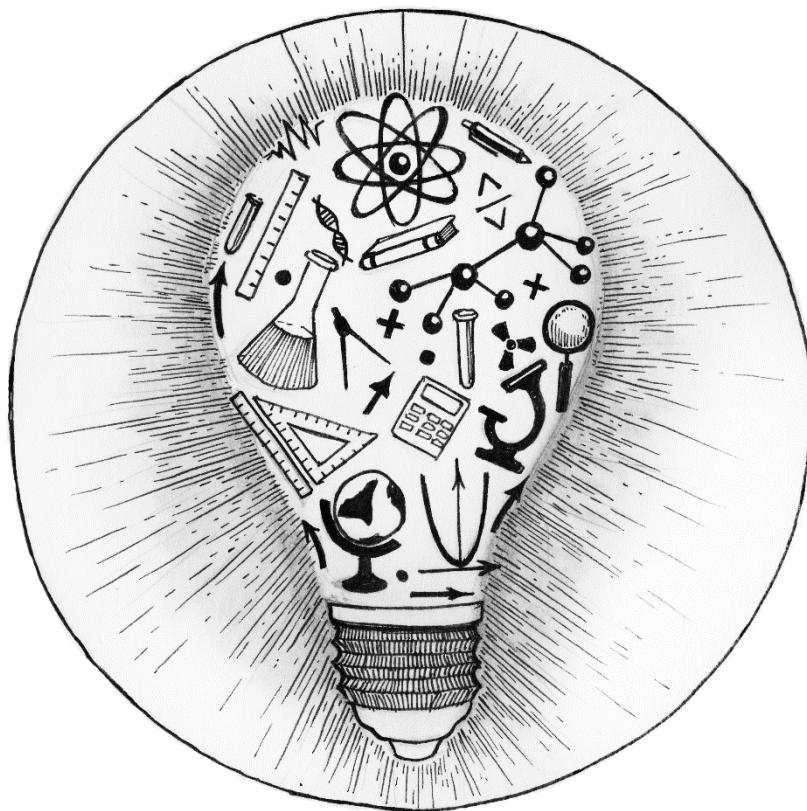
В ходе работы была оптимизирована модель расчета свободных колебаний в аксиально-симметричном резонаторе и написана соответствующая программа. Данную модель можно использовать для исследования физических параметров волн в гиротроне, а также в качестве основы для создания более сложных систем расчета.

Литература

1. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельников Г.М. Численные методы. – М.: Наука, 1988. – 600 с.
2. Власов С.Н., Жислин Г.М., Орлова И.М., Петелин М.И. и Рогачева Г.Г. Открытые резонаторы в виде волноводов переменного сечения // Известия вузов. Радиофизика. 1969, Т. 12, вып. 8. С. 1236 – 1244.
3. Кацеленбаум Б.З. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 218 с.
4. Мусеев М.А., Нусинович Г.С. Некоторые результаты численных исследований уравнения гиротрона // Гиротрон. – Горький: ИПФ АН СССР, 1981. С. 41 – 52.
5. Юнаковский А.Д. Начала вычислительных методов для физиков. – Н. Новгород: ИПФ РАН, 2007. – 220 с.



Наука как призвание и профессия



С детства я был обучен наукам, и так как меня уверили, что с их помощью можно приобрести ясное и надежное познание всего полезного для жизни, то у меня было чрезвычайно большое желание изучить эти науки. Но как только я окончил курс учения, завершающий обычно принятием в ряды ученых, я совершенно переменил свое мнение, ибо так запутался в сомнениях и заблуждениях, что, казалось, своими стараниями в учении достиг лишь одного: все более и более убеждался в своем незнании.

Рене Декарт (1596 – 1650)
французский философ и математик,
создатель аналитической геометрии

Теория – это когда все известно, но ничего не работает. Практика – это когда все работает, но никто не знает почему. Мы же объединяем теорию и практику: ничего не работает... и никто не знает почему!

Альберт Эйнштейн (1879 – 1955),
один из основателей современной теоретической физики,
лауреат Нобелевской премии по физике (1921)

Сильные натуры предпочитают идти новыми путями вместо того, чтобы следовать спокойными проторенными дорожками.

Петр Леонидович Капица (1894 – 1984),
российский физик, академик, один из основателей физики низких температур и
сильных магнитных полей, лауреат Нобелевской премии по физике (1978)

Наука = жизнь

Марлан Скалли

иностранный член РАН (США), профессор Техасского и Принстонского университетов

Институт прикладной физики РАН проводит большое количество событий, участниками которых становятся и иностранные ученые. В конце июня состоялась международная конференция «Рубежи нелинейной физики – 2019». Это научное мероприятие проводится раз в 3 года на протяжении последних 18-ти лет и приобрело известность среди российских и зарубежных ученых. Одним из приглашенных спикеров седьмой международной конференции, стал американский физик Марлан Скалли, профессор Принстонского университета и иностранный член Российской академии наук. В течение долгого времени он изучал квантовую оптику. Вместе с нобелевским лауреатом, профессором Уиллисом Лэмбом, он создал теорию, впервые описавшую ширину линии лазера и корреляцию фотонов. А студентам-физикам он может быть знаком по учебнику «Квантовая оптика».



«Наука – это отличная возможность заниматься тем, что доставляет удовольствие, и в то же время представляет собой важное дело. Все наши открытия могут улучшить качество жизни. А еще наука привносит в нашу жизнь радость».

Марлан Скалли

Профессор Скалли, почему вы решили стать ученым?

Марлан Скалли: Однажды я спросил своего шестилетнего сына: «Кем ты хочешь стать?». Он ответил: «Ученым, конечно же. Ты думаешь, я хочу разрушить свою жизнь?» В некотором смысле он прав, ученых действительно замечательная жизнь. Имается возможность заниматься любимыми вещами, которые в итоге будут иметь большое значение для всего мира. Я очень рад, что и у меня была такая возможность.

Кто вдохновил вас стать ученым?

М.С.: Моя мама. Она была замечательным ученым. Она не закончила старшую школу, но всегда интересовалась наукой. Однажды она подарила мне микроскоп. Когда я впервые посмотрел в него, восхитился: «Я ничего не вижу». Я не знал, что делать, спрашивал в школе. Но именно мама объяснила мне, как он работает. Рассказала, что если я хочу увидеть бактерии, надо, чтобы свет проходил через

линзу. Для меня это был важный шаг, и я очень благодарен, что родители всегда поощряли мое стремление заниматься наукой.

Почему вы выбрали именно физику?

М.С.: Когда я только начинал свой путь в науку, физика была «большой вещью». Сейчас таким направлением можно назвать биологию. В каком-то смысле это все равно физика. В моем понимании это самая основная из всех наук. Благодаря ей человек получает очень широкую подготовку, которая позволяет заниматься и инженерией, и математикой, и биологией, и я думаю, это здорово. Физика позволяет специализироваться во многих отраслях науки.

В физике есть очень много интересных тем. Как вы выбрали свою?

М.С.: В лабораториях Александра Белла, изобретателя телефона (Bell Labs, исследовательский центр в сфере телекоммуникации, электронных и компьютерных систем в Нью-Джерси, США), висит плакат, на котором объясняется в деталях, как делается исследование: просто смотрим по сторонам, чтобы найти вещи, которые нас интересуют, и следим за ними.

Как вы выбираете тему для исследования?

М.С.: Один из способов – посмотреть, что интересует меня прямо сейчас. Сегодня, например, это черные дыры и некоторые теории в математике. А несколько месяцев назад я интересовался биофизикой. Например, вопросом, как можно использовать лазер в биофотонике. Это удивительно – еще сто лет назад мы не знали, что такое импульсные лазеры и наночастицы. А сейчас мы можем поместить крошечные микроточки в единичную клетку, чтобы измерить ее температуру. Как физики, мы являемся экспертами сразу в нескольких областях, но мы не специалисты. Разница в том, что первые знают отдельный предмет не так хорошо, как вторые, однако общие знания всей физики у них на достаточно хорошем уровне.

Есть мнение, что ученый – это специфичная профессия. Как она изменила вашу жизнь?

М.С.: Наука не меняла мою жизнь, она и есть моя жизнь. Например, я подхожу к любому вопросу научно, даже если занимаюсь другими вещами. У меня есть ранчо, где мы проводим исследования. Изучаем спектры растений, чтобы разработать способ их идентификации. Исследуем физику движения животных, чтобы по спектру маневров понимать, здоровы ли они или у них есть какая-то травма. И так во всем. Если я нахожу что-то интересное, задаюсь вопросом, как это можно измерить, исследовать.

Во время работы с учеными заметила, что у них очень широкие интересы. Не только наука, но и, например, спорт, туризм, искусство. Чем вы занимаетесь в свободное время?

М.С.: В каком-то смысле, наука и есть мое хобби. Вместе с сыновьями я занимаюсь разведением лошадей и садоводством на исследовательском ранчо. Люблю рыбачить – это очень расслабляет. Много читаю.

Считается, что ученые очень серьезные люди. Помогает ли чувство юмора в науке?

М.С.: В коридорах моего института постоянно слышен смех. Великий физик Нильс Бор всегда говорил, что квантовая механика – очень странная наука: если ты в ней не запутался, значит, ты ее не понимаешь. Нильс Бор и Альберт Эйнштейн обладали превосходным чувством юмора. Бору приписывают авторство знаменитой фразы: «Очень сложно делать прогнозы, особенно в отношении будущего». Эйнштейну категорически не нравилась вероятностная природа квантовой механики, и он говорил по этому поводу: «Я не могу поверить, что Бог играет в кости со Вселенной», на что Бор ему однажды заметил: «Альберт, не указывай Богу, что делать!»

Умение видеть абсурдную сторону вещей очень важно, и в этом есть определенный талант. Я уверен, что даже в серьезных открытиях нужно уметь видеть юмор и получать от этого удовольствие. Как говорил Нильс Бор, квантовая механика – это такой предмет, где присутствует глубокая правда, а полная противоположность глубокой правде – еще одна глубокая правда. Подобные высказывания помогают нам лучше понимать природу многих вещей.

Над чем вы работаете в настоящий момент?

М.С.: Сейчас я работаю над проблемой физики черных дыр и квантовой оптики. Оказывается, многие идеи касательно излучения Стивена Хокинга и физики черных дыр имеют непосредственное отношение к квантовой электродинамике, если рассматривать излучение как нечто, испускаемое атомами, подверженными огромным ускорениям. И на самом деле, это проблема квантовой оптики. Знаменитый физик Билл Унру, впервые высказавший эту мысль, приезжает к нам в Техас для совместной работы над этой темой. Атомы ускоряются, попадая в черную дыру, и в результате этого ускорения возникает излучение. А где есть свет, там вступает в дело квантовая оптика. Получается такой интерфейс с физикой черных дыр. Это лишь один пример того, над чем мы работаем.

С другой стороны, мы работаем над методами исследования болезней, ищем способы пропускания света сквозь размытую среду типа ткани человеческого организма. То есть лазерные технологии теперь используются в новых направлениях биофизики и биофотоники.

Какой совет вы можете дать юным исследователям?

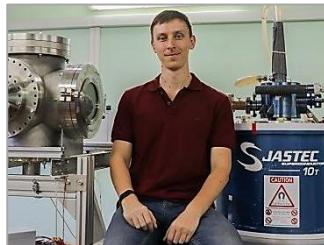
M.C.: Следуйте за своим интересом. Найдите, что вас вдохновляет, и идите навстречу. Тогда вы будете успешными.

Большакова Виктория Олеговна
специалист по связям с общественностью ИПФ РАН

О поступлении на ВШОПФ, гиротронах и проекте РНФ Фокин Андрей Павлович

научный сотрудник ИПФ РАН, кандидат
физико-математических наук

Летом завершился еще один сезон молодежных конкурсов Российского научного фонда, который входит в состав Президентской программы поддержки лучших российских ученых. Одним из победителей стал Андрей Фокин, научный сотрудник Института прикладной физики РАН, выпускник Высшей школы общей и прикладной физики ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Сейчас он работает в лаборатории микроволновой обработки материалов, где исследует возможности для увеличения частоты гиротронов – мощных генераторов СВЧ-излучения. Однако физикой Андрей увлекается еще с детства.



Почему ты выбрал именно профессию ученого?

Ф.А.: Мне в школе всегда нравились технические, прикладные предметы, связанные с познанием мира: физика, химия, черчение – и совершенно не нравились гуманитарные. Одно дело – читать книжку, и совершенно другое – проводить ее анализ. Поэтому сложилось так, что я решил идти в науку. Причем информатику как вариант я даже не рассматривал: несмотря на то что компьютер у меня появился в раннем возрасте, программированием и ИТ я не интересовался. Оставались различные точные науки, и я выбрал физику. На мой взгляд, она давала понимание, как устроен мир вокруг, и предоставляла возможность его исследовать. Возможно, именно по этой причине мне всегда нравились лабораторные работы в школе.

Как ты оказался на ВШОПФе?

Ф.А.: Мне казалось, что во время моего поступления только в Университете Лобачевского давали хорошее физическое образование. Я рассматривал физический и радиофизический факультеты, потом узнал от друга, что еще есть Высшая школа общей и прикладной физики. На дне открытых дверей выступали сотрудники ИПФ РАН. Стало понятно, что здесь можно получить замечательное образование в самых разных областях. Поэтому решил поступить на этот факультет.

Какие возможности тебе дал ВШОПФ?

Ф.А.: Возможность трудоустройства в один из крупных ведущих институтов. Причем оно произошло достаточно просто и безболезненно.

ненно: студенты работают в Институте прикладной физики с третьего курса, пишут здесь дипломные и курсовые работы. Зачастую на четвертом курсе они уже становятся сотрудниками какого-нибудь подразделения ИПФ РАН. Так что после выпуска у них просто меняется должность с лаборанта-исследователя на младшего научного сотрудника, и ребята продолжают заниматься теми же задачами, что и во время обучения. Если не идти в науку, то на ВШОПФ дается замечательное образование в плане программирования. Много выпускников уходят работать в исследовательские подразделения таких компаний, как Intel, MERA. Некоторые даже создают свои.

Как ты понял, что гиротроны – это, чем ты хочешь заниматься?

Ф.А.: На ВШОПФе есть замечательная традиция: после 4 курса студенты могут поменять тему исследования, если хотят познакомиться с разными направлениями, которые есть в Институте прикладной физики, и понять, какое из них больше нравится. На втором курсе магистратуры или в аспирантуре можно вернуться к старой теме или попробовать что-то еще. У меня получилось так, что на третьем курсе я пришел в отдел электронных приборов к Михаилу Юрьевичу Глявину, где занимался в основном численным моделированием. Мой диплом бакалавра был посвящен гиротронам. В магистратуре я перешел в отдел нелинейной и лазерной оптики к Александру Андреевичу Соловьеву, где работал со сверхмощным лазером PEARL, рассматривал возможности дальнейшего повышения его мощности. Однако я понял, что лазерная физика – это не совсем мое: исследовать электронные приборы мне гораздо интереснее. Поэтому в аспирантуре я вернулся в электронику и продолжаю ей заниматься.

После того, как ты два года занимался лазерной физикой, появились ли какие-то методы, которые тебе захотелось применить и в электронике?

Ф.А.: Идеи есть, но пока мы о них только задумываемся. Сейчас самые мощные лазеры работают по принципу, который предложили нобелевские лауреаты Жерар Муру и Донна Стрикланд. Берется короткий импульс, растягивается во времени, усиливается, а потом снова сжимается. Если усиливать его без растягивания и сжатия, вещество может разрушиться от слишком большой интенсивности. Примерно то же самое можно попробовать сделать и в вакуумной электронике. Насколько я знаю, в гиротронах такая идея еще не была реализована.

Совсем недавно ты стал одним из победителей молодежного конкурса РНФ. В чем заключается идея твоего проекта?

Ф.А.: Проект называется «Терагерцовые гиротроны на высоких циклотронных гармониках со сверхселективными резонаторами». Вообще гиротрон основан на том, что электроны, которые вращаются в магнитном поле, взаимодействуют с электромагнитным полем в резонаторе – закрытом участке трубы. Наша задача – организовать такие условия для электронов, чтобы они отдали максимум своей энергии полю, а потом доставить его дальше к потребителю. Проблема в том, что чем выше частота, тем сложнее организовать правильное взаимодействие частиц с полем.

Из-за того что нет доступных магнитов с большими полями, приходится работать с гармониками. Это поля, у которых частота в кратное число раз больше, чем частота вращения электронов в магнитном поле. Из-за ограниченных размеров резонатора приходится использовать поля со сложной структурой – высокие моды, у которых много конкурентов – полей с другой поперечной структурой и частотой. И важно придумать, как обеспечить взаимодействие электронов только с нужной нам модой. Идея проекта заключается в разработке резонатора со специальной вставкой, которая будет рассеивать поля конкурентов и не влиять на выбранную нами моду. Сначала мы планируем проверить методику на гиротронах с низкими частотами, а потом перенести ее на приборы, частота которых будет достигать 1 терагерца.

Где будут применяться такие источники?

Ф.А.: Например, в спектроскопии для исследования свойств различных веществ в диапазоне частот от 1 терагерца и выше. Есть медицинские приложения, как для диагностики, так и для лечения различных заболеваний. Сейчас гиротроны используются и для технологических задач, таких как производство нанопорошков, спекание керамики, исследование свойств плазмы. Есть еще другие, может быть, немного безумные проекты. Например, разработать систему связи на ТГц частотах. Или запускать ракеты в космос при помощи тысячи гиротронов.

Почему тебя заинтересовала эта тема?

Ф.А.: На мой взгляд, это логичное развитие гиротронов в целом, потому что с момента своего создания они непрерывно повышают

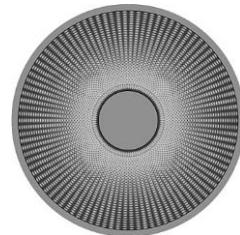


Рис. Поперечная структура электрического поля высокой моды круглого волновода

частоту и мощность излучения. Сейчас подошло время, когда необходимо двигаться в терагерцовый диапазон (от 0,3 ТГц до 10 ТГц). Уже разработано большое количество источников, которые работают в диапазоне от 0,1 до 0,2 терагерц, с более высокой частотой их еще не так много. Недавно мы тестировали гиротрон с частотой 250 ГГц и получили 300 киловатт мощности, но это всего лишь 1 четверть терагерца. Поэтому хочется двигаться к более высоким частотам и посмотреть, как далеко мы сможем зайти.

Большакова Виктория Олеговна
специалист по связям с общественностью ИПФ РАН

Лекции нижегородских ученых



Разработка инструментов для астрономических исследований в Терагерцовом диапазоне частот

Вдовин Вячеслав Фёдорович

главный научный сотрудник ИПФ РАН,
профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
доктор физико-математических наук

Гунбина Александра Анатольевна
младший научный сотрудник ИПФ РАН

Дмитриева Ольга Юрьевна

10 класс, Школа № 173, ШЮИ ИПФ РАН



*Посвящается памяти беззаветного
рыцаря науки академика Н.С. Кардашева*

Интерес учёных к освоению терагерцового диапазона частот электромагнитного излучения возник более века назад. Профессор МГУ Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева около 100 лет назад в Москве продемонстрировала в эксперименте, что что-то определенно есть (рис. 1) между активно осваиваемым в те годы Генрихом Рудольфом Герцем, Александром Степановичем Поповым и Гульельмо Маркони радиодиапазоном волн и оптикой, давно хорошо известной людям благодаря наличию у каждого из нас пары высокоэффективных приемников этого диапазона – глаз.

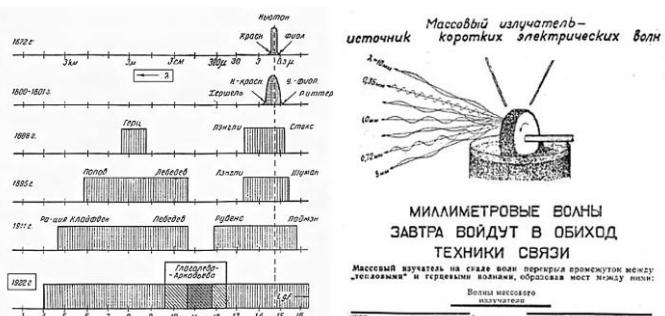


Рис. 1. Проф. МГУ А.А.Глаголева-Аркадьева и ее работы по ТГЦ волнам второй декады XX века

А вот терагерцовый диапазон, по сути и открытый 100 лет назад, остался крайне слабо освоенным, и, наконец, XXI век принес долго-

жданый прорыв. Сотни и тысячи исследователей создают аппаратуру и ведут исследования в ТГц диапазоне, регулярно проводятся научные конференции, и на одной из них «TERA 2012» нобелевский лауреат Кси-Чен Джанг объявил XXI век веком Т-лучей. Первое направление, куда устремились разработчики ТГц приборов, – это радиоастрономия. Именно она предъявляет самые предельно высокие требования к характеристикам приемников, в первую очередь к их чувствительности. Ведь нужно и можно в этом диапазоне увидеть, как свет еще не зажегшихся звезд, так и остывшие до уровня вселенского холода следы – последствия Большого Взрыва, в результате которого сформировалась наша Вселенная. Разработкой таких приборов совместно с российскими и зарубежными партнерами (рис. 3) занимается команда исследователей из ИПФ РАН уже более полувека [2, 5, 7] и др. Есть большие успехи в прошлом, есть грандиозные планы на будущее.

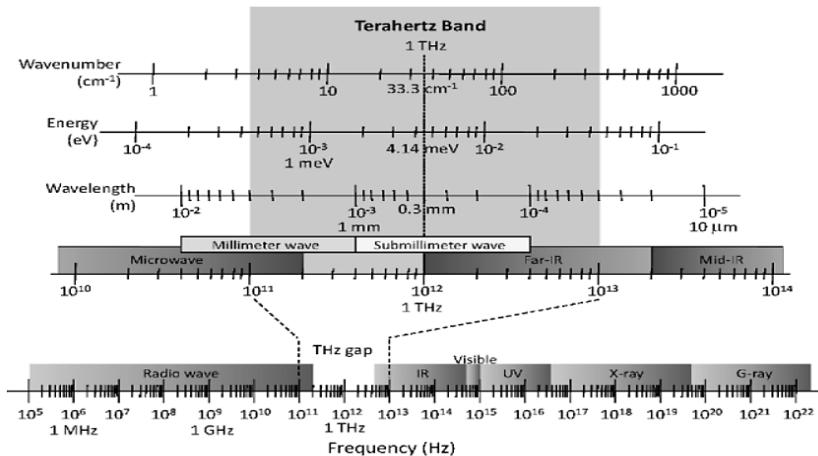


Рис. 2. Терагерцы на спектре электромагнитных волн

Два наиболее значимых плана в этом направлении были задуманы ушедшим из жизни 3 августа 2019 года выдающимся российским ученым академиком Николаем Семеновичем Кардашевым (рис. 4). Еще в 70-х годах им был предложен проект создания 70-метрового телескопа, работающего до частот в 0,35 ТГц на плато Суффа в Узбекистане (рис. 5), и телескоп в 1981 году был заложен. К моменту распада СССР было построено более половины обсерватории, и проект замер. 2018 год стал переломным для идеи благодаря усилиям двух национальных академий наук и их президентов (рис. 6а). При поддержке президентов

двух стран было принято решение завершить проект. Наша команда уже принимает участие в разработке приемников для этого телескопа, и мы уверены, что всё получится (рис. 6б). Верный рыцарь науки Николай Семенович Кардашев поставил такую задачу, и она будет выполнена, несмотря на все финансовые и организационные трудности. Но для Т-лучей есть немало и объективных трудностей. Прежде всего то, что далеко не все волны этого диапазона беспрепятственно проходят сквозь земную атмосферу. Это целая и отдельная научная задача – изучить эти свойства атмосферы, именуемые астроклиматом [1], и обеспечить выбор мест, где он лучше, чтобы там и поставить телескоп (рис. 7). Суффа [9] – весьма перспективное в этом плане место, как показали наши исследования, подтвержденные тридцатилетним мониторингом метеоданных, которые собирали наши узбекские партнеры. Хотя есть места и лучше, по данным наших и зарубежных исследований. В первую очередь это высокие горы и очень холодные места наподобие полюса, где вся вода выморожена, ведь именно вода является главным врагом Т-лучей. Она их очень активно поглощает, оставляя лишь несколько относительно узких окошек прозрачности в атмосфере. Поэтому лучшим местом на Земле для ТГц астрономии является сухое нагорье Атакама в Чили (рис. 8), расположенное на высоте более 5 км над уровнем моря.

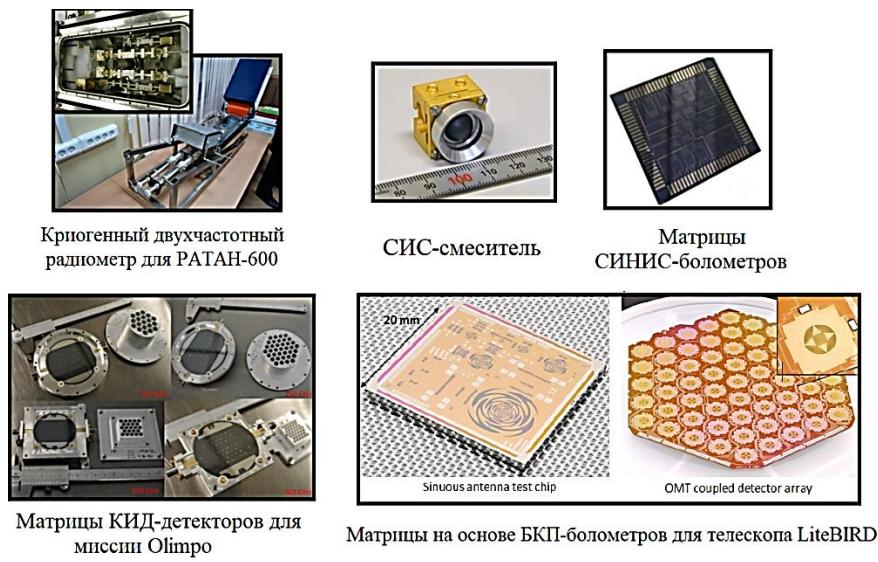


Рис. 3. Разработки приемников для астрономии

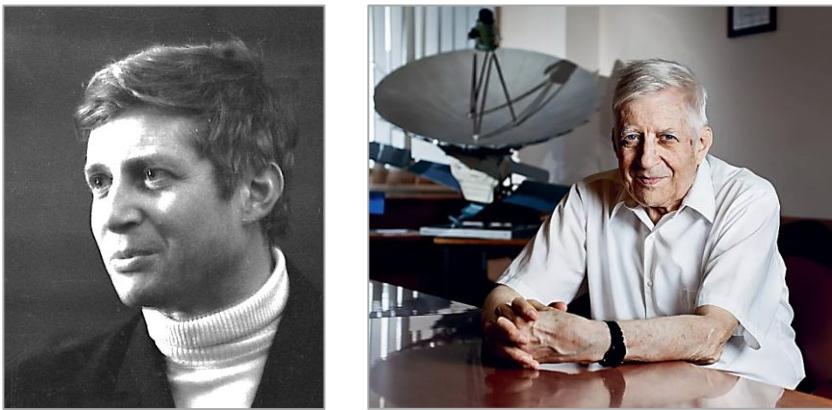


Рис. 4 . Академик Н.С.Кардашев – автор уникальных идей в 60-х гг ХХ в и в 2019 году

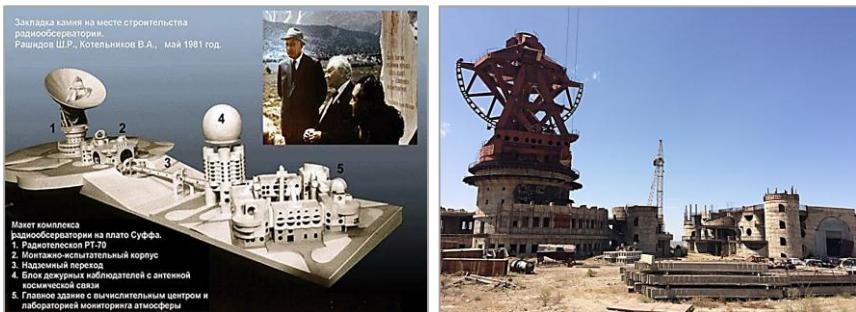


Рис. 5. Обсерватория Суффа в 80 – 90 гг. ХХ века



Рис. 6. Два президента академий подписывают Дорожную карту и посещают Суффу в 2018 году

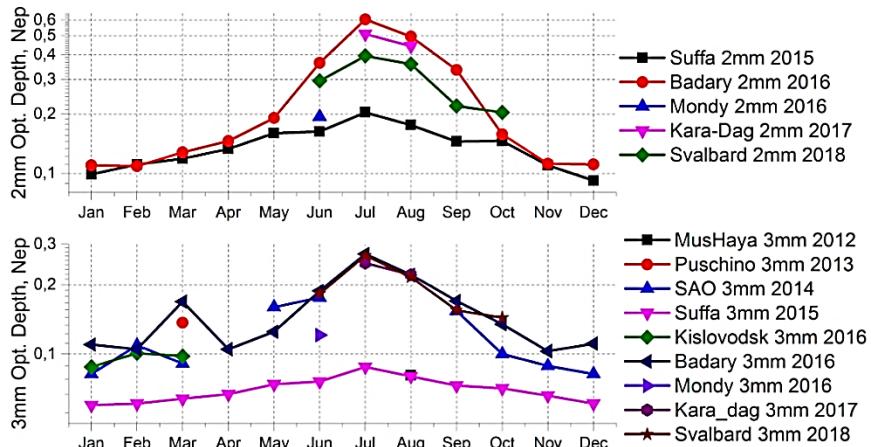


Рис. 7. Сравнение астроклиматов

Но ученые далеко не всегда хотят ехать в столь некомфортные места, поэтому мы с нашими партнерами из римского университета Ла Сapiенза в прошлом году запустили ТГц обсерваторию на воздушном шаре Олимпо (рис. 9), который поднялся на высоту вчетверо выше Эвереста и провел наблюдения во время полета шара [4].



Рис. 8. ТГц обсерватории в горах



Рис. 9. ТГц обсерватории на воздушных шарах

Однако академик Н.С. Кардашев нашел радикальное решение: «Давайте выведем обсерваторию за пределы атмосферы – в космос». Так родилась идея обсерватории Миллиметрон. Идею тоже ждала не-простая судьба, когда финансирование российской науки резко упало. Тем не менее, Миллиметрон остался в российской космической программе и будет определенно запущен в космос после 2025 года благодаря упорству команды и ее лидера. Абсолютный успех имел и другой проект под руководством Н.С. Кардашева – обсерватория Радиоастрон (работавшая в традиционном радиодиапазоне), запущенная в 2011 году и завершившая свою миссию лишь в этом 2019 году, втрое перекрыв ресурс [10], на который она была спроектирована. Там тоже немало уникальных приемников уже близкого к ТГц волнам диапазону, некоторые из них создавались в Нижнем Новгороде.

Радиоастрон воплотил в реальность еще одну давнюю идею Н.С. Кардашева: именно он в 1965 году предложил вести одновременные наблюдения с двух и более телескопов, так называемый режим радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ), фактически реализуя гигантский виртуальный телескоп размером, равным расстоянию между включенными в сеть РСДБ телескопами. Такой виртуальный телескоп позволяет реализовать беспрецедентное угловое разрешение, благодаря которому астрономы в этом году уже разглядели портрет далекой черной дыры [8]. Мировой рекорд углового разрешения сегодня остается за Радиоастроном, а при помощи аналогичного интерферометра с Миллиметроном есть надежда увидеть небо чужой вселенной сквозь кротовью нору.

Но Миллиметрон – не просто высокочастотный клон Радиоастрона. В нем заложено много совершенно новых идей, в частности, идея криогенного зеркала и криогенного приемника. Из работ с приемниками радио и оптического диапазона, которые наша команда ведет с 70-х годов, известно, что для повышения чувствительности приемников их следует глубоко охлаждать. Тогда собственные шумы приемника снизятся настолько, что предельно слабые сигналы станут видны [3]. Так наша команда помогла спасти экспедиции к Марсу, когда выяснилось, что наземные станции не в состоянии принять и эффективно обработать сигнал, посланный с марсианской орбиты, если уровень излучаемого сигнала близок по мощности сигналу мобильника [6]. В итоге глубокое криогенное охлаждение, которое мы предложили и реализовали, спасло ситуацию. Наш криогенный приемник успешно общался и с марсианскими миссиями, и с

Радиоастроном в его дальних точках орбиты (а это почти миллион км). Теперь мы верим, что поработаем и с Миллиметроном, нацеленном на точку Лагранжа 2, лежащую в 1,5 млн. км от земли. Криогеника дает еще одну уникальную возможность – использование сверхпроводниковых технологий, которые позволяют минимизировать шумы, и именно такими приборами мы заняты с начала 90-х годов, сделав немало интересных приемников, до сих пор используемых астрономами и учеными, изучающими атмосферу. Однако настоящий расцвет ТГц волн наступит тогда, когда на Т-лучах заработают современные системы диагностики (в отличие от X лучей, они не столь опасны и вредны), а также когда туда придут коммуникации. Причем не экзотические – космические, а массовые. Поколение мобильной связи G5 уже вплотную приблизилось к Т-лучам, новые поколения точно придут в ТГц, уже есть экспериментальные проработки. Уход на эти волны в сотни раз поднимет производительность таких телекоммуникационных каналов, но, в отличие от оптических каналов, им не нужен провод – оптоволокно, при распространении в воздухе они не испытывают столь резкого влияния искусственных и естественных помех, как оптические лучи.

Вот такие перспективы у Т-лучей. Мы искренне желаем всем молодым слушателям ШЮИ успехов в учебе, осознанного и подготовленного прихода в науку и продвижения там самых амбициозных проектов, решения самых сложных задач. И наука отблагодарит вас блестящими результатами и новыми прорывами, и самое главное – счастьем, которого выпало в науке немало и нам, и автору блестящих идей Миллиметрон и Суффа академика Н.С. Кардашева.

Литература

1. *Bubnov G.M., Artemenko Yu. N., Vdovin V.F., Danilevsky D.B., Zinchenko I.I.* The results of astroclimate observations in the short-wave length interval of the millimeter-wave range on the suffa plateau // Radiophysics And Quantum Electronics V. I. 2017. v 59, n. 8 – 9. P. 763 – 771.
2. *Dryagin Y., Lapkin I., Vdovin V., Zinchenko I.* Low noise beam-lead diode mixer for the 3 mm radio astronomical receiver at the metsähovi radio research station // Experimental Astronomy. V.5. 1993, № 3 – 4.
3. *Kardashev N.S., Likhachev S.F., Babakin N.G., Arkhipov V.Y., Vinogradov I.S.* Millimetron-a large Russian-European submillimeter space observatory // Experimental Astronomy Wild. 2009, v. 23, n. 1. P. 221 – 244.
4. *Kinetic Inductance Detectors for the OLIMPO experiment: in--flight operation and performance/ S. Masi et.al* // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. V. 2019. N. 7.

5. Smirnov A.V., Baryshev A.M., P. de Bernardis, Vdovin V.F., Gol'tsman G. N., Kardashev N.S. The current stage of development of the receiving complex of the millimetron space observatory radiophysics and quantum electronics. 2012. V 54, N 8 – 9. P. 557 – 568.
6. Vdovin V.F., Grachev V.G., Dryagin S.Yu., Eliseev A.I., Kamaletdinov R.K., Korotaev D.V. Cryogenically cooled low-noise amplifier for radio-astronomical observations and centimeter-wave deep-space communications systems ASTROPHYSICAL BULLETIN. 2016, v. 71, n. 1. P. 125 – 128.
7. Vdovin V.F., Zinchenko I.I. Modern millimeter and submillimeter receiver systems for radio astronomy // Radiophysics and Quantum Electronics, V. 2009.
8. Левин А. Черная дыра галактики M87: портрет в интерьере // Новости науки 14.04.2019 [Электронный ресурс] // Сайт: Элементы. URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433463/Chernaya_dyra_galaktiki_M87_portret_v_interere
9. Радиотелескоп РТ-70 международной радиоастрономической обсерватории «Суффа» [Электронный ресурс]. Сайт: Астрокосмический центр. Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук URL: <http://asc-lebedev.ru/?dep=16>
10. «16 лет ждали»: «Спектр-РГ» стартовал с Байконура [Электронный ресурс] // Газета.ru. 13.07.2019.
URL: https://www.gazeta.ru/science/2019/07/12_a_12495763.shtml

Краткая история науки

Седов Антон Сергеевич

старший научный сотрудник ФИЦ ИПФ РАН,
доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
кандидат физико-математических наук



Давайте начнем с определения науки. Признаюсь, я взял его из Википедии. Наука – область человеческой деятельности, направленная на выработку и систематизацию объективных знаний о действительности. Основой этой деятельности является сбор фактов, их постоянное обновление и систематизация, критический анализ и, на этой основе, синтез новых знаний или обобщений, которые не только описывают наблюдаемые природные или общественные явления, но и позволяют построить причинно-следственные связи с конечной целью прогнозирования.

Если мы задумаемся над определением, то поймем, что почти все, что мы делаем каждый день, так или иначе связано с наукой или можно назвать в своем роде наукой. Например, наука изготовления булочек или тряски ковров. В этом смысле ситуация примерно такая же, как со словом «культура». Культура есть в узком смысле, то есть то, чем занимается министерство культуры, и есть культура в широком смысле – то есть все то, что делает человек, например, культура игры в преферанс или культура потребления различных блюд. Давайте договоримся, что далее мы будем в основном говорить о науке в узком смысле этого слова, о том, чем занимаются научные институты, лаборатории и академии.

Сначала разберемся, чем же наука отличается от других областей знаний и сфер человеческой деятельности. Во-первых, наука всегда работает только с фактами, стараясь оставлять в стороне этическую или моральную сторону дела. Например, на этом идет раздел политологии или социологии и политики. Социолог собирает данные, их обрабатывает, выдает свое заключение, а затем политики нам говорят, хорошо это или плохо, как к этому относиться и так далее.

Часто при разговоре с различными людьми я сталкиваюсь с заблуждением, что наука – это точная вещь. Особенно так думают, простите за тавтологию, про так называемые точные науки. На са-

мом деле точно описать любые процессы практически невозможно, если учитывать все, в том числе, очень мелкие факторы. И нам это не нужно. Например, Землю или любую другую планету мы чаще всего представляем шаром, хотя существуют на ее поверхности горы и впадины, и даже рядом с этим местом рельеф поверхности не очень ровный. Чем точнее нам приходится решать задачу, тем сложнее и объемнее модель, и нам уже не хватает вычислительных сил человека – нужно использовать компьютеры. Таким образом, в своем уме мы создаем объекты, которые похожи на реальный мир, но не совсем. Это как реальный самолет и модель самолета. В целом, ни одна наша модель не описывает мир на 100 процентов.

У науки есть такое замечательное свойство, как верифицируемость. Проще говоря, если кто-то сделал какой-нибудь опыт или провел исследование, вы спокойно можете повторить и проверить результаты. Таким образом, обеспечивается рост или падение авторитета ученых или научных групп, поскольку во многих случаях достаточно легко поймать людей на фальсификации. С другой стороны, это свойство заставляет ученых быть максимально открытыми и описывать свои исследования подробно. Если вы читаете о каком-то устройстве и в тексте не объясняются даже базовые принципы его работы, то это, скорее всего, лженакуна. Конечно, тут есть исключения, например, очень трудно в любой лаборатории мира повторить опыт на большом адронном коллайдере. В этом случае стоит опираться на то, что в таких проектах работает большое количество людей, и если что-то происходит не так, то достаточно легко передать эту ситуацию гласности.

Следующая особенность науки, которая плавно вытекает из предыдущей, это фальсифицируемость. По сути, это право каждого человека усомниться в результатах отдельных научных исследований и целых теорий и привести свои контрдоводы. Этот аспект отличает науку, например, от религии, где догматы и положения священных текстов считаются неоспоримыми. Фактически фальсифицируемость приводит к тому, что периодически в науке происходит отрицание старой теории и выработка новой. Такой процесс философ Томас Кун назвал научной революцией [1]. Яркий пример – эволюция представлений людей о свете: Ньютона и многие его последователи считали, что свет – это поток частиц. В XIX веке победила точка зрения, что свет – это волна, а с разработкой квантовой механики общепризнанным стал корпускулярно-волновой дуализм, то есть одновременное сосуществование обеих теорий.

И последнее, может быть, самое главное с практической точки зрения, свойство науки – это наличие предсказательной силы. То есть на основе имеющихся у нас законов и данных мы можем сконструировать новые приборы, химические вещества, методы лечения и другие объекты, которых пока не существует в реальности или они не открыты.

Как же происходит построение научного знания. Предположим, у нас есть некоторые факты из реальной жизни, и мы подозреваем, что все они каким-либо образом связаны. Мы пытаемся их обобщить и объяснить, как они происходят, и формулируем одну или несколько гипотез. Затем появляются новые факты, которые одну из гипотез подтверждают, а остальные опровергают, и, когда большинство учёных это признают, эта гипотеза становится полновесной научной теорией. При этом данная теория занимает свое место в общеначальной системе, она должна согласовываться с другими имеющимися теориями и принципами данной конкретной науки и научного подхода в целом. Иногда бывает, что теории вступают в противоречие друг с другом, при этом происходит пересмотр одной или нескольких теорий. Как мы уже говорили, это называется научной революцией. После того как теория заняла свое место в системе научных знаний, она должна предположить существования каких-то новых, еще не изученных фактов. Если они подтверждаются, тогда теория окончательно закрепляет свое положение.

Итак: каков был путь развития науки? Если мы рассматриваем науку в широком смысле слова (как любую деятельность по выработке знаний), то фактически она началась с появлением человека разумного, когда он стал использовать первые орудия и обрабатывать их. При этом происходили все нужные нам процессы: накопление знаний, их изменение, передача следующему поколению. В этом смысле наукой в настоящее время занимается не только человек, но и многие животные, например, попугаи, которые используют рычаги для открытия мусорных бачков в поисках еды.

Появление науки в принятом нам смысле связано с древнегреческими философами. С их деятельностью вспоминается появление формальной логики, математического аппарата, например, геометрии (описания мира с помощью моделей), появление свободного обмена научными знаниями, в том числе научные школы.

После расцвета науки в древнем мире, как вы знаете из курса истории, был период средневековья, который характеризуется упадком научной мысли и ее локализацией на территории монастырей. Сле-

дующим же важным этапом в развитии науки стала эпоха Возрождения и Новое время. Главным отличием от предыдущих периодов стоит выделить появление чисто научных приборов, например, телескопа и микроскопа. Это достаточно сложные и дорогие в производстве предметы, но не направленные на конкретные практические результаты, которые можно назвать предшественниками коллайдера и фундаментальной науки.

Дальше мы подходим к самому, наверное, важному этапу развития науки – промышленной революции. В этот период сформировались основные черты и институты, которыми обладает современная наука. Произошло формирование сообществ ученых (лаборатории, академии и т.д.). В этот момент ученый стал считаться профессионалом, то есть получать за свою работу зарплату. Напомню: Исаак Ньютона был членом английского парламента и главой монетного двора и получал деньги за это, а наукой занимался уже на досуге. В это время возникают и активно развиваются международные научные связи, появляются журналы, проводятся конференции и симпозиумы.

И самым, на мой взгляд, важным процессом является формирование институтов прикладной и фундаментальной науки и связей между ними. Напомню, что фундаментальная наука ставит своей задачей поиск ответов об общих законах функционирования мира без нацеленности на конкретный результат. Например, изучение черных дыр в конкретный момент вообще бесполезно с точки зрения рядового обывателя. Прикладная наука как раз нацелена на получение конкретного результата или технологии. Особенность развития науки с этого периода как раз и касалась этой связи. При этом конкретные фундаментальные исследования уже при жизни одного или двух поколений стали приносить вполне конкретные результаты. Приведем несколько примеров.

В 1865 году Джеймс Кларк Максвелл обобщил все имеющиеся на тот момент знания по электричеству и магнетизму и написал свои знаменитые уравнения. Эти уравнения предсказывали существование взаимных колебаний электрического и магнитного поля, распространяющихся со скоростью света – то, что сейчас мы называем электромагнитные волны. Примерно через двадцать лет Рудольф Герц впервые экспериментально обнаружил радиоволны, а в 1895 году Попов и Маркони сделали первые варианты радио, то есть конкретного научного прибора, который был основан на этих принципах и который можно было использовать не только для научных целей.

Следующий пример из области химии. В этом году мы отмечаем 150 лет периодическому закону, который сформулировал Д.И. Менделеев. Когда он опубликовал свой первый вариант таблицы, в ней было достаточно много пустых мест с теми элементами, которые к тому времени еще не были открыты. При этом Менделеев на основе периодического закона предсказал свойства этих элементов. Через несколько лет появился элемент, который был назван германием, и он тут же заполнил одну из пустующих клеток. Сейчас германий активно используется во многих приборах, так как является полупроводником. Еще через 30 лет был открыт неон, который активно используется в различных вывесках, осветительных приборах и не только. К настоящему времени известно больше элементов, чем было известно во времена Менделеева.

Следующая цепочка открытий связана с медициной. Луи Пастер, кроме анонсирования пастеризации, был исследователем вирусов. На основе его работ Робертом Кохом была выделена палочка – возбудитель туберкулеза. Эти работы показали, что для поиска лечения болезни не обязательно давать лекарство самому пациенту, а можно воздействовать на саму культуру разными веществами. Так были получены первые эффективные методы борьбы против туберкулеза.

Таким образом, можно отметить основные черты, которые касаются современного развития науки. Первая мысль связана с тем, что после больших побед науки в XIX и XX веке правительства, ведомства и компании уверовали в большую пользу науки и стали хорошо финансировать не только прикладные, но и фундаментальные исследования. Один из примеров – это большой адронный коллайдер. Задумайтесь: как работает коллайдер, зачем он вообще нужен и зачем он нужен с практической точки зрения? Стоимость его исчисляется многими миллиардами долларов, а польза с точки зрения сегодняшнего момента не очевидна. Но такие работы продолжают финансироваться, поскольку прекрасны известны примеры, когда бесполезная на первый взгляд теория в будущем использовалась при создании реальных инструментов для службы человечеству.

Другой пример – это пресловутые британские ученые, над которыми мы все любим смеяться. Дело в том, что в Англии достаточно широкая сеть различных грантов и других форм поддержки исследователей. Там можно получить деньги на абсолютно дурацкое занятие, которое потом долго будет муссироваться в СМИ. Делается это пото-

му, что чем больше выделяется денег и шире спектр работ, тем больше потенциально полезных исследований будет поддержано.

Следующая особенность современной науки состоит в том, что наука, как никакая другая сфера деятельности (может быть еще ИТ и шоу-бизнес), интернациональна. Это касается относительно свободной миграции ученых и обмена научными знаниями. Все понимают, что свободный обмен идеями взаимовыгоден для всех сторон, поэтому во многих странах, в том числе и в России существуют программы мобильности или, наоборот, поддержки привлечения ученых из других стран. Во-вторых, современная наука дорога и часто требует большого количества разнообразных специалистов, поэтому большинство крупных научных проектов интернациональны. Например, интерферометр LIGO, на котором были обнаружены гравитационные волны, входит в коллаборацию, состоящую из нескольких аналогичных установок по всему миру [2]. Одна страна часто не может потянуть подобный проект ни финансово, ни по, так сказать, объему мозгов.

Еще один тренд в современной науке связан со следующим противоречием. Во времена Ньютона все научные знания можно было изложить в виде десятка учебников. В настоящее время, чтобы разобраться в достаточно конкретной и узкой области, нужно прочитать не только ряд умных книг, но и несколько десятков, а лучше сотен статей, которые опубликовали различные научные группы по всему миру. То есть ученый становится узкоспециализированным работником. С другой стороны, многие нужные и интересные исследования в настоящее время лежат на стыке наук, например, биофизика и биохимия. Чтобы заниматься этими темами, нужно обладать достаточно широкой эрудицией. Таким образом, ученый должен пропускать через себя очень большие потоки информации, как, впрочем, и любой современный человек.

Давайте теперь поговорим о науке в Нижнем Новгороде. Науку в настоящее время можно условно разделить на фундаментальную и прикладную. За фундаментальную науку у нас отвечают институты РАН, и в этом смысле наш город в основном естественнонаучный [3]. Среди гуманитарных институтов действует только один филиал Института социологии, тот не очень большой по количеству сотрудников. Наука прикладная, в основном, сосредоточена в так называемых отраслевых институтах (НИИ) и конструкторских бюро (КБ). Различие между ними весьма расплывчено, и отдельные подразделения НИИ могут заниматься конструкторскими работами или подразделения КБ могут заниматься исследованиями. Если говорить стро-

го, то НИИ занимаются исследованиями по конкретной тематике, то есть теоретической или экспериментальной работой, а КБ разрабатывают и конструируют конкретные установки или их узлы. Классический пример КБ – это ОКБМ им. И.И. Африканова, где занимаются атомными установками и их отдельными частями и есть мощная производственная база. Пример НИИ – это Нижегородский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени академика И.Н. Блохиной.

И, конечно, наука активно развивается в многочисленных вузах Нижнего Новгорода. С одной стороны, в вузах проводится достаточно большое количество самостоятельных научных исследований. С другой стороны, вузы являются поставщиками кадров для научных институтов и предприятий, и между ними бывает очень тесная связь (различные целевые программы, базовые кафедры, практики и так далее). При этом сами учреждения могут иметь научные связи на всех уровнях. К примеру, часть грантов, которые мои коллеги выиграли за последнее время, подразумевает коллаборацию с другими вузами и институтами, как в Нижнем Новгороде, так и в других городах. В этом смысле схема научных связей отдельных исследователей, групп и учреждений друг с другом весьма сложна и многомерна.

В заключении я хочу сказать: чего бы мы с вами не коснулись, – это продукт науки. Одежда, еда, инструменты, транспорт и многое другое. Наука не только повышает наше качество жизни, но и существенно продлевает ее.

Литература

1. Кун Т. Структура научных революций. – М.: АСТ, 2009. – 310 с.
2. LIGO Scientific Collaboration [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ligo.org/about.php>
3. Нижегородский научный центр РАН [Электронный ресурс]. URL: <http://nnicras.ru>

Очарование науки



Удивительные научные явления вокруг нас



«Магия звезд»



«Первая экспедиция»

Слетова Екатерина Александровна
10 класс, Школа № 154, Нижний Новгород



Коковин Даниил Александрович
8 класс, Школа № 102, Нижний Новгород
«Steampunk»



Косолапова Алиса Вадимовна
1 курс ВШЭ НН, Нижний Новгород
«Колыбель Ньютона»

*Тур кавказский
(подвид Кубанский, или за-
паднокавказский)*

Запечатлен выход альфа-самца в период линьки. Так как в горной части тепло приходит позже, то и смена «одежды» идет с опозданием. Включен в Красную книгу МСОП, охраняемый вид. Место съемки: Кабардино-Балкарский высокогорный заповедник, ущелье Черек-Безенгийский, высота 2500 м.н.у.



*Представители Моховидных
в зимний период*

Несмотря на перепады температуры и почти экстремальные условия погоды остаются живыми (активными). Более того, у них не прекращается процесс спорообразования... Наличие воды является необходимым условием для размножения и развития. Место съемки: область слияния рек Лахумедон и Хазнидон, на границе с РСО-Алания.

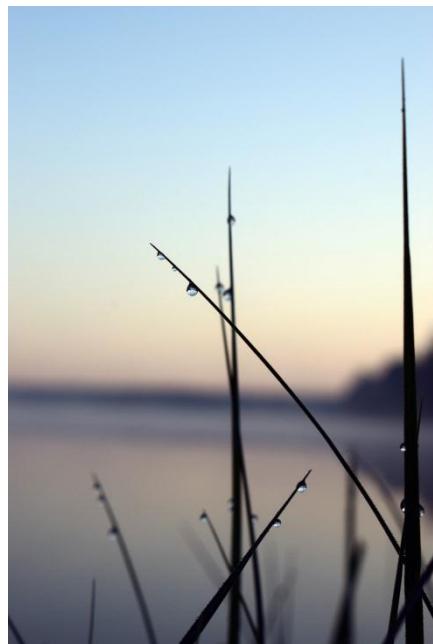


Гузиев Хусейн Юсупович

заведующий отделом естественных наук ГКУ ДО «Эколого-биологический центр», г. Нальчик, кандидат биологических наук

серия фотографий «Сила жизни...»

Кабардино-Балкарская республика, 19. 07.2018.



Валькова Юлия Львовна
11 класс, Шкоола № 17, г. Дзержинск,
Нижегородская область
серия фотографий «Утро»
снимок с натуры г. Дзержинск
Нижегородской области,
25.06.2018.



Шагалова Анна Андреевна
8 класс, Лицей № 40, Нижний Новгород
«Фигуры Хладни» (фотография)
ИПФ РАН. 17.02.19

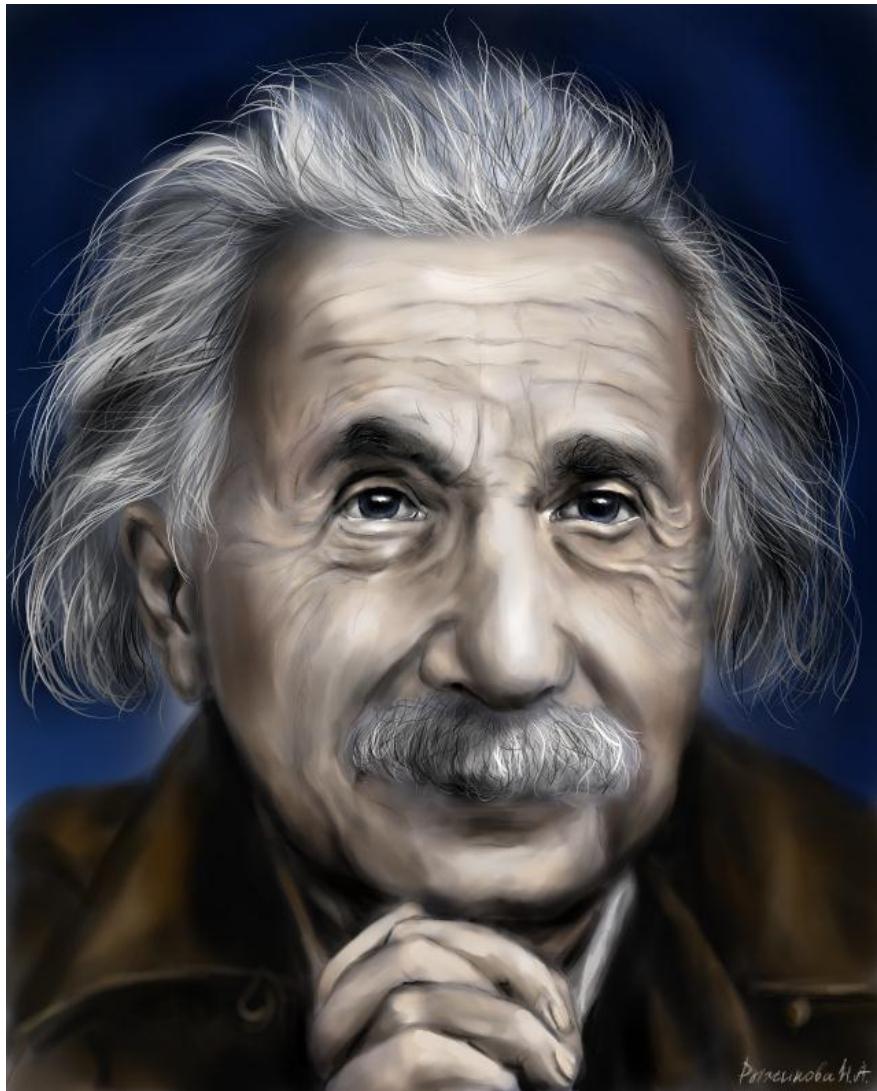


Говоркова Татьяна
7 класс, Смирновская СШ, с. Смирново
Шатковского р-на Нижегородской области
«Необычная радуга – дуга» (фотография)
Место съемки – Шатковский лес



**Михеева
Ирина
Валентиновна**
Смирновская
СШ, с. Смирново
Шатковского р-на
Нижегородской
области
**«Солнышко
лучистое»**
(фотография)
Место съемки –
Шатковский лес

Юные исследователи и их наставники



Рыжикова Наталья Алексеевна
10 класс, Сосновская СШ № 1, п. Сосновское Нижегородской области
«Портрет А. Эйнштейна»

Научно-техническое творчество



Смирнова Ирина Владимировна
7 класс, Уренская СОШ № 2, Уренский район Нижегородской области
«Удивительный мир компьютера»



Петрова Татьяна Игоревна
5 курс, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ), Нижний Новгород
«Рождение Науки»

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
НАУЧНОЕ РУКОВОДСТВО КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	
Лапин Н.И. STEM – нужен ли данный предмет в школьном курсе?	13
Ермилин А.И., Ермилина Е.В. Экспертиза в дополнительном научном образовании	19
ФИЗИКА	
Быкова В.А., Новиков М.А. Лазерный фотоэлектрический эллипсометр.	30
Быстров С.А., Климин А.О. Создание лабораторного стенда: двухпроходной интерферометр Жамена-Лебедева	35
Дмитриева О.Ю., Гунбина А.А. Исследование уровня электромагнитного излучения мобильных телекоммуникационных устройств	39
Заблоцкий А.В., Ионова О.С. Капли Руперта. Загадка, пронесенная через века....	44
Иванов А.В., Иванов В.В. Вращение поляризации и деполяризация света в рассеивающих оптически активных средах	48
Казанцев Г.В., Ревин Л.С. Исследование особенностей формирования проволочных соединений ультразвуковой сварки для задач микроэлектроники	53
Копьева А.О., Рябкова М.С. Исследование возбуждения волн на поверхности воды каплями дождя	56
Кочаровский Д.В., Афанасьев А.В. Исследование распространения коротких лазерных импульсов в различных средах	60
Лебедева Е.И., Кузнецов О.Ю. Исследование параметрического резонанса в системе комбинированных маятников	65
Марьевичев Н.Е., Никифорова И.Е. Создание модели захвата робототехнического комплекса с новой технологией очувствления	68
Розенталь С.Р., Морозкин М.В. Создание соленоида с длинным участком однородного магнитного поля	71
Сполохов Д.Р., Чалова А.В. Изучение свойств замерзающей воды и проектирование устойчивой к разрывам трубы	75
Шагалов Н.А., Романов А.А. Разработка бесконтактной системы контроля положения левитирующих тел в пространстве	78
Шагалова А.А., Собгайды Д.А. Определение дисперсии ультразвука в различных материалах.....	84
Яковлев М.И., Кузьмин И.В. Исследование прозрачных объектов с помощью эффекта Тальбота	89
ТЕХНИКА	
Збруев Д.А., Еделев А.Ю. Универсальный многоцелевой беспилотный аппарат .	94

АСТРОНОМИЯ

- Домбек Е.М., Землянуха П.М.* Получение спектра звёзд и его обработка..... 100
Золотавин М.А., Лапинов А.В. Исследование мазеров SiO при помощи 20-
метрового радиотелескопа в Онсала 104
Калинин Д.Д., Алексеев Р.А. Изучение спектров молекул межзвёздной среды... 108

ХИМИЯ

- Аристархова Д.В., Гущин А.В.* Подтверждение образования фенильных ра-
дикалов при фотораспаде металлорганических соединений висмута мето-
дом полимеризации метилметакрилата 112
Журилова Д.С., Гусева Е.Г. Под слоем времени. Очистка медной иконы и
серебряных украшений 116
Задорожный Е.М., Мосягин П.В. Микрокристаллоскопический анализ фар-
мацевтических препаратов 118
Кипелкин Е.В., Малеева А.И. Применение метакрилата тетрафенилсурымы в
реакции С-фенилирования метилакрилата в присутствии каталитических
количество ацетата палладия 121
Комиссарова А.В., Гусева Е.Г. Титриметрическое определение концентрации
пероксида водорода в лекарственных формах разных производителей 125
Мирзаева С.Э., Зейналова С.З. Биоразлагаемые сорбенты ионов металлов на
основе крахмала, хитозана и акриламида 128
Пряжникова М.И., Кузнецова Ю.Л. Синтез биодеградируемого привитого
сополимера коллагена и полиметилметакрилата 131
Рындык М.П., Икренникова Г.В. Повышение эффективности рационального
использования природных полимеров путём получения биоразлагаемых
материалов 136
Струев Н.И., Икренникова Г.В. Перегонка нефти при атмосферном, пони-
женном давлении и паровым способом 141
Сухоручкин Д.А., Гусева Е.Г. Определение флавоноидов в лекарственных
растениях в условиях школьной химической лаборатории 144
Тарасова К.А., Буланова С.А. Исследование миграции эфиров фталевой
кислоты из полимерных материалов 147
Терехов М.П., Сироткин Р.Г. Оценка эффективности применения фильтров
кувшинного типа для очистки водопроводной воды 152
Якубов А.З., Мосягин П.В. Исследование концентрирования ионов металлов
из воды с помощью жидкокфазной микроэкстракции 156

БИОФИЗИКА И БИОЛОГИЯ

- Андреянова А.А., Ларионова В.Б.* Как распознать подлинность коровьего молока 162
Аргентовский М.М., Карпенко Т.Ф. К вопросу о внедрении сбалансированного
по каротину рациона питания молодняка крупного рогатого скота 165

<i>Ардакова К.М., Берданова Е.И.</i> Организация эффективной и безопасной акклиматизации в условиях особо охраняемой территории «Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник»	169
<i>Бетрозова С.М., Карпенко Т.Ф.</i> Экологическое состояние пойменных почв высокогорья Кабардино-Балкарской республики	174
<i>Загородников Н.В., Сороко С.С.</i> Исследование ответа опухолевых клеток на фотодинамическое воздействие с порфиразином в зависимости от дозы облучения	179
<i>Захарова Д.Д., Дьякова Д.В.</i> Исследование эффективности загрузки липосом фотосенсибилизатором порфиразинового ряда	183
<i>Козлова Е.А., Гринберг М.А.</i> Анализ модификации параметров сигналов проростков табака (<i>Nicotiana benthamiana</i>) в условиях сочетанного действия биотических и абиотических факторов среди	187
<i>Кулиева Т.Д., Берданова Е.И.</i> Использование данных о грозовой активности при мониторинге лесных пожаров на особо охраняемых территориях Кабардино-Балкарской республики	190
<i>Панюшина А.А., Матюшина М.А.</i> Влияние продолжительности сна на активность психических процессов у школьников	194
<i>Пряжникова М.И., Мосягина А.Р.</i> Исследование биоразнообразия насекомых в окрестностях поселка Рустай	198
<i>Пузиков Е.С., Доронина А.В.</i> Исследование чистоты воздуха по фенотипическим изменениям листьев клена ясенелистного	202
<i>Пищихачев И.Х., Моллаева А.Б.</i> Биосистематика бриофитов Хазнидонского ущелья Кабардино-Балкарской республики	205
<i>Фомин П.Е., Дьякова Д.В.</i> Исследование стабильности липосом загруженных фотосенсибилизатором порфиразинового ряда	208
<i>Чабдарова В.Ю., Циканова М.Х.</i> Применение функциональных проб и таблиц для изучения уровня физической и умственной работоспособности обучающихся	211
<i>Шаваева А.М., Моллаева А.Б.</i> Биосистематика диатомовых водорослей (<i>Bacillariophyta</i>) национального парка «Приэльбрусье»	217
<i>Шакирский И.О., Савчук Л.В.</i> Исследование влияния антистрессовых гаджетов на функциональное состояние человека	218
ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА И МАТЕМАТИКА	
<i>Жаворонков И.Ю., Сысоев А.А.</i> Численное моделирование внутриоблачного молниевого разряда	224
<i>Червяков В.О., Зуев А.С.</i> Универсальный многоцелевой беспилотный аппарат	229
НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ	
<i>Марлан Скалли.</i> Наука = жизнь	237
<i>Фокин А.П.</i> О поступлении на ВШОПФ, гиротронах и проекте РНФ	241

ЛЕКЦИИ НИЖЕГОРОДСКИХ УЧЕНЫХ

- Вдовин В.Ф., Гунбина А.А., Дмитриева О.Ю.* Разработка инструментов для астрономических исследований в терагерцовом диапазоне частот 246
Седов А.С. Краткая история науки 254

ОЧАРОВАНИЕ НАУКИ

- Удивительные научные явления вокруг нас 262
Исследователи и их наставники 266
Научно-техническое творчество 267

Научное издание

Школа юного исследователя

Сборник исследовательских работ учащихся

Выпуск 12

Подписано в печать 23.12.19. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 15,81. Тираж 500 экз. Заказ № 1128.

Издание и печать «**Издательский салон**» ИП Гладкова О.В.
603022, Нижний Новгород, Окский съезд, 2, оф. 227
тел./факс: (831) 439-45-11; тел.: (831) 416-01-02

ISBN 978-5-93530-513-0



A standard linear barcode representing the ISBN number 9785935305130.

9 785935 305130