

Школа юного исследователя

Сборник
исследовательских работ учащихся

Выпуск 7

Нижний Новгород
2014

УДК 371
ББК 74.200я43
Ш67

Ш67 **Школа юного исследователя:** сборник исследовательских работ учащихся — Н. Новгород: Гладкова О.В., 2014. — ISBN 978-5-93530-289-4.
Вып. 7 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной. — 204с.
ISBN 978-5-93530-422-5.

Под общевой редакцией
канд. пед. наук
А.И. Ермилина,
канд. пед. наук
Е.В. Ермилиной

e-mail: ermilin-aleksandr@mail.ru

Р е ц е н з е н т ы :

доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева *В.Ф. Вдовин*,
доктор биолог. наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН *Т.А. Яхно*,
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН *А.М. Рейман*,
канд. хим. наук, старший преподаватель ННГУ им. Н.И. Лобачевского *Е.В. Елиашева*

Рисунки *Н.В. Морозова*

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся – призеров I региональной естественнонаучной конференции школьников «Школа юного исследователя» (IX итоговой конференции школьников «В мире знаний»), прошедшей в апреле 2014 года в ИПФ РАН.

ISBN 978-5-93530-422-5 (вып.7)
ISBN 978-5-93530-289-4

© Нижегородский научный центр РАН, 2014
© Оформление. ИП Гладкова, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научное объединение «Школа юного исследователя» является продолжением традиции непрерывного образования, система которого выстраивается в Институте прикладной физики РАН (ИПФ РАН) с 1988 года с проведения первой летней физико-математической школы для старшеклассников. Совместно с Летними исследовательскими сменами (ЛИС) на базе детского образовательно-оздоровительного лагеря им. Н.С. Талалушкина и естественнонаучной конференцией школьников ШЮИ образует заключенный круглогодичный цикл работы с детьми в сфере дополнительного научного образования. Целью этой деятельности является утверждение приоритета научного мировоззрения, популяризация интеллектуальной деятельности в среде школьников, выявление и поддержка детей, имеющих склонность к научному творчеству. Эти идеи нашли воплощение в разработанной в ИПФ РАН программе дополнительного научного образования школьников «В мире знаний» (авторы А.И. Ермилин, Е.В. Ермилина, 2003 год). В основу программы заложена идея воспитания новых научных кадров через развитие исследовательской деятельности учащихся. Все мероприятия программы направлены на инициацию активного участия школьников в научной жизни в доступных для них формах: работа над научным проектом, лекции ведущих ученых, научные кружки и семинары, участие в конференциях, публикация результатов исследовательской деятельности. В 2008 году программа стала победителем городского конкурса в номинации «Лучшая программа загородного лагеря», а в 2009 году завоевала гран-при Всероссийского конкурса программ и научно-методических разработок «Наука и практика обеспечения детского и молодежного отдыха» за программное, научно-методическое и информационное обеспечение научного образования школьников в сфере дополнительного образования. В 2013 году программа прошла экспертизу в Нижегородском институте развития образования и была рекомендована к использованию в образовательном процессе.

Завершает годичный цикл работы, подводит итоги естественно-научная конференция с аналогичным научному объединению названием – Школа юного исследователя. Она организуется и проводится Нижегородским научным центром Российской академии наук (ННЦ РАН) с 2006 года на базе Научно-образовательного комплекса Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Это один из

этапов обучения юных исследователей, который стимулирует на активную самостоятельную интеллектуальную деятельность, дает возможность предъявить результат работы, испытать радость публикации и экспертизы своих идей, что крайне важно для становления будущего ученого. Конференции способствуют развитию искусства ведения дискуссии, навыков публичного выступления. По существу, научные конференции задают для школьников особое интеллектуальное пространство, в котором ценится умение ставить самостоятельные интеллектуальные задачи, лично значимые для юного исследователя и для других, но позволяющие, тем не менее, получать интересные результаты. В этом пространстве ценится умение находить наиболее значимые и порой крайне редкие источники информации, кропотливо работать с ними в течение продолжительного времени, умение представлять и защищать полученный результат. При этом школьники имеют возможность интеллектуальной работы как в небольших исследовательских коллективах (исследователь – научный руководитель), так и в «больших проектах». Получаемые в такой деятельности навыки сотрудничества и кооперации признаны в мире как важнейшие навыки человека наступившего нового века. Таким образом, научные конференции являются современной формой дополнительного образования, базирующейся на исследовательской деятельности, а поскольку не существует стабильных периодических изданий, в которых школьники могли бы опубликовать результаты своих исследований, конференции – единственная форма существования научного сообщества школьников.

В 2014 году при поддержке Фонда Дмитрия Зимина «Династия» конференция «Школа юного исследователя» приобрела статус региональной естественнонаучной молодежной конференции. В оргкомитет конференции было подано 122 исследовательские заявки. С докладами на конференции выступили 65 школьников из городов Нижний Новгород, Балахна, Сергач, Бор, Арзамас, Павлово, Заволжье, села Сеченово и поселка Сосновское Нижегородской области. В работе конференции приняли участие 53 научных руководителя школьников из ИПФ РАН, ИФМ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, НГПУ им. К. Минина, школ Нижегородской области.

Только в реальных условиях исследовательской лаборатории школьник может познакомиться с работой ученого, исследователя и осознанно сделать выбор в пользу данной профессии. Опыт собственной учебно-исследовательской и научной работы является не-

обходимым условием для успешного освоения данной профессии в период обучения. Особенностью конференции стало проведение учебного этапа в дни весенних школьных каникул. На пять дней Институт прикладной физики открыл свои двери для школьников и учителей города и области. Для ребят читали лекции ведущие научные института. Реальные условия, в которых проходит деятельность ученого, подростки смогли увидеть во время экскурсий в лаборатории. Школьники познакомились с разработками сверхвысокочувствительных систем для радиоастрономии и космических миссий, узнали секреты выращивания искусственных алмазов, побывали на уникальном комплексе для получения высокочастотной плазмы «Крот», узнали, как разрабатываются мощные современные источники электромагнитного излучения, создаются сверхмощные фемтосекундные лазеры, что такое молекулярная газовая спектроскопия и как осуществляют планетарное и межзвездное дистанционное зондирование. Выражаем огромную благодарность научным сотрудникам ИПФ РАН, принявшим ребят в лабораториях института и приоткрывшим для них секреты научной работы – к.ф.-м.н., заведующему отделом М.Ю. Третьякову, д.ф.-м.н., заведующему лабораторией М.Ю. Глявину, к.ф.-м.н., старшему научному сотруднику А.М. Горбачеву, к.т.н., научному сотруднику ИПФ РАН, начальнику стенда «Крот» А.В. Стриковскому, к.ф.-м.н., научному сотруднику ИПФ РАН С.Ю. Миронову, научному сотруднику ИПФ РАН С.Ю. Дрягину и инженеру научно-исследовательской лаборатории криогенной наноэлектроники НГТУ им. Р.Е. Алексеева И.В. Леснову.

Знакомство с жизнью большого научного коллектива исследовательского института сопровождалось учебными занятиями, которые вели педагоги Школы юного исследователя. А.М. Рейман – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник ИПФ РАН, председатель Научного комитета Приволжского конкурса РОСТ-ISEF – провел для школьников семинар «Как сделать успешный проект: рецепт для школьника». Ребята участвовали в практических занятиях «Как оформить и представить исследовательскую работу?», «Графические программные пакеты: обработка результатов исследования», «Искусство публичного выступления» (Е.В. Ермилина, Л.Н. Кузьминых, Н.А. Мухин). На практических семинарских занятиях перед ребятами и педагогами школ выступили ученики ШЮИ. Интересную научно-техническую работу, выполняемую в течение четырех лет в ШЮИ на базе лаборатории ИПФ РАН, представил Всеволод Фомин (11 класс) – победитель Приволжского научно-технического конкурса «РОСТ», участ-

ник команды ISEF-2014 (Лос-Анджелес, Калифорния, США, май 2014 год). Работу по психофизиологии представила Милита Кочаровская (10 кл.) – обладатель Диплома American Psychological Association. О своей первой исследовательской работе рассказала Анастасия Воскобойникова (10 кл.). Ребята говорили не только о результатах исследований, но и о процессе подготовки и выполнения работы. Школьники и педагоги, преподаватели ШЮИ и научные сотрудники НИИ обсудили проблемы, возникающие у юного исследователя и его научного руководителя при поиске темы исследования и при участии в различных научных конкурсах.

В течение всех весенних каникул и периода, предшествовавшего конференции, эксперты и педагоги ШЮИ вели консультации ребят по подготовке к выступлению. Это был большой трехнедельный труд. Ребята приезжали к педагогам ШЮИ на консультации в ИПФ РАН, вели вместе с ними и своими научными руководителями – учителями школ активную интернет-переписку. Выражаем искреннюю признательность за этот огромный труд педагогам ШЮИ, консультировавших участников конференции, – к.б.н., ст.н.с. ФГБУ «ННИИТО» М.Г. Воловику, к.х.н., сотруднику ННГУ им. Н.И. Лобачевского А.А. Ереминой, к.ф.-м.н., доценту НГПУ им. К. Минина, заведующему научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария Н.И. Лапину и к.ф.-м.н., н.с. ИПФ РАН П.А. Шилягину.

Большую организационную работу по подготовке и проведению региональной конференции выполнил оргкомитет конференции: В.Ф. Вдовин – ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, д.ф.-м.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, В.В. Кочаровский – ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., А.И. Малеханов – ведущий научный сотрудник, заместитель руководителя Отделения геофизических исследований по научной работе ИПФ РАН, к.ф.-м.н., А.М. Рейман – старший научный сотрудник ИПФ РАН, к.ф.-м.н., Е.А. Хазанов – заместитель директора, руководитель Отделения нелинейной динамики и оптики, зав. отделом нелинейной и лазерной физики, член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н.

Финалом этой деятельности стало представление школьниками докладов на конференции, состоявшейся в апреле 2014 года. На конференции были открыты шесть секций: физика и астрофизика, химия, биофизика, прикладная математика и информатика. Работы ребят заслушивало научное жюри в составе: Запевалов В.Е., д.ф.-м.н., профессор, зав. лаборатории ИПФ РАН; Капустин И.А., к.ф.-м.н., н.с. ИПФ РАН; Кочаровская Е.Р., к.ф.-м.н., с.н.с. ИПФ РАН; Лапинов А.В.,

д.ф.-м.н., зав. лаб. ИПФ РАН, председатель Нижегородского регионального отделения общества «Знание»; Кукушкин В.А., д.ф.-м.н., с.н.с. ИПФ РАН; Малкин А.М., к.ф.-м.н., н.с. ИПФ РАН; Минеев К.В., м.н.с. ИПФ РАН; Овсянников Р.И., к.ф.-м.н., н.с. ИПФ РАН; Оладышкин И.В., лаборант-исследователь ИПФ РАН; Парин С.Б., д.б.н., профессор, зав. лаб. ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ст.н.с. ЦНИЛ НижГМА, Почетный работник высшего профессионального образования РФ; Пискунов А.В., д.х.н., в.н.с. ИМХ РАН; Полевая С.А., д.б.н., зав. отделом нейрофизиологии НГМА; Рейман А.М., к.ф.-м.н., с.н.с. ИПФ РАН; Родченков В.И., д.х.н., в.н.с. ИПФ РАН; Семенов В.В., д.х.н., в.н.с. ИМХ РАН; Серов Е.А., м.н.с. ИПФ РАН; Стукачев С.Е., м.н.с. ИПФ РАН; Фильченков С.Е., к.ф.-м.н., н.с. ИПФ РАН; Яковлев И.В., к.ф.-м.н., с.н.с. ИПФ РАН; Яхно Т.А., д.б.н., с.н.с. ИПФ РАН. Лучшие доклады участников конференции представлены в данном сборнике.

Научная конференция школьников образует особое сообщество, обладающее притягательной силой и притягательными возможностями. Как самостоятельная форма организации дополнительного научного образования школьников она соединяет игровую и интеллектуальную деятельность, свободу творчества и строгость формальных требований, добровольность участия и необходимость сотрудничества. Участие в конференции не означает окончания исследовательской работы: любая конференция – это этап в работе, который помогает оценить правильность выводов и скорректировать работу с учетом поправок и рекомендаций квалифицированного жюри.

Прошедшая региональная естественнонаучная конференция школьников выявила большую заинтересованность в сотрудничестве, методическом сопровождении деятельности и возможности использования интеллектуальных и технических ресурсов Нижегородского научного центра РАН педагогами области в работе с одаренными школьниками. В то же время введение в учебные планы общеобразовательных школ исследовательской составляющей на практике часто ведет к преобладанию массовости над качеством. Надеемся, что эта конференция откроет новую страницу в дополнительном научном образовании школьников региона. Она показала необходимость создания регионального информационного, методического и ресурсного центра для развития исследовательской деятельности учащихся Нижегородского региона, объединения разрозненных усилий педагогов. Повысить качество работы с интеллектуально одаренными детьми, позволить на практике реализовать научные идеи молодых людей и

представить их научному сообществу может создание молодежного исследовательского центра, концентрирующего современную лабораторно-техническую и кадровую базу региона. На наш взгляд, при соответствующем оснащении таким центром вполне может стать Научно-образовательный комплекс ИПФ РАН.

Данный сборник – результат работы коллектива увлеченных людей. Это авторы статей – школьники, участники региональной конференции, их научные руководители, педагоги ШЮИ, члены жюри, эксперты и рецензенты. Статьи, представленные в сборнике, разноплановые, это и итог работы нескольких лет, и совсем свежие работы, выполнение в прошедшем учебном году. Есть среди них учебные исследования и научные работы, имеющие крупицы нового знания. Есть работы, получившие признание на всероссийских и международных конкурсах, и есть работы, представляемые впервые. Есть работы, выполненные маленьким исследовательским коллективом, в котором только два участника – школьник и его научный руководитель, а есть работы, выполненные большим коллективом исследовательской лаборатории, самостоятельным и активным членом которого стал школьник.

Интересно просматривать сборники ШЮИ прошлых лет. Часто можно видеть, как одна и та же тема развивается на протяжении нескольких лет, усложняется, в ней появляются новые идеи, направления исследования, и в конечном итоге она из учебно-исследовательской становится научной работой учащегося. Можно проследить, и как меняются со временем интересы учеников ШЮИ, как происходит поиск темы исследования.

Выражаем огромную благодарность педагогам, руководителям школьников, научным сотрудникам академических институтов и вузов, принимавшим участие в той большой работе, итогом которой стал данный сборник. Поднятые в ходе конференции вопросы заставили нас более детально рассмотреть проблемы, встающие перед начинающими исследователями. Надеемся, что материалы данного сборника помогут школьниками и педагогам найти ответы на многие волнующие их вопросы. Желаем юным исследователям – участникам региональной естественнонаучной конференции «Школа юного исследователя» не останавливаться на достигнутом рубеже, ведь будущее науки – это их будущее.

*А.И. Ермилин,
кандидат пед. наук, зав. отделом ИПФ РАН*

*Е.В. Ермилина,
кандидат пед. наук, зам. зав. отделом ИПФ РАН*

Научное руководство как исследовательская деятельность



Познание начинается с удивления тому, что обыденно.

Платон (428 г. до н. э. – 348 г. до н. э),
древнегреческий философ

Я знаю, что он работает над безнадежной проблемой, но зато эта проблема его собственная, и если работа у него не выйдет, то она научит его самостоятельно мыслить и приведет к другой проблеме, которая уже будет иметь экспериментальное решение.

Эрнест Резерфорд (1871 – 1937),
британский физик, лауреат
Нобелевской премии по химии 1908 года

Великая проблема подобна драгоценному камню. Тысячи проходят мимо, пока, наконец, один не поднимет его.

Фридрих Ницше (1844 – 1900),
немецкий писатель и философ XIX века

Вам никогда не удастся создать мудрецов, если будете убивать в детях шалунов.

Жан-Жак Руссо (1712 – 1778)
французский писатель, философ

Школьник в науке и школьные конференции

Рейман Александр Михайлович
канд. физ.-мат. наук, старший научный
сотрудник ИПФ РАН,
председатель Научного комитета
Приволжского конкурса РОСТ-ISEF



Среди разнообразных форм привлечения школьников к продолжению образования в области точных и естественных наук, в значительной степени потерявшего свою привлекательность за последние десятилетия, пожалуй, наиболее важными представляются предметные олимпиады и научно-исследовательская деятельность. В настоящее время первая форма преобладает: победители и призеры различных олимпиад, как всероссийской, так и предметных олимпиад, проводимых ведущими вузами страны, получают преимущества при поступлении; администрации школ уделяют значительное внимание именно подготовке победителей и призеров, так как вышестоящие организации учитывают эти показатели при аттестации учебных заведений. Но так ли это хорошо?

Действительно, отбор лучших абитуриентов ведущими вузами страны решает многие задачи. Вузы получают сильных студентов, олимпиадники получают возможность выделиться из общей массы абитуриентов и поступить в вуз вне общего потока тех, кто иными способами получает высокие баллы на выпускных экзаменах. Переход к формату ЕГЭ лишь обострил конкуренцию между абитуриентами, никак не улучшив качество образования; не секрет, что во многих школах изучение предметов фактически заменено примитивным натаскиванием на сдачу ЕГЭ, и наличие даже сложных, почти олимпиадных заданий в КИМ не является залогом того, что высшие баллы получат наиболее сильные ученики. Для таких школьников и организованы олимпиады, где задания еще сложнее, зато они позволяют «отловить» умных детей в потоке «дрессированных».

Но ведь получением диплома о высшем образовании жизнь этих умных детей не заканчивается. Отечественная наука крайне нуждается в высококвалифицированных молодых сотрудниках. И вот здесь-то возникает вопрос: становятся ли бывшие замечательные олимпиадники выдающимися научными работниками? Ведь наука – это работа, и работа тяжелая.

Возможно, у кого-то имеется другая статистика, я же могу основываться лишь на собственных наблюдениях. А они показывают, что победители школьных олимпиад высокого уровня начинают в высшей школе выравниваться с бывшими крепкими середнячками, а впоследствии многие из этих середнячков становятся выдающимися исследователями и зачастую получают учёные степени и звания значительно раньше бывших блестящих олимпиадников. Что же происходит?

Я часто обсуждал этот вопрос с учителями, которые много лет готовят школьников к участию в олимпиадах разных уровней, а некоторые и сами являются организаторами олимпиад. И вот какое общее мнение у нас появилось. Олимпиадник, приступая к решению задачи, твердо знает, что эта задача непременно имеет решение. Составитель ее придумал, решил и сделал все возможное, чтобы эта задача не просто имела решение, а однозначное решение, иначе он не сможет дать рекомендации жюри по оцениванию решений. Наибольшее количество конфликтных ситуаций на олимпиадах возникает именно тогда, когда кто-то из участников предъявляет нестандартное и оригинальное решение задачи, которое «прозевало» жюри. А вот в научной работе все не так. Работник должен придумать задачу сам! Конечно, у молодого сотрудника есть руководитель, есть коллеги-сотрудники, но чаще всего задачу для себя он должен сформулировать сам. И совершенно не факт, что эта задача вообще имеет решение. Затем он должен придумать метод решения, а если речь идет об эксперименте, зачастую и создать экспериментальную установку. А еще он должен выполнить само исследование, проверить, правильно ли он его выполнил, да еще знать, что сделано вокруг: ведь «перелопатить» всю информацию, относящуюся к его области науки, крайне тяжело, ведь проблема новизны работы в науке не менее важна, чем в изобретательстве – никто не позволит молодому исследователю в сто первый раз изобретать велосипед.

Теперь сравните то, что перечислено выше, с решением задач на олимпиаде. Там нужно совсем другое мышление: надо за ограниченное время решить ограниченное число задач. Если же принять во внимание тот факт, хорошо знакомый всем, кто решал задачи всероссийских олимпиад, что число различных сюжетов столь же ограничено, как и в мировой литературе (один мой знакомый – олимпиадник 90-х – каждый год предсказывает, какие будут задачи, и очень редко ошибается), то оказывается очень полезно помнить

множество задач предыдущих лет, чтобы найти подобные. Вроде бы очень похоже на научную работу, но цель совсем другая.

Далее, когда олимпиадники учатся в вузе, там ситуация почти та же – на зачетах, на экзаменах никто не спрашивает их мнение о предмете, они должны проделывать практически то же: за ограниченное время предъявить некий объем знаний и умение решать задачи, которые до них решали много раз. И именно поэтому, приходя затем в научные лаборатории для выполнения курсовых работ, многие испытывают настоящее потрясение: их научного руководителя совершенно не интересует их способность щелкать задачки как орехи, его больше интересует умение сформулировать некоторые утверждения, поставить себе задачу, придумать метод ее решения, объяснить полученные результаты. А они к такому стилю работы не готовы. В то же время многие студенты, которые не блистали ни в школе, ни в вузе из-за своей вдумчивости, которая кому-то представлялась медлительностью, из-за желания докопаться в каждой задаче до сути, которое представлялось занудством, – такие студенты оказываются более приспособленными именно к решению исследовательских задач.

Исследовательские работы, выполняемые школьниками, призваны, как мне кажется, дать им первое представление о «технологии» научной деятельности, дать им возможность понять, что это интересно и увлекательно, но требует больших усилий, и, может быть, принять важное для себя решение – кем быть. Именно поэтому чрезвычайно важным представляется выбор научного руководителя и темы исследовательской работы. Здесь возникает еще одна проблема. Сейчас в учреждениях РАН, в университетах очень мало активно работающих сотрудников, которые могут и хотят возиться со школьниками.

Конечно, практически во всех вузах существуют специальные службы для работы с абитуриентами и, по крайней мере для поступления на факультеты в области точных и естественных наук, помимо олимпиад предлагаются так называемые учебно-исследовательские работы. Однако, как показывает практика, большей частью эти работы являются упрощенными копиями (из которых изъята сложная математика) обычных лабораторных работ, предназначенных для студентов 1 – 2 курсов. Чаще всего абитуриентам предлагается выполнить измерения на уже готовой установке, не особо вникая в теорию исследуемого явления, в методологию эксперимента. Иногда такие работы под копирку выполняются многие годы. Беда в том,

что школьники, занимающиеся такими работами, начинают верить в то, что они действительно занимались научными исследованиями.

В научных организациях, не связанных напрямую с учебным процессом и набором абитуриентов, существует достаточно стойкое нежелание большинства сотрудников тратить свое время на руководство школьниками. Связано это с убеждением, что не существует тематики работ, где школьник мог бы сделать что-то новое, не получив сначала полноценного высшего образования. Поэтому случаи успешной работы школьников в академических организациях не столь часты, как хотелось бы, хотя есть замечательные примеры интеграции академической науки с образовательными учреждениями высокого уровня (лицеями и гимназиями). Резервом здесь является привлечение к руководству исследовательскими работами аспирантов и молодых сотрудников, хотя зачастую их научные руководители считают, что аспиранты не должны отвлекаться от своей основной задачи – выполнения диссертационного исследования.

В условиях дефицита квалифицированных руководителей и тематики для исследований пышным цветом расцветает псевдонаучная, так называемая «проектная» деятельность, как на уровне образовательных учреждений школьного звена, так и на уровне учреждений дополнительного образования. Чаще всего в таких заведениях школьникам предлагается не проведение реальных исследований, а сочинение «проектов», которые не выдерживают малейшей критики, зато оперируют глобальными задачами – от очистки водоемов с помощью загадочных специальных машин (возможность построения которых декларируется умозрительно и никак не просчитывается) до борьбы с астероидной опасностью и космическим мусором. На вопрос: «Как это сделать?» – чаще всего приходится слышать анекдотические ответы в стиле «возьмите где-нибудь фюзеляж и крылья...». Ущерб от такой деятельности значительно выше, чем от ее отсутствия; подмена настоящей науки ее суррогатом в виде умозрительных рассуждений приводит школьников к мысли, что вот это и есть научная деятельность.

Что же делать в этой непростой ситуации? Во-первых, исследовательские работы школьников должны получить высокий престиж, такой же, как у всероссийских олимпиад. Ведь победители и призеры всероссийской олимпиады не просто получают право преимущественного поступления в престижные учебные заведения, ими гордится школа

ла, ими отчитываются различные учреждения, связанные с образованием, в подготовку команд, участвующих во всероссийских финалах, вкладываются значительные средства. А уж успехи участников сборной страны освещаются почти так же, как успехи спортсменов. Почему же о школьниках, завоевавших престижные награды на международных конкурсах научно-исследовательских работ, почти ничего не известно?

Во-вторых, понимание острой необходимости организации такой деятельности должно дойти до руководства не только пяти-шести наиболее престижных высших учебных заведений страны, но и до руководства региональных вузов, региональных центров РАН, региональных органов управления образованием. Необходимо создание региональных банков данных для того, чтобы свести школьников, которые хотят и могут заниматься научно-исследовательской работой, с потенциальными научными руководителями. Деятельность руководителей не должна встречать явного или неявного неудовольствия руководителей исследовательских лабораторий и институтов.

Почти идеальной организационной формой может стать сотрудничество научных организаций с учреждениями образования, например, в форме научно-образовательных центров. Сейчас во всем мире набирает обороты движение STEM-центров (STEM-Science, Technology, Engineering, Math), реализующих такую модель сотрудничества. Есть такие центры и в России. В качестве одного из успешных примеров реализации этой модели вовлечения школьников в науку можно привести Школу юного исследователя ННЦ РАН.

Всю тематику школьных исследований в области точных и естественных наук можно разделить на две части. Одни исследования повторяют и, возможно, углубляют школьный учебный материал. Результаты этих работ представляются на школьных конференциях, районных и городских НОУ. Другая группа исследований имеет элемент научных поисков, выходящих за границы школьной учебной программы. Такие работы учащихся можно заслушивать не только на школьных научных конференциях, но и представлять на научно-практические конференции разных уровней.

Это деление не искусственное, а определяется сутью научных работ школьников. Важно, чтобы у школьников не сложилось ложное представление о научной работе вообще, поэтому корректнее называть работы школьников не научными, а учебно-исследовательскими. Вполне естественно, что после завершения

своей учебно-исследовательской работы для творческой самореализации школьнику хочется представить результаты на конференции. И таких научных конференций различного уровня – от школьной до международной – для школьников проводится достаточно много.

Когда-то, на этапе становления учебно-исследовательской деятельности школьников, работы носили чисто реферативный характер. Это было то время, когда не было Интернета и школьникам для написания работы приходилось работать в библиотеках с литературными источниками. С появлением Интернета ситуация коренным образом изменилась: у школьников появилась возможность скачивать с различных сайтов интересующую их информацию и зачастую, даже не вникая в ее суть и лишь слегка отредактировав, выдавать за свою работу. В связи с этим члены жюри практически всех научных конкурсов школьников запретили подавать на конкурс реферативные работы.

Таким образом, начался второй этап становления учебно-исследовательских работ – работы стали носить исследовательский характер с соответствующим экспериментом, обработкой результатов, формулировкой выводов и т.п. На этом этапе возникли определенные трудности: ученики, приходящие в лабораторию, не готовы к проведению эксперимента и вообще к исследовательской деятельности; школа не нацелена на формирование необходимых навыков – умения грамотно ставить задачи, осмысливать методы исследования, правильно излагать результаты своей работы – как в статьях, так и в устных выступлениях. В этом им и помогают преподаватели ШЮИ и других STEM-центров, методисты и консультанты учреждений дополнительного образования.

К сожалению, непонимание чиновниками того, что раннее вовлечение в науку позволяет утолить кадровый голод и, по сути, является частью столь необходимой системы профориентации учащихся, привело к тому, что лишь очень малое число научных конференций учащихся дает им дополнительные преимущества при поступлении в вузы. Например, в Федеральном перечне на 2013/14 учебный год [2] их всего четыре; еще несколько «закопаны» внутрь олимпиад, являясь их частью. При этом очевидно, что для решения задачи поступления в вуз гораздо проще идти чисто олимпиадным путем: походить на подготовительные курсы, решить несколько задач и получить искомый «прянник», чем работать над своим исследованием целый год, а иногда и несколько, и оказаться в явно нерав-

ных условиях со сверстниками. С другой стороны, может быть, и хорошо, что это так – меньше будет желания пробраться в вуз через не слишком качественную учебно-исследовательскую работу. Но иногда бывает обидно, что недооцененными являются такие научные конференции школьников, как Сахаровские чтения, проводимые в течение многих лет физико-техническим лицеем Санкт-Петербурга под руководством нобелевского лауреата академика Ж.И. Алферова, или региональные конкурсы Intel ISEF, на которых остановлюсь подробнее.

Конкурс Intel ISEF (International Science and Engineering Fair) – всемирный ежегодный научно-технический конкурс для школьников, входящий в список образовательных программ Intel в России. В финале принимают участие более 1800 школьников из 70 стран и территорий мира. Конкурс проводится по 17 областям знаний, которые включают в себя математику, физику, химию, астрономию, информатику, экологию, медицину, социологию и др. По окончании конкурса победителям вручается несколько сотен различных наград, а призовой фонд Intel ISEF составляет более 4 млн. долларов. С начала проведения конкурса (1950 г.) 20 победителей стали впоследствии нобелевскими лауреатами, а три получили медаль Филдса.

Конкурс проводится американской неправительственной организацией Society for Science and Public (SSP), которой удалось создать как в США, так и за рубежом многоступенчатую систему конкурсов для привлечения талантливой молодежи в науку. Начинается конкурс на уровне отдельных школ, затем лучшие работы принимают участие в региональных конкурсах, которые прошли аккредитацию в SSP и официально признаны конкурсами ISEF. Победители региональных конкурсов получают право участия в финале – конкурсе Intel ISEF. О финале этого года можно прочесть в статье «Международный конкурс Intel ISEF-2014» [3].

Около 15 лет назад в число стран, представляющих свои работы на Intel ISEF, вошла и наша страна. Этапы отбора конкурсантов на Intel ISEF в России включают в себя региональные конкурсы «РОСТ-ISEF» (Нижний Новгород), «Балтийский конкурс» (Санкт-Петербург), «Юниор», «Авангард-Династия», «Ученые будущего» и «Шаг в будущее» (Москва). Титульным спонсором региональных конкурсов является корпорация Intel в России. Победители региональных конкурсов отправляются в США, на финал Intel ISEF. Организаторы Intel ISEF сотрудничают с лучшими вузами и школами России, поддержи-

вают связь с участниками конкурса и продолжают традицию по «передаче опыта» молодым поколениям в рамках Клуба ISEF.

Конкурс «РОСТ» появился в Нижнем Новгороде в 2007 г. как областной конкурс молодежных инновационных команд. Удачный опыт первого года позволил пройти процедуру аккредитации конкурса, и с 2008 г. он получил права регионального конкурса Intel ISEF. В этой связи правила проведения конкурса были максимально приближены к правилам ISEF, однако остались некоторые отличия, не противоречащие общей концепции, например, наличие учебной программы и формат выступлений участников. С 2010 г. конкурс стал приволжским, в нем принимали участие школьники не только из Нижнего Новгорода, Дзержинска и Сарова, как это было раньше, но и из других субъектов РФ, входящих в Приволжский федеральный округ (Казань, Чебоксары, Саратов, Самара, Оренбург, Пермь, Ульяновск и др.).

Конкурс «РОСТ-ISEF» проходит в два этапа. Первый этап – заочный. Участники присыпают свои заявки в оргкомитет. Тематика конкурса разнообразна и включает математику и информатику, физику и астрономию, химию и экологию, биологию и медицину, технику и технологии. Научный комитет конкурса (Science Review Committee, SRC) принимает решение о допуске заявленных работ к очному этапу. Основанием для отклонения работы от участия в очном этапе является неправильное оформление заявки, реферативный характер работы, нарушение этических норм. Второй (очный) этап конкурса – представление проектов. Прежде чем комиссия (жюри) начнет работу по оценке представленных проектов, для участников проводится краткий учебный курс, чтобы они еще раз могли потренироваться в представлении своих работ. Перед началом судейства участники должны смонтировать стенды. В конкурсные комиссии входят сотрудники ведущих научных учреждений и вузов Нижнего Новгорода – сотрудники институтов РАН, НИУ ННГУ им. Лобачевского, НГТУ им. Алексеева и других организаций, доктора и кандидаты наук по тематике конкурса. В помощь руководителям и школьникам издано методическое пособие [1].

Победители конкурса «РОСТ-ISEF» принимают участие в международных финалах в составе сборной России, и довольно успешно. С 2009 по 2014 годы «РОСТ-ISEF» представлял на международных финалах 18 проектов и получил 15 призов в различных номинациях. Это существенный вклад в копилку сборной РФ, которая за эти годы представила 101 проект и получила 44 приза.

Традиционно ШЮИ представляет работы учащихся на конкурс «РОСТ-ISEF», которые часто занимают призовые места, номинируются на премию Президента РФ, получают специальные призы корпорации Intel в России и главный приз – участие в международном финале. Надеюсь, что и в дальнейшем Школа будет представлять на наш конкурс учебно-исследовательские работы высокого уровня.

Литература

1. *Гриценко В.В., Пигалицын Л.В., Рейман А.М.* Подготовка школьников к учебно-исследовательской деятельности. [Электронная версия]: http://www.rostsef.ru/files/rostsef_help.pdf.
2. Приказ Минобрнауки РФ №1421 от 30 декабря 2013 г. «Об утверждении Перечня олимпиад школьников на 2013/14 учебный год».
3. *Рейман А.М.* Международный конкурс Intel ISEF-2014 // Физика, изд-во «Первое сентября», 2014, № 10. С. 50 – 57.

Мотивы выбора школьником темы для научного исследования



Е.В. Ермилина

кандидат педагогических наук,
Институт прикладной физики РАН

А.И. Ермилин

кандидат педагогических наук,
Институт прикладной физики РАН

Введение. Выбор научного направления и темы исследования только на первый взгляд выглядит как прикладная или методическая задача. С позиций методологии научного познания и психологии выбора эта задача может иметь множество решений. Согласно гуманистической психологии, желание понимать, систематизировать, строить систему ценностей, искать связи и смыслы, организовывать – одна из высших, а главное врожденных потребностей человека [2, с. 94]. Любопытство и познавательная потребность, понимаемые как поиск смысла, реализуются в деятельности внутренне мотивированной, побуждаемой стремлением к лучшему выполнению выбранного самим дела. Процесс выбора – жизненной стратегии, способа деятельности, ценностей науки, видов творчества и др. – сам по себе творчество, а возможность выбора составляет основу человеческого существования. Мы осознаем, что в практике дополнительного научного образования школьников сложилась практика, при которой роль школьника в выборе темы не главная, а ответственность за выбор темы берет на себя руководитель кружка, секции, лаборатории. В нашей практике мы развиваем другой подход, создавая условия для самостоятельного выбора будущим ученым направления своего научного поиска. Названные подходы различаются взглядами на роль дополнительного научного образования школьников и пониманием содержания научного интереса. Чтобы нагляднее проиллю-

стрировать названные различия, обратимся к одному из наиболее спорных вопросов о готовности школьника к сознательному выбору и роли в этом процессе дополнительного научного образования.

Психология выбора. Дополнительное образование, которое помогает точно определить время и место встречи будущего исследователя с наукой, утвердило свои позиции перспективного направления подготовки будущих ученых. Однако сохраняется неопределенность в понимании его возрастных ограничений и временных границ: привычное утверждение – чем раньше, тем лучше – не учитывает главного: психологических условий готовности к научной деятельности. Безусловно, поисковые способности и качества исследователя можно и нужно развивать уже в начальной школе, но именно у подростка потребность исследовать мир обретает серьезную поддержку в интеллектуальном и волевом развитии. Если творческие способности можно обнаружить у ребенка достаточно рано, то научная одаренность начинает проявляться, как правило, в подростковом возрасте, когда интерес к окружающему миру опирается на внутреннюю активность, а интеллект ребенка достигает необходимого уровня. Интерес, по мнению возрастных психологов, постоянная установка, которая позволяет человеку охватить мир как интеллектуально, так и эмоционально. Этот возраст связан с поиском своего места в мире людей, с определением своего будущего. Заинтересованный в науке человек сохраняет эту установку на протяжении жизни, становится интересным для других, потому что интересу свойственен эффект заразительности [3].

Миссия дополнительного образования состоит в том, чтобы пробуждать научный интерес в тех, кто пока не смог обнаружить его без посторонней помощи, поддерживая и развивая мотивацию тех, у кого установка на интерес к науке сложилась. Если целью науки признается постижение истины, то целью научного образования школьника является образование человека науки через заинтересованность миром науки. Ситуация выбора темы исследования означает с позиций психологии выбора: интеллектуальную готовность школьника к поисковой деятельности; осознанное желание реализовать научный интерес; убежденность исследователя в своих возможностях.

Оценивая исследовательские проекты школьников, мы часто получаем противоречивые отзывы на одну и ту же работу. С одной стороны, именитые ученые отмечают качество выполнения и соблюдение процедуры исследования, с другой – отсутствие научной но-

визны результата, нового знания. Означает ли это, что работа школьника не может быть научной в академическом смысле этого понятия? Не уверены. В науковедении нашего времени наряду с признанием принципов познаваемости мира, беспристрастности в поиске истины складываются иные критерии оценки результатов научного поиска: на первый план выводится личность автора, его способности, идеи, ценности.

Организуя условия для исследовательской деятельности школьника, мы признаем, что ребенка можно научить оперировать языком науки: понятиями «объект», «предмет исследования», «гипотеза», «эксперимент», что можно помочь ему овладеть научными методами. Круг таких образовательных задач обширен, но только к ним содержание научного образования не сводится.

В решении исследовательских задач ученые не только открывают новые, но и применяют знания, полученные М.В. Ломоносовым, Н.И. Менделеевым, И. Ньютоном, М. Фарадеем, Н. Теслой... А если кто-то из юных исследователей подтвердит те знания, которые получили известные ученые?

Да, с точки зрения классического определения науки, это будет «ненаучно», но демонстрация научных методов исследования, истинность результатов и поисковая активность важны для научного труда не меньше, чем новые открытия. При этом отсутствие ожидаемого результата будет тоже результатом, ибо в таком случае школьник знакомится и изучает те факторы, которые изменили ход эксперимента. Главное в работе со школьниками – пройти школу научной мысли и путь исследователя! Неоправданно надеяться получить от школьника новые научные результаты мирового уровня, но возможно помочь организовать процесс научного исследования.

Выбор темы исследования как процесс самопознания. С 2002 года в научно-образовательном комплексе Института прикладной физики РАН (ИПФ РАН) реализуется уникальный образовательный проект дополнительного научного образования школьников «В мире знаний». В настоящее время программа развития у школьников готовности к научной деятельности включает в себя три основные формы дополнительного научного образования: летние исследовательские смены «Умные каникулы», работающую в осенне-весенний период Школу юного исследователя Нижегородского научного центра РАН (ШЮИ ННЦ РАН), а также весеннюю региональную естественнонаучную конференцию школьников.

Начинающий исследователь получает возможность выбора различных образовательных маршрутов (ИОМ) и форм обучения: научные кружки и семинары, работа над научным проектом, лекции ведущих ученых, экскурсии в исследовательские лаборатории, участие в научной конференции, публикация результатов исследовательской деятельности. Мы понимаем образовательный маршрут как целенаправленную дифференцированную программу, обеспечивающую школьнику позицию субъекта выбора, разработки, реализации исследовательского проекта при поддержке взрослым его научного самоопределения. В структуру ИОМ включаются базовый модуль, отражающий миссию дополнительного образования, и вариативный модуль, обеспечивающий реализацию возникающих научных потребностей школьника. Школьниками могут быть выбраны и освоены разные по содержанию типы индивидуальных образовательных маршрутов.

Первый образовательный маршрут («Я – познающий») связан с формированием себя как будущего специалиста. Он характеризуется направленностью на реализацию личных целей (наука для жизни), ориентирован на получение новых знаний и умений, связан с углублением школьных знаний. Маршрут строится на основе самостоятельного поиска ребенком новых источников и способов получения знаний, поисковой активности в разных сферах науки и культуры.

Опыт познавательной и поисковой деятельности современного подростка часто ограничен, фрагментарен, не структурирован, поэтому его сложно актуализировать при постановке задач исследовательской работы. При проведении учебного исследования на этом маршруте обучения лишь в 25% случаев тема исследования возникает на основе имеющегося у ребенка уровня школьных знаний. Для большей части школьников научные лекции, занятия в предметных лабораториях, посещение факультативов и самостоятельная учебно-исследовательская практика по выбранной теме являются новыми информационными источниками. Живой, деятельный интерес к познанию требует выхода, а дополнительное научное образование становится новым способом взаимоотношения с миром.

На следующем маршруте («Я – исследователь») дополнительного научного образования – в научном объединении исследовательского института – школьникам предлагается усваивать много новой информации в новом для них образовательном пространстве НИИ. «Это ведь сугубо детское представление, что математик приходит к како-

му-либо научно ценному результату, работая за письменным столом с помощью линейки или других механических средств...», – писал философ XIX века Макс Вебер. Рабочее место современного ученого – не только письменный стол, но и современные научные установки, экспериментальные стенды. Определение научного интереса и выполнение исследования на этом маршруте требует междисциплинарных знаний, установления связей и отношений предметов и явлений в разных научных дисциплинах, усвоения большого объема специальной информации из разных областей науки. Это принципиальное отличие исследовательской деятельности на данном маршруте отмечают все 11-классники Школы юного исследователя ННЦ РАН.

Третий индивидуальный образовательный маршрут («Я – ученик») ориентирует на научную деятельность в выбранной профессиональной области. Маршрут обеспечивает школьнику позицию субъекта выбора науки как сферы творчества. Будущие ученые успешно справляются с постановкой и проведением эксперимента, формулированием выводов, оформлением работы и определением последовательности доклада. При этом учащиеся научной школы успешно занимаются разработкой наглядных материалов к своему исследованию, это связано с более широкими возможностями, предоставляемыми освоением компьютерных программ, с культурой научной работы, с которой они знакомятся в процессе обучения и общения с учеными, и с требованиями, предъявляемыми научной школой к работам начинающих исследователей. В условиях образовательного пространства современного научного института научный интерес школьника получает новые импульсы развития, получая новую информацию, они реагируют на нее активно и продуктивно.

Исследование мотивов выбора темы научного исследования. Для изучения особенностей выбора темы исследования школьниками в 2010 – 2014 годах нами было предпринято исследование, целью которого стало выявление факторов, влияющих на направление научного интереса.

Исследование проводилось методами включенного наблюдения, опроса и интервью. Например, была разработана «Анкета участника научного кружка», которая предъявлялась участникам программы дополнительного научного образования на последнем занятии научного кружка, после обсуждении результатов научной конференции и подведения итогов работы в течение учебного периода, будь то летняя смена или учебный год.

В исследовании приняли участие 494 ученика летних исследовательских смен (100, 105, 101, 89 и 99 чел. с 2010 по 2014 год). Учащиеся Школы юного исследователя участвовали в анкетировании, проведенном в 2010, 2011 и 2013, 2014 годах – 146 чел. (26, 44, 40 и 36 чел. соответственно). Контрольной группой исследования стали участники Региональной естественнонаучной конференции школьников, прошедшей в апреле 2014 года в ИПФ РАН, из Нижнего Новгорода и городов Нижегородской области: Балахна, Сергач, Бор, Арзамас, Павлово, Заволжье, села Сеченово и поселка Сосновское, – выполнившие исследования под руководством школьных педагогов (28 чел.).

Данные эмпирического исследования обработаны и проанализированы с использованием следующих математико-статистических методов: критерий χ^2 (хи-квадрат) и дисперсионный анализ.

Гипотеза предпринятого нами исследования состояла в предположении, что из многих факторов и мотивов, влияющих на этот процесс, ведущим должен стать внутренний мотив осознанного научного интереса.

Перед нами стояли следующие задачи:

- выявить основные и дополнительные факторы и мотивы, определившие выбор школьником направления научного исследования;
- сравнить динамику этих факторов в условиях школьного и дополнительного научного образования;
- определить особенности проявления научного интереса на каждом образовательном маршруте;
- сформулировать на основе полученных результатов общие принципы выбора школьником темы исследования.

Результаты исследования. Было установлено, что выбор темы исследования в большинстве случаев определяется педагогом, намного реже школьники выбирают тему самостоятельно. В ряде случаев тема возникает на основе уже сделанного исследования и является его развитием. Так, из 146 учеников Школы юного исследователя лишь 24 (0,17 –ср. значение) в начале учебного года имели тему, которая их интересовала, а 101 ученику (0,69) определиться с тематикой помогли их научные руководители, для 21 (0,14) работа стала продолжением прошлогоднего исследования. Данная тенденция остается неизменной на протяжении всех четырех лет исследования.

Была обнаружена обусловленность характера и стабильности научного интереса материально-техническими ресурсами школы и

института. Приходя в исследовательскую школу на базе научного института, школьники рассчитывают заниматься «серьезной» наукой. Их научными руководителями становятся аспиранты и молодые учёные, которым интересна, прежде всего, их область исследований и именно ею они готовы делиться с начинающими исследователями, используя оборудование, которое доступно в лаборатории института. В исследовательской лаборатории школьники становятся членами коллектива, иногда небольшого, состоящего из самого школьника и его научного руководителя, иногда включаются в работу научной лаборатории. Для ребят это интересно знакомством с реальной работой учёного, участием в интересной и значимой научной работе, возможностью получить действительно новые знания, а не воспроизводить известные. Этого нельзя достичь быстро, поэтому исследовательская работа школьников в научном институте идет течение нескольких лет. Показательно, что 21 человек из 146 учащихся ШЮИ продолжают уже начатую в прошлом учебном году работу, в то время как среди учащихся школ продолжает работу лишь один школьник. При этом, планируя дальнейшую исследовательскую работу, большинство школьников видят ее как продолжение работы над данной темой: среднее значение этого показателя составляет 0,4 среди учеников ШЮИ и 0,32 среди учащихся школ. Школьные учителя более свободны в выборе тематики исследовательской работы со школьником, но ориентированы на получение результата в течение одного учебного года.

Мы убедились в наличии связи между мотивацией к продолжению исследования и влиянием социальных представлений школьников о науке и учёном. При определении пути дальнейшего исследования школьники руководствуются такими мотивами, как: продолжу работу над выбранной темой; появилась новая тема в ходе выполнения работы; заинтересовал вопрос, встреченный в литературе (Интернете), увиденный по телевидению; попробую свои силы в другой научной области; посмотрю, что предложит научный руководитель; посоветуюсь с родителями о выборе темы. При этом ученики ШЮИ продолжают ориентироваться на научного руководителя – это второй по популярности ответ (0,19) после продолжения уже начатой работы, среди учащихся школ эта категория составляет в среднем значении 0,14 от всех ответов. Литература и средства массовой информации (Интернет, телевидение) играют роль при выборе темы исследования лишь у каждого десятого ребенка, на данное соотношение не влияет место и уровень дополнительного научного образования школьника.

Было установлено, что родители редко прямо влияют на научный выбор ребенка. По свидетельству детей, это последний ресурс, к которому они обращаются при выборе темы. Роль семьи заключается в признании ценности научного знания и научного творчества. По нашим наблюдениям часто семья оказывает решающее значение при выборе ребенком предметной области. Но в ряде случаев область ярко выраженных научных интересов школьника никак не пересекается с профессиональными интересами родителей и является для родителей неожиданной. Лишь в двух случаях о своей дальнейшей исследовательской работе ученики ШЮИ собираются посоветоваться с родителями, среди учащихся школ таких ответов нет ни в вопросе о факторах, определивших выбор темы исследования, ни в вопросе о планировании дальнейшей работы.

Обсуждение результатов. В школе и научном объединении исследовательского института на определение ребенком темы самостоятельной исследовательской работы влияют разные факторы. В первом случае учитель отталкивается от интересов ученика, во втором – ученик выбирает направление из тематики, предложенной исследовательскими лабораториями. И лишь в случаях формирования узких научных интересов в результате освоения исследовательской деятельности школьник становится ведущим субъектом в определении тематики исследования. В школьном исследовании ученик ищет тему (научного руководителя), в исследовательской школе – научный руководитель набирает учеников для выполнения определенной исследовательской задачи. Задачей школьной учебно-исследовательской работы является мотивация ученика на исследовательскую деятельность, задачей научного объединения исследовательского института – развитие научных интересов мотивированных к данной профессиональной деятельности детей, формирование профессиональных качеств, которые помогут выбрать профессию ученого и быть успешным в ней.

Летние исследовательские смены в программе дополнительного научного образования школьников ИПФ РАН играют роль поискового и ознакомительного маршрута, задача которого – привлечение в исследовательскую деятельность большего круга школьников, поиск способных детей. В течение 21 дня летней смены школьникам предлагается выполнить учебно-исследовательскую работу. В этих условиях период самоопределения занимает 3 – 5 дней. За первые два-три дня школьнику предстоит определиться с предметной обла-

стью, будь то физика, астрономия, биология или химия. Следующие два-три дня посвящаются поиску темы учебного исследования. В такие сжатые сроки результат достигается предварительной работой со школьниками: на смену приезжают дети, понимающие, в какой программе они будут участвовать. Мотивация к исследовательской работе – один из основных факторов выбора темы исследования.

Другой фактор – педагогическая поддержка тьютора (куратора) или руководителя научного кружка, так как для большинства детей участие в летней исследовательской смене – это первый опыт исследовательской деятельности. Эта деятельность не является ведущей в школе. Например, отвечая на вопрос анкеты-знакомства об участии в исследованиях, большинство детей ссылаются на опыт написания рефератов по теме, а не на проведение учебных исследований.

Третий фактор – опыт совместной поисковой деятельности. Такой исключительный опыт приобретается в научных кружках. В летних исследовательских сменах именно на занятиях научных кружков школьниками осваиваются знания, необходимые для выполнения учебных исследований. Роль знаний, полученных в школьном научном кружке, для самостоятельной работы не была отмечена ни одним ребенком из 28 участников Региональной естественнонаучной конференции.

Свободное владение языком науки – четвертый фактор. Признаками научного языка являются четкое употребление понятий, однозначность терминов, выводимость новых понятий из уже известных науке, соотносимость специальных понятий отдельной науки с общенаучными понятиями. Язык науки представлен, прежде всего, в научной литературе: статьях, научных докладах, тезисах докладов, брошюрах, монографиях, а также учебниках и учебных пособиях. В связи с тем, что для выполнения исследования в научной школе учащемуся необходимо усвоение специализированной литературы по теме исследования (часто это статьи, изданные на иностранном языке), возрастает значение научного руководителя на стадии подбора библиографии. В школьной учебно-исследовательской работе роль учителя существенна на стадии оформления работы и подготовки доклада, в то время как в научном объединении эти вопросы учащиеся осваивают на занятиях по методологии науки, и научный руководитель контролирует лишь успешность самостоятельного применения полученных знаний учеником применительно к своему исследованию.

Полученные в исследовании результаты позволили сформулировать основные принципы выбора школьником темы для научной работы.

Принципы выбора темы для исследовательской работы школьника.

Принцип научности. Научной признается тема, отвечающая, по мнению У. Эко, следующим требованиям:

- 1) предмет исследования должен поддаваться описанию;
- 2) в исследовании должно быть сказано о предмете что-то новое, чего еще не говорилось, или должны быть переосмыслены или подтверждены идеи, кем-то уже высказанные;
- 3) исследование должно быть полезно для других людей;
- 4) исследование должно намечать пути проверки и опровержения предлагаемой идеи, то есть пути для продолжения работы другими исследователями.

Принцип свободы выбора. Для современного подростка абстрактное знание не является важной ценностью. Ему необходимо личное участие в принятии истины, связь с ней, возможность не только получать готовые ответы, но и спрашивать. Чем больше у школьника ощущение свободы выбора, тем активнее проявляется его научный интерес. Современные школьные учебники часто создают иллюзию полного знания, а познающему подростку важно ощущение тайны, неполноты, загадки. Следовательно, тема должна быть оригинальной, в ней необходим элемент новизны, неожиданности, необычности. Оригинальность – это не только нечто новое, но и способность нестандартно смотреть на традиционные предметы и явления. Проявить оригинальность в выборе темы – значит отыскать необычное в обычном, увидеть противоречие там, где другим все кажется простым и ясным. Американский финансист Бернард Маннес Барух (1870 – 1965) так сформулировал данную идею: «Миллионы людей видели, как падают яблоки, но только Ньютон спросил почему». «Познание начинается с удивления тому, что обыденно», – считал древнегреческий философ Платон.

Принцип результативности. Что же можно считать результатом исследовательской работы школьника?

Известный психолог Дж. Брунер высказывал мысль о том, что умственная деятельность ученого и умственная деятельность ребенка, познающего новое, одинаковы по своей структуре. Школьник, изучающий физику, является физиком, и для него легче изучать

науку, действуя подобно ученому физику, чем получать знания в готовом виде. Особенностью исследовательской деятельности является фактор личностного «открытия» нового знания, причем новое знание возникает на основе актуализации прежних знаний и опыта и способности иметь собственное суждение.

Выполнение исследовательской работы начинается с выбора темы исследования, интересной для ученика и совпадающей с кругом интересов преподавателя; определения актуальности работы; с осознания учеником сути проблемы; постановки цели и задач исследования. Школьники изучают тему теоретически, смотрят историографию вопроса, обязательно ставят эксперимент, выполняют наблюдения и измерения, осуществляют обработку результатов с учетом погрешностей измерения, зачастую проводят численное моделирование на компьютере с использованием различных пакетов программ. Важным является самостоятельная при сопровождении педагога постановка эксперимента, ученики собирают опытную установку своими руками или сами изготавливают ее. В процессе исследования учащиеся анализируют, обобщают, сравнивают, получают новые знания и применяют их на практике, обосновывают значимость работы, делают выводы. Раскрытие проблемы в первую очередь должно приносить что-то новое ученику, в этом заключается новизна исследования.

Принцип индивидуализации. При выборе темы исследования необходимо учитывать интересы ученика и возможности выполнения исследования: знания и наличие необходимых средств и материалов. «В человеке заложены безграничные источники творчества, иначе бы он не стал человеком. Нужно их освободить и вскрыть», – утверждал писатель А.Н. Толстой. Французский писатель и философ Жан-Жак Руссо (1712 – 1778) писал: «Вам никогда не удастся создать мудрецов, если будете убивать в детях шалунов». Научное исследование должно оставаться для школьника увлекательным занятием, где есть место для полета фантазии и возможность проверить на практике самые невероятные гипотезы, где не страшно делать ошибки, так как отрицательный результат – это тоже научный результат. Индивидуализация научной работы заключается в поиске и обретении школьником личностного смысла в теме исследования.

Принцип развития. Исследовательская работа является мощнейшим стимулом мотивации в процессе самоопределения, местом проб и поиска школьником себя. Она обладает возможностями и сред-

ствами для определения направлений и способов профессионального развития подростков. Выбирая тему исследования, необходимо продумывать как ее научный, так и педагогический потенциал. Какие знания школьник может добыть самостоятельно в процессе выполнения работы, какие методы научной деятельности освоит, где и как в дальнейшем сможет их применить – эти вопросы встают перед научным руководителем при поиске темы с учеником. Но значимость исследования не может быть ограничена только учебными задачами. Тема должна иметь перспективы развития, возможность получения исследователем новых знаний не только для себя, иметь научное значение. Таким образом, необходимо текущее и перспективное планирование работы.

Необходимо учитывать, что начинающему исследователю не стоит давать технически трудную задачу. Для начинающего исследователя нужен успех, в противном случае может произойти необоснованное разочарование в своих силах. А любой успех, даже незначительный, должен быть справедливо оценен и отмечен научным руководителем и компетентным экспертом.

Заключение. Задачей данной статьи являлась попытка раскрыть, как специфика дополнительного научного образования школьников, в отличие от других образовательных моделей, влияет на выбор темы и проблемы научного исследования. В основу дополнительного научного образования заложено эффективное общение подрастающего поколения с представителями сообщества ученых и самостоятельная исследовательская деятельность. В процессе такого образования происходит вхождение школьников в традиции научного сообщества, обретение идеалов и авторитетов в области науки, восприятие норм научной деятельности, то есть происходит становление ребенка как субъекта мира науки. В процессе самостоятельной исследовательской деятельности происходит обретение личностных ценностей, смысла и способа жизни.

Резюмируем основные положения статьи:

- критерии оценки результатов научной работы школьника не достаточно определены и противоречивы;
- типичная ситуация, когда ответственность за выбор школьника берет на себя взрослый, может быть изменена в специально организованных условиях дополнительного научного образования, где происходит становление ребенка как субъекта культурного сообщества и научной деятельности;

- мотивационной основой для самостоятельного выбора темы выступает стремление подростка к самопознанию и самореализации;
- реализация основных принципов выбора темы научного исследования позволяет в достаточной степени раскрыть научный потенциал подростка.

Выступая на заседании Лондонского Королевского общества 17 мая 1966 года с докладом о своем учителе Эрнесте Резерфорде академик, лауреат Нобелевской премии по физике (1978) Петр Леонидович Капица отметил: «Самое замечательное качество Резерфорда как учителя было его умение направить работу, поддержать начинание ученого, правильно оценить полученные результаты. Самое большое, что он ценил в учениках, – это самостоятельность мышления, инициативу, индивидуальность. При этом надо сказать, что Резерфорд применял все возможное для того, чтобы выявить в человеке его индивидуальность» [1, с. 210]. Помочь ребенку открыть свою индивидуальность – главная задача педагога. Помочь найти и развить собственные научные интересы – главная задача научного руководителя школьника.

Литература

1. *Капица П.Л.* Мои воспоминания о Резерфорде. Доклад на заседании в Лондонском Королевском обществе 17 мая 1966 года // Новый мир. 1966, № 8. С. 205 – 215.
2. *Маслоу А.* Мотивация и личность / Пер. А.М. Татлыбаевой. – СПб.: Евразия, 1999. – 478 с.
3. *Фромм Э.* Душа человека; Сб.: Пер. с англ. – М: ООО «Издательство АСТ»; ООО «Транзиткнига», 2004. – 572 с.

Физика



Исследование прочности некоторых материалов

Алексеева Яна Геннадьевна

10 класс МБОУ СОШ № 23

**Научный руководитель Г.И. Колобова,
учитель физики МБОУ СОШ № 23**



В работе проведено исследование на прочность таких материалов, как резина и фторопластовая лента ФУМ 4d марки 1 и 3. Изучены и подтверждены с помощью опытов по растяжению и разрыву резинового шнура и ленты ФУМ механические свойства данных материалов. Проведен сравнительный анализ полученных результатов, сделан вывод о качестве материалов на основании проделанных опытов и теории.

В современном мире существует множество разработок по увеличению срока службы конструкций, то есть их долговечности, и исследований, напрямую касающихся безопасности жизни человека. Все они связаны с изучением прочностных характеристик материалов. Без их исследования на прочность и деформации невозможно обеспечить безопасную и комфортную жизнедеятельность человека. Данная мысль и составляет суть представленного исследования. Любой начинающий материаловед, выполнив подобную работу, сможет сделать первые шаги в изучении прочности материалов, и, разобравшись в сути рассматриваемого явления, получив представление о теории упругости, сможет усовершенствовать имеющиеся материалы и понять принцип действия деформаций в новых. Поэтому был проведен ряд опытов, показавших, насколько важно знать прочностные свойства и характеристики материалов и конструкций, являющихся неотъемлемой частью жизни человека. Главной проблемой исследования являлось выявление зависимости прочностных характеристик от приложенных нагрузок для упругих материалов, что в случае с резиной делалось с целью определить коэффициенты прочности, упругости и пропорциональности и сравнить с полученными ранее данными, а с лентой ФУМ – изучить данное явление и попытаться объяснить полученный результат. Объектом исследования были лента ФУМ 4d марок 1 и 3, резиновый шнур, а предметом изучения – прочностные характеристики.

Цель исследования определялась как изучение механических свойств упругих материалов. В исследовании ставились задачи: изу-

чить физику процесса растяжения; узнать законы, согласно которым происходит деформация упругих тел; рассмотреть математически процесс изменения объема при деформациях растяжения и сжатия; провести опыты по растяжению и разрыву резинового шнуря, фотопластовой ленты – ФУМ 4д марки 1 и 3; проанализировать полученные результаты.

Решение поставленных задач выполнялось посредством таких методов, как: сопоставление, индукция, описание, математический анализ и логическое умозаключение. Все эти действия были совершены при обработке результатов физического эксперимента.

Само исследование состояло из трех опытов, в которых проводилось растяжение резинового шнуря и ленты ФУМ 4д марок 1 и 3. Марки определялись по указанным характеристикам. Суть экспериментов состояла в том, чтобы рассмотреть текучесть материала и проверить его на прочность. Все три раза методика была одной и той же: собиралась установка, отрезался кусок материала одинаковой длины, фиксировалась первоначальная толщина и проводились измерения.

Целью первого опыта было отобразить зависимость объема рабочей области от ее длины, определить максимальную нагрузку, которую способен выдержать резиновый жгут. Оборудование: самодельный штатив, резиновый жгут, ручка, линейка (40 см), штангенциркуль, грузы (100 г).

В результате эксперимента были получены три характерные точки (рис. 1): предел пропорциональности – в нем объем максимален;

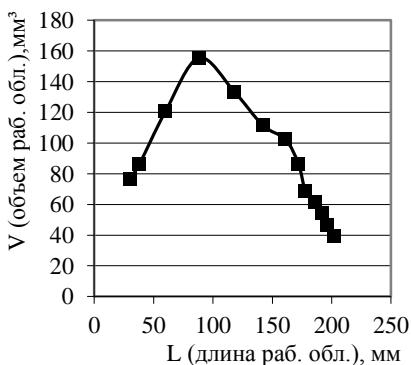


Рис. 1. Зависимость объема рабочего участка от длины с погрешностями

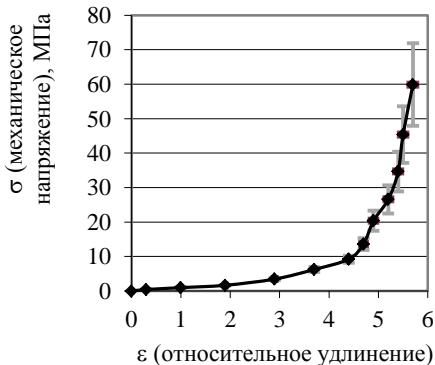


Рис. 2. Зависимость механического напряжения от относительного удлинения для резинового шнуря

предел упругости – после него появляется пластическая деформация, в ходе которой объем уменьшается; точка диаграммы, в которой объем достигает минимального значения.

В ходе экспериментов по определению прочностных характеристик резинового жгута, выяснено, что при весе в 13 Н происходит обрыв. Чем больше становится нагрузка, тем меньше изменяется толщина и удлинение, что подтверждается графически (рис. 2): точки 7 – 11 находятся ближе друг к другу, чем точки 2 – 5. Полученные данные совпали с официально подтвержденными значениями, следовательно, произведенны вычисления достоверны.

Целью следующих экспериментов было определить максимальную нагрузку, которую способна выдержать лента, наблюдать и фиксировать процесс текучести материала. Оборудование: самодельный штатив, фторопластовая лента – ФУМ 4д марки 3 (1), ручка, линейка (40 см), микрометр, грузы (100 г).

На графике (рис. 3) на участке текучести (относительное удлинение от 0,17 до 0,23) наблюдается горизонтальная линия, означающая, что толщина ленты не изменяется. Этот участок соответствует в эксперименте удлинению ленты с 70,5 до 74 мм при толщине равной 0,12 мм. Полученные из опыта значения и данный участок диаграммы, параллельный оси относительного удлинения, служат доказательством того, что момент текучести зафиксирован верно. При проведении повторного опыта получены идентичные результаты.

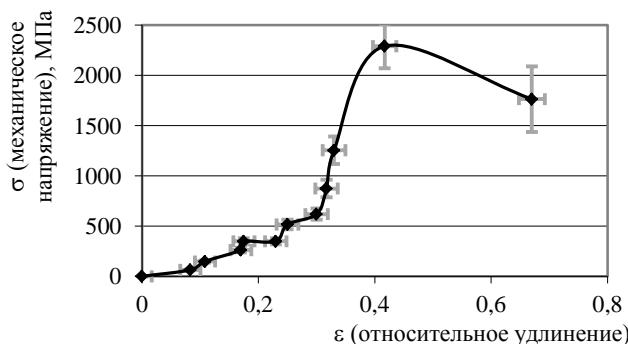


Рис. 3. Зависимость механического напряжения от относительного удлинения для ленты ФУМ 4д марки 3

Рассматривая графики (рис. 4 и 5), можно увидеть, что разрушающее напряжение у ленты с пленкой более чем в 100 раз больше,

чем у ленты без пленки, также последняя имеет два участка текучести и переход между ними. Особенностью графика (рис. 5) (лента ФУМ с пленкой) является резкое увеличение напряжения на участке с удлинением от 0,7 до 0,8 по сравнению с предыдущим участком, что происходит вследствие присутствия пленки как дополнительного материала, который замедляет растяжение и берет на себя дополнительную нагрузку. Разрыв в этом опыте произошел при весе в 24 Н.

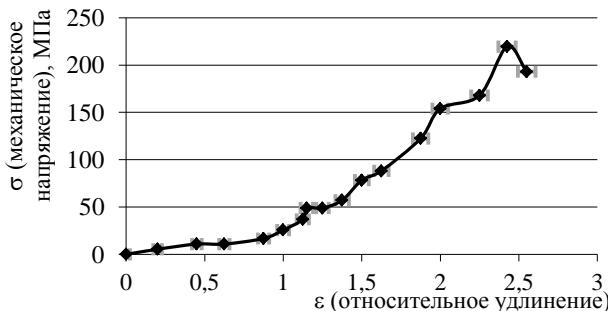


Рис. 4. Зависимость напряжения от относительного удлинения для ленты ФУМ 4d марки 1 без пленки

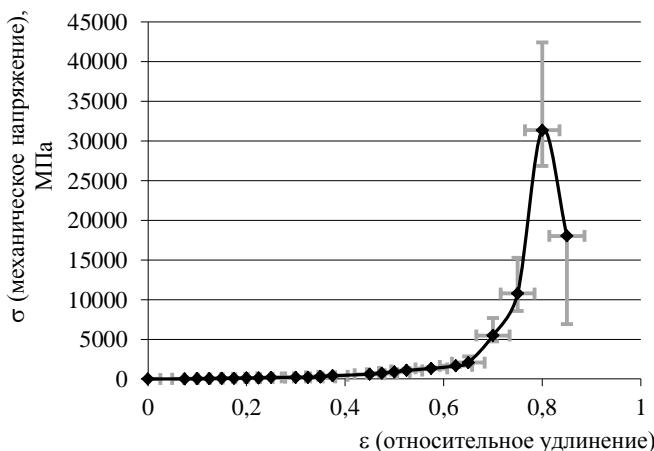


Рис. 5. Зависимость напряжения от относительного удлинения для ленты ФУМ марки 1 с пленкой

Выводы

Было выяснено, что резиновый жгут – самый эластичный материал из представленных в исследовании, а самый прочный материал

– фторопластовая лента ФУМ 4д марки 1 с пленкой. Результаты опытов доказывают, что лента ФУМ марки 1 выше по качеству и прочнее, чем лента ФУМ марки 3. Анализ источников показывает, что в таком разрезе определению свойств ленты ФУМ не уделялось должного внимания, хотя в инструкции по применению учитываются упругие свойства этой ленты. В целом, были изучены процесс деформации растяжения и механические свойства твердых тел, найдено объяснение физики происходящего процесса, построены графики и установлена ее связь со структурой процесса деформации растяжения. На опытах было показано различие и сходство свойств разных материалов и одинаковых материалов разных марок.

Литература

1. Подскребко М.Д., Сурин В.М., Василевич Ю.В., Первицкий Л.В. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2007. – 797 с. – С. 126.
2. Справочная информация: модули упругости и коэффициенты Пуассона [электронный ресурс].
http://www.rusactive.ru/useful/helpinfo/fizika/moduli_elasticity_poisson_ratio.
3. Первый фторопластовый завод: лента резьбоуплотнительная из фторопласта-4Д (ТУ 6-05-1388-86) [электронный ресурс].
<http://1fz.ru/izdeliya-iz-ftoroplasta/17/55>.
4. Фторопласт: лента ФУМ [электронный ресурс].
<http://ftoroplast.blogspot.ru/2013/06/blog-post.html>.

Изучение солитонов на поверхности жидкости

**Воскобойникова Анастасия
Альбертовна**

10 класс, МБОУ СОШ № 45, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Г.А. Байдаков,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



В работе исследованы условия возникновения солитонов и эволюция величин, характеризующих каждую такую волну (высоты и длины возмущения). В результате были получены линейный рост длины волны и экспоненциальная зависимость спадания высоты. Также исследованы зависимости скоростей спадания высоты возмущения от размеров начального возмущения и характеристик трассы распространения.

Вода всегда играла огромную роль в жизни человека. При этом ее влияние не всегда носит благотворный характер. Так, длинные волны на поверхности жидкости, обладающие большой энергией, нередко носят разрушительный характер. Примерами таковых являются волны цунами, бора и многие другие. Наиболее опасны, конечно же, волны цунами, которые можно рассматривать в рамках солитонного решения уравнения Кортевега – де Фриза. Также солитоны могут образоваться при обрушении плотин водохранилищ или при прорыве естественных затворов в случае паводка, как это случилось в Крымске в 2012 году. Это может привести к созданию чрезвычайной ситуации. Наряду с работами по укреплению плотин, необходимо также оценивать возможные последствия их обрушения. Необходимо рассчитать высоту и траекторию волны в случае аварии и предложить превентивные меры по уменьшению тяжести последствий.

Для образования солитона необходимо наличие в среде нелинейности и дисперсии. Разберем оба этих фактора. Наличие нелинейности в среде приводит к тому, что участки волны с большими отклонениями будут двигаться с большей скоростью, чем участки с меньшими отклонениями. Следствием этого будет укручение переднего фронта волны и последующее ее обрушение. Дисперсией называют зависимость фазовой скорости волны от частоты. Волну произвольной формы можно разложить в тригонометрический ряд Фурье, то есть на синусоидальные составляющие. Эти составляющие будут распространяться с различными фазовыми скоростями, что приведет к размытию

формы волны. Однако солитон, который тоже можно представить как сумму указанных составляющих, при движении свою форму сохраняет. Это происходит потому, что в такой волне нелинейность и дисперсия компенсируют друг друга.

Динамика плоских волн несжимаемой жидкости при постоянной глубине описывается уравнениями, которые сводятся к обобщенному уравнению Кортевега – де Фриза (1). Определяющую роль в решении уравнения играют установившиеся волны – солитоны.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sqrt{gh \left(1 + \frac{3\eta}{2h}\right)} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{h^2 \sqrt{gh}}{6} \frac{\partial^3 \eta}{\partial x^3} = 0. \quad (1)$$

Характеристики устоявшегося процесса определяются параметром Урселла (2), где H_0 и λ_0 – высота и длина начального возмущения. Этот параметр может служить мерой соотношения между нелинейностью и дисперсией. При значении параметра $U \ll 1$ нелинейность не существенна, при значениях $U \gg 1$ можно пренебречь дисперсией, а при значениях $U \sim 4$ необходимо учитывать оба фактора.

$$U = H_0 \lambda_0^2 / h^3. \quad (2)$$

Для исследования характеристик солитонов была создана экспериментальная установка (рис. 1): в лотке длиной 3 метра в разных точках были размещены два струнных (4 и 5) и два акустических (6 и 7) волнографа.

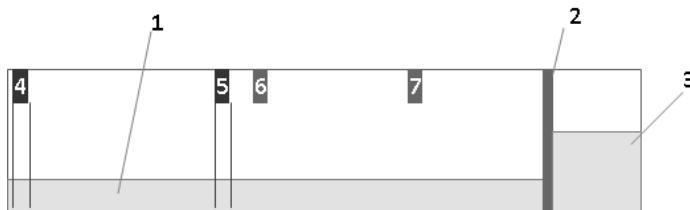


Рис. 1. Схема установки

При различных невозмущенных уровнях воды в лотке (1), методом перелива за поперечной перегородкой (2) создавалось начальное возмущение с различными параметрами, далее перегородка убиралась и после переходных процессов в лотке оставались только солитоны. В зависимости от параметра Урселла, в лотке распространялись от одного до четырех солитонов. При значениях параметра более 10 возмущение распадалось на несколько отдельных солитонов, а при значениях менее 4 образовавшийся

солитон обладал меньшей энергией, о чем свидетельствовала меньшая амплитуда. Также в ходе эксперимента было показано, что получаемые солитоны, несмотря на свою нелинейность, могут быть исследованы с применением акустических волнографов, то есть обладают достаточно малой крутизной.

На основании полученных данных можно рассчитать скорости распространения солитонов в лотке, однако, в нашем случае, точность их определения не позволила проанализировать зависимость скорости от характеристик солитонов. Эти данные использовались для расчета длины волны. Так как изучаемые нами волны непериодичны, то длиной волны мы считали ее полуширину. Нами была получена зависимость длины волны от времени распространения (рис. 2). На графике представлена одна из таких зависимостей, общей тенденцией которых можно назвать линейный рост.

Исследование изменения высоты солитонов в процессе распространения позволило проследить изменение во времени амплитудных значений отклонения поверхности жидкости. Полученные данные хорошо аппроксимируются экспоненциальной зависимостью (3), где a_t имеет смысл скорости затухания волны (рис. 3). Это объясняется основным фактором затухания, а именно вязкими силами, действующими на волну.

$$\frac{h(t)}{h_{\max}} = e^{-a_t t}. \quad (3)$$

Анализ общего массива полученных данных позволил определить зависимость скорости затухания от параметра Урселла и характеристик трассы распространения (рис. 4), однако для их

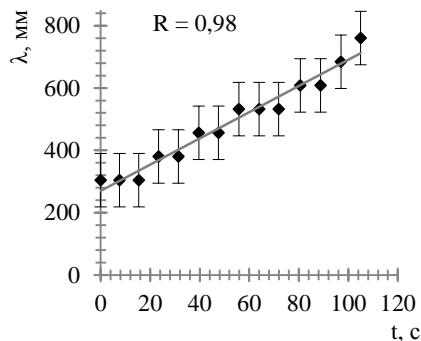


Рис. 2. Зависимость длины волны от времени

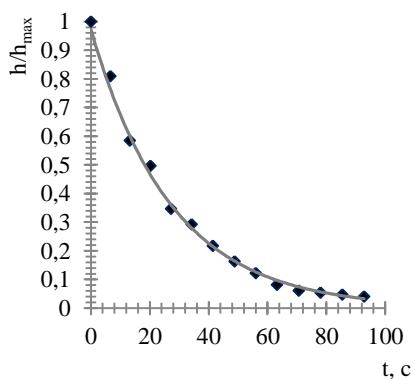


Рис. 3. Зависимость высоты возмущения поверхности от времени

исследования недостаточно экспериментальных данных, что создает перспективу будущих исследований.

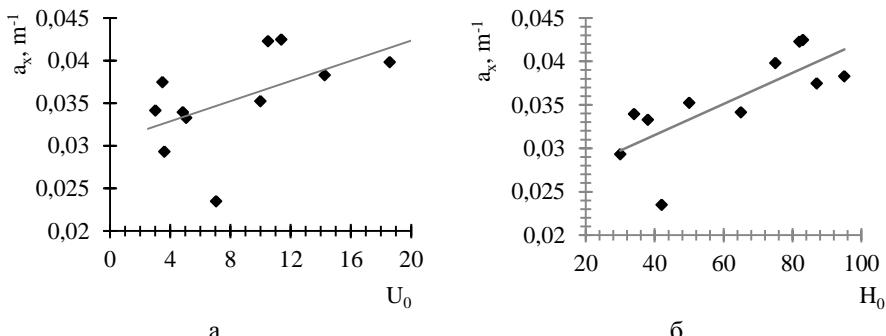


Рис. 4. Зависимость скорости спадания высоты:

а – от параметра Урселла; б – от высоты начального возмущения

Таким образом, в ходе работы была экспериментально проверена теория солитонов, соответствие ей экспериментальных данных подтверждает адекватность моделирования. Кроме этого, серия экспериментов позволила определить зависимость скорости затухания солитона от параметров самого солитона и от характеристик трассы распространения. Также была предпринята попытка описать изменение ширины солитона и его скорости в процессе распространения, но решение этой задачи требует большего количества экспериментальных данных.

Литература

1. Пелиновский Е.Н. Нелинейная динамика волн цунами. – Горький, ИПФ РАН, 1982. – 266 с.
2. Островский Л.А. Волны на поверхности жидкости // Физическая энциклопедия. Т. 1. / Под общ. ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 707 с.
3. Филиппов А.Т. Многоликий солитон // Библиотечка «Квант». – М.: Наука, 1990. – 288 с.

Профилирование газовых мишеней для экспериментов по ускорению электронов в поле кильватерной плазменной волны

Егоров Андрей Андреевич

11 класс, МБОУ СОШ № 183, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель А.А. Соловьев,
канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ИПФ РАН



В работе исследовался метод профилирования сверхзвуковой газовой струи при помощи ударной волны, которая создается внесением в струю подвижного лезвия. Данный метод позволяет добиться весьма специфического профиля концентрации газа со скачком, который необходим для эффективного ускорения электрона в поле кильватерной плазменной волны. Проблема заключается в том, что для восстановления профиля концентрации газа требуется детальный расчет показателей плотности газа, как в струе, так и в самой ударной волне. В данной работе предложен метод восстановления объемного профиля концентрации, основанный на обработке картин интерференции, полученных данных о пространственном распределении набега фазы и дальнейшем расчете пространственного распределения плотности частиц газа в каждой точке сечения газовой струи.

Одним из основных объектов исследования в физике взаимодействия лазерного излучения с веществом является плазма, образованная ионизацией этого вещества. При распространении в плазме короткого и мощного лазерного импульса в ней образуются структуры с огромным продольным электрическим полем, напряженность которого на несколько порядков превышает напряженность ускоряющего поля в современных ускорителях. Такие структуры двигаются за лазерным импульсом со скоростью, близкой к скорости света, и образуют поле так называемой кильватерной плазменной волны. Плазменные электроны, захваченные таким полем, могут быть ускорены до очень больших энергий, порядка нескольких ГэВ, при длине ускорения чуть больше сантиметра. Для того чтобы получить такую энергию, обычный линейный ускоритель должен иметь длину более 100 метров. Оценки показывают, что в кильватерной волне, генерируемой достаточно мощным лазерным импульсом, при оптимальном выборе параметров газовой мишени становится принципиально возможным ускорение электронов до энергий порядка 10 ГэВ, а протонов и легких ионов до нескольких ГэВ [3].

Изменение состава газа, формы лазерного импульса, а также профилирование самой плазмы позволяют управлять параметрами ускоренных электронов. Так, для эффективного ускорения электрона в поле кильватерной волны необходим весьма специфический профиль концентрации газа со скачком, который можно получить путем внесения лезвия в струю газа.

В данной работе нами исследовался метод профилирования сверхзвуковой газовой струи при помощи ударной волны, создаваемой внесением в струю подвижного лезвия. Получаемый профиль концентрации газа состоит из двух областей: с высокой концентрацией (ударная волна) и низкой (невозмущенная часть струи).

Проблема заключается в том, что для восстановления профиля концентрации газа требуется детальный расчет показателей плотности газа как в струе, так и в ударной волне. Целью исследования было восстановление объемного профиля концентрации истечения газа в струе с ударной волной. Объектом исследования являлась газовая струя со скачком концентрации, создаваемым подвижным лезвием над соплом, помещенная в одно из плеч интерферометра Маха-Цандера. Предметом исследования служил объемный профиль концентрации истечения газа при внесении лезвия.

Математическая модель. Зависимость коэффициента преломления вещества от плотности называется рефракцией. Согласно фор-

муле Лорентц-Лоренца значение $\frac{1}{\rho} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} = \text{const}$, здесь ρ – плотность газа, n – показатель преломления газа.

При значениях коэффициента преломления близких к единице формула упрощается до:

$$\frac{\rho}{n-1} = \text{CONST}. \quad (1)$$

Для нормальных условий значение константы для азота (по справочным данным): $\text{CONST} = 4,20144 \text{ г}/\text{см}^3 \times 4,29936 \times 10^{22} \text{ атомов}/\text{г} = 1,81022 \times 10^{23} \text{ атомов}/\text{см}^3$. (2)

Из выражения (1) имеем:

$$\frac{\rho_{\text{норм}}}{n_{\text{норм}} - 1} = \frac{\rho}{n - 1} \Rightarrow \rho = \frac{\rho_{\text{норм}}}{n_{\text{норм}} - 1} \cdot (n - 1) \text{ или } \rho = \frac{\rho_{\text{норм}}}{\Delta n_{\text{норм}}} \cdot \Delta n, \quad (3)$$

где ρ – текущая плотность газа, $\Delta n = (n - 1)$ – текущее изменение показателя преломления, $\rho_{\text{норм}}$ – плотность газа в нормальных усло-

виях и $\Delta n_{\text{норм}} = (n_{\text{норм}} - 1)$ – изменение показателя преломления в нормальных условиях по отношению к вакууму.

Текущее изменение показателя преломления рассчитывается как:

$$\Delta n = \frac{\Delta L}{L}, \quad (4)$$

где ΔL – изменение оптической толщины, обусловленное набегом фазы волны, L – оптическая толщина слоя, в котором происходит это изменение ΔL .

Изменение оптической толщины объекта определяется как:

$$\Delta L = \frac{\Delta \varphi \cdot \lambda}{2\pi}, \quad (5)$$

где $\Delta \varphi$ – набег фазы волны, λ – длина волны.

Подставляя в (3) выражения (4) и (5), окончательно получаем формулу для расчета изменения плотности в струе газа в зависимости от набега фазы волны $\Delta \varphi$:

$$\rho = \frac{\rho_{\text{норм}}}{\Delta n_{\text{норм}}} \cdot \frac{\Delta \varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{L}, \quad (6)$$

здесь величина $\frac{\rho_{\text{норм}}}{\Delta n_{\text{норм}}}$ является CONST и была найдена ранее (2).

Таким образом, задача расчета пространственного распределения плотности в фазовом объекте сводится к нахождению пространственного распределения набега фазы волны $\Delta \varphi$.

Расчет набега фазы волны выполнялся нами с помощью бесплатно распространяемого программного обеспечения IDEA, в котором можно получить численные значения фазовых функций для любого выбранного сечения на картине интерференции.

Восстановление объемного профиля концентрации истечения газа в струе с ударной волной выполнялось в несколько этапов. Сначала производилась обработка исходной картины интерференции. С помощью программного обеспечения IDEA, с использованием Фурье фильтрации, выполнялась ее очистка от посторонних шумов. Далее, с помощью той же программы IDEA, рассчитывалась дополнительная разность фаз $\Delta \mu$ между опорной и объектной волнами лазера, создаваемая фазовым объектом. Для аксиально-симметричного сечения газовой струи, по графику $\Delta \mu$, путем обратного преобразования

Абеля можно найти пространственное распределение набега фазы волны $\Delta\varphi$. И затем, используя полученное нами выражение (6), вычислить объемный профиль концентрации газа.

Однако для сечения, проходящего через ударную волну, нарушается условие аксиальной симметричности, необходимое для преобразований Абеля. Поэтому к расчету пространственного распределения плотности в газовой струе со скачком концентрации в ударной волне нами был применен оригинальный подход.

Идея заключалась в следующем. Если бы лезвие над соплом газовой струи отсутствовало, то распределение плотности в этой струе было бы аксиально-симметричным. Внесение же плоского лезвия в струю газа приводит к тому, что часть газа скапливается под лезвием и затем вытекает из под него в виде плоской уплотненной струи (ударной волны). То есть те частицы газа, которые должны были распределиться по аксиально-симметричной струе вплоть до границы выхода луча из плоской ударной волны, окажутся в самой ударной волне. За пределами ударной волны газовая струя остается ненарушенной. Уплотнение же газа в ударной волне формирует дополнительную разность фаз при прохождении через нее лазерного луча.

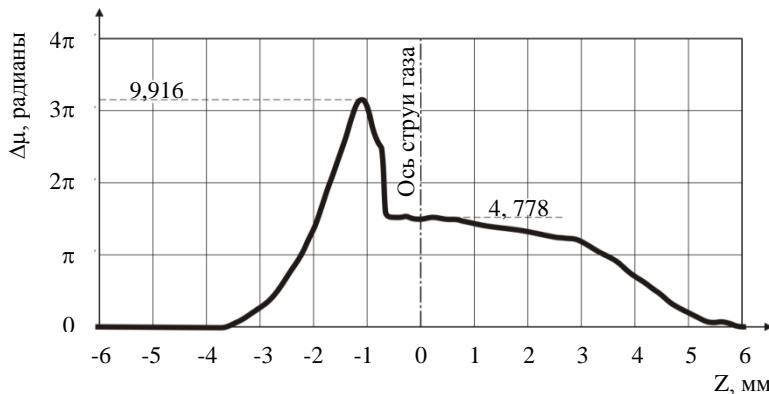


Рис. 1. График дополнительной разности фаз волны лазера

В левой части графика (рис. 1) видно, что сначала лезвие перекрывает газовую струю (изменение фазы мало), затем идет резкий скачок фазы (ударная волна, в которой собрался весь газ из-под лезвия). После выхода луча из плоской струи, он попадает в невозмущенную лезвием часть газового потока.

В связи с этим анализ распределения плотности был разбит нами на два этапа: 1) расчет аксиально-симметричного распределения плотности (для построения графика в невозмущенной области и получения данных для ударной волны), 2) расчет распределения плотности в ударной волне (по данным, полученным для аксиально-симметричного распределения).

На первом этапе правая относительно оси струи часть графика дополнительной разности фаз достраивается симметричной левой частью. С помощью обратного преобразования Абеля находится пространственное распределение набега фазы волны $\Delta\phi$. Затем, используя (6), рассчитывается распределение концентрации газа в аксиально-симметричной струе.

На втором этапе для расчета распределения плотности в ударной волне рассматриваются отдельно направления вдоль движения лазерного луча (ось Z) и поперек него (вдоль края лезвия – ось X).

Распределение концентрации частиц вдоль оси X находится интегрированием полученных данных в каждой отдельной полосе ΔX по сегменту аксиально-симметричной струи (хорда сегмента – граница выхода луча из плоской ударной волны). Данные, полученные в IDEA, представляют собой матрицы значений, что позволяет нам произвести численное интегрирование в каждой полосе ΔX и построить усредненное по толщине ударной волны распределение концентрации частиц газа вдоль оси X .

Распределение концентрации частиц по оси Y находим по данным левой части графика $\Delta\mu$ (рис. 1) как максимальные значения плотности в сечении $X=0$.

В итоге мы получили три одномерные матрицы значений: 1 – аксиально-симметричное распределение плотности, обрезанное плоскостью XY , проходящей через максимум плотности в ударной волне ($Z \approx -1.1 \text{ mm}$, см. рис.1); 2 и 3 – распределение плотности в плоской струе ударной волны по осям X и Z соответственно. Из второй и третьей матрицы строится двухмерная эллипсоидная матрица (X и Z – оси эллипса).

Окончательно мы имеем двухмерную результирующую матрицу значений, полученную выбором максимальных значений из аксиально-симметричной и эллипсоидной матриц. Визуализируем полученный результат средствами MatLab (рис. 2).

Программа для этого расчета результирующей матрицы была написана на языке Pascal (в Delphi). Входными данными служат

файлы *.dat, содержащие три исходные одномерные матрицы. На выходе мы имеем искомую матрицу объемного распределения концентрации частиц в струе с ударной волной. Благодаря попиксельному расчету, производимому в IDEA, мы имеем очень детальное численное представление пространственного распределения плотности вещества.

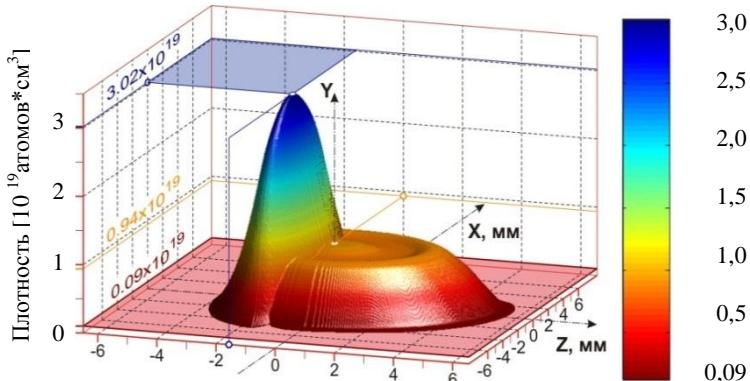


Рис. 2. Объемное распределение плотности в газовой струе с ударной волной

Заключение. В работе нами предложен метод детального построения пространственного распределения плотности во всех точках сечения газовой струи с ударной волной и восстановления объемного профиля концентрации частиц. Было показано, что внесение лазерия в газовую струю существенно профилирует истечение газа и повышает концентрацию частиц в ударной волне более чем в три раза. Это способствует увеличению эффективности ускорения заряженных частиц в поле кильватерной волны, образованной лучом фемтосекундного лазера.

В расчете, в качестве входных параметров, присутствуют не только данные интерферограмм, но и геометрические параметры струи и ударной волны, что позволяет, меняя входные характеристики, использовать разработанный нами метод при подборе оптимального профиля ударной волны.

Практическое значение. Детальный расчет показателей плотности газа в струе необходим для моделирования различных профилей газовой мишени с целью получения оптимальных результатов. Это позволит уменьшить энергозатраты и повысить эффективность лазерных ускорителей, увеличить скорость заряженных частиц и

уменьшить длину их разгона. Что очень важно для создания компактных ускорителей, востребованных в таких областях медицины, как протонная терапия рака, рентгеновский лазер на свободных электронах, создание короткоживущих изотопов для позитронно-эмиссионной томографии и тому подобных.

Сами принципы расчета, используемые в предлагаемом нами методе, можно применить, например, для определения концентрации частиц в любой, «видимой» для лазерного луча, точке пространства газовой мишени. Поскольку для измерений не требуется прямого контакта с веществом, достаточно лишь просветить его лазером. Таким образом, мы можем рассчитать пространственное распределение концентрации физически недосягаемых веществ, запечатанных внутри оптически прозрачных сред. Для расчета необходимо лишь узнать состав вещества в мишени (например, методами спектрометрии) и затем определить показатель преломления в таком же по составу образце газа в нормальных условиях.

Данную тему можно развивать и дальше с целью разработки за-конченного алгоритма для расчета и моделирования оптимального профиля и параметров газовых мишеней по входным численным данным. То есть непосредственно из интерферограмм оценивать значения ускорения электронов в поле кильватерной плазменной волны.

Выполненная нами *работа актуальна*, так как восстановление объемного профиля концентрации частиц при профилировании газовой струи ударной волной ранее не проводилось.

Литература

1. Асеев Г.И. Использование интерферометра Маха-Цендера для определения пространственного распределения показателя преломления и температуры в пламени. Учеб.-метод. рук. – Саратов: Изд-во Саратовского ГУ, 2005. – 35 с.
2. Беляев В.С., Крайнов В.П., Лисица В.С., Матафонов А.П. Генерация быстрых заряженных частиц и сверхсильных магнитных полей при взаимодействии сверхкоротких интенсивных лазерных импульсов с твердотельными мишенями // Успехи физических наук. 2008. Т. 178, № 8. – С. 823 – 847.
3. Коржиманов А.В., Гоносков А.А., Ким А.В., Сергеев А.М. Об ускорении протонов и легких ионов до энергий ГэВ при взаимодействии сверхсильного лазерного излучения со структурированной плазменной мишенью // Письма в ЖЭТФ 86. 2007, вып. 9. – С. 626 – 669.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб.пособие: Для вузов. 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.
5. Ложскарев В.В., Гаранин С.Г., Герке Р.Р. 100-тераваттный фемтосекундный лазер на основе параметрического усиления // Письма в ЖЭТФ 82. 2005, вып. 4. – С. 196 – 199.

Лабораторное исследование механических свойств природных сред методом резонансной акустической спектроскопии

Ермилин Елисей Александрович
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель А.И. Коньков,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Свойства природных сред существенно меняются в зависимости от наличия/отсутствия жидкости в них. Исследование этих эффектов позволяет лучше проводить прогнозирование при изменении степени насыщения. Целью работы является определение зависимости модулей упругости при наличии или отсутствии в природном материале жидкости. Построенные экспериментальные графики могут быть использованы для прогнозирования влияния насыщения жидкостью на характеристики природных сред.

В силу широкого распространения горных пород исследование их физико-механических характеристик представляет интерес как для фундаментальной науки, так и для многочисленных прикладных работ: поиска полезных ископаемых, подготовки площадок под строительство, диагностики загрязнения окружающей среды и т.д. Важным частным случаем исследования зависимости свойств горных пород от внешних условий является исследование влияния степени насыщения на их акустические свойства. Оно представляет интерес с прикладной точки зрения для построения диагностических систем поиска резервуаров, заполненных углеводородами, или источников чистой воды. При эксплуатации природных резервуаров изменения упругих модулей, вызванные физико-химическими взаимодействиями между скелетом и заполняющей его поры жидкостью, способны повлиять на состояние равновесия пород, привести к неупругому сжатию под действием литостатического давления и провалам грунта на поверхности.

Важными акустическими параметрами горных пород являются модули упругости. Метод резонансной акустической спектроскопии позволяет с высокой точностью измерять их величины, что дополняет данные натурных экспериментов.

В то же время свойства природных сред существенно меняются в зависимости от наличия/отсутствия жидкости в них. Исследование

соответствующих эффектов позволяет лучше проводить их прогнозирование при изменении степени насыщения.

Итак, цель нашего исследования – определить зависимость модулей упругости при наличии или отсутствии жидкости с помощью лабораторных измерений. Предметом исследования являлись резонансные частоты колебаний мод образца (которые зависят от механических свойств материала, из которого он изготовлен); их изменение при наличии/отсутствии жидкости; упругие параметры, вычисляемые из резонансных частот.

Для решения поставленной задачи мы использовали метод резонансной акустической спектроскопии, в основе которого лежит связь между спектром собственных частот образца и его механическими параметрами. Одним из его преимуществ является возможность одновременного определения как скоростей продольных волн, так и скоростей поперечных волн в области низких частот (единицы и десятки килогерц) на образцах малых размеров. Длины пробных волн, используемых в акустической спектроскопии, значительно превышают характерные размеры структурных неоднородностей (зерна, поры и т.п.), поэтому дисперсия скоростей, обусловленная рассеянием на неоднородностях структуры, не влияет на результат. Это обстоятельство позволяет проводить сравнение данных полевых измерений с данными, полученными в условиях лаборатории. Отличительной особенностью данной работы является одновременное измерение характеристик продольных и поперечных волн на одном образце.

В качестве исследуемого образца был взят мел формы параллелепипеда с отклонением углов не более $0,1^\circ$. Размеры образца составляли $73,5 \times 38,3 \times 55$ мм (погрешность измерения размеров – 10 мкм). Масса полностью насыщенного водой образца составляла 328,38 г, сухой образец имел массу 277,13 г. Взвешивание проводилось на лабораторных весах «Sartorius LA2000P» с абсолютной ошибкой измерения ± 1 мг (при массе образца меньше 1 кг). Плотность материала образца в случае его насыщения и при отсутствии насыщения составляла $2,12096$ г/см 3 и $1,78991$ г/см 3 соответственно. Образец рассматривался как однородное изотропное упругое тело.

В экспериментальной установке для измерения акустических свойств образец фиксировался между двумя пьезокерамическими передатчиками (рис. 1). На излучатель подавался сигнал с линейной перестройкой частоты, который затем усиливался. Таким образом,

возбуждалась продольная и первая крутильная мода. Сигнал с усилителя подавался на АЦП, и затем сворачивался с преобразованным цифровым сигналом.

Возбуждение колебаний образца происходило при помощи сигнала с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ сигнала) – перестраиваемого с мелким шагом тонального сигнала малой амплитуды, что обеспечивало линейный режим колебаний. В момент проведения измерений колебания можно было рассматривать как установившиеся. Шаг изменения частоты выбирался таким образом, чтобы обеспечить разрешение перекрывающихся резонансных откликов. Модули упругости вычислялись по формулам [2]:

$$\mu = 4\rho f_S^2 L^2 \text{ -- модуль сдвига,}$$

$$E = 4\rho f_P^2 L^2 \text{ -- модуль Юнга,}$$

где L – длина образца, ρ – его плотность, f_S – резонансная частота колебаний, отвечающая первой крутильной моде, f_P – резонансная частота колебаний, отвечающая продольной моде.

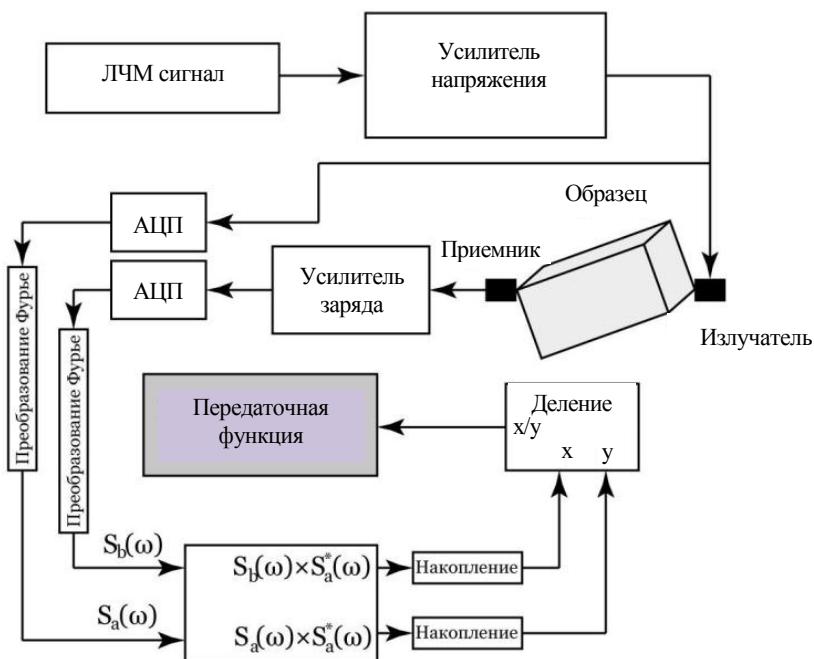


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Степень насыщения жидкостью измерялась следующим образом. Первоначально образец был осушен под вакуумом при давлении существенно меньше давления насыщенных паров воды. Затем, также под вакуумом, производилось его насыщение жидкостью. Для этого в том же объеме размещалась емкость с дистиллированной водой, в которую погружался образец. Давление в объеме уменьшалось до начала кипения жидкости. Излишки газа в порах образца удалялись в объем вакуумной камеры, в результате чего происходило полное насыщение пор парами жидкости с последующей конденсацией. После того как прекращалось выделение газов из образца, давление постепенно повышалось до атмосферного, и с этого момента времени были начаты акустические измерения.

Нами было проведено 35 экспериментальных измерений резонансной частоты колебаний, отвечающей первой крутильной mode, и резонансной частоты колебаний, отвечающей продольной mode, в зависимости от степени насыщения образца водой. Измерения резонансных частот были проведены в диапазоне 1 – 95 кГц, что позволило провести анализ частотных зависимостей модулей упругости. Полученные экспериментальные зависимости модулей упругости от степени насыщения жидкостью представлены на рисунках 2 и 3. Эти результаты находятся в согласии с аналогичными экспериментами [1, 4].

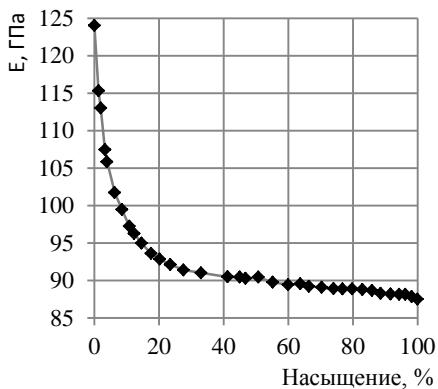


Рис. 2. Зависимость модуля Юнга от насыщения образца жидкостью

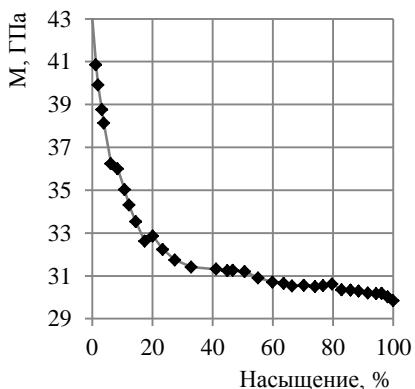


Рис. 3. Зависимость модуля сдвига от насыщения образца жидкостью

Полученные результаты объясняются следующим образом. При уменьшении количества жидкости в порах образца в области контак-

та двух зерен образуется мениски, в результате чего создается дополнительная сила поджатия зерен. При этом с уменьшением степени насыщения радиусы кривизны менисков уменьшаются, в результате чего капиллярное давление возрастает. Модуль упругости гранулированного материала зависит от силы сцепления зерен: чем больше сила сцепления, тем жестче материал. Таким образом, с уменьшением количества жидкости модуль упругости должен увеличиваться, что и наблюдается в эксперименте.

Таким образом, в ходе исследования нами были получены зависимости модулей упругости образца мела от степени насыщения водой, которые позволяют нам увеличить информативность соответствующих натурных экспериментов; представлено качественное объяснение полученных данных. В дальнейшем мы планируем оценить погрешности восстанавливаемых величин, а также провести аналогичные исследования на образцах других материалов.

Литература

1. Авербах В.С., Бредихин В.В., Лебедев А.В., Манаков, С.А. Акустическая спектроскопия эффектов влагонасыщения карбонатной горной породы. – Препринт №782. – Нижний Новгород, 2009. – 28 с.
2. Ландау Л.Д., Лишинц Е.М. Теория упругости. Т. 7. Теоретическая физика. – М.: Наука, 1965. – 202 с.
3. Сато Ю. Обработка сигналов. Первое знакомство / Под ред. Есимуфи Амэмия. – М.: Додэка, 1999. – 175 с.
4. Murphy W.F. Effects of partial water saturation on attenuation Massilon sandstone and Vycor porous glass // J. Acoust. Soc. Amer. 1982. V.71, № 6. P. 1458 – 1468.

Физические свойства мыльной пленки (мыльного пузыря)

Ерухимова Наталья Викторовна

8 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель П.М. Савкин,
преподаватель физики МБОУ Лицей № 40



В работе приводится объяснение причины образования устойчивой мыльной пленки и появления на ее поверхности радужных узоров, измеряется ее толщина и избыточное давление внутри мыльного пузыря. Находится максимальная высота, на которую может подняться мыльный пузырь.

Тонкие пленки различной природы являются элементами, которые используются природой и человеком для создания макроскопических и микроскопических объектов. Они широко используются в различных технологических и производственных процессах.

Мыльные пузыри всегда были не только красивым явлением природы, но и объектом интересов серьезных ученых. Так, Чарльз Бойс сто лет назад опубликовал книгу «Мыльные пузыри», которая по сей день является настольным пособием для физиков-теоретиков и экспериментаторов.

Мыльный пузырь – это заполненный газом шар, стенки которого образованы тонкой пленкой из смеси воды и поверхностно-активного вещества, чаще всего мыла (рис. 1). В мыльном пузыре слой воды оказывается заключенным между двумя пленками из молекул поверхностно-активного вещества. Эти пленки стабилизируют мыльный пузырь, так как они уменьшают испарение воды с поверхности пленки и ее поверхностное натяжение.

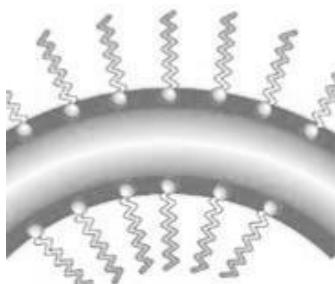
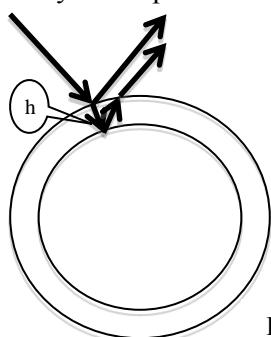


Рис. 1. Строение мыльного пузыря

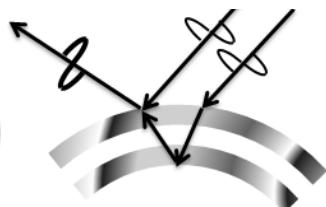


Рис. 2. Свет в мыльном пузыре

Переливчатые «радужные» цвета мыльных пузырей получаются за счет интерференции световых волн дневного света и зависят от толщины стенки пузыря. Когда свет проходит сквозь пленку пузыря, часть его отражается от внешней поверхности, тогда как другая его часть преломляется, проникая внутрь пузыря, и отражается уже от внутренней поверхности пленки (рис. 2). Проходя через внешнюю поверхность пленки, луч света еще раз преломляется. Возникает интерференция двух отраженных волн. Это и есть наблюдаемый нами цвет.

В ходе эксперимента была найдена толщина h стенки мыльного пузыря для профессионального и самодельного растворов. Все вычисления производились по формуле

$$h = \frac{V}{S} = \frac{m}{4\pi r^2 \rho},$$

где V – объем шара, S – площадь поверхности шара, r – радиус шара, ($r = 3,5$ см), ρ – плотность раствора, она была найдена стандартным способом и равна плотности воды.

Для выдувания крупного пузыря количество раствора на трубочке должно быть с достаточным запасом. Но контролировать этот запас практически невозможно. Поэтому в наших экспериментах количество раствора на трубочке было минимальным для получения одинаковых пузырей. Трубочка для выдувания мыльного пузыря обмакивалась в раствор, стряхивалась лишняя жидкость. Мыльный пузырь выдувался в стаканчик, и, лопаясь о стенки стаканчика, оставался в нем в виде жидкости. Эта процедура повторяется 40 раз. Таким образом, в стаканчике оказался раствор, равный по массе 40 мыльным пузырям.

$h_1 = (2000 \pm 300)$ нм – для профессионального раствора.

$h_2 = (1000 \pm 150)$ нм – для самодельного раствора.

По мере испарения воды и в связи со стеканием раствора вниз под действием силы тяжести толщина пленки уменьшается, в результате чего наблюдаемый цвет изменяется. В конце концов стенка пузыря становится тоньше, чем длина волны видимого света, и мы совсем перестаем видеть отражение (на темном фоне эта часть пузыря выглядит черным пятном). Эффект интерференции также зависит от угла, под которым луч света сталкивается с пленкой пузыря.

Избыточное давление в мыльном пузыре вычислялось по формуле

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r},$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, r – радиус пузыря.

Коэффициент поверхностного натяжения измерялся стандартным способом. Три раза измерялась сила F , при которой проволочная рамка длиной $l = 50$ мм, погруженная в раствор, отрывалась от него (рис. 3).

$$\sigma = \frac{F}{2l}.$$

$\sigma_1 = 0,0217 \text{ Н/м}$ – для профессионального раствора.

$\sigma_2 = 0,0267 \text{ Н/м}$ – для самодельного раствора.

Вычисления давления для профессионального раствора:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2 \times 0,0217}{0,035} \approx 1,2 \text{ Па},$$

для самодельного раствора:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2 \times 0,0267}{0,035} \approx 1,5 \text{ Па}.$$

Проведя эти эксперименты, мы можем найти максимальное давление, которое может выдержать мыльный пузырь, надутый при обычном атмосферном давлении на высоте 0 метров над уровнем моря, а значит, и максимальную высоту H , на которую может подняться мыльный пузырь, пренебрегая изменением температуры воздуха с высотой, испарением жидкости с поверхности мыльного пузыря и стеканием жидкости вниз под действием силы тяжести.

$$p_{\text{атм}} = n_0 \sqrt{\frac{h_{\text{мин}}^3}{h_0}} kt - 2\sigma \sqrt{\frac{4h_{\text{мин}}\pi\rho}{m}},$$

где n_0 – концентрация воздуха на нулевой высоте, h_0 – начальная толщина стенки пузыря, $h_{\text{мин}}$ – минимально возможная толщина стенки пузыря (толщина молекулы), k – постоянная Больцмана, t – температура при образовании пузыря, σ – коэффициент поверхностного натяжения пузыря, ρ – плотность мыльного раствора, m – масса пузыря.

$$p_{\text{атм}} = 0,1 \text{ Па}, H = 75 \text{ км}.$$

Если учитывать понижение температуры при подъеме шара в атмосфере, то он поднимется еще выше.

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных позволил определить толщину стенки мыльного пузыря, которая изменяется в пределах нескольких длин волн видимого светового диапазона. Избыточное давление воздуха внутри пузыря оказалось очень маленьким (1 – 2 Па). Выяснена причина устойчивости мыльной пленки и высота, выше которой мыльный пузырь подняться не

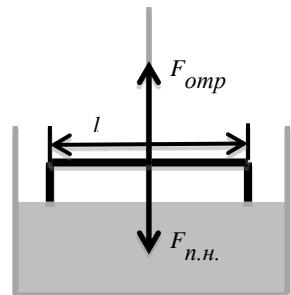


Рис. 3. Измерение коэффициента поверхностного натяжения в мыльном растворе

может. Наличие радужных полос на стенке пузыря объясняется интерференцией света на мыльной пленке, а их перемещение по стенке пузыря вызвано стеканием жидкости под действием силы тяжести, в результате чего изменяется толщина пленки.

Литература

1. Беленов А.Ф., Савкин П.М. Методические рекомендации и лабораторные работы по физике 10 класс. – Н.Новгород: Институт прикладной физики РАН, Научно-образовательный центр, 2005.
2. Беленов А.Ф., Савкин П.М. Учебное пособие, методические указания, лабораторные работы по физике 11 класс. – Н.Новгород: Нижегородский физико-математический Лицей № 40, 2004.
3. Витер В.Н. Большие мыльные пузыри // «Химия и Химики», 2011, № 1.
4. Элементарный учебник физики / Под ред. Г.С. Ландсберга. Т. 1, 3. – М.: Наука, 1975.

Изучение возможностей синтеза энергоэффективных магнитных систем микроволновых комплексов

Котельникова Дарья Алексеевна
11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН
Научный руководитель А.И. Цветков,
кандидат технических наук,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Рассмотрен вопрос создания эффективных магнитных систем микроволновых комплексов, являющийся весьма актуальным для ряда приложений. Разработаны программные средства для расчета распределения магнитного поля вдоль оси системы соленоидов с произвольными параметрами. Проведены экспериментальные измерения индукции магнитного поля. Исследованы возможности оптимизации таких систем с точки зрения энергоэффективности и конструктивного исполнения.

Ряд актуальных научных и прикладных задач диктует необходимость освоения источниками мощного когерентного излучения тера-герцового ($0,1 - 10$ ТГц) диапазона частот. Этот диапазон обладает рядом специфических особенностей, делающих его весьма привлекательным для широкого круга фундаментальных и прикладных исследований в области физики, химии, биологии и медицины. Одним из приборов, способных обеспечить в ТГц диапазоне высокие мощности генерируемого излучения, является гиротрон [3, 4]. Одной из основных сложностей при освоении указанного диапазона является создание магнитных систем, способных создавать в достаточно больших объемах стационарные поля с индукцией в несколько десятков тесла. Поля в диапазоне $10 - 20$ Тл еще могут быть созданы современными криомагнитами, хотя подобные устройства являются дорогими и недоступными широкому кругу пользователей. Энергопотребление «теплых» соленоидов, способных создать такие поля, исчисляется десятками МВт. Переход к работе на гармониках гирочастоты позволяет снизить энергопотребление основного соленоида магнитной системы, но при этом требуется обеспечить достаточно длинный участок однородного поля. Вышесказанное порождает проблему синтеза и оптимизации магнитных систем с минимальным энергопотреблением.

В рамках настоящей работы исследованы подходы к синтезу и оптимизации магнитных систем микроволновых комплексов, по-

строенных на основе соленоидов. Разработаны программные средства для расчета распределения поля вдоль оси системы соленоидов, имеющих форму произвольных тел вращения. Исследованы возможности оптимизации таких систем с точки зрения энергоэффективности. Проведены экспериментальные измерения индукции магнитного поля, показывающие адекватность предлагаемых подходов.

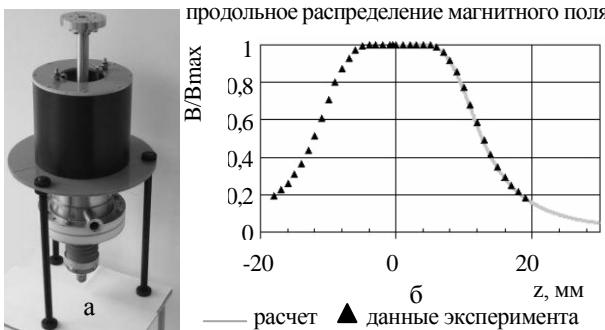


Рис 1. а – фотография соленоида, изготовленного в ИПФ РАН; б – результаты измерения магнитного поля с использованием датчика Холла и результаты расчета индукции с помощью разработанных программных средств

В общем случае требуется синтезировать магнитную систему, состоящую из набора соосных соленоидов [1, 2], так, чтобы распределение индукции $B^{norm}(z)$ магнитного поля вдоль оси z системы было наиболее близко к желаемому $B_S^{norm}(z)$ (нормированы на максимальное значение). Будем полагать, что магнитная система состоит из одного соленоида (основной соленоид гиротронного комплекса), и длина $2x_1$ синтезируемого соленоида известна. Подбор наиболее подходящего распределения магнитного поля осуществляется по двум параметрам: y_1 и y_2 – соответственно внутренним и внешним радиусами соленоида. Для сравнения текущего распределения с желаемым использовался метод наименьших квадратов.

Задачу оптимизации соленоида можно сформулировать следующим образом: требуется отыскать такие значения y_1 и y_2 , при которых

$$f(y_1, y_2) = \sum_{i=1}^n \left(B^{norm}(z_i, y_1, y_2) - B_S^{norm}(z_i) \right)^2 \rightarrow \min .$$

Ниже приведен пример графика минимизируемой функции $f(y_1, y_2)$ (рис. 2а). Значения внутреннего и внешнего радиусов y_1 и y_2 искомого соленоида следует выбирать в окрестности минимума функции $f(y_1, y_2)$ (на рис. 2б заштрихована серым цветом). На рисунке 3 для примера представлено требуемое распределение и распределения,

полученные в результате выбора значений y_1 и y_2 из окрестности минимизируемой функции.

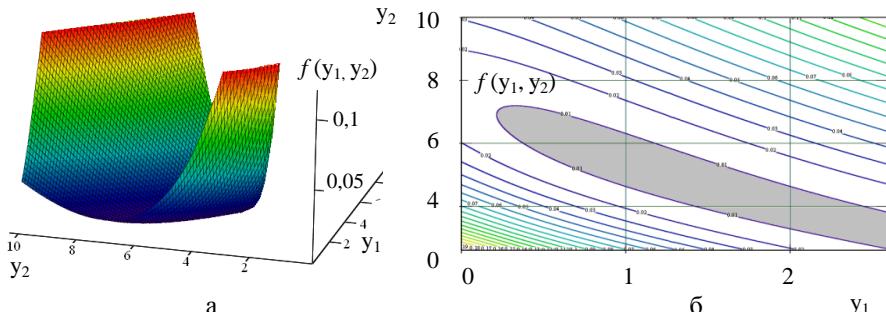


Рис. 2. а – график функции $f(y_1,y_2)$; б – линии уровня функции $f(y_1,y_2)$

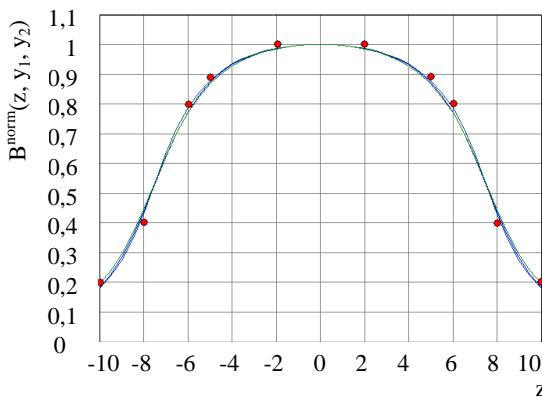


Рис. 3. Требуемое и полученные распределения магнитного поля вдоль оси соленоида

Такой подход дает возможность получить множество параметров y_1 и y_2 . При одинаковом максимальном значении индукции магнитного поля различным значениям указанных параметров будут соответствовать различные значения коэффициента заполнения, плотности тока в обмотке и, как следствие, потребляемой мощности. Это позволяет достаточно гибко варьировать характеристики соленоида для построения эффективной магнитной системы.

Литература

1. *Butenko V.I., Ivanov B.I. Calculation of non-uniform solenoids for focusing and acceleration of charged particles // Вопросы атомной науки и техники. 1999, № 3. С. 23 – 25.*
2. *Карасик В.Р. Физика и техника сильных магнитных полей. – М.: Наука, 1964. – 340 с.*
3. *Мануилов В.Н. Электронные пучки для мазеров на циклотронном резонансе // Соросовский образовательный журнал. Т. 7. 2001, № 10. С. 81 – 87.*
4. *Цимринг Ш.Е. Введение в высокочастотную вакуумную электронику и физику электронных пучков. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 2012. – 576 с.*

Измерение фазы оптического излучения при помощи дифракционного интерферометра

Локтев Федор Максимович

11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель С.Е. Стукачев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Разработана модификация дифракционного интерферометра, позволяющая проводить измерения фазы оптического излучения с точностью, сопоставимой с точностью классических интерферометров. Разработана оптическая схема устройства и решена задача восстановления фазы волнового поля по экспериментальным данным. Проведено экспериментальное тестирование модификации дифракционного интерферометра.

Световая волна характеризуется двумя параметрами: амплитудой (интенсивностью) и фазой. Если интенсивность можно определить с помощью фоторегистрирующих устройств, то непосредственно измерить фазу световой волны невозможно. Между тем, знание как амплитуды, так и фазы (или формы волнового фронта) оптического излучения оказывается необходимым для решения широкого круга исследовательских и прикладных задач в областях офтальмологии, лазерной физики, астрономии, адаптивной оптики [4]. Для определения фазы разработано большое количество методов, среди которых основными являются интерферометрический и голографический методы, метод Гартмана и метод фазового контраста Цернике.

Универсального метода регистрации волнового фронта оптического излучения не существует. Недостатки традиционных методов заставляют искать новые пути решения проблемы измерения фазы.

Из всех методов измерения фазы оптического излучения наиболее точным является интерферометрический метод [6]. Принцип интерферометрического анализа поверхности состоит в том, что волновой фронт монохроматического светового пучка, отраженного от исследуемой поверхности, несет в себе информацию о форме поверхности, а форма волнового фронта поддается восстановлению путем анализа картины интерференции этого пучка с другим, когерентным по отношению к нему пучком, называемым опорным.

Несмотря на все достоинства классических интерферометров, они обладают одним существенным недостатком – для их работы

требуется сторонняя когерентная опорная волна, что существенно ограничивает область их применения.

Решить данную проблему может дифракционный интерферометр (интерферометр с дифракционной волной сравнения, интерферометр с дифракцией на точке), в котором опорная волна формируется непосредственно из исследуемой волны, выделяемой или при помощи очень малого отверстия [1, 5], или при помощи одномодового световода [2]. На рисунке 1 приведена схема простейшего дифракционного интерферометра.

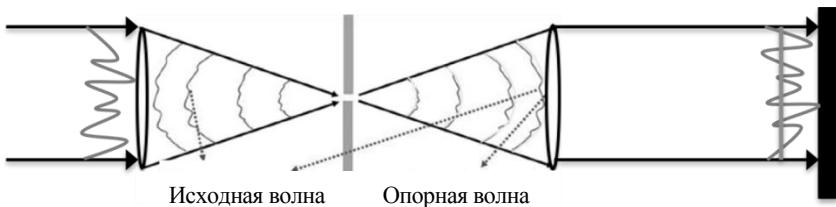


Рис. 1. Дифракционный интерферометр

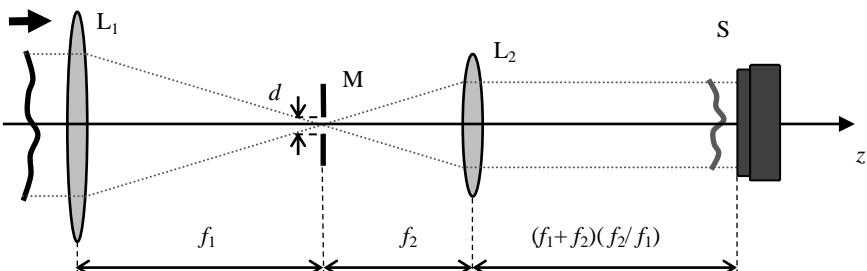
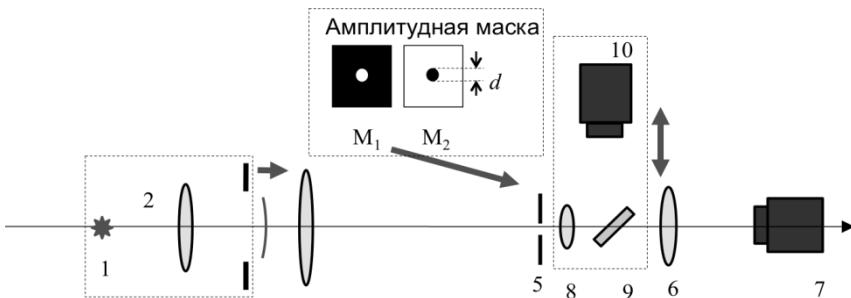


Рис. 2. Модификация

Нами была разработана модификация дифракционного интерферометра (рис. 2), позволяющая проводить измерения фазы оптического излучения с точностью, сопоставимой с точностью классических интерферометров. Световой пучок с неизвестным распределением комплексной амплитуды волнового поля $E_0(x, y)$ падает на линзу L_1 с фокусным расстоянием f_1 , расположенную в плоскости $z = 0$. В фокальной плоскости линзы помещена амплитудная маска M . Линза L_2 , с фокусным расстоянием f_2 переносит изображение из плоскости линзы L_1 в плоскость с координатой $z_S = (1 + f_2/f_1)(f_1 + f_2)$, в которой расположен матричный приемник S .

В фокальной плоскости $z = f_1$ поочередно устанавливаются две амплитудные маски, одна из которых представляет собой экран с отверстием, а другая является дополнительным экраном к первой. Наша схема позволяет восстанавливать фазу волнового поля по результатам трех измерений интенсивности: с установленными поочередно масками и без маски.

Задача распространения светового пучка через установку, реализующую модифицированный дифракционный интерферометр, решается в рамках теории дифракции Кирхгофа [3]. Такое описание позволяет аналитически получить выражения, содержащие явную зависимость от фазы волнового поля на линзе L_1 .



1. Суперлюминесцентный диод. $\lambda=678$ нм
2. Линза L_0 , $F=160$ мм
3. Экран с отверстием. $D=9$ мм
4. Линза L_1 , $F=500$ мм
5. Амплитудная маска. Cr-Au $d = 20$ мкм
6. Линза L_2 , $F=160$ мм
7. CCD-камера 1
8. Микрообъектив $x10$
9. Плоское зеркало
10. 1CCD-камера 2

Рис. 3. Принципиальная схема экспериментального стенда

Нами был создан экспериментальный стенд, реализующий модификацию дифракционного интерферометра, принципиальная схема которого представлена на рисунке 3. В качестве теста установки было проведено экспериментальное тестирование модификации дифракционного интерферометра при помощи созданной установки на примере восстановления фронта плоской волны. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

Таким образом, в ходе исследования нами были получены следующие результаты: разработана оптическая схема модификации дифракционного интерферометра; решена задача восстановления фазы волнового поля по экспериментальным данным; создан эксперимен-

тальный стенд, реализующий модификацию дифракционного интерферометра, и проведено экспериментальное тестирование модификации дифракционного интерферометра при помощи созданной установки.

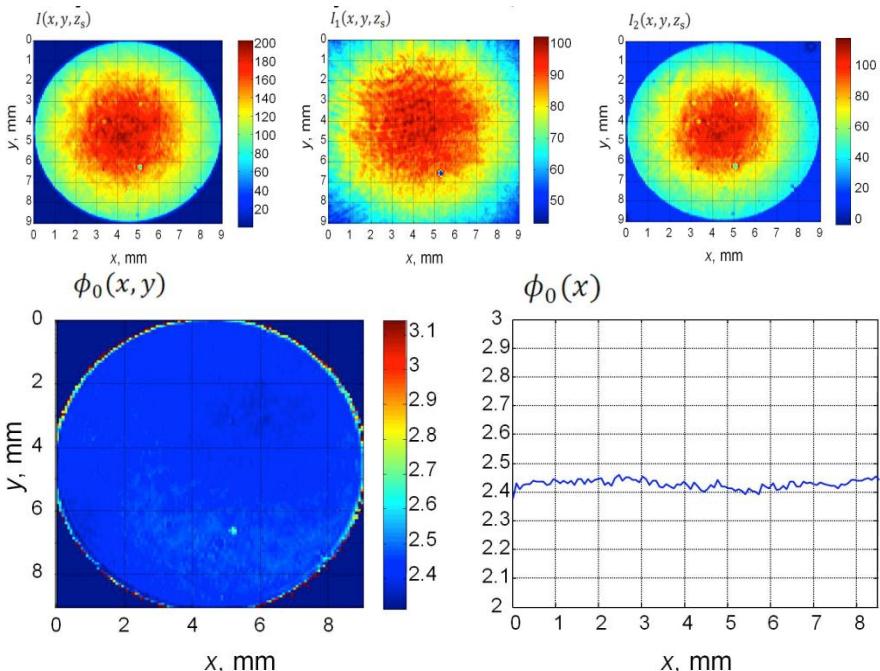


Рис. 4. Результаты экспериментального тестирования

Литература

1. Smartt R.N., Steel W.H. Theory and Application of Point-Diffraction Interferometers // Jpn. J. Appl. Phys. 14. 1975. – P. 351.
2. Sommargren G.E. Laser Focus World. 1996, 32. – P. 61 – 71.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
4. Зверев В.А. Физические основы формирования изображений волновыми полями – Н.Новгород: ИПФ РАН, 1998. – 252 с.
5. Линник В.П. Тр.ГОИ.Л. 1934, 10 В. 95.
6. Оптический производственный контроль / Под ред. Д.М. Малакары. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.

Аппаратная реализация выпрямителя в системе двух коаксиальных витков

Надршина Яна Камильевна

10 класс, МБОУ Лицей № 180, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин, канд. физ.-мат. наук, доцент НГПУ им. К. Минина, заведующий отделом Нижегородского планетария



В работе рассматривается применение явления электромагнитной индукции для создания устройства беспроводной подзарядки батареи. Построена модель устройства, которая представляет собой две коаксиальные катушки (внешняя и внутренняя) и выпрямитель, соединенный с внутренней. Произведен анализ характеристик модели с целью получения наиболее выгодной. Исследована электромагнитная совместимость разработанного устройства с другими электронными приборами.

В наши дни проводятся разработки систем, осуществляющих подзарядку гаджетов без присоединения их к источнику питания, подзарядку электромобилей при движении по «умной дороге». Так например, ученые в Корейском институте передовой науки и техники в городе Тэджон разработали электрические автобусы, заряжающиеся прямо во время движения, которые работают на линии в Южнокорейском городе Куми. Два автобуса, работающие на внутренних городских маршрутах, получают питание от подземных кабелей, проложенных в толщине дорожного покрытия [4].

Существует несколько схем процесса беспроводной подзарядки, но основная идея состоит в том, что имеется два контура: по одному протекает переменный ток определенной частоты, а во втором на основе электромагнитной индукции возникает переменная ЭДС, что позволяет осуществить подзарядку. Данная система уже рассматривалась автором в работах [2, 3], по данным которых можно спрогнозировать максимальную мощность, передаваемую в процессе электромагнитной индукции.

Цель данного исследования: на основе ранее полученных данных собрать устройство, позволяющее осуществить беспроводную подзарядку сотового телефона; рассчитать необходимые параметры для системы коаксиальных витков и выпрямителя.

Для достижения цели была разработана схема (рис. 1.), которая состоит из двух коаксиальных катушек (внешней и внутренней).

Внутренняя катушка соединена с диодным мостом (выпрямительным [1]). Система диодного моста в качестве выпрямителя выбрана из-за простоты работы и малых потерь. Основное достоинство схемы такого выпрямителя состоит в том, что на его выходе уже есть плюс и минус. Конденсатор в схеме необходим для дальнейшего сглаживания пульсаций, так как фактически на плюсе два полупериода положительного напряжения, а на минусе два полупериода отрицательного напряжения.

В ходе эксперимента оказалось, что конденсатор подобран неверно, хотя значения постоянного напряжения были достаточными для целей работы, а значение силы тока оказалось недостаточным для фиксирования прибором.

В ходе эксперимента собранная установка (рис. 2) была подключена к генератору, с которого на внешнюю катушку подавалось напряжение разной частоты. С помощью мультиметра измерялись переменные напряжение и сила тока на внешней и внутренней катушке и постоянное напряжение на выходе выпрямителя. По полученным результатам были рассчитаны мощности, подаваемые на внешнюю катушку и снимаемые с выпрямителя.

Мощность, подаваемая на внешнюю катушку: $P_{вн} = U_{вн} I_{вн}$, где $U_{вн}$ и $I_{вн}$ – измеренные значения переменного напряжения и силы тока, подаваемые на внешнюю катушку.

Мощность, снимаемая на выходе выпрямителя: $P_{вых} = \frac{U_{пост}}{R}$,

где $U_{пост}$ – постоянное напряжение на выходе выпрямителя, R – активное сопротивление внутренней катушки. Сопротивлением выпрямителя пренебрегаем в силу его малой величины.

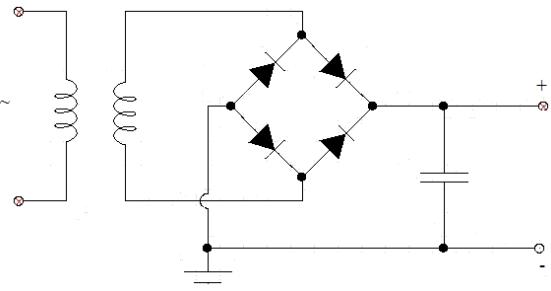


Рис. 1. Разработанная схема устройства



Рис. 2. Собранный установка

На основе измерений построены зависимости (рис. 3, 4). Их анализ показывает, что напряжение на внешней катушке не зависит от частоты. Значение постоянного напряжения достигает максимума в интервале частот от 1000 до 2000 Гц. Следовательно, и мощность на выходе выпрямителя в данном интервале частот достигает максимального значения, которое равно 1,29 Вт.

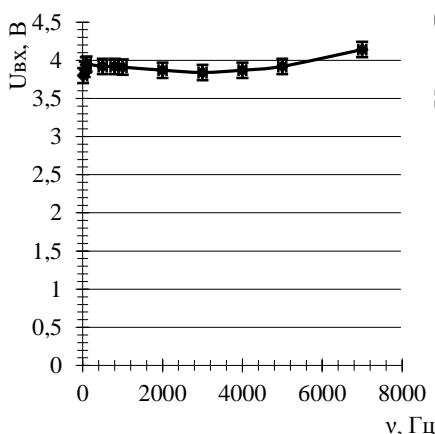


Рис. 3. График зависимости входного напряжения от частоты

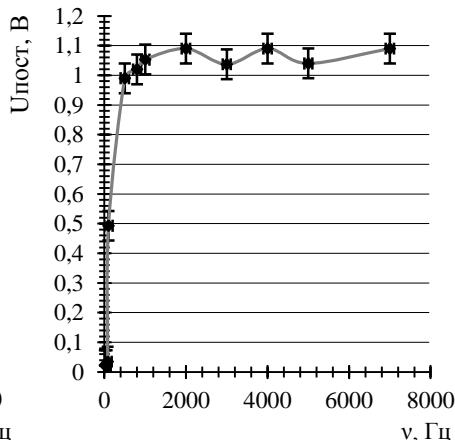


Рис. 4. График зависимости постоянного напряжения от частоты на выходе выпрямителя

Таблица. Мощности, подаваемые на внешнюю катушку, и мощности на выпрямителе

v , Гц	10	50	80	100	500	800	1000	2000
$P_{вх}$, Вт	1,05	1,06	1,065	1,185	1,45	1,52	1,517	1,447
$P_{вых}$, Вт	0	0	0	0,38	0,97	1,27	1,31	1,29
$k = P_{вых} / P_{вх}$	0	0	0	0,32	0,67	0,84	0,86	0,89

v , Гц	3000	4000	5000	7000
$P_{вх}$, Вт	1,382	1,323	1,262	1,2
$P_{вых}$, Вт	1,21	0,98	0,78	0,68
$k = P_{вых} / P_{вх}$	0,87	0,74	0,62	0,57

Основные результаты расчета мощности, подаваемой на внешнюю катушку, и мощности, снимаемой с выпрямителя, приведены в таблице.

Анализ результатов показывает, что при частотах в интервале 1000 – 2000 Гц достигается максимальный коэффициент передачи

$$\text{мощности } (k = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}).$$

Для минимизации затрат были найдены оптимальные частоты (1000 – 2000 Гц), при которых достигаются наибольшие значения мощности на выпрямителе. В ходе эксперимента, для проверки электромагнитной совместимости установки, в непосредственной близости от работающей установки были включены два телефона, что никак не сказалось на их работе. Можно утверждать, что электромагнитное излучение, создаваемое устройством (на данных частотах), не создает проблем в работе сотовых телефонов.

Заключение. В процессе проведенного исследования была разработана и реализована схема устройства, позволяющего заряжать электрические приборы без присоединения их к источнику питания. Был проведен анализ необходимых характеристик такого устройства для получения наиболее выгодной мощности.

Для зарядки телефонов необходима мощность от 2 до 3 Вт, в зависимости от модели телефона.

Мощность, полученная в ходе работы, равна 1,29 Вт. Можно утверждать, что зарядка гаджетов от такой системы возможна. В процессе исследования было выяснено, что электромагнитное излучение, создаваемое устройством (на данных частотах), не создает проблем в работе сотового телефона.

Работа будет иметь продолжение по определению жизнеспособности данной системы при условии нахождения катушек на расстоянии друг от друга.

Литература

1. Евсюков А.А. Электротехника: Учеб. пособие для студентов физ. спец. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1979. – 248 с.
2. Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; Нижегородский научный центр РАН. – Выпуск 6. – Н. Новгород, 2013. – 171 с. – С. 55 – 58.
3. Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; Нижегородский научный центр РАН. – Выпуск 5. – Н. Новгород, 2012. – 208 с. – С. 53 – 57.
4. Электроавтобус заряжается от дороги // Наука в фокусе, № 2, 2014.

Исследование сверхпроводящей магнитной левитации и ее преимуществ в создании маглева

Раянова Радмила Робертовна

9 класс, МБОУ Лицей № 38, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Л.С. Ревин,
младший научный сотрудник ИФМ РАН



В работе был экспериментально исследован эффект магнитной левитации, численно найдена зависимость силы левитации от расстояния для систем магнит-магнит и сверхпроводник-магнит. Эффект устойчивости сверхпроводника в магнитном поле был экспериментально исследован и объяснен проникновением магнитных вихрей. Получена верхняя оценка числа проникающих вихрей. Показано преимущество сверхпроводящей левитации в сравнении с обычной магнитной: для устойчивой левитации не требуется дополнительно закреплять образец, поле «вмораживается» в сверхпроводник за счет вихрей и препятствует изменению его положения.

Состояние, при котором твердое тело «парит» в силовом поле подвеса без какого-либо механического контакта с окружающими телами, называется левитацией. Применение левитации открывает новую эру в развитии транспортной техники, позволяя создавать перспективный высокоскоростной транспорт – поезда на магнитной подвеске (маглев).

В данной работе была поставлена задача найти зависимость силы магнитной левитации от расстояния между образцами в системе магнит-магнит и сверхпроводник-магнит, объяснить эффект захвата сверхпроводника магнитным полем с помощью квантовых вихрей и рассчитать количество проникающих вихрей в сверхпроводник.

Первый эксперимент (рис. 1): измерение силы магнитной левитации в зависимости от расстояния между магнитами. Мы положили магнит (массой m_1 или m_2) на опору. Над ним закреплен магнит массой M в тонком полом стержне, для того чтобы фиксировать его вертикальное положение, иначе маг-



Рис. 1. Стенд для измерения силы левитации в системе магнит-магнит

нит перевернется и притягнется другим полюсом. На верхний магнит М действует сила тяжести, но сила магнитного взаимодействия между магнитами М и m_1 (m_2) уравновешивает систему. Нагружая верхний магнит грузами и измеряя расстояние между магнитами, мы получили зависимость силы магнитной левитации от расстояния. Силу мы находили как массу верхнего магнита, прибавленную к массе груза, умноженную на ускорение свободного падения.

В результате измерения получена зависимость силы левитации от расстояния для двух разных магнитов (рис. 2), лежащих на опоре. При этом левитирующий магнит был одним и тем же. Видно, что чем ближе магниты друг к другу, тем больше сила левитации (сила взаимодействия).

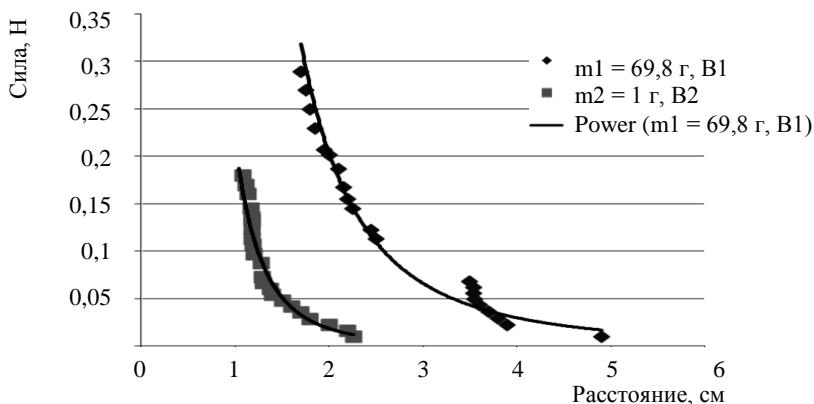


Рис. 2. Зависимость силы магнитной левитации от расстояния для двух различных магнитов на опоре

Второй эксперимент был схож с первым, за исключением того, что магнит левитировал над сверхпроводником, помещенным в емкость с азотом при температуре -173°C для поддержания сверхпроводящего состояния. Сверхпроводники – это особый класс металлов, сопротивление которых при охлаждении до низких температур становится нулевым, то есть сверхпроводники проводят малый ток без сопротивления. Другим важным свойством сверхпроводников является способность выталкивать из своего объема внешнее магнитное поле. Эти свойства сверхпроводников приводят к следующему эффекту: в отсутствие поля сверхпроводник не проявляет никаких магнитных свойств, но если к нему поднести магнит, он будет отталкивать его как магнит того же

полюса. То есть в системе сверхпроводник – магнит может наблюдаться магнитная (сверхпроводящая) левитация.

В работе использовался высокотемпературный сверхпроводник $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Результаты эксперимента (рис. 3) – зависимость силы сверхпроводящей магнитной левитации от расстояния. Так же, как и в первом эксперименте, чем ближе друг к другу сверхпроводник и магнит, тем больше сила их взаимодействия.

В третьем эксперименте мы закрепили магнит над сверхпроводником (рис. 4). Расставив силы, действующие на сверхпроводящую пленку, мы выяснили, что все силы направлены в одну сторону (сила тяжести действует вниз и сила магнитного взаимодействия отталкивает сверхпроводящую пленку от магнита).

Это кажется парадоксально, так как в таком случае сверхпроводник должен был бы лететь вниз с ускорением, но этого не происходит: пленка зависает под магнитом на определенном расстоянии. При достаточно большом внешнем поле сверхпроводник не может больше полностью выталкивать его, и поле начинает проникать в виде магнитных вихрей, которые можно представить как тонкие ци-

линдры, пронизывающие сверхпроводящую пленку. Это и есть основное и главное отличие сверхпроводящей магнитной левитации. Магнитная левитация – это всегда противодействие силы притяжения и силы тяжести, сверхпроводящая левитация

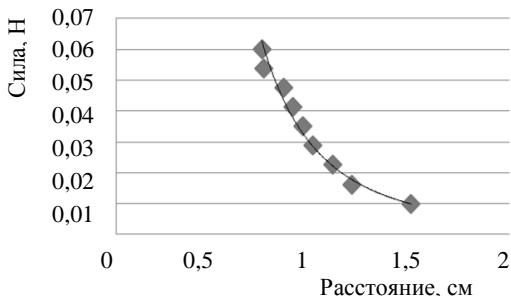


Рис. 3. Зависимость силы сверхпроводящей левитации от расстояния

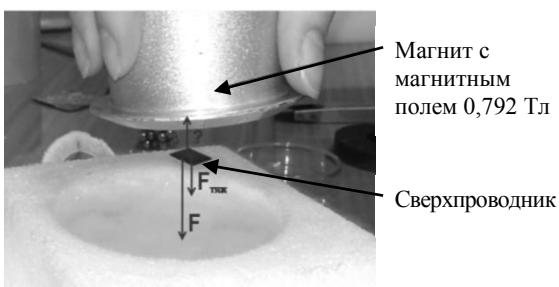


Рис. 4. Эксперимент по левитации сверхпроводящей пленки в поле мощного магнита. Кажущийся парадокс левитации

не зависит от силы тяжести, сверхпроводник просто зависает за счет «вмораживания» магнитного поля и проникновения вихрей.

Для объяснения этого эффекта расставим силы, действующие на сверхпроводящую пленку. Вначале, когда у нас нет вихрей, мы подносим сверхпроводник к магниту, магнитные линии искривляются, а сила магнитного взаимодействия со стороны магнитных линий направлена вниз (рис. 5а). То есть магнит будет отталкивать сверхпроводник и вместе с силой тяжести стремиться его уронить. С какого-то момента (мы поднесли сверхпроводник или магнит близко, сила взаимодействия увеличилась, исходя из полученных экспериментальных данных, рис. 3), в сверхпроводник проникли вихри, магнитные линии которых действуют на пленку силой, направленной вверх (рис. 5б). Таким образом, устанавливается равновесное положение пленки под магнитом.

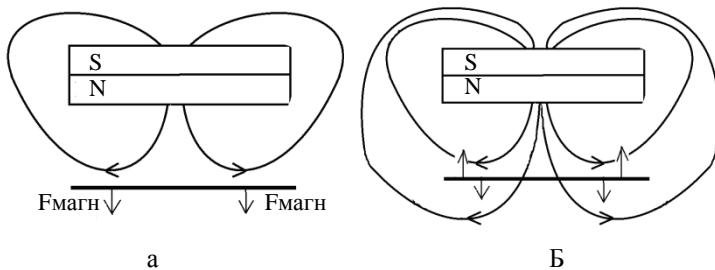


Рис. 5. Силы, действующие на сверхпроводящую пленку со стороны магнитных линий: а – большое расстояние между магнитом и сверхпроводником (или малое внешнее поле); б – малое расстояние (или большое поле)

Проведем расчет количества вихрей, проникающих в пленку. Магнитный поток, создаваемый магнитом через площадь сверхпроводящей пленки, равен величине магнитной индукции, умноженной на площадь сверхпроводника: $\Phi = B_{\text{магнита}} * S_{\text{пленки}}$. Зная магнитный поток одного вихря, $\Phi_0 = 2,067833 * 10^{-15}$ Вб, делим общий поток на поток вихря и находим число вихрей: $N_1 = \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{B_{\text{магн}} S_{\text{пленки}}}{\Phi_0}$. С другой стороны, вихри имеют определенный размер и не сжимаются. Таким образом, есть геометрическое ограничение: сколько можно поместить вихрей (окружностей) в площадь сверхпроводника (прямо-

угольника). Зная размеры пленки (квадрат со стороной 0,01 м) и диаметр вихря (0,2 мкм), рассчитаем количество помещающихся вихрей: $N_2 = \left(\frac{0,01}{0,2 \cdot 10^{-6}} \right)^2 = 25 \cdot 10^8$. В результате число вихрей получается выбором минимального числа, полученного расчетом по первой и второй формулам. В нашем эксперименте при выбранном магните и выбранной пленке сверхпроводника в пленку могут проникнуть до двух с половиной миллиардов вихрей.

Таким образом, в результате работы был экспериментально исследован эффект магнитной левитации, численно найдены зависимости силы левитации от расстояния между сверхпроводником и магнитом, магнитом и магнитом. Эффект устойчивости сверхпроводника в магнитном поле был экспериментально исследован и объяснен проникновением магнитных вихрей. Получена верхняя оценка числа проникающих вихрей. Показано преимущество сверхпроводящей левитации в сравнении с обычной магнитной: для устойчивой левитации не требуется дополнительно закреплять магниты, сверхпроводник захватывается полем за счет вихрей и препятствует изменению своего положения.

Литература

1. Гинзбург В.Л., Андрюшечкин Е.А. Сверхпроводимость. – М.: Альфа-М, 2006.
2. Ермолаев Ю.С., Руднев И.А. Применение высокотемпературных сверхпроводников в подшипниках и бесконтактных опорах // Научная Сессия МИФИ-2007. Т. 4. Лазерная физика. Физика плазмы. Сверхпроводимость и физика наноструктур. 2007. С. 177 – 179.

Оптическая ловушка для сферических диэлектрических частиц

Силин Денис Алексеевич

11 класс, МАОУ Лицей № 36, ШЮИ ННЦ РАН

**Научный руководитель А.А. Мурзанев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН**

В работе исследовалось влияние светового давления на прозрачные частицы. Наличие импульса у света приводит к тому, что в процессах отражения, поглощения и рассеяния света телами последние могут испытывать механическое воздействие. Это воздействие настолько мало, что долгое время о практическом его применении никто не задумывался. Предположение о наличии светового импульса, высказанное Дж. Максвеллом, нашло подтверждение в экспериментальных работах П.Н. Лебедева, а практическое применение явление давления света получило в работах А. Эйкина, создавшего оптический пинцет.



Удержание частицы в заданной области пространства, а также изменение ее местоположения, не имея с ней физического контакта, является, на первый взгляд, невыполнимой задачей. Однако материя во Вселенной представлена не только привычным нам веществом, но и излучением. Вещество и излучение взаимодействуют между собой. Солнечный свет нагревает поверхность Земли, сообщая огромное количество энергии, но, помимо энергии, свет обладает импульсом. В работе мы исследовали передачу импульса света телам в процессах отражения, поглощения и рассеяния.

Мы искали условия, при которых сила тяжести, действующая на прозрачную сферическую диэлектрическую частицу с заданной плотностью и показателем преломления, отличным от окружающей среды, может быть уравновешена силой светового давления.

Для описания исследуемого явления была построена *математическая модель*. Используя приближение геометрической оптики, рассчитывался характер хода лучей через сферу. Преломление света на границе двух сред описывается законом Снеллиуса: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$, где n_1 и n_2 – показатели среды, из которой свет падает на границу раздела, и среды, в которую он проникает, соответственно, а θ_1 и θ_2 – углы, отсчитанные от нормали к поверхности соответственно в первой и второй средах. Разница показателей преломления приво-

дит к отражению света на границе двух сред, коэффициент отражения излучения в поперечной и продольной (плоскость колебаний вектора электрического поля лежит в одной плоскости с направлением падения и нормалью к поверхности раздела) поляризации вычисляют по формулам Френеля:

$$R_s = \frac{\tg^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tg^2(\theta_1 + \theta_2)}; R_p = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)}.$$

Оценим силу, которую испытывает тело при падении лазерного излучения на его поверхность. Объемная плотность импульса света равна $G = I/c^2$ где I – интенсивность излучения, а c – скорость света. Мощность излучения можно выразить через интенсивность и площадь поперечного сечения пучка $P=I\cdot S$. Максимальное давление со стороны лазерного излучения испытывало бы зеркало, площадь которого полностью перекрывает пучок. Сила, действующая на него, составила бы $F_0 = \frac{2*P}{c}$. Этот случай аналогичен передаче импульса при абсолютно упругом соударении тел. Для случая поглощающей поверхности имеем $F_0 = \frac{P}{c}$, что аналогично случаю неупругого соударения. Так как изучаемая нами частица прозрачна, то при тех же условиях сила, действующая на нее, будет меньше, чем максимально возможная. Введем коэффициент Q , который определяется характером рассеяния света частицей, тогда для силы, направленной вдоль направления распространения излучения, имеем:

$$F_z = F_0 \cdot Q, \text{ где } 0 < Q < 1.$$

В эксперименте мы работали с прозрачными диэлектрическими сферическими частицами. Чтобы вычислить силу, действующую на частицу, мы рассчитаем безразмерные множители q_i , которые определяются преломлением и отражением лучей на передней и задней поверхности сферы.

$$q_1 = \int_0^{\pi/2} \cos\theta * \sin\theta * (1 + \cos(2 * \theta)) * \langle R \rangle d\theta,$$

$$q_2 = \int_0^{\pi/2} \cos\theta * \sin\theta * (1 - \cos(\theta - \theta_2)) * \langle T \rangle d\theta,$$

$$q_3 = \int_0^{\pi/2} \cos\theta * \sin\theta * (\cos(\theta - \theta_2) + \cos(3 * \theta_2 - \theta)) * \langle TR \rangle d\theta,$$

$$q_4 = \int_0^{\pi/2} \cos\theta * \sin\theta * (\cos(\theta - \theta_2) - \cos(2 * \theta - \theta_2)) * \langle T^2 \rangle d\theta,$$

где $\langle R \rangle, \langle T \rangle, \langle TR \rangle, \langle T^2 \rangle$, вычисляются из формул Френеля. Коэффициент Q рассчитывается как сумма $Q = \sum_{i=1}^4 q_i$ и является безразмерной величиной; она зависит лишь от формы частицы (у нас это сфера) и коэффициента преломления материала, из которого она выполнена.

Оценим параметры излучения, при которых может быть достигнуто равновесие силы тяжести и силы светового давления. Из равенства $F_z = mg$, где g – ускорение свободного падения, m – масса частицы, получим для частиц из полистирола ($Q = 0,2$, $\rho = 1,06 * 10^3$ кг/м³) мощность падающего на частицу излучения. Она будет равна $r^2 * I_0 * \pi$, откуда радиус частицы $r = 9,4 \times 10^{-14} I_0$, r имеет размерность мкм, I_0 – Вт/см². Сила давления света для частиц диаметром ~30 мкм составляет десятки пиканьютон. Уменьшить пороговую интенсивность, при которой достигается равенство силы тяжести и силы давления света, можно, увеличив коэффициент преломления частицы, уменьшив вес частицы или увеличив рассеяние света, вызываемое частицей. К последним двум результатам приводит вырезание симметричной полости внутри частицы. Нами было предложено использовать полые стеклянные частицы ($n_{\text{стекла}} > n_{\text{полистирола}}$), что позволит, используя один и тот же источник света, уравновесить силу тяжести для частиц большего размера. При проведении расчетов мы предполагали, что вся мощность лазерного излучения равномерно распределена в поперечном сечении частицы, в действительности это не так.

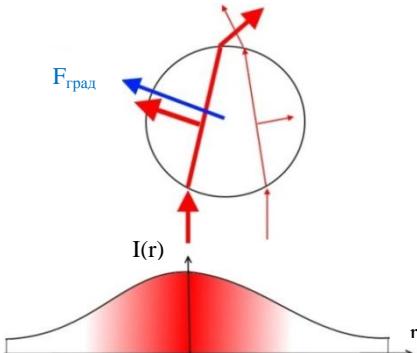


Рис. 1. Градиентная сила

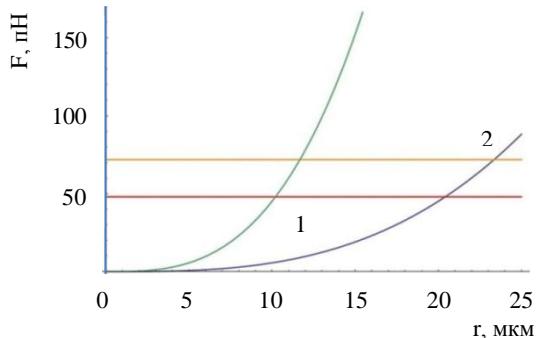


Рис. 2. Силы тяжести в зависимости от радиуса частицы: для цельной стеклянной частицы (сияя кривая) и стеклянной частицы с полостью, радиус которой равен $r/2$ (зеленая кривая)

Профиль интенсивности лазерного пучка обычно имеет максимум в центре ($r=0$), что приводит к появлению возвращающей силы при отклонении частицы от оси лазерного пучка, данная ситуация пояснена на рисунке 1. При небольшом отклонении частица будет возвращаться к центру пучка, а устойчивым положением будет то, когда ось пучка проходит через центр частицы, так как в этом случае градиентная сила ($F_{\text{град}}$) не возникает, и на частицу действует только сила давления излучения (F_z).

На рисунке 2 приведены силы тяжести в зависимости от радиуса частицы для цельной стеклянной частицы (синяя кривая) и стеклянной частицы с полостью, радиус которой равен $r/2$ (зеленая кривая), красной и желтой кривыми изображены силы давления излучения для этих частиц соответственно. Мощность падающего на частицу излучения считается фиксированной и равной 100 мВт. На рисунке видно, что использование частиц с полостью позволяет при одной и той же мощности лазера увеличить внешний диаметр частиц, для которых достигается равновесие сил тяжести и давления света с 20 мкм (точка 1) почти до 50 мкм (точка 2).

В проведенных нами экспериментах были предприняты попытки оторвать от поверхности стекла отдельные частицы полистирола и полые стеклянные частицы. Ни одна из попыток не увенчалась успехом, что, однако, не опровергает предложенных в работе подходов, так как между частицей и подложкой возникала сила притяжения (адгезивная сила), величина которой превышала силу тяжести частицы, что также было продемонстрировано в эксперименте.

Эксперимент заключался в том, чтобы поднять частицу с покровного стекла с помощью силы давления света. Для этого мы использовали: лазер мощностью 150 мВт, с длинной волны 650 нм, два зеркала, объектив ($F \sim 1$ см) для фокусировки пучка и систему

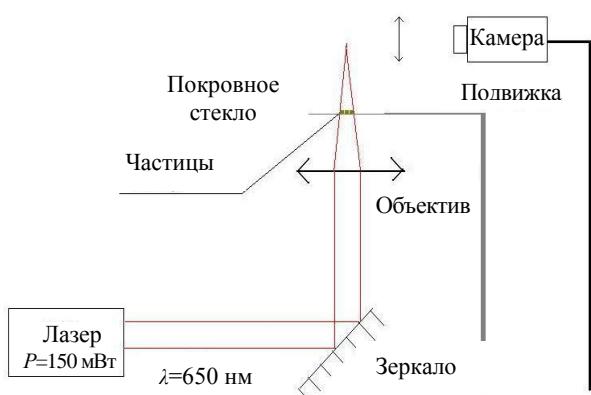


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

переноса изображения, состоящую из двух объективов и камеры для наблюдения частиц. Лазерное излучение с помощью зеркала направлялось вертикально вверх и фокусировалось с помощью объектива. Подложка (покровное стекло) была установлена чуть ниже фокуса на вертикальной подвижке, на поверхность стекла наносились частицы из полиамида и стекла (диаметр частиц составлял десятки микрон). После включения лазера мы двигали покровное стекло вверх, пытаясь поместить частицу в фокус лазерного луча. Отрыва частиц от подложки не наблюдалось. Отдельные частицы мы наблюдали с помощью микроскопа Leica DMLS, в результате было установлено, что частицы полиамида имеют несферическую форму, их было предложено заменить на сферические стеклянные частицы, содержащие полость (HGS by DantecDynamics). В ходе эксперимента было обнаружено, что частицы прилипают к поверхности покровного стекла. Сила их прилипания превышает силу тяжести, так как даже при переворачивании покровного стекла частицы оставались на поверхности.

Для преодоления силы адгезии к подложке крепилась пьезокерамическая шайба, к которой прикладывалось переменное напряжение, амплитуда напряжения достигала нескольких десятков вольт, частоты варировались в диапазоне от 100 Гц до 10 кГц, что приводило к возникновению высокочастотных механических колебаний подложки. Однако и в этом случае не наблюдалось отрыва отдельных частиц от поверхности. Было замечено лишь передвижение частиц, скрепленных между собой, эти объединения оказались достаточно устойчивы, не происходило изменения их формы в процессе движения.

Таким образом, нам не удалось оторвать отдельную частицу от поверхности подложки, однако проведенные эксперименты позволяют надеяться, что сочетание механического метода отрыва частицы от подложки при должном подборе амплитуды и частоты воздействия с оптическим методом захвата позволит создать ловушку для устойчивого удержания частиц с размерами десятки микрон в воздухе или вакууме.

Литература

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: Наука, 2004.
2. Делоне Н.Б. Что такое свет. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
3. Делоне Н.Б. Нелинейная оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
5. Эшкен А. Давление лазерного излучения // УФН. Т. 110. Вып. 1. 1973.

Среды с переменным показателем преломления

Сухов Илья Дмитриевич

8 класс, МБОУ СОШ № 55, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель М.А. Балакин,
преподаватель физики МБОУ лицей № 38



В данной работе изучался характер отклонения светового луча в слое жидкости с переменным показателем преломления.

При прохождении света в оптически неоднородной среде свет испытывает преломление согласно закону Снеллиуса. Если граница различных сред плавная (например, между жидкостями или при резком изменении температуры воздуха между его слоями), то искривление траектории луча происходит плавно (рис. 2). На этом эффекте основано образование миражей. Если подробно исследовать характер отклонения светового луча в такой неоднородной среде, то это может привести к созданию метода быстрой оценки концентрации примесей в данной жидкости (например, соли в воде).

Мы провели эксперимент с использованием в качестве среды с переменным показателем преломления воды разной солености. Для этого сначала мы создали перенасыщенный раствор соли: в горячей воде растворяли соль до тех пор, пока растворение не прекратилось, после чего раствор остудили. В холодной воде соли может быть растворено меньше и поэтому лишняя соль выпадает в осадок. Так мы можем быть уверены в том, что соленость нашей воды – предельная. После этого в аквариум налили чистую воду, а под нее (с помощью трубы) – соленую. Соленая вода, имея большую



Рис. 1. Опытная установка

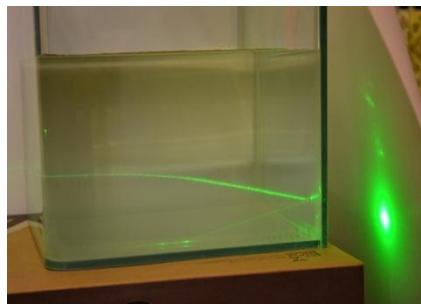


Рис. 2. Изгиб луча на границе сред с различной соленостью

плотность, поднимает чистую, располагаясь под ней. На границе двух сред происходит диффузия и образуется слой с переменной соленостью и значит с переменным показателем преломления.

Вдоль границы раздела сред запускается луч лазера. Для того чтобы добиться горизонтальности луча, мы располагали лазер на плавающей подставке – пенопластовый плотик в чаше с водой (рис. 1). Чаша помещалась на предметный поднимающийся столик. Перемещая столик, мы постепенно опускали луч лазера, фотографируя процесс прохождения лучом слоя переменной солености. По мере прохождения границы раздела сред луч лазера изгибался (рис. 2).

Возникает вопрос: почему горизонтальный (параллельный слоям жидкости) луч изменяет направление, ведь он должен находиться постоянно в слое с одной соленостью и не испытывать преломления? Мы предположили, что так происходит потому, что луч света никогда не бывает абсолютно тонким (с нулевой толщиной).



Рис. 4. Расширение и отклонение луча

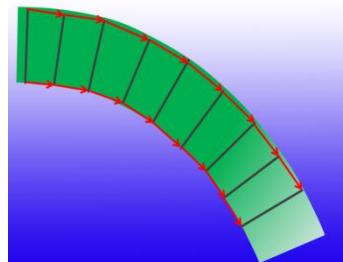


Рис. 3. Модель изменения направления хода луча



Рис. 5. Контрольный эксперимент с чистой водой

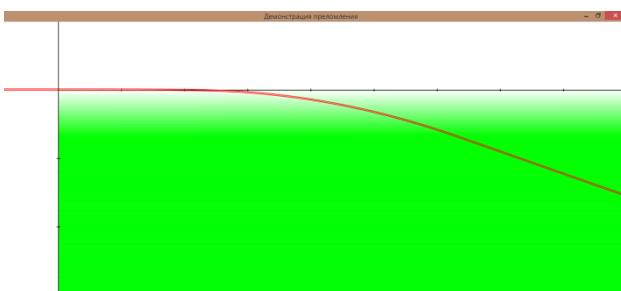


Рис. 6. Результат работы программы (функция изменения показателя преломления – линейная,
 $n_0=1,333$, $n=1,4$,
 $A=-0,1$)

Ширина луча: 1,8 Положение луча: 8,8 Функция изменения показателя преломления среды

Это значит, что различные части волнового фронта должны оказаться в слоях с разной соленостью (разным коэффициентом преломления). Скорость света в разных частях волнового фронта должна быть разной, и волновой фронт должен поворачивать (рис. 3). Косвенно это подтверждается в эксперименте тем, что наиболее сильное отклонение луча начинается именно там, где луч, вследствие рассеяния на частицах соли, начинает заметно расширяться (рис. 4). Расходимость луча проявляет себя гораздо сильнее именно в солевом растворе вследствие интенсивного рассеяния на частицах нерастворившейся соли. В чистой (дистиллированной) воде рассеяние намного слабее. В идеале оно должно быть только как собственное расхождение лазерного пучка, но может иметь место и аналог рэлеевского рассеяния света в воздухе. Естественно, в однородной среде рассеяние не приводит к искривлению луча. Это было видно на контрольном эксперименте с чистой водой (рис. 5).

Моделирование эксперимента. Для обработки эксперимента нами была создана компьютерная программа, моделирующая ситуацию. Для упрощения волновой фронт представили в виде отрезка, перемещающегося на определенное расстояние согласно скорости его концов. Скорость концов отрезка зависела от показателя преломления среды в данной точке. Концы отрезка перемещались с рассчитанной скоростью на небольшое расстояние, после этого между положениями концов отрезка проводилась прямая (фронт волны) и снова следовал расчет скорости точек (концов отрезка) на этой глубине. Каждый раз фронт волны перемещался перпендикулярно самому себе. Характер изменения показателя преломления (солености) можно было задавать в виде функции. Мы экспериментировали с различными функциями и наилучшее (визуальное) соответствие с экспериментом дала линейная функция вида:

$$n = n_0 + Ay,$$

где n – показатель преломления воды, n_0 – начальный показатель преломления (чистой воды), A – изменяемый коэффициент, y – вертикальная координата луча.

В программе можно задавать предельный показатель преломления. В эксперименте хорошо заметно, что луч, попадая в среду с постоянным коэффициентом преломления (соленостью), изгибаться перестает. Результаты работы программы представлены на рисунке 6. Качественно картинка хорошо соответствует фотографии эксперимента, что доказывает верность нашей модели процесса.

Итак, в ходе работы мы справились с рядом поставленных задач:

- освоили метод создания систем жидкостей с плавным изменением показателя преломления;
- освоили метод получения качественных фотографий треков лучей лазера в этих жидкостях;
- создали программу, удовлетворительно моделирующую исследуемый процесс.

Нерешенной осталась задача приведения в точное соответствие расчетной картины с экспериментальными данными. Если бы ее удалось решить, то по виду реальной траектории луча лазера можно было бы судить о характере изменения показателя преломления данной среды и значит о распределении примесей в ней.

Литература

1. *Кабардин О.Ф.* Физика: Справ. материалы: Учеб. Пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1991 г. – 367 с.
2. *Кикоин И.К., Кикоин А.К.* Физика 8 класс. – М.: Просвещение, 1972. – 255 с.
3. *Тарасов Л.В.* Физика в природе. Книга для учащихся. – М.: Просвещение, 1988. – 351 с.
4. Лазеры // Словари и энциклопедии на Академике [электронный ресурс]. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine.
5. Техно-КИП: контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации [электронный ресурс]. <http://www.tehno-kip.ru>.

Исследование температурной зависимости постоянной Верде перспективных магнитоактивных сред в диапазоне 80 – 300 К

Филимонов Александр Георгиевич
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Д.С. Железнов,
канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ИПФ РАН



Работа посвящена экспериментальному исследованию температурной зависимости постоянной Верде в диапазоне 80 – 300 К у трех магнитоактивных сред, перспективных с точки зрения использования в криогенном изоляторе Фарадея – устройстве, в котором охлаждению жидким азотом подвергаются и магнитооптический элемент, и магнитная система. Разработана методика экспериментального исследования характеристик оптических сред при охлаждении жидким азотом, систематизированы результаты, сформулированы выводы о целесообразности использования исследованных сред для создания криогенного изолятора Фарадея.

В настоящее время сложно представить себе сферу человеческой деятельности, где бы не применялась в том или ином виде лазерная техника: оптическая связь и обработка материалов, светолокация и контроль окружающей среды, биомедицина, строительство, бурение скважин, машиностроение и многое другое. Это обуславливает интенсивное развитие лазерной техники. Например, в последние десятилетия наблюдается интенсивный рост мощности доступного лазерного излучения: современные CO₂-лазеры и волоконные лазеры способны создавать непрерывное излучение мощностью в десятки кВт. Существуют предпосылки к тому, что темпы такого развития будут только увеличиваться. Но с ростом мощности доступного лазерного излучения необходимость «экранирования» лазера от вышедшего из него излучения становится особенно острой. Попадание даже малой части столь мощного излучения обратно в лазер приводит к искажениям, ухудшению качества генерируемого лазером излучения, может привести даже к повреждению дорогостоящих оптических элементов, остановке технологического или научного процесса и даже угрожать безопасности сотрудников, работающих на установке.

Задачи подобного рода может решить оптический вентиль – изолятор Фарадея (ИФ), альтернативных способов для предохранения

лазера от его собственного излучения нет. Это делает ИФ одними из ключевых элементов описываемых лазерных схем.

Принцип работы оптического вентиля базируется на эффекте Фарадея – эффекте вращения плоскости поляризации лазерного излучения некоторыми оптическими средами, помещенными в магнитное поле. Величина поворота плоскости поляризации зависит от свойств оптической среды, температуры, длины волны излучения. В 2013 году нами была исследована зависимость силы эффекта Фарадея от длины волны излучения. Однако адекватное описание ее температурной зависимости также не менее важно для создания все более востребованных оптических изоляторов для мощного лазерного излучения: в свете все большего распространения криогенного охлаждения в мощных лазерных системах такие исследования приобретают особенную актуальность.

Впервые влияние магнитного поля на пропускание света некоторыми прозрачными средами было экспериментально показано в 1845 году Майклом Фарадеем. Заслуга по дальнейшему исследованию и систематизации эффекта Фарадея принадлежит Марселю Верде. Ему, в частности, принадлежит современная формула для величины угла поворота плоскости поляризации: $\varphi = VHL$. Он обнаружил, что величина угла прямо пропорциональна длине магнитоактивной среды, напряженности магнитного поля, в которое помещена среда, и физической величине, характеризующей силу эффекта Фарадея в данной среде (заслуженно получившей название постоянной Верде) [1].

Экспериментальное исследование температурной зависимости постоянной Верде в перспективных магнитооптических средах включало в себя:

- 1) измерение зависимости сопротивления медного термодатчика от температуры в рамках подготовки криогенной системы к эксперименту;
- 2) измерение пространственного распределения продольной компоненты магнитного поля используемой магнитной системы (рис.1);
- 3) измерение угла поворота плоскости поляризации излучения при прохождении света через оптические среды, помещенные в исследованную магнитную систему, в диапазоне температур 80 – 300 К (в созданной измерительной схеме, рис. 2);
- 4) измерение длин исследуемых оптических сред цифровым штангенциркулем;

- 5) вычисление постоянной Верде исследованных оптических сред, расчет погрешности, анализ температурной зависимости постоянной Верде исследованных оптических сред.

Для измерения температуры оптической среды использовался датчик из большого количества витков медной проволоки. Известно, что электрическое сопротивление меди пропорционально значению температуры в исследуемом диапазоне 80 – 300 К. Поэтому для калибровки датчика хватило всего двух измерений (см. таблицу).

T, K	R, Ом
296	40.3
77	6.3

Для исследования интересующих нас закономерностей в работе использовалась оригинальная магнитная система с большим внутренним диаметром (33 мм) на базе постоянных магнитов из Nd-Fe-B ферромагнитного сплава. Прямые измерения напряженности продольной для лазерного излучения компоненты магнитного поля (обеспечивающей поворот плоскости поляризации линейно поляризованного излучения) проводились при помощи тесламетра «Маяк-5», измерительный щуп которого перемещался вдоль оси магнитной системы при помощи шагового двигателя, значения магнитного поля автоматически записывались с интервалом 0,5 мм. Для того, чтобы наша измерительная установка позволила исследовать температурную зависимость постоянной Верде, необходимо разместить магнитную систему снаружи криостата, поэтому распределение магнитного поля было измерено снаружи, вблизи края магнитной системы.

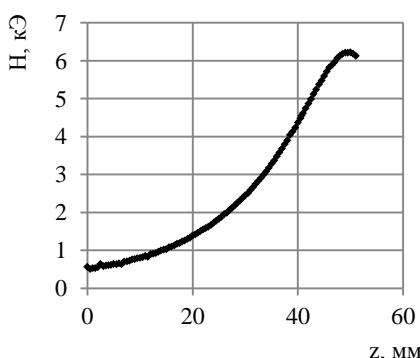


Рис 1. Пространственное распределение напряженности магнитного поля исследуемой системы

Величина постоянной Верде исследуемой магнитоактивной среды вычислялась при помощи измерения угла поворота плоскости поляризации лазерного излучения. Измерения проводились в экспериментальной схеме, представленной на рисунке 2.

Излучение лазера, пройдя через поляризационный фильтр (ПФ 40,5), линейно поляризовалось, проходило через исследуемую оптическую среду, помещенную в криостат и поле маг-

нитной системы, направлялось на поляризационный фильтр, размещенный на лимбовом столе, и регистрировалось камерой. Угол поворота плоскости поляризации измерялся путем поворота второго полярифильтра в лимбовом столе из положения, когда плоскости поляризации поляризаторов ортогональны друг другу, до положения, когда сигнал на камере минимален (плоскость поляризации второго ПФ ортогональна плоскости поляризации падающего на него излучения, прошедшего оптическую среду).

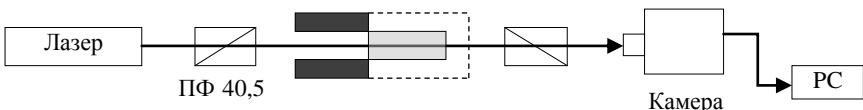


Рис. 2. Экспериментальная схема по измерению угла поворота плоскости поляризации излучения

В ходе работы нами исследовались оптические материалы, являющиеся представителями магнитоактивных сред разной внутренней структуры: магнитооптическое стекло с повышенным содержанием тербия длиной 15 мм (новая разработка Российского химико-технического университета, Москва) (аморфные среды); кристалл тербий-галлиевого граната TGG длиной 3,4 мм (моноцисталические среды); керамика тербий-алюминиевого граната, с добавлением церия (0,1 ат.%), Ce:TAG длиной 4 мм (новая разработка Шанхайского института точной механики, Китай) (оптическая керамика).

Необходимо отметить, что если магнитооптическое стекло и тербий-галлиевый гранат являются достаточно хорошо изученными средами, то оптическая керамика тербий-алюминиевого граната, легированная церием, является совершенно новой средой, впервые полученной в Шанхайском институте точной механики и оптики в 2012 году.

Таблица. Результаты измерений

Оптическая среда	Длина образца, мм	ϕ (296К), мин	Среднее магнитное поле, кЭ	Постоянная Верде V, град/(кЭ*см)	Относительная погрешность Верде
MOC	15	930	5,2	2	0,017
TGG	3,4	280	6,2	2,2	0,018
Ce:TAG	3,9	450	6,2	3,05	0,017

Значение постоянной Верде исследованных сред вычислялось по формуле: $V = \frac{\varphi}{HL}$. Для удобства интерпретации по вертикальной оси отложено значение постоянной Верде, нормированное на значение при комнатной температуре, представленное в таблице (V_{norm}).

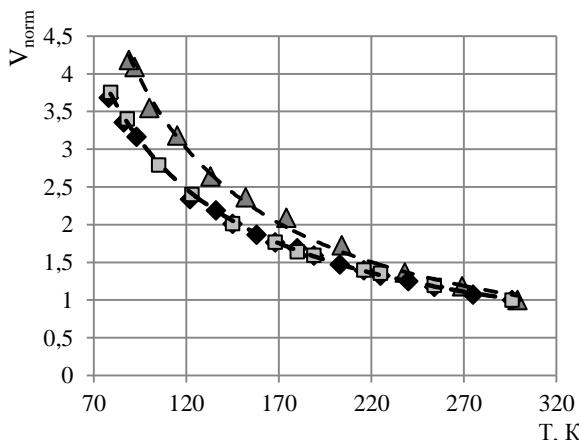


Рис. 3. Экспериментальные температурные зависимости постоянной Верде: ромбы – TGG, квадраты – МОС, треугольники – Ce:TAG и теоретические (пунктиры)

ботанной лишь в 2012 году. Теоретическая зависимость для Ce:TAG построена по методу наименьших квадратов. Постоянная Верде в этой среде увеличивается быстрее, чем $1/T$, быстрее, чем в TAG ($1/T^{1,12}$) – $\sim 1/T^{1,15}$ и при 89 К в 4,2 раза больше, чем при комнатной температуре.

Результаты работы:

- создана универсальная измерительная лазерная установка с возможностью криогенного охлаждения исследуемого оптического элемента;
- экспериментально исследована температурная зависимость величины постоянной Верде в магнитоактивных средах разной кристаллической структуры: магнитооптическом стекле марки МОС (аморфные среды); кристалле тербий-галлиевого граната (моноокристаллические среды); керамике тербий-алюминиевого граната с добавлением церия (оптическая керамика);

- обработка полученных результатов показывает возможность укорочения, по сравнению с комнатной температурой, магнитоопти-

теоретические зависимости для МОС и TGG приводится в работе [2] и [3] соответственно. Постоянные Верде увеличиваются пропорционально $1/T$, в пределах погрешности, которая не превышала 5%, и при 80 К в 3,5 раза больше, чем при комнатной температуре. Отметим, что это впервые полученные результаты для данной марки стекла МОС, разра-

ческого элемента в криогенном изоляторе Фарадея в случае МОС и TGG в 3,5 раза, в случае Ce:TAG – более чем в 4 раза.

Использование исследованных магнитоактивных сред в криогенном изоляторе Фарадея целесообразно. При этом при прочих одинаковых условиях магнитооптический элемент (МОЭ) из кристалла TGG будет в 2,2 раза короче МОЭ из МОС, а МОЭ из Ce:TAG будет короче еще на 34%. Длина такого МОЭ криогенного изолятора Фарадея для инфракрасного излучения (диапазон, где работает большинство твердотельных и волоконных лазеров) составит всего ~ 2 мм.

Литература

1. Complete Dictionary of Scientific Biography [электронный ресурс]. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830904465.html>.
2. *Davis J.A., Bunch R.M. Temperature dependence of the Faraday rotation of Hoya FR-5 glass // Applied Optics, 1984, v. 23. P. 633.*
3. CRC Handbook of Chemistry and Physics / Ed. David R. Lide. – 87th Edition. – CRC Press, 2006. – 2592 c.

Система для спекл-контрастной визуализации кровеносных сосудов

Фомин Всеволод Евгеньевич

11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель П.А. Шилягин, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ИПФ РАН



Описана оригинальная методика спекл-контрастной визуализации пространственной картины распределения кровотока на уровне артериол и венул, что позволяет в реальном времени осуществлять мониторинг транспортировки кислорода и питательных веществ ко всем частям тела. Методика основана на уменьшении контраста участков изображения из-за движения областей изучаемого объекта во время экспозиции. Программный код обрабатывает получаемые данные и выделяет области с пониженным контрастом, свидетельствующим о присутствии в них движущихся рассеивателей.

Одно из актуальных направлений развития методов медицинской диагностики – построение изображений кровеносных сосудов [1 – 6]. Одной из важнейших функций кровотока является транспортировка кислорода и питательных веществ ко всем частям тела, поэтому так важен мониторинг пространственно-временных характеристик с целью изучения нормальных и патофизиологических условий тканевого метаболизма. Многие медицинские задачи, такие, как пластика тканей (например, замена пищевода участком кишки), исследование глазного дна, требуют получения пространственной картины распределения кровотока на уровне артериол и венул, чтобы увидеть, являются ли эти сосуды действующими или они забиты тромбами.

Целью работы является развитие и реализация метода спеклового контраста для визуализации кровеносных сосудов в приповерхностных слоях биологических тканей.

Принцип работы. Спекл (от англ. *speckle* – пятнышко, крапинка, веснушка) – пятнистая структура в распределении интенсивности когерентного света, отраженного от шероховатой поверхности, неровности которой соизмеримы с длиной волны света λ , или прошедшего через среду со случайными флуктуациями преломления света. Спеклы возникают вследствие интерференции света, рассеиваемого отдельными участками шероховатой поверхности. Так как поверхность предмета освещается когерентным светом, то интерфирируют все рассеянные лучи и интерференционная картина имеет не периодическую,

а хаотическую структуру. Это явление хорошо знакомо каждому, кто пробовал посветить лазерной указкой на стенку – переливающиеся пятнышки из-за дрожания указки в руке и есть спекл-картина.

Для регистрации спекл-картины объект исследования освещается когерентным светом (от лазера). Рассеянное поверхностью излучение собирается объективом и фокусируется на ПЗС-матрицу. На ПЗС-матрице формируется картина спеклов, при этом положение объектива выбирается таким образом, что при естественном освещении на матрице формируется изображение объекта исследования. При наблюдении стационарных объектов спекл-картина остается постоянной во времени и, как следствие, имеет высокий контраст. Принцип записи информации в ПЗС-устройстве состоит в интегрировании фототока, протекающего через фотоэлемент, на емкости этого элемента. Поэтому в случае перемещения изображения по пространству фотоприемников в течение времени накопления заряда (времени экспозиции) происходит «замазывание» изображения, хорошо знакомое по фотографиям ярких подвижных объектов, сделанным в вечернее время (рис. 1). На рисунке 2 представлен результат численного моделирования понижения контраста вследствие движения участка спекл-картины во время экспозиции: рассчитана интерференци-

онная картина от множества случайных точечных рассеивателей, сформированная на плоскости ПЗС-матрицы; часть рассеивателей все время неподвижна, а часть перемещается (в центральной части картины). Аналогично происходит и размывание изображений спеклов в том случае, когда в составе исследуемого объекта присутствуют подвижные рассеиватели (эритроциты).

Какими еще способами можно проверять сосуды на наличие в них кровотока? Конечно, сразу же



Рис. 1. Фотография яркого подвижного объекта, сделанная в вечернее время

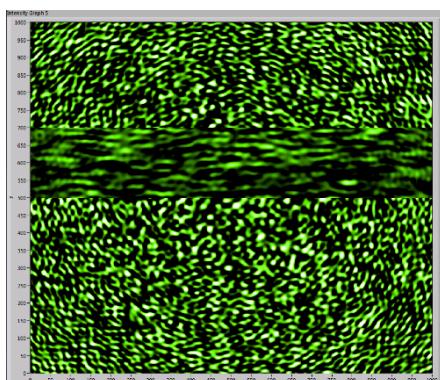


Рис. 2. Модель понижения контраста вследствие движения участка спекл-картины во время экспозиции

вспоминается ультразвуковой доплеровский измеритель. Однако скорости кровотока на уровне артериол очень малы, и измерения провести практически невозможно, так как доплеровский сдвиг частоты составляет единицы Гц, кроме того, измерения возможны только вдоль сосудов, что не всегда возможно. Лазерные измерители скорости лишены этого недостатка, но провести сканирование, чтобы получить пространственное распределение скорости, очень сложно. Простое ультразвуковое сканирование позволяет увидеть стенки сосудов, правда, для этого необходимо использовать очень высокие частоты (десятки МГц), но не позволяет определить, движутся ли эритроциты. Таким образом, предлагаемый метод позволяет увидеть сосуды и определить наличие или отсутствие в них кровотока, он безопасен, а прибор может получиться компактным и недорогим.

Схема эксперимента. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 3а. Модельная среда представляла собой две одинаковые рассеивающие трубки, закрепленные на подложке и содержащие раствор поливинилацетатной эмульсии (клей ПВА) в воде, причем в одной из них он мог протекать с различными скоростями, а в другой был неподвижен (рис. 3б). При освещении объекта некогерентным светом изображения трубок одинаковы, а в когерентном свете при съемке ПЗС-матрицей они различаются контрастностью. Объект освещался лазерным светом, прошедшим через собирающую линзу, что позволяло регулировать площадь засветки в зависимости от параметра увеличения оптической схемы. Рассеянное излучение попадало в объектив, а затем на ПЗС-матрицу, подключенную к компьютеру, после чего компьютер проводил обработку данных в программе, написанной в среде лабораторного моделирования LabVIEW.

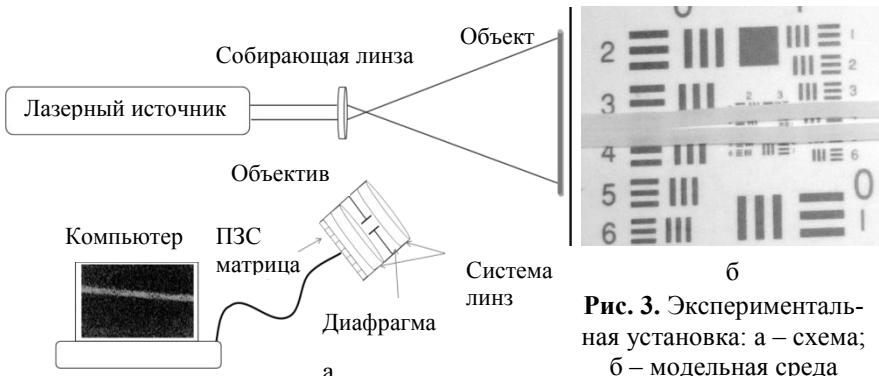


Рис. 3. Экспериментальная установка: а – схема; б – модельная среда

Программная обработка полученных данных. Суть программной обработки состоит в нахождении и визуализации области пониженного контраста, где присутствуют движущиеся рассеиватели. Изображение разбивалось на квадратные области $n \times n$ точек изображения (элементы). Используя формулу $K = (S_{\max} - S_{\min}) \cdot 2 / (S_{\max} + S_{\min})$, где S – интенсивность приходящего излучения, определяли значение величины контраста для каждого элемента; параметр n определялся оператором. Полученные последовательно для всех точек изображения значения величины контраста использовались для формирования нового изображения. Высокий уровень контраста K соответствовал стабильной области, низкий – области движения.

В программном коде предусмотрена возможность оперативного изменения некоторых параметров алгоритма обработки, позволяющих учесть реальный размер спекла, уровень шумовой засветки и величину ложного сигнала. На рисунке 4а представлено исходное изображение спекл-картины для системы из двух трубок, по верхней из которых течет жидкость с рассеивающими элементами. Различия между трубками выражены слабо. На рисунке 4б представлено обработанное изображение, то есть распределение контраста, причем инвертированное, то есть большим значениям K соответствуют менее яркие точки. Видно, что трубы уже различаются, однако имеются шумы. Их можно устраниТЬ, вычитая задаваемый программно уровень, однако при

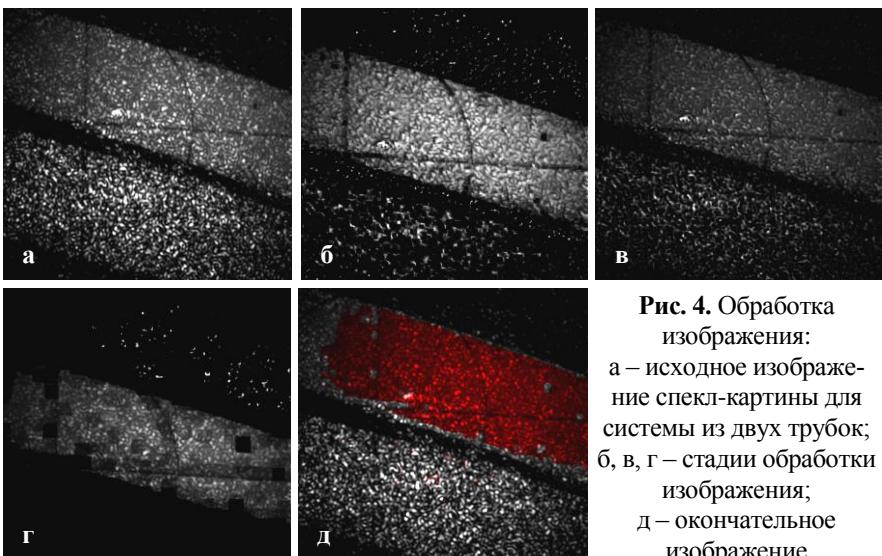


Рис. 4. Обработка изображения:

а – исходное изображение спекл-картины для системы из двух трубок;
б, в, г – стадии обработки изображения;
д – окончательное изображение

этом изображение становится менее ярким (рис. 4в). Улучшить отношение сигнал/шум можно, увеличивая размер окна ($n \times n$), однако при этом ухудшается пространственное разрешение (рис. 4г).

Окончательное изображение формируется в цветовой *RGB*-палитре (рис. 4д) в виде суперпозиции исходного изображения (шкала серого) и изображения контраста (оттенки красного), что позволяет при общем снижении разрешения функционального изображения избежать снижения разрешения итогового изображения. При этом можно на одном изображении видеть все сосуды и подсвечивать те, в которых присутствует кровоток. Предполагается, что в приборном варианте в качестве базового изображения будет использоваться изображение, полученное в белом или близком к белому свете.

Выводы. Модельный эксперимент проводился с трубками различного диаметра (от 0,25 мм до 1 мм) при различных скоростях течения жидкости (от 0,5 до 5 мм/с). Был опробован ряд оптических схем с различным взаимным расположением апертурной диафрагмы и линзовых групп, с различными значениями коэффициента увеличения и рабочими отрезками, а также источники света различных длин волн (от 532 до 808 нм) и спектральной ширины (длина когерентности излучения [7] от 0,2 мм до 5 мм). Во всех случаях оценивалось качество получаемого изображения по критерию различимости области, содержащей движущиеся рассеиватели. Наилучшие результаты выделения потока жидкости были получены при использовании гелий-неонового лазера (длина волны 633 нм, длина когерентности излучения не менее 2 мм) и монтажа всех элементов на оптическом столе. Для создания портативного прибора было более целесообразно использовать непрерывный лазерный диод дальнего красного/ближнего инфракрасного диапазона. Выбор длины волны диода обусловлен наличием так называемого терапевтического окна прозрачности [8] биологических тканей, а также полосой приема ПЗС-матрицы, что позволяет снизить необходимую среднюю мощность используемого лазера до допустимой по международному стандарту *ANSI*.

По изображению удалось оценить характерный размер спеклов – около 5 мкм, что соответствует размеру эритроцитов, это дает возможность использовать данный метод именно для кровотока. Получаемые картины имеют характерный размер исследуемой области порядка 4 mm^2 и пространственное разрешение около 10 мкм, то есть можно исследовать кровоток в микроциркуляторном русле (в артериалах и венулах). Можно также оценить скорость кровотока, которую будет возможно визуализировать данным способом. Контраст

изображения будет снижаться, если скорость движения удовлетворяет соотношению $V > L/\tau$, где L – характерный размер спекла, а τ – время экспозиции (время интегрирования в ПЗС-матрице). Время экспозиции в зависимости от выбранной схемы может составлять от 0,01 до 1 с, оно определяется также возможным движением объекта исследования (дыхание, мышечная дрожь). Таким образом, минимальная регистрируемая скорость кровотока будет составлять 5 – 500 мкм/с, что соответствует скоростям кровотока в капиллярах.

Заключение. На основе проведенных экспериментов создан прототип портативного прибора *VisuaLaser* (рис. 5) использующего излучение лазерного диода ближнего ИК-диапазона и позволяющего получать картины сосудов с размером исследуемой области 4 мм² и пространственным разрешением 10 мкм, а также детектировать движение жидкости со скоростями 5 – 500 мкм/с. Прибор можно использовать для визуализации кровотока во время операций, а также диагностики проблем с кровотоком при различных заболеваниях. Предварительные эксперименты по визуализации кровотока глазного дна мышей, проведенные с помощью прибора сотрудниками Нижегородской государственной медицинской академии, позволяют надеяться на успешное внедрение прибора в клиническую практику.

Литература

1. Fercher A.F., Briers J.D. Flow visualization by means of single-exposure speckle photography // Opt. Commun. 1981. V. 37, № 5. P. 326.
2. Haiying Cheng, Qingming Luo, Qian Liu, Qiang Lu, Hui Gong, Shaoqun Zeng, Laser speckle imaging of blood flow in Microcirculation // Phys. Med. Biol. 2004. 49. P. 1347 – 1357.
3. Fercher A.F., Briers J.D. Flow visualization by means of single-exposure speckle photography // Opt. Commun. 1981. V. 37, № 5. P. 326.
4. Ruth B. Measuring the steady-state value and the dynamics of the skin blood flow using the non-contact laser speckle method//Med.Eng.Phys. 1994. V. 16, № 2. P. 105.
5. Yaoeda K., Shirakashi M., Funaki S., Funaki H., Nakatsue T., Abe H. Measurement of microcirculation in the optic nerve head by laser speckle flowgraphy and scanning laser Doppler flowmetry // Am. J. Ophthalmol. 2000. V. 129, № 6. P. 734.
6. Dunn A.K., Bolay H., Moskowitz M.A., Boas D.A. Dynamic imaging of cerebral blood flow using laser speckle // J.Cereb. Blood Flow Metab. 2001, 21. P. 195 –201.
7. Физическая энциклопедия / Под ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1988.
8. Физические основы квантовой терапии // Мед-Аппарат [электронный ресурс]. <http://www.med-apparatus.ru/php/content.php?id=13323>.



Рис. 5. Прототип портативного прибора VisuaLaser

Разработка системы бесконтактного лазерно-оптического исследования брызг при лабораторном моделировании ветро-волнового взаимодействия

Хазанов Григорий Ефимович

11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

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



Разработан и применен бесконтактный метод лазерно-оптического исследования брызг, образующихся при ветро-волновом взаимодействии, основанный на использовании лазерной подсветки и высокоскоростной съемки с линейным сенсором. В ходе работы удалось получить изображения брызг, научиться работать с этими данными, нам удалось оценить эффективность методики, а также сделать предложения по измерениям характеристик брызг на ветро-волновом канале ИПФ РАН при лабораторном моделировании ветро-волнового взаимодействия с применением отработанной методики.

Процессы обмена между поверхностью моря и приводным слоем атмосферы играют важную роль в формировании погоды, климата и катастрофических погодных эффектов. Для случая высоких скоростей ветра механизмы такого обмена недостаточно хорошо изучены из-за малого количества экспериментальных данных. При ураганном ветре в приводном слое атмосферы присутствует значительное количество брызг, которые срываются ветром с вершин волн или образуются при обрушении волн. Наличие капель в приводном воздушном слое оказывает значительное влияние на ветро-волновое взаимодействие. Поэтому очень важно знать скорости этих брызг, их размеры, распределения скоростей и размеров по высоте и т.п. Для моделирования в лабораторных условиях процесса взаимодействия ветра с волнами на базе Большого Термостратифицированного Бассейна (БТСБ) ИПФ РАН был построен прямоточный ветро-волновой канал. Данная работа посвящена разработке методики измерений характеристик брызг в воздушном потоке на ветро-волновом канале.

Целью работы являлась разработка методики измерения характеристик брызг в воздушном потоке на ветро-волновом канале.

Существует несколько традиционных методов бесконтактного исследования брызг: лазерная доплеровская анемометрия (ЛДА), Particle Image Velocimetry (PIV), Particle Tracking Velocimetry (PTV).

Эти методики имеют свои недостатки и трудно применимы для решения нашей задачи, поэтому мы предлагаем альтернативную методику. Коротко о ее сути. Брызги в ветровом потоке двигаются со скоростью вплоть до скоростей ветра, которые могут в ветро-волновом канале ИПФ РАН достигать 25 м/с. Для их исследования можно использовать высокоскоростную видеосъемку. Скорость съемки при использовании специализированных цифровых камер зависит от разрешения кадра: при увеличении скорости съемки требуется уменьшать кадр. Так как характеристики брызг над водной поверхностью зависят от расстояния до поверхности, то есть сильно неоднородны, мы хотим избежать уменьшения области съемки. Поэтому предлагается метод, в котором для исследования брызг в воздушном потоке используется высокоскоростная съемка с размером кадра с максимальным разрешением по размерности, поперечной ожидаемому перемещению брызг (то есть по высоте), и минимальным по продольной размерности. При этом поперечный размер области съемки будет максимально возможным, а перемещение брызг будет исследоваться по временным последовательностям кадров. Скорость съемки может быть значительно увеличена за счет уменьшения продольного размера кадра. В ходе эксперимента мы получим видео, которое затем разобьем на кадры. Каждый кадр имеет маленькое разрешение по одной из размерностей, например, 1280x2 пикселей для камеры «ВидеоСпринт». Возьмем из каждого кадра одну строчку пикселей и расположим эти строчки рядом на одном изображении. Получим одну картинку размером 1280xN, где N-количество кадров, для которых производилась обработка. Таким образом, по одной из координат один пиксель будет соответствовать периоду между кадрами. Рассмотрим пролетающую через лазерный луч каплю. Если скорость съемки достаточно большая, то капля появится на нескольких последовательных кадрах (рис. 1). И когда мы склеим все эти строчки, то увидим след от этой капли, по размерам которого можно судить о скорости и размерах капли, зная скорость съемки и масштаб изображения. Предложенный метод позволяет обеспечить высокую частоту съемки, а значит, отслеживать перемещения быстрых объектов, сохраняя максимально возможный размер области съемки в поперечном направлении. В этом его преимущество перед лазерно-оптической анемометрией по изображениям частиц (PIV, PTV), где требуется двухмерное поле и высокая скорость съемки, а значит, требуется уменьшение разрешения кадра по обеим размерностям.

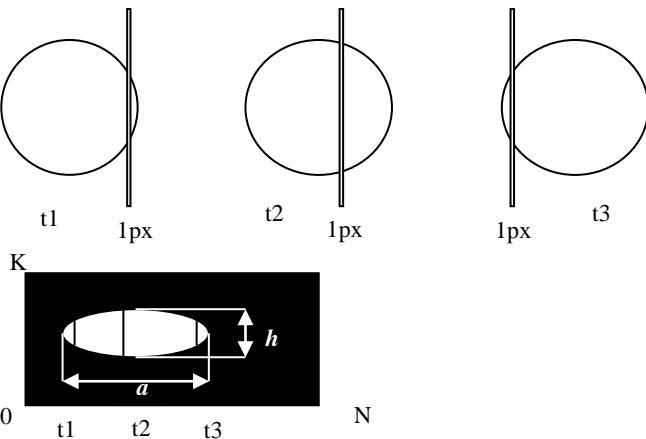


Рис. 1. Сверху: пролет капли через область съемки, соответствующую полоске на матрице камеры шириной в один пиксель. Схематично показано изображение капли на матрице камеры, вертикальной полосой показана линейка пикселей, использующаяся в обработке.

Снизу: собранное из разных кадров изображение и его характерные размеры.

Мы составили формулы для расчета скоростей частиц и их размеров.

$$d = h * C, \quad V = \frac{d * v}{a},$$

где C – масштаб съемки, d – размер капли, V – скорость частицы, v – частота съемки. Капля проходит свой собственный размер за время, равное временному промежутку между кадрами, умноженному на количество кадров, на которые попала капля.

Нами был проведен эксперимент на ветро-волновом канале. Ветер генерировал волны, срывал капли с вершин волн, провоцировал обрушения волн, в результате в приводном воздушном слое образовывались брызги, они освещались сверху тонким лазерным пучком, а их перемещение отслеживалось сбоку высокоскоростной камерой, размещенной в специальном боксе. Требовалось получить достаточно сильное увеличение при съемке (масштаб изображения около 1:1), при этом область съемки должна быть достаточно удалена от стенки канала для уменьшения влияния граничных эффектов. Поэтому использован достаточно длиннофокусный объектив (85 мм), а для того, чтобы приблизить плоскость фокусировки на такое малое для этого объектива расстояние, использовано макрокольцо, отодви-

гающее объектив от матрицы. Масштаб съемки 22 мкм/px. Предельная скорость съемки скоростной камеры «ВидеоСпринт» – 250000 кадров/сек при съемке с разрешением в 1280*2. При таком размере кадра затруднительно оценить качество получаемых изображений, так как вся капля чаще всего не помещается в область съемки. Поэтому использовался режим съемки с периодом между кадрами 60 мкс, при времени экспозиции 4 мкс и разрешении кадра 1280x30 px. Такое время экспозиции аналогично открытому затвору камеры при съемке с максимальной скоростью, то есть получаемые изображения по яркости соответствуют режиму 250000 к/с. Скорость съемки в данном эксперименте была недостаточно большой, чтобы отслеживать капли при данной скорости брызг: одна капля не попадала на два последовательных кадра в принципе. Поэтому мы не может судить о ее скорости. Однако у нас еще остался 15-кратный запас по скорости съемки, которого должно быть достаточно для получения правильных изображений. Но использование более высокого разрешения кадра показало присутствие ряда других проблем. Сами брызги на изображении появлялись довольно редко. Это может быть связано с тем, что область съемки, освещаемая лазером, была достаточно маленькой, и скорости некоторых капель позволяли им пролетать мимо за время между экспозициями. Кроме того, на стенке канала перед камерой скапливались брызги, которые отрицательно влияли на качество съемки. Также из-за того, что канал при работе выбирает со значительной амплитудой, а камера закреплена на канале, лазерный пучок из установленного неподвижно лазера часто выходил из области съемки. Все эти трудности не позволили получить хорошие данные в экспериментах на ветро-волновом канале. Поэтому было необходимо провести еще один эксперимент, но в более простых условиях.

Второй эксперимент был проведен вне ветро-волнового канала. Мы распыляли брызги пульверизатором над областью съемки, после чего брызги падали вниз и пролетали через область съемки. Измерительный комплекс был схож с использованным на высокоскоростном канале в первом эксперименте. Тонкий лазерный пучок из того же лазера светил горизонтально и освещал полет капель, а сбоку их движение отслеживалось высокоскоростной камерой. Камера и лазер были подключены к компьютеру со специализированным программным обеспечением. Съемка проводилась на высокой скорости (103880 Гц), разрешение 2560x32 пикселей. Масштаб съемки 0,011 мм/px.

В отличие от первого эксперимента, здесь скорость съемки была достаточно большой даже при таком высоком разрешении кадра (за счет использования более современной камеры). Склейв полоску шириной в 1 пиксель для всех кадров, мы получили итоговое изображение. Выглядела эта картинка не совсем так, как мы того ожидали. Во-первых, капли летели не строго перпендикулярно к лазерному пучку, а под определенным углом, соответственно и на итоговом изображении след от капли был под наклоном. Происходило это во многом из-за того, что капли не просто падали вниз, а увлекались потоком воздуха, и поскольку размеры этих капель очень маленькие, в некоторые моменты времени они двигались даже не вниз, а вверх. Чтобы такого не было, надо проводить эксперимент в невозмущенном воздухе, или с крупными каплями, на которые воздух влияет слабо. А поскольку капли летят не строго перпендикулярно области съемки, появляются две компоненты скорости: поперечная и продольная. Необходимо заметить, что размеры пикселя соизмеримы с размерами капли, из-за чего надо учитывать, что капли сначала краем влетают в часть пикселя, и только затем постепенно заполняют весь пиксель. Из-за этого на итоговом изображении края следа у капель размыты. Необходимо учитывать, что частица прошла не только свой размер, но и размер пикселя, и внести корректиры в формулы для вычисления скорости капель. На итоговом изображении много одиночных пикселей, они остаются на картинке вследствие пролета очень быстрой частицы (скоростью порядка 1,1 м/с). Кроме того, рядом со следом некоторых капель были заметны значительные искажения изображения. Это происходило из-за искажений в объективе видеокамеры. Некоторые фрагменты итогового изображения оказались трудными для обработки из-за большого скопления капель.

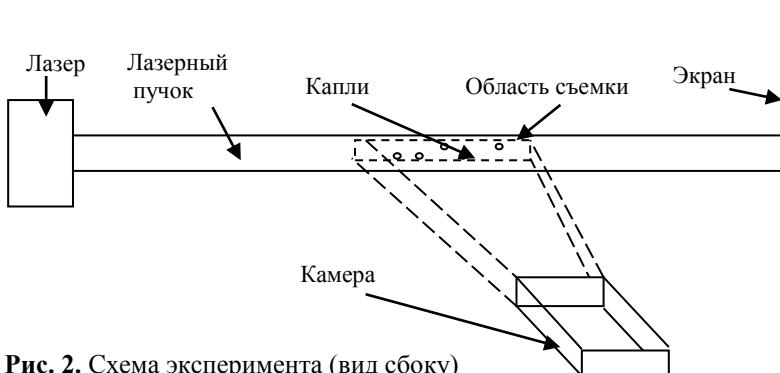


Рис. 2. Схема эксперимента (вид сбоку)

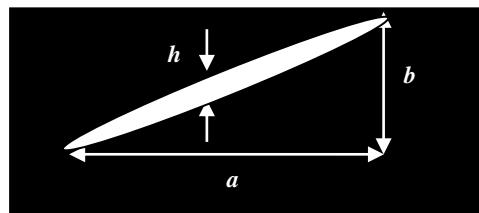
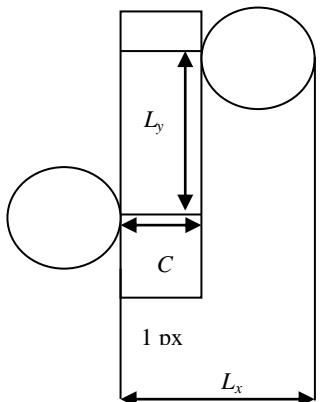


Рис. 3. Пролет капли через область, соответствующую области шириной в один пиксель, по модели, построенной по итогам данных эксперимента. Сверху: собранное из разных кадров изображение капли

Мы произвели поправки в формулах:

$$V_x = \frac{(C + d) * \nu}{a}, \quad V_y = \frac{b * C * \nu}{a},$$

где V_x – поперечная компонента скорости, V_y – продольная компонента скорости, C – масштаб съемки, d – размер капли, а ν – частота съемки.

Выводы

Предложена методика по исследованию брызг при лабораторном моделировании ветро-волнового взаимодействия на ветро-волновом канале. Проведен эксперимент на ветро-волновом канале, в ходе которого не удалось получить скорости и размеры частиц и тем самым реализовать предложенную методику. Однако был проведен другой эксперимент, в ходе которого удалось получить итоговое изображение, научиться с ним работать и сделать выводы относительно дальнейших усовершенствований в системе для поучения более качественного изображения. Кроме того, благодаря экспериментальным данным мы подкорректировали формулу для расчета скоростей частиц. Полученные в результате второго эксперимента данные говорят о том, что предложенная методика довольно эффективна и позволяет исследовать брызги. А значит, эту методику можно использовать и на канале при лабораторном моделировании ветро-волнового взаимодействия, если решить проблемы, возникшие в первом эксперименте. Чтобы сделать систему более пригодной для эксперимента, необходимы некоторые усовершенствования, а именно: заменить объектив, чтобы избежать размытия следов от капель и с большей точностью определять ее параметры, а также внедрить систему сдувания капель

со стенок канала перед камерой для улучшения качества изображения. Чтобы колебания лазера не помешали ему все время освещать область съемки, следует соединить лазер и камеру одной деталью, тогда они если и будут колебаться, то синфазно, и лазерный пучок всегда будет освещать область съемки.

Литература

1. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978 – 2012). Leo H. Holthuijsen, Mark D. Powell, Julie D. Pietrzak.
2. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. / Под ред. М.М. Вейсбенна. – М.: Сов. радио, 1976.
3. Гордийчук О.Ф., Пелль В.Г. Раздел III. Киносъемочные объективы // Справочник кинооператора / Н.Н. Жердецкая. – М.: Искусство, 1979. – 440 с. – С. 143 – 173.
4. Звелто О. Принципы лазеров. – М.: Мир, 1990. – 559 с.

Астрономия



Определение физических параметров

Луны по покрытию звезд

Гасымов Дамир Фариз оглы

7 класс, МАОУ Лицей № 82, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин, канд. физ.-
мат. наук, доцент НГПУ им. К. Минина,
заведующий отделом Нижегородского плане-
тария, педагог ШЮИ ННЦ РАН



В работе вычисляется скорость движения Луны по небесной сфере. Приводятся различные методики вычисления. Сравниваются результаты, полученные по наблюдениям и непосредственно по моделированию.

Луна представляет собой экспериментальный стенд, на котором можно изучать не только структуру внешних слоев атмосферы Солнца (хромосфера и корона во время затмения), но и структуру атмосфер и оболочек звезд (во время покрытия).

Различие угловых размеров Луны и звезд используется при получении и исследовании спектра звезд, так как для данного случая край Луны по отношению к звездам можно рассматривать как прямолинейный. Также данное угловое различие позволяет получать информацию о движении Луны и о координатах звезд.

Луна – естественный спутник Земли, радиус которого – 1735 км [1], синодический период, промежуток времени между двумя последовательными фазами Луны – 29,5 суток, сидерический период, промежуток времени, в течение которого Луна делает полный оборот вокруг Земли, – 27,3 суток.

Цель данной работы – провести наблюдения покрытия звезд и по полученным данным определить физические параметры Луны. Для этого необходимо решить ряд задач: определить, от чего зависит время покрытия звезд; вычислить скорость перемещения Луны по небесной сфере; получить математическую зависимость времени покрытия от пройденного расстояния.

Покрытие – это астрономическое явление, во время которого, с точки зрения наблюдателя из определенной точки, одно небесное тело проходит перед другим небесным телом, заслоняя его часть. В нашем случае первым небесным телом является Луна, а вторым – звезды.

Если бы скорость движения Луны по небесной сфере равнялась скорости движения звезд, то покрытий не наблюдалось бы, то есть

Луна и звезды были бы неподвижны относительно друг друга. Но скорость движения Луны отлична от скорости движения звезд как по величине, так и по направлению. Скорость Луны и скорость звезд имеют противоположные направления. Звезды за сутки проходят «круг» по небосводу. Соответственно за час звезды проходят $360^\circ/24\text{ ч} = 15^\circ$. Луна совершает оборот вокруг Земли за 27,3 суток, за сутки она смещается относительно звезд на $360^\circ/27,3\text{ сут.} = 13,18^\circ$, тогда за час на $13,18^\circ / 24\text{ ч} = 0,54^\circ \sim 32'$. Следовательно, скорость движения Луны по небосводу $15^\circ - 32' = 14^\circ 28'$. Это приводит к тому, что Луна относительно звезд отстает и данное отставание приводит к прохождению звезд под лунным диском.

Наблюдения покрытий звезд Луной проводились в два этапа. Первый – моделирование в виртуальном астрономическом планетарии Stellarium, второй – непосредственные наблюдения в обсерватории Нижегородского планетария.

Таблица 1. Наблюдения покрытий звезд Луной

Название звезды (Б/Н-без названия)	Яркость звезды	Дата	Начало покрытия	Конец покрытия	Суммарное время покрытия
Б/Н	7,75	2.02.14	15:32	16:40	1 ч 8 мин
HIP 114914 A	8,1	2.02.14	15:56	16:35	39 мин
HIP 115012 A	8	2.02.14	16:22	17:14	52 мин
Б/Н	8,2	2.02.14	16:26	17:10	44 мин
HIP 115074	8,55	2.02.14	16:39	17:04	25 мин
Б/Н	9,8	2.02.14	17:12	18:15	1 ч 3 мин
HIP 115403	8,8	2.02.14	18:51	19:51	1 ч
Б/Н	9,05	2.02.14	19:33	19:55	22 мин
HIP 115491	8,8	2.02.14	19:36	20:25	49 мин
Б/Н	9,25	2.02.14	19:48	20:46	58 мин
g Virgo	3,05	5.04.14	23:41	0:53	1 ч 12 мин

На основе результатов наблюдений получаем, что максимальное по времени покрытие происходит только в том случае, когда звезда идет по территории, близкой к экватору Луны, либо по самому экватору. Соответственно минимальное по времени покрытие будет в том случае, когда звезда проходит ближе к полюсу Луны.

Определим скорость движения Луны по орбите. Скорость определяется по формуле:

$$v = \frac{L}{T},$$

где L – длина орбиты, T – период обращения.

Получено, что звезды движутся быстрее Луны на 33° (за 1 час), вычислим расстояние в километрах на орбите. 1° на орбите равен:

$$L = 2\pi R,$$

где $R = 380000$ км – расстояние от Луны до Земли. Подставляем значения и получаем расстояние 1° на орбите:

$$L_{1^\circ} = 2 \cdot \pi \frac{380000}{360^\circ} = 6629 \text{ км.}$$

В зависимости от времени покрытия, L может меняться, то есть чем дольше покрытие, тем большее расстояние проходит Луна. Покрытие звезды HIP 115403 равно одному часу. За это время Луна преодолевает по небесной сфере 33 угловых минуты, что составляет 3646 км. Следовательно, скорость Луны по небесной сфере:

$$v = \frac{3646}{3600} = 1,01 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

По рисунку 1 можно определить и само расстояние, которое звезда прошла за диском Луны. Известен радиус BC , вычисленный выше, длину BD можно примерно вычислить по диаметру Луны.

DC составляет $0,1$ от диаметра Луны, значит, DC равен 357 км. Соответственно $AB = 3479$ км. Таким же способом определяем остальные расстояния, пройденные звездами по диску Луны. Были использованы данные наблюдений покрытий Луной звезд с г Virgo (табл. 2).

Исходя из полученных данных, построен график зависимости пройденного расстояния звездой от времени покрытия (рис. 2).

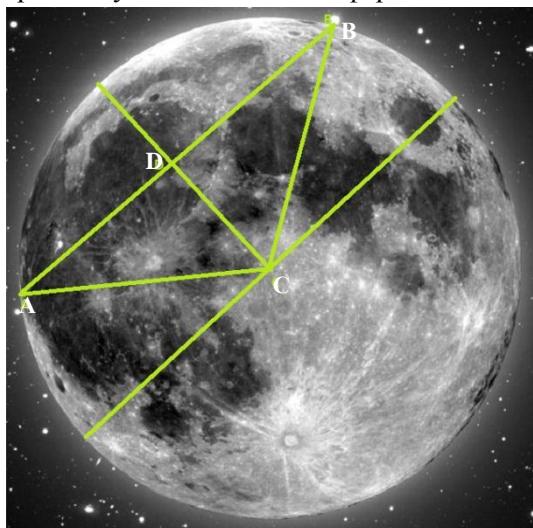


Рис. 1. Хордой на рисунке является отрезок AB , радиусом является отрезок BC

106

Таблица 2. Список наблюдаемых звезд, покрываемых Луной

Название звезды (Б/Н-без названия)	Время покрытия	Пройденный путь
g Virgo	1 ч 12 мин	3570 км
Электра	55 мин	3225 км
Б/Н	1ч 11 мин	3563 км
Б/Н	1 ч 10 мин	3479 км
Б/Н	1ч 11 мин	3563 км
Б/Н	36 мин	1838 км
Мерона	1 ч 10 мин	3494 км
Б/Н	1 ч 4 мин	3190 км
Б/Н	1 ч 1 мин	3071 км

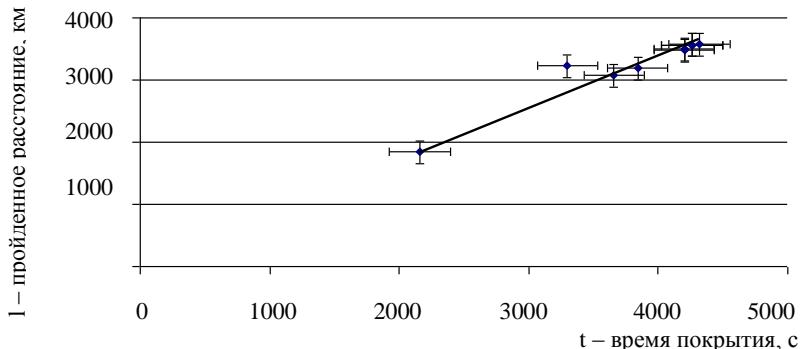


Рис. 2. Зависимость пройденного расстояния от времени

На графике можно определить расстояние, которое прошла звезда по времени, и наоборот. Также может быть определена скорость движения Луны. Результат составляет $0,845 \text{ км/с}$.

В данной работе сделана попытка разработать метод определения физических параметров Луны по покрытию звезд. Полученные результаты совпадают с контрольными.

Кроме того, ценность и важность высокоточной регистрации моментов покрытий звезд Луной была осознана астрономами уже несколько столетий назад. Достаточно сказать, что одним из важных стимулов создания в 1670 году всемирно известной Гринвичской обсерватории была заинтересованность в точных измерениях положений лунного лимба относительно звезд, в том числе путем регистрации момен-

тов покрытий звезд краем Луны из разных пунктов на Земле. Это позволяло определять координаты на поверхности Земли и успешно решать задачи навигации. Главная же причина того, что в ряде стран еще в XVIII веке были начаты программы массовой регистрации моментов покрытий звезд Луной, заключалась в том, что данные таких наблюдений были необходимы для уточнения теории движения Луны.

Важнейшим фактором, который обеспечивает возможность уверенной визуальной регистрации момента покрытия звезды Луной с точностью в десятые и даже сотые доли секунды, является практически полное отсутствие у Луны атмосферы. Еще в XIX веке астрономы обратили внимание на удивительно резкое, мгновенное исчезновение светового потока от звезд при покрытии их Луной. Это явление они справедливо рассматривали как важнейшее свидетельство того, что Луна лишена сколько-нибудь заметной устойчивой атмосферы.

Появление в современную эпоху фотоэлектрических приемников излучения и компьютеров позволило достичь точности регистрации моментов покрытий звезд Луной порядка нескольких миллисекунд.

Поскольку видимые угловые размеры лунного диска зависят от расстояния между наблюдателем и центром Луны, ясно, что высокоточные определения моментов покрытий дают возможность уточнить данные о расстоянии до Луны в различных точках ее орбиты.

Как видим, наблюдения покрытий звезд Луной, несмотря на достаточную простоту этого метода, дают весьма разнообразную и ценную астрономическую информацию. Но, пожалуй, самым интересным применением этого метода для решения серьезных научных задач являются прямые измерения угловых размеров различных звезд путем анализа кривых блеска, зарегистрированных при наблюдениях их покрытий темным краем Луны.

Литература

1. Струве О., Линде Б., Пилланс Э. Элементарная астрономия. – М., 1967.
2. Таблица покрытий диском Луны URL [электронный ресурс]. <http://asteroidoccultation.com> (дата обращения: 16.01.2014).
3. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии. – М.: УРСС, 2001. – С. 119.
4. Дагаев М.М. Введение // Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. – М.: Высш. школа, 1972. – 424 с. – С. 309.
5. Meeus Jean. Astronomical Tables of the Sun, Moon and Planets. – Richmond, Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1995.

Прикладная математика



Исследование математического бильярда, основанное на законе «угол падения равен углу отражения»

Большакова Анастасия Михайловна
9 класс, МБОУ СОШ № 66, ШЮИ ННЦ РАН
Научный руководитель Д.Д. Садова, студентка
механико-математического факультета ННГУ
им. Н.И. Лобачевского



В работе исследованы траектории бильярдного шара в простейших фигурах. Изучено, в каких случаях траектория будет периодична, какое количество звеньев может иметь периодическая траектория. В случае с кругом – в каких областях данной фигуры может побывать шар. В ходе работы был создан учебный материал для начальных изучений бильярдных траекторий. Благодаря написанной программе и компьютерным построениям дальнейшие изучения математического бильярда намного упростятся.

Игра в бильярд известна с древнейших времен и остается чрезвычайно популярной по сегодняшний день. Она издавна привлекает к себе внимание исследователей, математиков и механиков, пытающихся в той или иной степени описать закономерности отскока шаров и их необычное поведение, в том числе и для создания выигрышной техники игры.

Механическая система – точечный шар в бильярдной области Q , ограниченной бортом Γ (границей области Q), – и называется математическим бильярдом. Траектория бильярда в области Q определяется начальным положением точки и начальным вектором ее скорости. Пренебрежение трением означает, что абсолютную величину скорости при движении точки мы считаем неизменной во времени, поэтому задаваемый в начальный момент времени $t=0$ вектор можно считать единичным, характеризующимся лишь своим направлением. Направление вектора (t), то есть направление движения шара, меняется только при его ударе о борт. Это происходит по закону абсолютно упругого отражения: после удара шара о борт Γ в некоторой точке шар движется так, что его «угол падения равен углу отражения». Таким образом, траектория бильярда – это вписанная в кривую Γ ломаная, которая может быть однозначно построена по своему начальному звену. Траектория с «начальным условием» будет периодической, если через некоторое время точка возвращается в свое начальное положение.

Общая математическая проблема бильярда заключается в том, чтобы описать возможные типы бильярдных траекторий в замкнутой области. Простейший принцип такого описания – разделение траекторий на периодические, или замкнутые, и остальные, непериодические.

Существует множество вопросов, касающихся бильярдных систем. На основе некоторых из них были сформулированы следующие задачи: узнать, когда траектория будет периодической; узнать, какое количество звеньев может иметь периодическая траектория; узнать, в каких частях замкнутой фигуры побывает шар, двигаясь по непериодической траектории.

Отвечая на поставленные вопросы, я смогу приблизится к своей цели, а именно: найти и изучить зависимости траектории шара по замкнутой поверхности от формы поверхности и начальной точки шара.

В данной работе были рассмотрены основные теоремы, связанные с движением шара внутри круга и прямоугольника.

Хотя единичный круг – это очень простая фигура, о бильярде внутри него можно сказать немало интересного. Круг имеет вращательную симметрию, и траектория бильярда полностью определяется углом α , образованным ею с кругом. Этот угол остается тем же самым после каждого отражения. Вид бильярдной траектории в круге полностью определяется углом α :

- если число α соизмеримо с π , то есть дробь α / π является рациональным числом, то бильярдная траектория периодична;
- если α и π несоизмеримы, то отвечающая числу α траектория непериодична.

Теорема 1. Если α и π несоизмеримы, то любая траектория бильярда в круге, отвечающая углу α , всюду плотно заполняет кольцо.

Теорема Якоби. Пусть α – несоизмеримое с π число, $\{P_k\}$ – бесконечная последовательность точек окружности такая, что каждая следующая точка последовательности получается из предыдущей точки поворотом около центра на α радиан. Тогда для любой дуги окружности хотя бы одна точка последовательности $\{P_k\}$ лежит на этой дуге.

Простейшие бильярдные траектории в прямоугольнике – периодические. Они могут быть нескольких типов: состоять из дважды проходимых отрезков между противоположными сторонами; образовывать семейства параллелограммов со сторонами, параллельными диагоналям прямоугольника; образовывать самопересекающиеся замкнутые ломаные.

Теорема 2. Траектория, выходящая из точки прямоугольника ABCD под углом α к AB, периодична в том и только том случае, когда тангенс ее угла наклона $k = \operatorname{tg} \alpha$ соизмерим с отношением сторон a_2/a_1 прямоугольника ABCD.

В ходе работы на языке C++ в среде Microsoft Visual Studio 2008 при помощи графической библиотеки TX Library была написана программа, позволяющая наблюдать за траекторией билльярдного шара, задавая начальные координаты, шаг и угол падения. При движении по заданной плоской фигуре происходит столкновение с одной из сторон, программа пересчитывает координаты, используя при этом закон «угол падения равен углу отражения». Таким образом, мы можем наблюдать траекторию движения шара при заданных начальных условиях, что является наглядным материалом для изучения математических билльярдов, значительно упрощающим любое исследование в этом направлении. Скриншот программы представлен на рисунке.

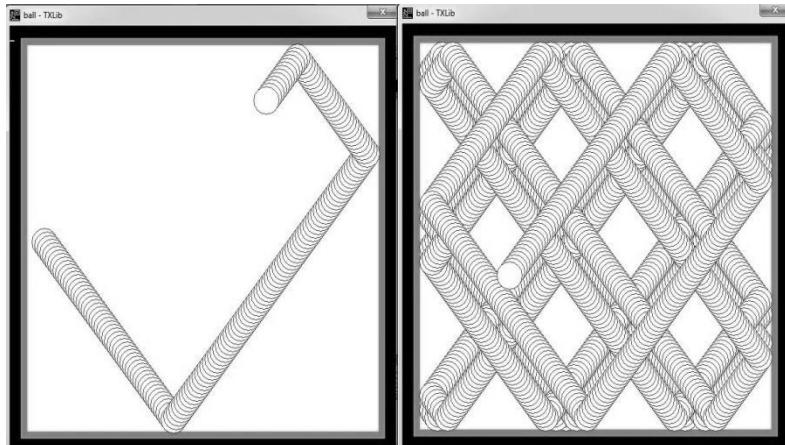


Рис. Скриншот программы

Литература

1. Гальперин Г.А., Земляков А.Н. Математические билльярды. – М: Наука, 1990. – 288 с.
2. Земляков А. Математика биллиарда // Квант. 1976, № 5. С. 17 – 26.
3. Кравцов В.М., Калакова Г.К. Геометрия билльярдных траекторий в многоугольниках. – СПб.: Евразия, 2013. – 304 с.
4. Табачников С. Геометрия и биллиарды. – М.: Регулярная и хаотическая динамика; Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 179 с.

Химия



Химический анализ мыла

Агеева Анастасия Алексеевна

10 класс, МБОУ СОШ № 175, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель А.А. Еремина,

кандидат химических наук,

ННГУ им. Н.И. Лобачевского



В данной работе изучено строение, состав и химические свойства мыла, а также способ его получения в промышленности, основанный на реакции омыления – гидролиза сложных эфиров жирных кислот со щелочами. Исследовано влияние мыла на величину поверхностного натяжения воды и установлено, что при его попадании в H_2O происходит резкое снижение поверхностного натяжения воды, обусловленное наличием в структуре молекулы мыла гидрофильной и гидрофобной частей. В работе представлено исследование качества мыла различных производителей с помощью органолептического и лабораторного методов. В ходе данного исследования был определен pH растворов мыла различных производителей и установлено, что его величина для твердых сортов равна 8 – 9, а для жидкого – 5. Определено содержание свободной едкой щелочи, свободного углекислого натрия, а также свободного хлористого натрия в исследуемых образцах и установлено их соответствие ГОСТу.

В последние столетия роль химии в жизни человека стремительно возрастает. Так, например, домашний быт невозможен без моющих средств, а особенно без мыла. Оно давно было известно человеку, его история начинается до новой эры летоисчисления. Раньше мыло считалось предметом роскоши, однако в современном мире оно стало, пожалуй, одной из самых обыденных вещей в жизни человека. Мы пользуемся им каждый день, но не придаем ему особого значения. При этом существует огромное количество сортов и видов мыла: хозяйственное, детское, жидкое, мягкое, ручной работы и т.д. В химическом отношении основным компонентом мыла является смесь растворимых солей высших карбоновых кислот (для твердого мыла – $C_{17}H_{35}COONa$, для жидкого – $C_{17}H_{35}COOK$).

Существует огромный ассортимент данной продукции, однако, чем больше спрос на продукт, тем острее встает вопрос о его качестве. Можно встретить много различных видов мыла, которые отличаются цветом, упаковкой, массой и формой. Эти параметры практически не влияют на цену мыла, поскольку цена и свойства в большей степени зависят от качества сырья. Качество мыла определяют

органолептическим и лабораторным методами. Кусковое мыло должно быть твердым на ощупь, без налетов, пятен и липкости. Цвет мыла должен быть однородным. Куски не должны иметь трещин и деформаций. Форма кусков должна быть правильной, маркировка четкой. Состав мыла должен соответствовать установленному ГОСТу.

В данной работе были исследованы образцы мыла шести различных производителей: твердые мыла марок «Детское», «Dove», «Palmolive», «Мой малыш», мыло хозяйственное 72% и жидкое мыло марки «Palmolive».

На первом этапе работы был проведен органолептический анализ исследуемых образцов мыла. В результате было установлено, что образцы мыла отвечают требованиям ГОСТа по всем органолептическим показателям, то есть на их поверхности отсутствуют какие либо трещины, деформации и пятна, нет посторонних запахов, маркировка четкая.

На втором этапе работы был определен pH растворов мыла различных производителей. Для его определения использовали pH-метр pH 410 (Аквилон) со стеклянным электродом ЭСК – 10601/7.

Таблица 1. pH образцов мыла различных производителей

Марка мыла	pH
«Детское»	11,1
«Dove»	8,1
«Palmolive»	10,6
Хозяйственное 72%	11,3
«Мой малыш»	11,5
Жидкое мыло «Palmolive»	4,8

Нормальный тип кожи: pH 5,2 – 5,7

Как видно из результатов, приведенных в таблице, твердые мыла создают в растворе щелочную среду, а жидкое мыло слабокислую. При этом стоит отметить, что «Детское» мыло, «Мой малыш», «Palmolive» и хозяйственное имеют более высокое значение pH, а мыло марки «Dove» и жидкое имеют pH, приближенный к pH кожи. Мыло, водный раствор которого имеет pH больше 7, при умывании меняет pH кожи в щелочную сторону и разрушает структуру ее внешнего рогового слоя, помогающего удерживать влагу. Частое умывание с применением такого мыла может разрушить кислотный покров. Если такого покрова нет, то кожа начинает быстро стареть. Ультрафиолетовое излучение, инфекции проникают глубоко внутрь и она быстрее

изнашивается. Жидкое мыло имеет pH, соответствующий pH кожи, следовательно, такое мыло не вызывает нежелательных эффектов и очищает кожу мягко, сохраняя ее природную защиту.

На следующем этапе работы был определен коэффициент поверхностного натяжения мыльного водного раствора методом счета капель. Коэффициент поверхностного натяжения рассчитывали по формуле:

$$\sigma = \frac{\rho V g}{\pi d N}$$

где ρ – плотность раствора, V – объем, g – ускорение свободного падения на поверхности Земли, d – диаметр пипетки, N – количество измеренных капель. В таблице 2 представлены результаты измерений, полученные в ходе эксперимента.

Таблица 2. Поверхностное натяжение мыльных растворов *

Растворы с мылом	N	σ , Н/м
«Детское»	93	0,03
«Dove»	51	0,06
«Palmolive»	51	0,06
Хозяйственное 72%	68	0,05
«Мой малыш»	73	0,04
Жидкое мыло «Palmolive»	53	0,06
Вода	44	0,07

*- $\rho = 1000 \text{ кг/m}^3$, $V = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, $\pi = 3,14$, $d = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$

Чем меньше коэффициент поверхностного натяжения раствора, тем лучше его моющая способность. Именно из-за малого поверхностного натяжения вода сама по себе не обладает достаточным чистящим действием. Вступая в контакт с пятном, молекулы воды притягиваются друг к другу вместо того, чтобы захватывать частицы грязи, другими словами, они не смачивают грязь. Наименьший коэффициент поверхностного натяжения характерен для мыла марки «Детское», а самый большой – для «Dove» и «Palmolive».

Таким образом, по результатам двух проделанных экспериментов можно сделать вывод, что щелочные мыла больше подойдут для применения в качестве отчищающих средств загрязненных поверхностей, а жидкое мыло в качестве средства личной гигиены.

Нерастворившиеся частички мыла при умывании, мытье рук могут оставаться на поверхности кожи, что может вызвать ее

раздражение. Также нерастворившиеся частички могут являться причиной остающихся на поверхности разводов. Поэтому важно установить растворимость мыла исследуемых образцов. Результаты исследования растворимости мыла различных производителей представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты определения растворимости мыла *

Марка мыла	m _{конечное, г}	m мыла перешедшего в раствор, г
«Детское»	0,418	0,582
«Dove»	0,166	0,834
«Palmolive»	0,614	0,386
Хозяйственное 72%	0,417	0,583
«Мой малыш»	0,320	0,680

*- m_{исходное} = 1г

Проведенный эксперимент показал, что наименьшей растворимостью обладают мыла «Palmolive», «Детское» и хозяйственное 72%. Хорошая растворимость оказалась у мыла «Dove» и «Мой малыш».

В ГОСТе удалено особое внимание содержанию в мылах свободной едкой щелочи, свободного углекислого натрия и хлористого натрия (0,2% – допустимое содержание свободной едкой щелочи и 0,15% – свободного углекислого натрия). Поэтому было проведено экспериментальное определение их содержания в исследуемых образцах. Содержание в мылах массовой доли свободной едкой щелочи и свободного углекислого натрия зависит от объема соляной кислоты, необходимого для титрования раствора. Полученные показатели массовой доли свободной едкой щелочи и свободного углекислого натрия (табл. 4) не выходят за пределы, допустимые ГОСТом.

Массовая доля свободной едкой щелочи и свободного углекислого натрия наиболее высока у хозяйственного мыла, детского и «Мой малыш». У жидкого мыла «Palmolive» содержание определяемых компонентов оказалось ниже возможностей определения выбранными в данной работе методами анализа.

Свободная едкая щелочь и углекислый натрий в мыле появляются в процессе производства. Учитывая, что во всех твердых образцах обнаружено содержание этих элементов, можно сказать, что исследуемое мыло является натуральным продуктом. Жидкое мыло является синтетическим моющим средством.

Таблица 4. Массовая доля едкой щелочи и углекислого натрия

Марка мыла	V(HCl) для опред-я масс. доли едк.щелочи, мл	массовая доля едкой щелочи, %	V(HCl) для опред-я своб. угл натрия, мл	массовая доля свободного углекислого натрия, %	массовая доля содопро-дуктов, %
«Детское»	1,1	0,09	1,6	0,1	0,13
«Dove»	0,1	0,01	0,2	0,02	0,02
«Palmolive»	0,2	0,02	0,3	0,02	0,02
Хозяйстве нное 72%	1,75	0,14	2,3	0,11	0,17
«Мой малыш»	1,5	0,12	2	0,1	0,15

Еще один показатель качества мыла – это наличие свободного хлористого натрия. Если в процессе производства были нарушены технические требования и наличие этого компонента превышает допустимые показатели, то мыло будет иметь трещины и сильно крошиться. Процентное содержание массовой доли свободного хлористого натрия определяли по объему раствора азотнокислого серебра AgNO_3 пошедшего на титрование раствора мыла (табл. 5).

Таблица 5. Массовая доля хлористого натрия

Марка мыла	V _t (AgNO_3), мл	масс. доля NaCl, %
«Детское»	3,17	0,37
«Dove»	2,7	0,32
«Palmolive»	2,9	0,34
Хозяйственное 72%	4,96	0,58
«Мой малыш»	3,76	0,44
Жидкое мыло «Palmolive»	2,8	0,33

Процентное содержание массовой доли свободного хлористого натрия тоже не выходит за пределы, допустимые ГОСТом (0,7%). Массовая доля хлористого натрия наиболее высока у хозяйственного мыла и мыла «Мой малыш». У «Детского» мыла, «Dove», «Palmolive» и жидкого мыла показатели приблизительно равны.

Таким образом, в данной работе проведен химический анализ мыла и установлено, что исследуемые образцы не имеют каких-либо отклонений от ГОСТа и других общепринятых норм.

Литература

1. *Абрамзон А.А.* Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. – Л.: Химия, 1975. – С. 282 – 248.
2. ГОСТ 28546-2002 Мыло туалетное твердое. Общие технические условия.
3. ГОСТ 30266-95 Мыло хозяйственное твердое. Общие технические условия.
4. ГОСТ 790-89 Мыло хозяйственное твердое и мыло туалетное. Правила приемки и методики выполнения измерений.
5. *Гроссе Э., Вайсмантель Х.* Химия для любознательных. – Л.: Химия, 1985. – С. 23 – 46.
6. *Киреев В.А.* Курс физической химии. – М.: Госхимиздат, 1956. – С. 182 – 226.
7. *Реутов О.А.* Теоретические проблемы органической химии. – М.: МГУ, 1964. – С. 49 – 98.
8. *Товбин И.В., Залиопо М.Н. Журавлев А.М.* Производство мыла. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – С. 17 – 33.
9. *Кнуянц И.Л.* Химический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия. 1983. – С. 111 – 154.

Выращивание кристаллов – дендритов меди

Земнюкова Марина Николаевна

9 класс, МБОУ СОШ № 37

**Научный руководитель З.В. Цверова,
преподаватель химии МБОУ СОШ № 37,
кандидат химических наук**

В работе поставлены опыты по выращиванию кристаллов – дендритов меди – в насыщенном растворе поваренной соли и проведены наблюдения за процессом их образования. Изучено влияние толщины слоя хлорида натрия а также влияние температуры на скорость образования и размер кристаллов – дендритов меди. Показано, что с увеличением толщины слоя хлорида натрия замедляется время появления кристаллов, а с увеличением температуры увеличивается скорость их появления, при этом размер кристаллов уменьшается.



Большой популярностью среди учащихся пользуются опыты по получению кристаллов различных веществ [1]. Так, например, при медленном испарении воды из раствора медного купороса или алюмокалиевых квасцов можно получить красивые кристаллы в виде правильных многогранников различной формы [2]. Также первые кристаллики льда на стекле – это всегда шестилучевые звездочки или шестигранные стебельки, которые, разрастаясь и взаимодействуя друг с другом, образуют скелетные или ветвистые кристаллы, называемые дендритами [7]. К дендритам относятся и снежные кристаллы. Понятие «дендрит» впервые появилось для обозначения формы именно ледяного кристалла. Дендриты часто образуются и при кристаллизации металлов, относясь к объемным дефектам [4]. Кристаллы-дендриты широко и многогранно используются в радиотехнике, электронике, медицине и металлургии. Поэтому представляло интерес вырастить кристаллы-дендриты в условиях школьной лаборатории [3]. Кристаллы-дендриты еще недостаточно изучены, хотя имеют большое значение. В медицине, например, форма дендритов некоторых кристаллов используется для диагностических целей [5]. Дендриты обладают фрактальными свойствами, и химики научились конструировать фрактальные крупные молекулы – дендримеры, которые представляют большой интерес для будущего материаловедения [4].

Целью работы являлось выращивание кристаллов – дендритов меди в условиях школьной лаборатории.

Для этого необходимо было решить следующие задачи: изучить литературный материал о кристаллах-дендритах металлов и способах их образования; ознакомиться со свойствами меди; отработать методику выращивания кристаллов – дендритов меди; исследовать факторы, влияющие на формирование и размер кристаллов-дендритов меди.

Получение дендритных кристаллов меди проводили следующим образом. В чистый стакан насыпали медный купорос очень тонким слоем, чтобы он покрыл дно, и утрамбовывали его. Сверху насыпали избыток хлорида натрия (больше в 3 – 5 раз). Поверх слоев укладывали круг из фильтровальной бумаги так, чтобы он вплотную прилегал к стенкам стакана. На фильтр помещали железные предметы. Удерживая фильтр стеклянной палочкой, наливали медленно и тоненькой струйкой концентрированный раствор хлорида натрия так, чтобы он не перевернул фильтр и не перемешал слои. Закрывали стакан фильтровальной бумагой и оставляли стоять при комнатной температуре. Когда понадобилось вынуть кристаллы, то удаляли магнитом железо, отмывали кристаллы от хлорида натрия и хранили в растворе 30% серной кислоты. Результаты эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Влияние толщины слоя NaCl на образование кристаллов меди (T = 20°C)

Дни опыта	Толщина слоя NaCl (см)		
	3	4	6
1-й день	Окрашивание слоя хлорида натрия в зеленый цвет		
3-й день	Появление кристаллов меди	Кристаллов меди нет	
8-й день	Рост кристаллов	Появление кристаллов меди	Кристаллов меди нет
11-й день	Рост кристаллов		Кристаллов меди нет
16-й день	Рост кристаллов		Появление кристаллов

Как видно из таблицы 1, с увеличением толщины слоя NaCl происходит замедление времени появления кристаллов. Согласно результатам, приведенным в таблице 2, с увеличением температуры увеличивается скорость появления кристаллов, однако при этом размер кристаллов уменьшается.

В данном случае дендритные структуры образуются из-за неоднородности среды, и, как следствие, кристаллы растут, не соединяясь друг с другом. В нижней части стакана степень насыщенности раствора выше, а вверху, где начинается кристаллизация, выделяется теплота. Пока есть неоднородности и периодические изменения (изменение температуры), процесс дендритообразования будет продолжаться [6].

Таблица 2. Влияние температуры на скорость формирования и размеры кристаллов (толщина слоя NaCl – 4 см)

Дни опыта	Temperatura $^{\circ}\text{C}$		
	5 $^{\circ}$	20 $^{\circ}$	37 $^{\circ}$
1-й день	Окрашивание слоя хлорида натрия в зеленый цвет.		
4-й день	Кристаллов меди нет		Появление кристаллов меди
7-й день	Кристаллов нет	Появление кристаллов	Рост кристаллов
14-й день	Кристаллов нет	Рост кристаллов	Много мелких кристаллов на границе CuSO_4 и NaCl
20-й день	Появление кристаллов	Рост кристаллов	Рост кристаллов

Таким образом, были проведены эксперименты по выращиванию кристаллов – дендритов меди в насыщенном растворе поваренной соли, а также проведены наблюдения за процессом их образования. Изучено влияние толщины слоя хлорида натрия на скорость образования и размер кристаллов. Показано, что с увеличением толщины слоя NaCl замедляется время появления кристаллов, из чего можно сделать вывод, что слой NaCl служит ингибитором процесса. Исследовано влияние температуры на процесс дендритообразования и показано, что с увеличением температуры увеличивается скорость появления кристаллов, однако при этом размер кристаллов уменьшается.

Литература

1. Аликберова Л.А. Занимательная химия. – М.: АСТПРЕСС, 1999. – С. 144.
2. Глинка Н. Л. Общая химия. – М.: Химия, 1984. – С. 151.
3. Соколова О.Н.Опыты по выращиванию кристаллов-дендритов // Химия в школе. 2009. № 8. С. 59 – 62.
4. Третьяков Ю.Д. Дендриты, фракталы и материалы // Соровский образовательный журнал. – 1998. № 11. – С. 96 – 102.
5. Химическая энциклопедия. Т. 2. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – С. 532.
6. Шубников А.В. Зарождение и рост кристаллов. – М.: Наука, 1969. – С. 146.
7. Энциклопедический словарь юного химика. – М.: Педагогика, 1990. – С. 126.

**Определение содержания ионов
железа и витамина С в продуктах
питания методами бумажной и
тонкослойной хроматографии**
Колпакова Ксения Александровна

10 класс, МБОУ СОШ № 37

Научный руководитель З.В. Цверова,
преподаватель химии МБОУ СОШ № 37,
кандидат химических наук



Наиболее значимым для здоровья человека компонентом пищевых продуктов являются ионы железа, важнейшая функция которых – поддержание постоянного уровня гемоглобина в крови. Не менее важен для жизнедеятельности организма и витамин С, который способствует усвоению железа и тем самым улучшает синтез гемоглобина и клеток крови. Для обнаружения ионов железа и витамина С в продуктах питания были использованы методы бумажной и тонкослойной хроматографии, которые не только просты, но и обладают высокой чувствительностью. С помощью данной методики определено содержание ионов железа в гранате и гречневой крупе и витамина С в соке лимона, экстракте шиповника, мандаринах, детском молоке «Малютка» и других продуктах питания.

Для поддержания нормальной работы организма человека крайне необходимы ионы железа и витамин С. Ионы железа помогают поддерживать постоянный уровень гемоглобина в крови, а витамин С воздействует на функции центральной нервной системы, стимулирует деятельность эндокринных желез, способствует лучшему усвоению железа и нормальному кроветворению, препятствует образованию канцерогенов. Его недостаток проявляется в быстрой утомляемости, кровоточивости десен – цинге. Поэтому даже небольшое уменьшение содержания железа и витамина С в человеческом организме сильно сказывается на способности к обучению и физической выносливости.

Для обнаружения продуктов, содержащих ионы железа и витамин С, можно использовать различные аналитические методы. Целью данной работы было обнаружение ионов железа и витамина С в продуктах питания методами бумажной и тонкослойной хроматографии (ТСХ). Представляло интерес применить именно эти методы анализа, поскольку они являются простыми и быстрыми в исполнении, а также обладают высокой чувствительностью [1].

С помощью выбранных методик определено содержание ионов железа в гранате и гречневой крупе, а витамина С в соке лимона, экстракте шиповника, мандаринах, детском молоке «Малютка» и других продуктах питания.

Для определения ионов железа методом бумажной хроматографии [5] использовали фильтровальную бумагу. На бумагу наносили капилляром каплю 1 – 5%-ного раствора хлорида железа (III) в качестве свидетеля и рядом, на расстоянии 2 – 3 см от первого пятна, наносили другим капилляром пробу на стартовую линию исследуемого продукта. Затем помещали эту бумагу в стеклянный стакан с закрытой крышкой, содержащий смесь растворителей: спирта и соляной кислоты в отношении 1:4. Через час вынимали фильтровальную бумагу из стакана и обнаруживали ионы железа опрыскиванием 10%-ным раствором гексациано-ІІ-феррата калия. В результате появилось синее окрашивание вследствие образования берлинской лазури [3]. Анализ методом ТСХ проводили аналогично, используя пластины Sorbfil размером 10×10 см [4].

Для обнаружения витамина С (аскорбиновой кислоты) методом бумажной хроматографии на фильтровальную бумагу наносили капилляром каплю свидетеля – раствор аскорбиновой кислоты и рядом, на расстоянии 2 – 3 см от первого пятна, наносили другим капилляром пробу на стартовую линию исследуемого продукта. Затем помещали эту бумагу в стеклянный стакан с закрытой крышкой, содержащий смесь растворителей: спирта и гексана в соотношении 3:1 соответственно. Через 20 минут вынимали фильтровальную бумагу из стакана. Обнаружение проводили путем воздействия паров йода [5]. Анализ методом ТСХ проводили аналогично, используя пластины Sorbfil размером 10×10 см.

На рисунках 1 и 2 приведены фотографии проделанных экспериментов. Как видно из приведенных хроматограмм, полученных методом бумажной хроматографии (рис. 1 а), во всех случаях наблюдалось синее окрашивание, что свидетельствует о наличии ионов железа в исследуемых продуктах. Интенсивность окрашивания указывает на то, что концентрация ионов железа больше в случае гречневой крупы, граната, детского молока «Малютка», а в соках яблока, «Сады Придонья» и клюквы концентрация ионов железа меньше. На хроматограммах, сделанных методом ТСХ (рис. 1б), синяя линия напротив проявленного свидетеля подтверждает присутствие ионов железа в исследуемых продуктах. Установлено, что в пробах гречневой крупы и граната наличие их более заметно, чем в других исследуемых продуктах.

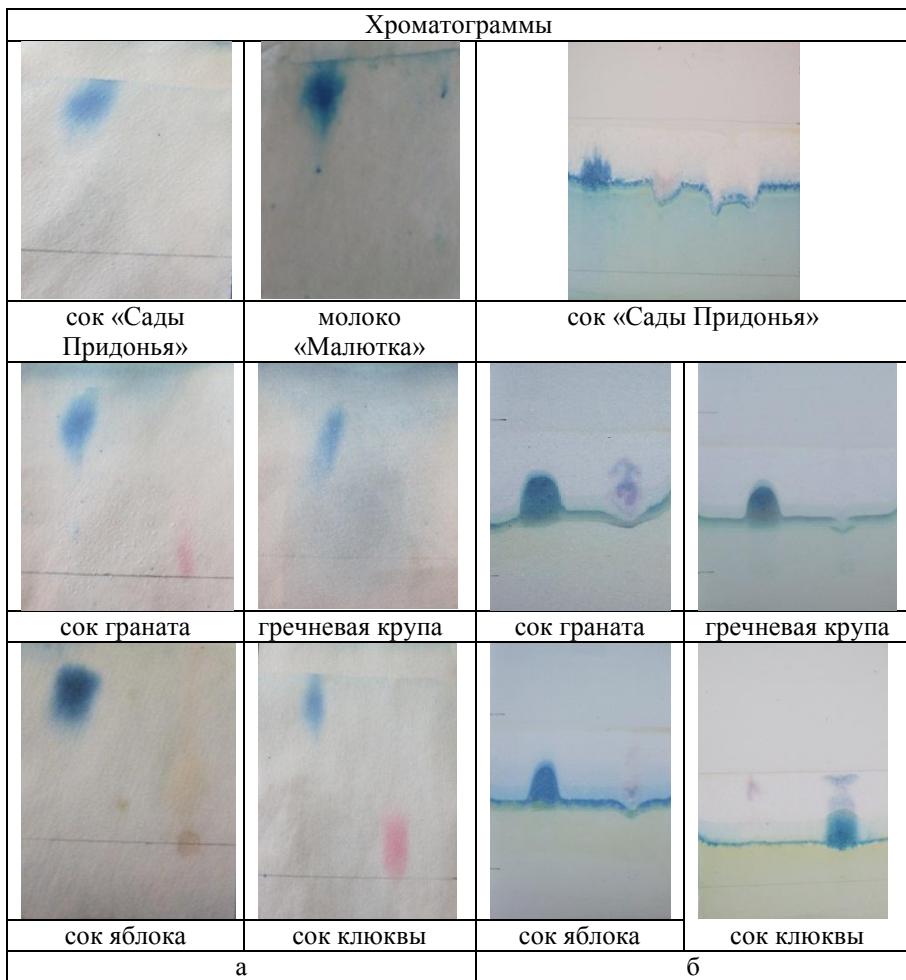


Рис. 1. Обнаружение ионов железа:

а – методом бумажной хроматографии; б – методом ТСХ

Результаты хроматограммы показали, что витамин С присутствует в соках лимона и в экстракте шиповника (рис. 2), а в мандаринах, соках «Добрый», «Сады Придонья» и детском молоке «Малютка» витамин С отсутствует.

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшее содержание ионов железа в гранате и гречневой крупе, а витамин С содержится только в свежевыжатых соках лимона и экс-

тракте шиповника. В мандаринах, соках и детском молоке «Малютка» аскорбиновая кислота не содержится, так как является нестойким соединением, хотя и указывается на упаковке.

Аскорбиновая кислота (свидетель) сок мандарина	Аскорбиновая кислота (свидетель) сок мандарина
Свидетель и сок лимона экстракт шиповника	Свидетель и сок лимона экстракт шиповника
A	б

Рис. 2. Обнаружение аскорбиновой кислоты:
а – методом бумажной хроматографии; б – методом ТСХ

Литература

1. Кибарин С.А., Макаров К.А. Тонкослойная хроматография в органической химии. – М: Химия, 1978. – С. 13 – 22.
2. Кузнецова Н.Е., Титова И.М. Учебник для учащихся 9 класса общеобразовательных учреждений. – М.: Вентана-Графф, 2003. – С. 42 – 79.
3. Некрасов Б.Н. Курс общей химии. – М: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1948. – С. 793.
4. Ницантьев Э.Е., Верзилина М.К., Котлярова О.С., Ницантьев Э.Е. Внеклассная работа по химии с использованием хроматографии. – М: Просвещение, 1983. – С. 11 – 29.
5. Тяглова Е.В. Исследовательская деятельность учащихся по химии. – М: Глобус, 2007. – С. 159 – 172.

Природные индикаторы

Ловыгина Доминика Дмитриевна

9 класс, МБОУ Лицей № 40

Научный руководитель В.Ф. Кревская,
преподаватель химии МБОУ Лицей № 40



В экспериментальной работе определены объекты, которые могут служить природными индикаторами, зафиксированы изменения окраски в различных средах (кислой, нейтральной и щелочной). Приведено химическое обоснование индикаторных свойств с помощью ионной теории В. Освальда. Доказан обратимый характер изменений окраски природных индикаторов и приведено теоретическое обоснование этого явления.

Фиалки (сенполии) – комнатные растения, которые нравятся многим людям. Поражает своей красотой и разнообразием сортов ирис. Очень широко используются в питании и полезны свекла и клюква. Эти природные объекты могут служить природными индикаторами, то есть менять окраску в зависимости от среды. Цель работы – изучить возможность получения веществ, являющихся кислотно-основными индикаторами, из растительного сырья и применения их для определения среды растворов.

Индикаторы (от английского indicate – указывать) – это вещества, которые изменяют свой цвет в зависимости от среды раствора. С помощью индикаторов качественно определяют реакцию среды. Впервые индикаторы обнаружил в XVII веке английский химик и физик Роберт Бойль. Одним из наиболее распространенных индикаторов является лакмус, в водных растворах которого недиссоциированные молекулы имеют красную окраску, а анионы – синюю. Согласно теории индикаторов Освальда, при добавлении в лакмус соляной кислоты равновесие смещается в сторону образования индикатора, и раствор приобретает красную окраску (рис. 1).



Рис. 1. Ионная теория индикаторов В. Освальда

При добавлении в лакмус раствора гидроксида натрия, OH^- ионы соединяются с H^+ ионами и образуют молекулы воды. Поэтому равновесие сдвинется вправо, и окраска раствора станет синей вследствие появления анионов индикатора. В нейтральной среде лакмус имеет фиолетовую окраску.

Широко распространенными в растительном мире красящими веществами являются антоцианы (рис. 2). Антоциан в зависимости от того, в какой среде он находится (в кислой, нейтральной или щелочной), способен быстро изменять свой оттенок.

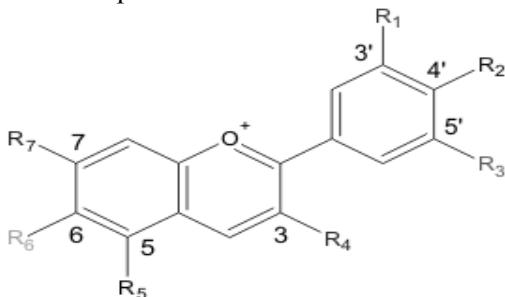


Рис. 2. Общая структура антоцианов

В качестве природных индикаторов использовали цветы фиалки, цветы ириса, свекольный сок, клюквенный сок, раствор соляной кислоты (HCl), раствор гидроксида натрия (NaOH), вода (H_2O).

Если в свекольный сок поочередно добавлять кислоту и затем щелочь, то окраска будет меняться поочередно. Для доказательства обратимости окраски во время работы был снят фильм. Результаты экспериментов приведены на рисунке 4 в виде таблицы.

Таким образом, в результате работы были сделаны следующие выводы: природные индикаторы позволяют определить характер среды без дорогостоящих химических реагентов; природные индикаторы, как и синтетические, обратимо могут менять окраску.

Литература

1. Хомченко Г.П. Химия для поступающих в вузы.– М.: Высшая школа, 1994. – 447 с.
2. Энциклопедия для детей. Т. 17. Химия. – М.: Аванта. 2000. – 640 с.
3. Креиков А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ. Гл. Интервал перехода индикатора // Научная библиотека [электронный ресурс]. http://alnam.ru/book_a_chem2.php?id=54.

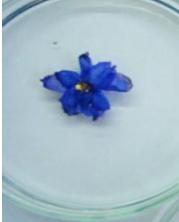
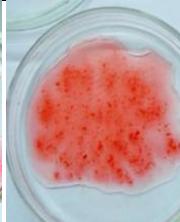
Объект	Среда			
	нейтральная	кислая	щелочная	сильно щелочная
Фиалка				
Клюк-венный сок				
Сок свеклы				

Рис. 3. Результаты опытов

Индикатор	Реакция среды		
	Кислая	Нейтральная	Щелочная
Цветы фиалки			
Цветы ириса			
Свекольный сок			
Ягодный сок			

Рис. 4. Итоговая схема эксперимента с природными индикаторами

Исследование мяса и мясных продуктов

Приказчикова Наталья Сергеевна

9 класс, МБОУ СОШ № 182

Научный руководитель В.Д. Шулепина,
преподаватель химии МБОУ СОШ № 182

В работе проведено исследование качества (проба Левина и Эбера) и свежести мяса, а также мясных продуктов (колбасных изделий) на содержание хлорида натрия методом титрования, нитратов и белка с помощью качественных реакций. На основе анализа имеющейся литературы рассмотрена сущность приготовления колбасных изделий как мясных продуктов, дана краткая характеристика химического состава колбасных изделий.



Мясо – источник полноценных белков, жиров, минеральных веществ, некоторых витаминов, потребление которых является необходимым для нормального функционирования организма. В настоящее время все больше употребляются мясные изделия, такие, как, например, колбасы, содержащие, кроме мяса, различные добавки, которые неоднозначно влияют на организм. Контроль качества является одной из наиболее важных задач пищевой промышленности. Свежесть и качество мяса определяются специальными методами в лабораторных условиях, но существуют доступные каждому человеку способы, которые помогут ему выбрать качественную продукцию и оставаться здоровым.

В рассматриваемой работе свежесть мяса исследовалась методом пробной варки, по результатам которой оценивались органолептические свойства продукта (несвежее мясо характеризовалось отклонением от нормального запаха, ослизнением поверхности, заветриванием, серым оттенком жира, замедлением выравнивания ямки после надавливания, помутнением бульона и образованием хлопьев). Также была сделана проба с сернокислой медью (образование мутного голубого студенистого осадка в фильтрате несвежего мяса), фенолфталеином (изменение окраски до розовой в несвежем фильтрате). Пробой Эбера (появление паров хлорида аммония в виде белых кристаллов вокруг несвежего мяса в сосуде с соляной кислотой) выявляли наличие амиака как конечного продукта распада белков. По-

мимо этого определялась скорость фильтрации бульона (по Андриевскому), которая зависит от наличия/отсутствия продуктов распада белка, замедляющих фильтрацию. Проведена проба Левина, выявляющая продукты гниения в испорченном мясе (сероводород и аммиак).

Для исследования мясных продуктов были отобраны 14 видов колбас. С помощью качественных реакций они исследовались на содержание белка: биуретовая реакция (с гидроксидом меди (II)), цистиновая реакция (с солями свинца (II)). В колбасных изделиях также определялось содержание нитратов (с помощью дифениламина, изменяющего окраску в их присутствии). Особое внимание было уделено определению в колбасах хлорида натрия, который в избыточном количестве отрицательно влияет на метаболические реакции организма человека. Наличие хлорида натрия было доказано с помощью нитрата серебра (I) по выпадению белого хлопьевидного осадка хлорида серебра (I). Количественное содержание хлорида натрия определялось методом титрования. Результаты проведенных исследований сведены в таблицу.

Таблица 1. Содержание хлорида натрия в колбасных изделиях

№	Наименование изделия	ω (NaCl), %	Масса NaCl в 100 г продукта, г	V _{AgNO₃} , израсходованного на титрование (мл)
СОСИСКИ				
1	«Молочные»	1,7	1,7	0,3
2	«Ядрена копоть»	2	2	0,4
КОЛБАСЫ				
3	«Ветчина традиционная»	1,9	1,9	0,3
4	«Любительская»	2,2	2,2	0,4
5	«Чайная»	1,7	1,7	0,3
6	«Докторская»	2	2	0,3
7	«Любительская» в синюге	2,3	2,3	0,4
8	«Ливерная»	1,7	1,7	0,3
9	«Колбаски охотничий»	2,2	2,2	0,4
10	«Ветчина для завтрака»	1,7	1,7	0,3
11	«Телячья» в синюге	2,4	2,4	0,4
12	«Зернистый» сервилат	2,6	2,6	0,5
13	«Московская»	2,4	2,4	0,4
14	«Брауншвейгская»	3,4	3,4	0,6

По результатам работы сформулирован ряд выводов:

- в колбасах качественным методом установлено наличие белка, что позволяет отнести их к мясным изделиям;
- во всех колбасах содержатся нитраты, придающие им приятный и красивый цвет;
- хлорид натрия является обязательным компонентом колбасных изделий, который придает мясному продукту вкус и оказывает консервирующее действие. Его количественное содержание зависит от технологии производства колбасных изделий;
- установлено, что хлорид натрия содержится во всех колбасных изделиях и его массовая доля составляет от 1,69% до 3,45%;
- меньше хлорида натрия содержат вареные колбасы и молочные сосиски. Наименьшее значение массовой доли NaCl выявлено в колбасе «Чайная». Высоким содержанием NaCl отличаются копченые колбасы и колбасы, содержащие жир. Максимальное содержание NaCl обнаружено в колбасе «Брауншвейгская». Это означает, что в 174 г такой колбасы содержится суточная норма (6г) хлорида натрия для здорового человека.

Таким образом, можно сделать вывод, что колбасные изделия, особенно копченые, являются поставщиками большого количества хлорида натрия в человеческий организм.

Литература

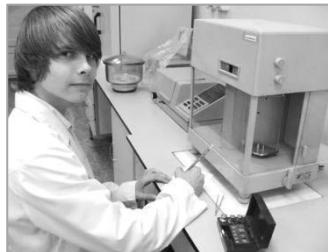
1. Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов: учебное пособие. – М.: Колос, 2001. – 376 с.
2. Берендеева Л.А., Конева И.В. Практикум по биохимии продуктов питания: учебное пособие. – Омск: Изд-во ИВМ ОмГАУ, 2002. – 100 с.
3. ГОСТ 9957 – 73. Колбасные изделия и продукты из свинины, баранины и говядины.
4. Егоров А.С., Иванченко Н.М., Шацкая К.П. Химия внутри нас: введение в бионеорганическую и биоорганическую химию. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 192с.
5. Лори Р.А. Наука о мясе. Перевод с анг. Ф.Н. Чебуньковой / Под ред. В.М. Горбатова. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 200 с.
6. Макаров К.А. Химия и здоровье. – М.: Просвещение, 1985. – 117с.
7. Рогов И.А., Жаринов А.И. Изготовление колбас и мясных деликатесов: Пособие для предпринимателей, фермеров, домохозяек. – М.: Профиздат, 1994. – 128с.
8. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Все о пище с точки зрения химика. – М.: Высшая школа, 1991. – 228с.
9. Фурман А.А. Бельды М.П., Соколов. И.Д. Поваренная соль: производство и применение в химической промышленности. – М.: Химия, 1989. – 282 с.

Исследование химических свойств фармацевтических препаратов от изжоги

Рогов Михаил Олегович

9 класс, МБОУ СОШ № 62, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель А.А. Еремина,
ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук



В работе представлено исследование химических свойств наиболее распространенных фармацевтических средств от изжоги. В ходе исследования, с целью установления эффективности рассматриваемых фармацевтических препаратов, было определено количество соляной кислоты, которое они могут нейтрализовать. Определено количественное содержание основных компонентов, входящих в состав исследуемых средств от изжоги.

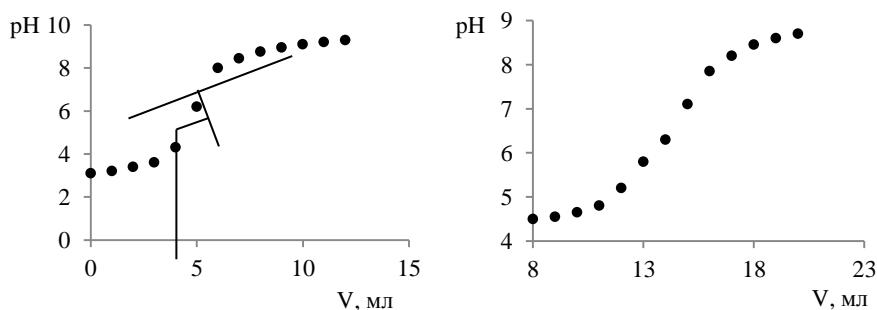
Изжога – ощущение дискомфорта или жжения за грудиной, распространяющегося кверху от эпигастральной (подложечной) области, иногда отдающего в область шеи. По некоторым данным, изжогой страдают около 40% населения земного шара, как мужчины, так и женщины. У одних это бывает временным явлением, у других данный симптом присутствует постоянно, не вызывая никакой озабоченности. Изжога, характерная для повышенной секреции желудочного сока, – безопасное явление. Однако, заглянув глубже, мы понимаем, что изжога – это результат того, что из желудка в пищевод выбрасывается кислота. Кислота эта соляная, способная сжечь не только поступившую в организм пищу, но и более твердые субстанции, в том числе и стенки пищевода, приводя впоследствии к язве.

На современном фармацевтическом рынке существует три основных вида препаратов от изжоги: таблетки, суппозитории, сиропы. Все они направлены на нейтрализацию избытка желудочного сока. Как известно, желудочный сок содержит в основном соляную кислоту, и ее можно нейтрализовать гидрокарбонатом натрия, более известным как пищевая сода. Чем же привычная и более доступная по цене сода уступает новым современным препаратам от изжоги? Для ответа на этот вопрос на первом этапе работы был изучен состав препаратов, которые были выбраны для данного исследования. Первый из них – это препарат «Ренни», выпускаемый в виде

таблеток с различными вкусовыми добавками. Данный препарат относится к антацидным препаратам быстрого действия. «Ренни» в своем составе содержит карбонаты кальция и магния, которые обеспечивают быструю и продолжительную нейтрализацию избытка соляной кислоты желудочного сока, тем самым оказывая защитное действие на слизистую оболочку желудка. Как сказано в инструкции, прилагаемой к препаратуре, достижение терапевтического эффекта наблюдается в течение 3 – 5 минут, что обусловлено хорошей растворимостью таблеток и высоким содержанием кальция. Однако экспериментально было установлено, что при помещении таблетки в воду наблюдалось неполное растворение препарата. На поверхность всплывали хлопья нерастворимых веществ и, по всей вероятности, ими являлись входящие в состав препарата парафин или тальк, которые плохо растворимы в воде.

«Альмагель» – это комбинированное средство, выпускающееся в виде геля, действующее как защитная пленка на слизистую оболочку желудка. «Альмагель» содержит большое количество гидроксида алюминия, который, в свою очередь, вступает в реакцию нейтрализации с желудочным соком, уменьшая при этом его переваривающую активность. Гидроксид магния, содержащийся в препарате, также нейтрализует соляную кислоту. Стоит отметить, что, в отличие от препарата «Ренни», «Альмагель» в своем составе не содержит парафина, талька, ароматизаторов и крахмала.

Чтобы оценить эффективность препаратов в борьбе с кислотой, было проведено обратное кислотно-основное титрование. По полученным результатам титрования были построены кривые титрования, по которым впоследствии был определен объем нейтрализованной кислоты (рис. 1, 2).



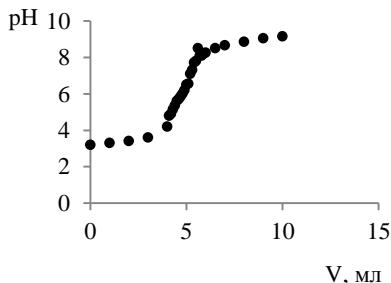
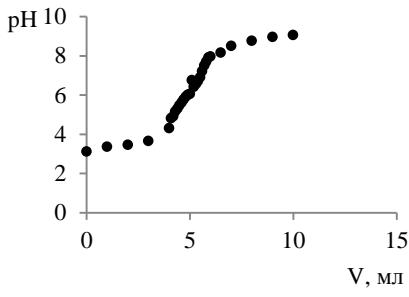


Рис. 1. Кривые титрования препарата «Ренни»

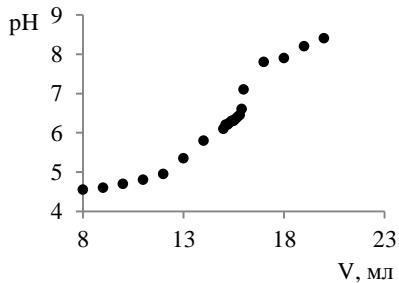
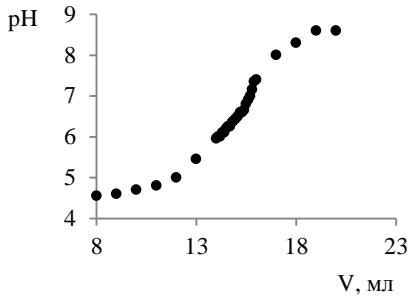


Рис. 2. Кривые титрования препарата «Альмагель»

По количеству соляной кислоты, пошедшей на титрование, определена эффективность фармацевтических средств от изжоги. Для «Ренни» этот показатель составляет $1,9 \cdot 10^{-2}$ моль, а для «Альмагель» – $2,0 \cdot 10^{-2}$ моль, то есть препарат «Альмагель» более эффективно нейтрализует соляную кислоту, хотя разница между ними небольшая.

Целью дальнейшей работы было определение содержания кальция и магния в препарате «Ренни», а также определение количества алюминия в препарате «Альмагель», которые являются основными компонентами в их составе. Для этого был использован метод комплексонометрии. Суть метода заключается в способности катионов металлов образовывать комплексы с органическими реагентами – комплексонами. В данной работе использовался комплексон III или Трилон Б. Результаты экспериментов сравнивались со значениями, указанными в инструкции препаратов.

В результате проведенных исследований выявлено, что содержание кальция в препарате «Ренни» составляет 257 ± 21 мг, магния 25 ± 3 мг, что близко к значениям, указанным в инструкции (272 мг

и 23 мг соответственно). В препарате «Альмагель» содержится 784 ± 47 мг алюминия, что также соответствует заявленному в инструкции значению 755 мг в пределах погрешности.

Таким образом, нами был изучен метод комплексонометрии, с помощью которого определено количество кальция, магния и алюминия в исследуемых препаратах. В ходе проведенного исследования фармацевтических препаратов от изжоги установлено, что препарат «Альмагель», выпускаемый в виде суспензии, по своим химическим свойствам более эффективен при борьбе с изжогой, поскольку нейтрализует большее количество соляной кислоты по сравнению с препаратом «Ренни». Кроме того, препарат «Ренни» основан на карбонатах, которые при взаимодействии с кислотой разлагаются на воду и углекислый газ согласно следующему уравнению реакции:



Действие этого препарата сопоставимо с обычной пищевой содой. Однако стоит отметить, что выделение газа может пагубно скаться на пищеварительной системе, появляются такие симптомы, как дискомфорт и вздутие живота. Поэтому как соде, так и препарат «Ренни» следует принимать с осторожностью. Препарат «Альмагель» таких недостатков не имеет.

Литература

1. Rosenfeld L. Gastric tubes, meals, acid, and analysis: rise and decline / Clinical Chemistry. 1997, 43. P. 837 – 842.
2. Афендулов С.А., Журавлев Г.Ю. Хирургическое лечение больных язвенной болезнью. – М.: ГЭОТАР-Медицина, 2008. – 336 с.
3. Горшков В.А. Теоретические и клинические аспекты протеолиза в верхних отделах пищеварительного тракта. – СПб, 2005. – 228 с.
4. Дубинская Т.К., Волова А.В., Разживина А.А., Никишина Е.И. Кислотопродукция желудка и методы ее определения. Учебное пособие. – М.: РМАПО, 2004. – 28 с.
5. Коротыко Г.Ф. Желудочное пищеварение в технологическом ракурсе. – Кубанский научный медицинский вестник. 2006, № 7 – 8 (88 – 89). С. 17 – 22.
6. Коротыко Г.Ф. Желудочное пищеварение. – Краснодар, 2007. – 256 с.
7. Лея Ю.Я. pH-метрия желудка. – Л.: Медицина, 1987. – 144 с.
8. Линар Е.Ю. Кислотообразовательная функция желудка в норме и патологии. – Рига, Зинанте, 1968. – 438 с.
9. Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. Внутренние болезни. Система органов пищеварения. Учебное пособие. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 560 с.
10. Сотников В.Н. Значение эндоскопической pH-метрии в определении кислотопродуцирующей функции желудка. – М.: РМАПО, 2005. – 35 с.

Выделение, доказательство подлинности и оценка содержания кофеина в образцах чая, кофе и лекарственных препаратах

Сорокин Петр Андреевич

9 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Р.В. Абрахеев,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,

кандидат химических наук



В работе исследуются различные образцы чая, кофе и лекарственных препаратов на предмет изучения количественного содержания кофеина в них. Проведены исследования на современном оборудовании на базе химического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, в частности, на спектрофотометре Shimadzu UV-mini. Получен кофеин из образцов, доказана его подлинность путем проведения мурексидной пробы. В рамках метода спектрофотометрического анализа построены градуировочные графики на основе стандартной серии растворов кофеина. По графикам определено содержание кофеина в каждом из исследуемых образцов.

Кофеин, называемый также матеин или гуаранин, является представителем алкалоидов пуринового ряда. Его химическое название 1,3,7-триметил-ксантин. Кофеин был открыт в 1819 году немецким химиком Фердинандом Рунге.

Чистое вещество кофеин представляет собой бесцветные горькие кристаллы, плохо растворимые в холодной воде и хорошо в горячей воде, а также в спирте и других органических растворителях. Отличительной особенностью кофеина является его способность к сублимации – переходу из твердого в газообразное агрегатное состояние, минуя жидкое, при температуре выше 150°C. Получают кофеин из отходов чайного листа либо синтетически из мочевой кислоты и ксантина. Подобно другим алкалоидам, кофеин проявляет слабые основные свойства, реагируя с кислотами. Качественной реакцией на кофеин является мурексидная пробы, которая подробно будет рассмотрена позднее.

Кофеин находит широкое применение, что связано с его психостимулирующим действием. Как естественный компонент растительного сырья, он содержится в кофе, чае и матэ. Современные популярные, а также специальные «энергетические напитки» содержат добавку кофеина. Помимо этого, данное вещество широко использу-

ется в медицине с целью стимуляции сердечной деятельности и центральной нервной системы, устранения сонливости и повышения работоспособности, обладает мочегонным действием, входит в состав комплексных средств для лечения головной боли. При больших дозах кофеин обладает токсическим действием. Его летальная доза составляет 150 – 200 мг/кг массы тела (что соответствует 80 – 100 чашкам крепкого черного кофе, выпитым друг за другом).

Благодаря несовершенству законодательства, производители продуктов могут не указывать содержание биологически активных веществ на упаковках. Это не позволяет обоснованно оценить возможный «бодрящий» эффект продаваемых кофе, чая и напитков. Особенно это касается чая. Многие покупатели даже не задумываются, что некоторые его сорта содержат кофеина больше, чем кофе.

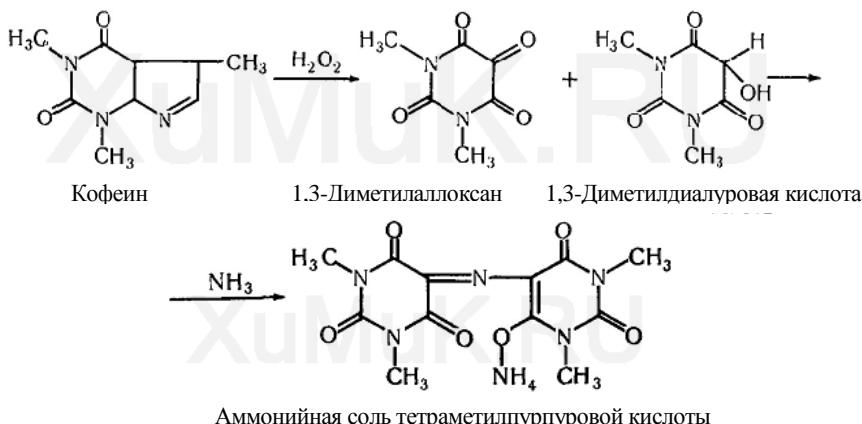
Цель работы состояла в сравнении содержания кофеина в образцах. Объектами анализа выступили листья чая и молотый кофе разных сортов, а также чайный настой. В работе решались следующие задачи: выбор условий выделения кофеина из твердого сырья; получение чистого кофеина из образцов чайных листьев и молотого кофе и доказательство его подлинности; снятие спектров поглощения чистого кофеина, чайного и кофейного настоев, выбор длины волны для определения; формулировка методики анализа и построение градуировочного графика для определения кофеина; сравнение содержания кофеина в образцах.

Согласно научным источникам, содержание кофеина в чае и кофе достаточно велико и может достигать нескольких процентов по массе, однако его выделение из них представляет серьезную проблему. В лабораториях для этого используют многократную экстракцию хлороформом и другими токсичными органическими растворителями. Этот прием неприемлем при выполнении школьной исследовательской работы, кроме того, в чайном и кофейном настоях, помимо кофеина, имеются соединения, придающие им интенсивную окраску, что затрудняет непосредственный их анализ, без выделения кофеина. Поэтому на первом этапе были выполнены эксперименты по сублимационному выделению кофеина. С этой целью была собрана установка, состоявшая из песчаной бани, термометра, фарфоровой чашки, воронки с охлаждающей снегом поверхностью.

Анализируемые образцы растирали в ступке до однородного пылеобразного состояния. Помещали навеску в чашку для выпаривания

и нагревали при выбранной температуре определенное время. Было установлено, что, во-первых, передача тепла от песчаной бани образцу осуществлялась неэффективно, и образцы не нагревались выше 150°C. При этом кофеин не отгонялся. Во-вторых, в процессе нагревания установки снег таял, и в образцы попадала вода. Поэтому от снегового охлаждения отказались, заменив его воздушным. В этом случае кофеин осаждался на покровном стекле в форме бесцветных игл. Эффективность нагрева образцов увеличили, смешивая их с инертным разбавителем – оксидом магния. Установили, что отгонка кофеина начинается при температуре около 180°C. При этом нежелательно, чтобы температура образца поднималась выше 200°C, так как при этом кофеин начинает окисляться, что заметно по изменению его окраски на коричневую и появлению характерного запаха.

Для подтверждения подлинности сублимированного кофеина выполнили качественную реакцию на него – «мурексидную пробу». С этой целью вещество смывали горячей дистиллированной водой со стекла в кварцевую чашку, упаривали, добавляли 30%-ный раствор перекиси водорода и 2-х молярный раствор азотной кислоты. Содержимое чашки упаривали досуха и обрабатывали раствором аммиака. Появлялась характерная малиновая окраска, что связано с протеканием реакций:



Для того, чтобы можно было сравнить содержание кофеина в образцах, разработали спектрофотометрическую методику его определения, основанную на характерном поглощении ультрафиолетового

излучения растворами алкалоида. Исходным веществом для приготовления градуировочных растворов послужили таблетки кофеин-бензоата натрия с паспортным содержанием кофеина 40%. На первом этапе выделили чистый кофеин из таблеток, в которых он находится в форме смеси с бензоатом натрия и вспомогательными веществами. Таблетки растерли в ступке, растворили в горячей дистиллированной воде. Полученный горячий раствор отфильтровали, охладили, при этом кофеин выпал в осадок. Его отфильтровали и высушили на стекле при комнатной температуре. Затем приготовили стандартный раствор кофеина по навеске вещества, взятой на аналитических весах. Из этого запасного раствора разбавлением дистиллированной водой приготовили стандартную серию растворов кофеина.

Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре Shimadzu UV-mini. На спектре видны интенсивная узкая полоса при длине волн максимального поглощения 272 нм и широкая размытая полоса с максимумом поглощения около 220 нм. Эти длины волн соответствуют приведенным в литературе для кофеина (рис. 1).

Для исследования были отобраны образцы черного молотого кофе «Арабика», кофе с пониженным содержанием кофеина «Якобс Монарх», черного, цейлонского зеленого и зеленого чая улугуна «Тегуаньинь». Образцы массой 1 г смешивали с 1 г оксида магния и растирали в ступке. Затем их помещали в чашку установки для сублимации и нагревали при температуре 180°C в течение 10 минут. При этом из образцов испарялась влага. Далее чашки накрывали стеклом и продолжали нагрев еще 10 минут. Затем смывали кофеин горячей дистиллированной водой, полученный раствор в мерной колбе доводили до метки и тщательно перемешивали.

Сняли спектры поглощения всех полученных растворов в интервале длин волн 350 – 190 нм. Образец, полученный из чая «Тегуаньинь», потребовалось разбавить дистиллированной водой, так как

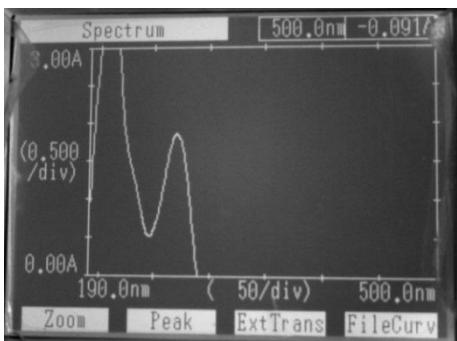


Рис. 1. Спектр поглощения раствора кофеина (4 г/л, Shimadzu UVmini, l=1 см)

иначе его оптическая плотность была бы слишком велика для измерений. На всех спектрах проследили полосы поглощения при названных выше длинах волн, при этом максимум поглощения при 272 нм воспроизводился для всех растворов с высокой точностью, а максимум более коротковолновой полосы несколько смешался. Это связано с возможным наличием в реальных объектах примесных компонентов. В связи с этим для построения градуировочного графика использовали

поглощение стандартных растворов при 272 нм. С помощью градуировочного графика определили массу кофеина, извлекаемого в выбранных условиях из образца (рис. 2). Полагая, что доля кофеина, извлекаемого из образцов при совпадающих условиях подготовки пробы и сублимации, одинакова, можно сделать вывод о соотношении содержания кофеина в них (рис. 3).

По результатам работы сделаны следующие *выводы*:

- предложены установка и методика выделения кофеина из образцов чая и кофе;
- выделен чистый кофеин из таблеток кофеин-бензоата натрия;
- приготовлен стандартный раствор кофеина с содержанием 4 мг/мл;
- выбрана длина волны и предложена спектрофотометрическая методика определения кофеина в растворах;
- построен градуировочный график для спектрофотометрического определения кофеина на Shimadzu UV-mini;
- установлено, что наибольшее количество кофеина из всех проанализированных образцов содержится в чае «Тегуаньинь», а наименьшее – в кофе с пониженным содержанием кофеина.

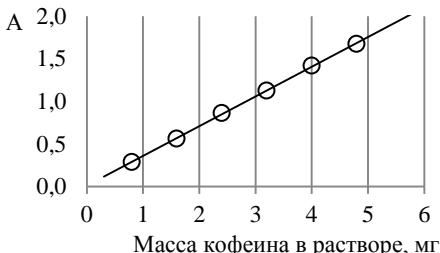


Рис. 2. Градуировочный график для определения кофеина в растворах (Shimadzu UVmini-1240, $l=1\text{см}$, 272 нм)

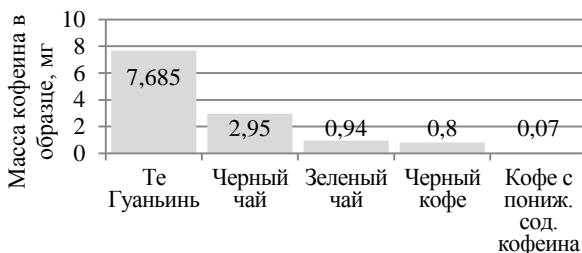


Рис. 3. Масса кофеина в исследуемых образцах

В дальнейшей работе методика определения будет усовершенствована с тем, чтобы можно было определять кофеин без его выделения, непосредственно в чайном и кофейном настоях.

Литература

1. *Беликов В.Г.* Фармацевтическая химия. Учебное пособие. В 2 ч. – М., Пресс-информ, 2007. – 624 с.
2. *Власова И.В., Лисиенко О.В.* Определение кофеина в лекарственных препаратах // Вестник Омского университета, 2002, № 3. С. 36 – 38.
3. *Глинка Н.Л.* Общая химия. – М.: 2003. – 728 с.
4. *Машковский М. Д.* Лекарственные средства. – М.: Новая Волна, 2005. С. 121 – 1200 .
5. *Мелентьев Г.А.* Фармацевтическая химия. – Т. II. – М., Медицина, 1976. – 42 с.
6. *Никитин В.А.* Спектрофотометр // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – Т. 4. С. 626 – 704.
7. *Харкевич Д.А.* Фармакология: Учебник. – М.: ГЭОТАР-Медицина, 2006. С. 256. – 736 с.

Биофизика



Численное моделирование и исследование динамики развития нейритов

Батанина Любовь Константиновна
10 класс, МБОУ Лицей № 38, ШЮИ ННЦ РАН
Научный руководитель В.И. Миронов, младший научный сотрудник ННГУ им. Н.И.Лобачевского



В ходе работы на основе литературных данных о биофизических механизмах, играющих ключевую роль в развитии отростков нервных клеток, предложена математическая модель роста нейритов. Выполнена программная реализация полученной модели с использованием методов численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Проведено исследование динамики развития отростка в зависимости от параметров модели.

Научные области, связанные с изучением механизмов, реализующих функции мозга, на сегодняшний день являются актуальными. К числу активно развивающихся направлений относится исследование принципов структурной организации и механизмов формирования нейронной сети. Несмотря на то, что вопросов здесь остается значительно больше, чем ответов, за относительно короткую историю исследований в этом направлении был достигнут значительный прогресс. На сегодняшний день достаточно интересные результаты получены в направлении разработки математических моделей, описывающих динамику удлинения нейронального отростка. Существующие модели чаще всего нацелены на описание с некоторой степенью детализации внутриклеточных механизмов, регулирующих процессы роста нейрита, и чаще всего выражаются в виде набора обыкновенных дифференциальных уравнений или частных производных. Последний факт делает невозможным их применение в контексте построения крупномасштабных моделей развития нейрональной сети.

Целью данной работы была разработка нового, более простого подхода к описанию динамики развития нейритов (отростков нервной клетки) и их исследование методами численного моделирования. На первом этапе реализации проекта был выполнен обзор научной литературы и изучение биофизических механизмов, играющих ключевую роль в развитии отростков нервных клеток. Было установлено, что динамика удлинения отростка определяется изменени-

ями клеточного скелета (цитоскелета) – некоего каркаса, находящегося в цитоплазме живой клетки. Он образован белками и представляет собой изменяющуюся в ответ на различные факторы структуру. В клеточном скелете принято выделять несколько основных компонентов: микрофиламенты, промежуточные филаменты, микротрубочки. Последние представляют собой полимеры в форме полых цилиндров, образованные димерами тубулина. Строительный белок тубулин синтезируется в теле нервной клетки и транспортируется вдоль нейритов к конусу роста, который является специализированной структурой на кончике растущих нейритов. Здесь происходит встраивание доставленных тубулиновых димеров в микротрубочки, в результате чего происходит их удлинение и, следовательно, удлиняются сами нейриты. Темпы сборки (полимеризации) и разборки тубулина находятся под влиянием актинового цитоскелета в конусе роста, белков, связанных с микротрубочками, уровня электрической активности и характера сигнала, поступающего из внеклеточной среды.

Для описания динамики удлинения нейрита применялся следующий подход. Отросток нервной клетки разделялся на некоторое количество сегментов (рис. 1а). Каждый сегмент представляет собой цилиндр, высота которого определяется скоростью транспорта строительного материала (белка тубулина). Таким образом, весь строительный материал, локализованный в i -м сегменте в момент времени t_i на следующем временном шаге t_{i+1} будет размещен в $i + 1$ сегменте. Также в модели учитывались процессы деградации тубулина. Для этого в систему вводилось уравнение распада, определяющего долю материала, сохраняющего свои функциональные свойства при транспортировке из i -го в $i + 1$ сегмент. Учитывая, что интенсивность процесса полимеризации (удлинения) микротрубочек является функцией концентрации строительного материала, локализованного в конусе роста, то скорость удлинения отростка может быть выражена в следующей форме:

$$\frac{dL}{dt} = \alpha C_{growth_cone} - \beta = \alpha C_0 e^{-\frac{\tau L}{V_{at}}} - \beta,$$

где L – длина отростка, которую надо рассчитать, α и β соответственно константы ассоциации и диссоциации тубулина, τ – скорость деградации, V_{at} – скорость активного транспорта, C_0 – величина концентрации тубулина в проксимальной части отростка (ее величина равна концентрации строительного материала в теле клетки).

Численное исследование представленной модели было выполнено с использованием методов Эйлера, Рунге-Кутта 2-го и 4-го порядка. Была проанализирована точность представленных методов. С этой целью с помощью символьных вычислений в пакете MATLAB была получена аналитическая зависимость удлинения отростка от времени, которая выглядит следующим образом:

$$L = \frac{V_{at}}{\tau} \ln \left\{ \frac{1}{\beta} \left[\alpha C_0 - (\alpha C_0 - \beta) e^{-\frac{\beta \tau}{V_{at}} t} \right] \right\}.$$

Далее результаты численного расчета модели сравнивались с графиком аналитической зависимости (рис. 1б).

Как видно из представленного графика, метод Рунге-Кутта 4-го порядка дает наиболее точное решение, и все дальнейшие работы выполнялись с использованием этого метода.

Следует также отметить, что полученная модель удлинения обладает достаточно простой динамикой. Скорость удлинения нейрита экспоненциально уменьшается с увеличением длины отростка. Очевидно, что рост нейрита прекратится, когда концентрация в конусе роста достигнет некоторого определенного значения, называемого критическим: $C_{gc} = C_{kp} = \beta/\alpha$. Таким образом, максимальная величина отростка, соответствующая состоянию равновесия, определяется следующим соотношением:

$$L^* = \frac{V_{at}}{\tau} \ln \left(\frac{C_0}{C_{kp}} \right).$$

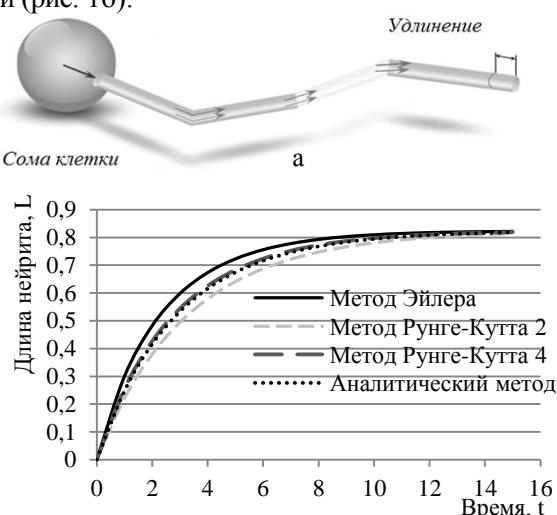


Рис. 1. а – представление отростка в виде набора последовательно соединенных цилиндрических сегментов;
б – зависимость длины нейритов от времени, рассчитанная методами Эйлера, Рунге-Кутта 2-го и 4-го порядка

Эта характеристика использовалась для качественного анализа влияния различных биофизических процессов, выраженных в параметрах модели. В результате были получены зависимости (рис. 2):

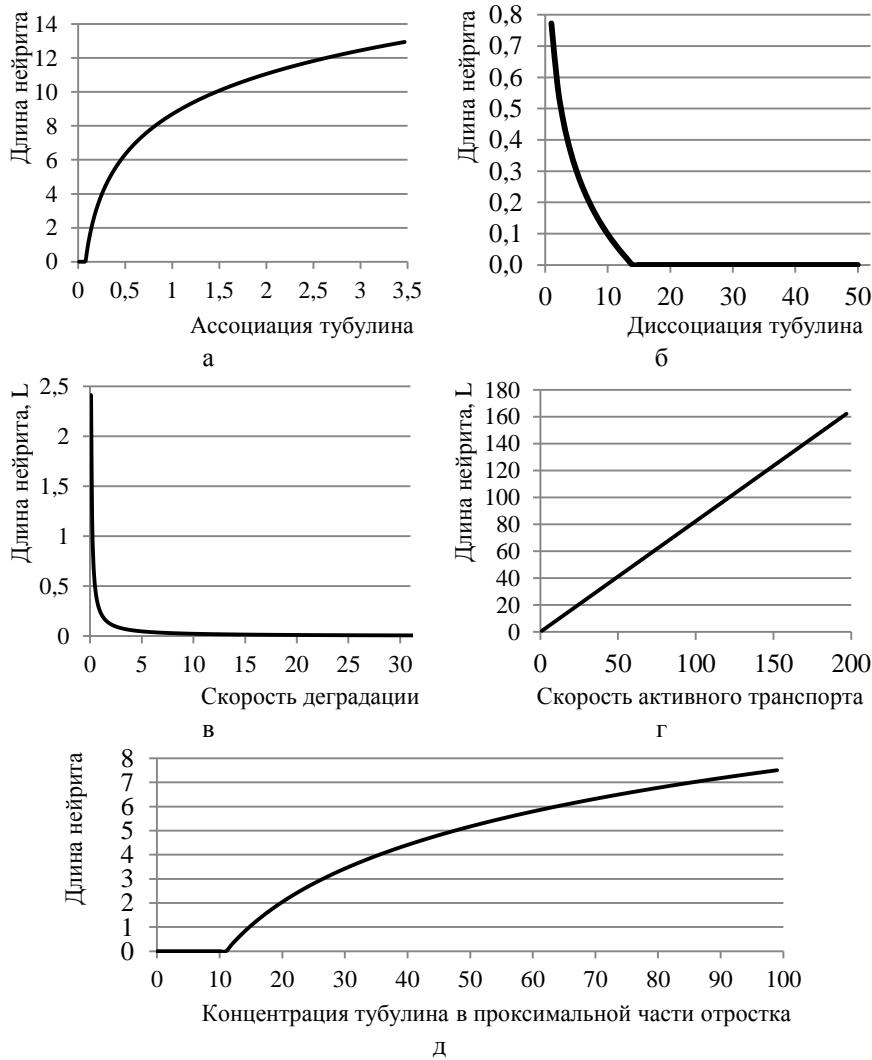


Рис. 2. Зависимость максимальной длины отростка от различных биофизических процессов: а – от ассоциации тубулина; б – от диссоциации тубулина; в – от скорости деградации; г – от скорости активного транспорта; д – от концентрации тубулина в проксимальной части отростка

Таким образом, в работе было проведено численное моделирование динамики развития нейритов. Было изучено влияние различных факторов на скорость удлинения отростка и его конечную длину. Полученные результаты предоставляют основу для возможности регулирования развития нейронной клетки. В частности, позволяют смоделировать результат фармакологического воздействия, интенсифицирующего или подавляющего тот или иной биофизический процесс, принимающий участие в удлинении отростка. Также была получена аналитическая функция зависимости длины нейрита от времени, который подтверждает корректность результатов, полученных с использованием численных методов.

Литература

1. *Burnette D.T., Schaefer A.W., Danuser L.Ji.G., Forscher P.* Filopodial actin bundles are not necessary for microtubule advance into the peripheral domain of Aplysia neuronal growth cones // Nat. Cell Biol. 2007. 9:1360 – 1369.
2. *Bouquet C., Ravaille-Veron M., Propst F., Nothias F.* MAP1B coordinates microtubule and actinfilament remodeling in adult mouse Schwann cell tips and DRG neuron growth cones // Mol. Cell. Neurosci. 2007. 36:235 – 247.
3. *Dent E.W., Gertler F.B.* Cytoskeletal dynamics and transport in growth cone motility and axon guidance // Neuron. 2003. 40:209 – 227.
4. *Futerman, A., Bunker G.* The economics of neurite outgrowth—the addition of new membrane to growing axon // Trends Neurosci. 1996. 19:144 – 149.
5. *Гусак А.А., Гусак Г.М., Бричикова Е.А.* Справочник по высшей математике // ТетраСистемс, 1999.

Влияние химических веществ на рост и развитие растений

Исрафилова Арина Георгиевна

10 класс, МБОУ СОШ № 19

Научный руководитель Р.В. Пахомов,
преподаватель химии МБОУ СОШ № 19,
кандидат химических наук



Проведена оценка поведения наиболее распространенных удобрений в водной среде. Результаты численных расчетов показывают, что с понижением концентрации удобрений до 0,125% повышается доступность содержащихся в них питательных веществ для корневой системы растений. Данные теоретические расчеты были подтверждены экспериментально, путем измерения скорости роста проростков ржи, ячменя, овса в течение 10 дней. Показано, что при понижении концентрации новых комплексных удобрений «Росса» и «Агрикола» в 8 раз скорость роста проростков либо не уменьшалась, либо возрастала в 1,5 – 2 раза. Данный результат позволит получить значительный экономический эффект в условиях промышленного выращивания зерновых.

Целью данной работы является определение стимулирующего действия новых универсальных удобрений «Росса» и «Агрикола» на рост корней и стебля зерновых культур: ячменя, овса, ржи.

Основной задачей исследования является определение минимальной концентрации удобрений «Росса» и «Агрикола», при которой еще заметен положительный эффект от их применения при раннем развитии проростков ячменя, овса, ржи.

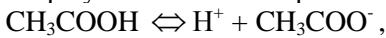
Содержание питательных веществ в новых комплексных удобрениях «Росса» и «Агрикола» приведено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание питательных веществ в новых комплексных удобрениях «Росса» и «Агрикола»

Элементы питания	Максимальное содержание, %	
	«Росса»	«Агрикола»
Азот	6,5	1,5
Фосфор	11,5	0,8
Калий	12,0	0,8
Гумат	4,0	0,2

Видно, что содержание питательных веществ в препарате «Росса» выше, чем в «Агрикола». Оба удобрения содержат гумус. Этот компонент определяет плодородие почвы и образуется при распаде

органических веществ под действием бактерий. В основном гумус состоит из слабых органических кислот, типичным представителем которых является уксусная кислота. На ее примере был проведен расчет степени диссоциации и концентрации ионов водорода в водном растворе при различных концентрациях кислоты. В водном растворе устанавливается равновесие:



$K = \frac{[\text{H}^+] [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{\text{CH}_3\text{COOH}}$ – константа диссоциации уксусной кислоты,

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K * C}$$
 – концентрация ионов водорода,

$$\alpha = \sqrt{K / C}$$
 – степень диссоциации уксусной кислоты.

Таблица 2. Степень диссоциации и концентрации ионов водорода в водном растворе при различных концентрациях кислоты

№	Концентрация уксусной кислоты, моль/литр	$[\text{H}^+]$	α
1	0,1	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
2	0,01	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
3	0,001	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$
4	0,0001	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-1}$

Результаты расчетов демонстрируют, что с понижением концентрации кислоты повышается степень диссоциации и понижается концентрация ионов водорода в растворе.

Аналогичные расчеты были проведены для нитрата аммония, фосфата, гидрофосфата и дигидрофосфата калия и аммония. Было показано, что с понижением концентрации удобрения возрастает степень диссоциации и гидролиза удобрений, что, возможно, способствует более интенсивному развитию корневой системы и росту стебля растения.

Данное теоретическое предположение было проверено экспериментально в ходе дальнейших опытов. Семена ячменя, овса и ржи проращивались на влажной фильтровальной бумаге, смоченной водным раствором одного из исследуемых препаратов заранее заданной концентрации. Каждые сутки проводились измерения длины корня и стебля проростков (рис. 1). Видно, что стебли и корневая система проростков легко доступны для измерений.

По результатам измерений были построены графики зависимости длины стебля и корня злаков от времени и концентрации препаратов «Росса» и «Агрикола». Все графики имели вид, аналогичный графику зависимости длины стебля и корня ржи от времени при проращивании семян ржи в препарате «Агрикола» (рис. 2).

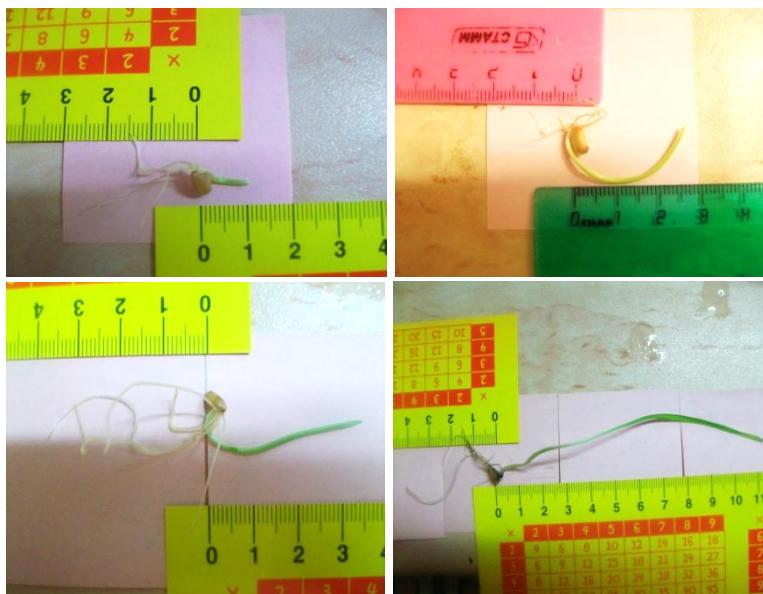


Рис. 1. Развитие ржи при концентрации 0,25% препарата «Агрикола» на 3-и, 5-е, 7-е и 10-е сутки

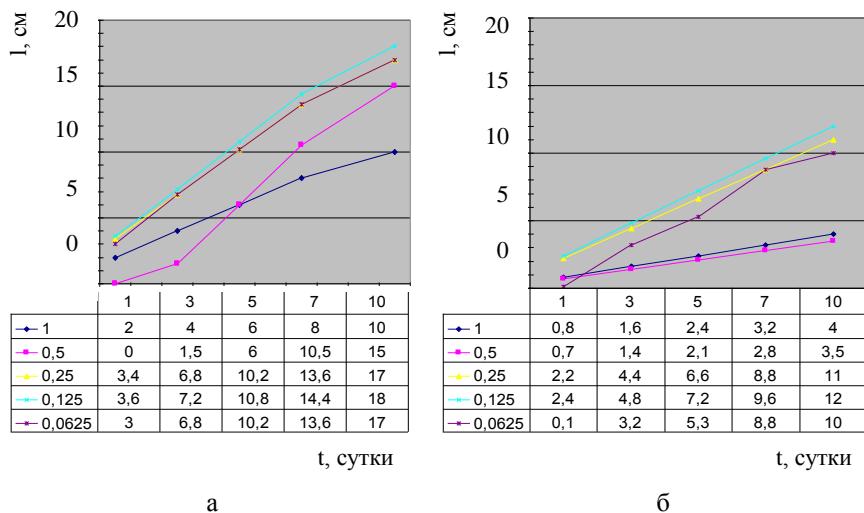


Рис. 2. Графики развития ржи при разных концентрациях препарата «Агрикола»:
а – зависимость длины стебля, б – зависимость длины корня от времени при проращивании семян ржи в препарате «Агрикола»

По результатам измерений определялась средняя скорость роста проростков овса, ржи и ячменя при концентрациях новых комплексных удобрений «Росса» и «Агрикола», равных 1%, 0,5%, 0,25%, 0,125%, 0,0625%, а также в чистой воде, то есть при концентрации 0%. Результаты определения средней скорости роста проростков злаков приведены в таблице 3.

Из таблицы видно, что препараты «Росса» и «Агрикола» ускоряют развитие проростков ячменя, ржи и овса в 8 – 10 раз по сравнению с чистой водой. Это объясняется тем, что в чистой воде проростки развивались только за счет питательных веществ, запасенных в зерне. Наибольшая скорость роста для овса наблюдалась в препарате «Агрикола» и «Росса» при концентрации 0,125%, для ржи – при концентрации препарата «Агрикола» от 0,5 % до 0,0625%, «Росса» от 0,5% до 0,125%, ячмень развивается с наибольшей скоростью при концентрации препарата «Агрикола» 0,5%, препарата «Росса» от 0,5 до 0,125%.

Таблица 3. Средняя скорость роста проростков злаков при различной концентрации комплексных удобрений «Росса» и «Агрикола»

%	Овес				Рожь				Ячмень			
	Корень мм/сутки		Стебель мм./сутки		Корень мм/сутки		Стебель мм/сутки		Корень мм/сутки		Стебель мм/сутки	
	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
1	0,1	4,5	0,1	8,0	4,0	6,0	10	12,5	3,0	4,5	6,0	10,0
0,5	3,5	7,0	1,5	10,0	4,0	7,3	15	8,0	9,0	5,0	11,0	7,0
0,25	3,5	4,5	1,5	9,0	11,0	5,5	17	10,0	8,0	5,5	5,1	5,0
0,125	5,0	6,0	10,5	13,5	12,0	5,5	18	13,5	2,5	12,5	1,5	5,5
0,0625	4,0	1,5	6,5	3,5	10,0	3,0	17	3,0	1,5	3,0	1,0	8,0
H ₂ O	2,0		7,5		2,5		5		1		1	

* – A – препарат «Агрикола», P – препарат «Росса»

Полученные результаты позволили сделать вывод, что с понижением концентрации удобрения повышается доступность его питательных веществ для корневой системы растения. Данное предположение было сделано теоретически и доказано практически при проращивании семян овса, ржи и ячменя. Оказалось, что скорость развития проростков семян в разбавленных растворах с концентрацией 0,5% – 0,125% выше в 1,5 – 2 раза, чем в растворах с рекомендованной производителями концентрацией 1%.

Выводы

1. Было теоретически рассмотрено поведение наиболее распространенных солей и слабых кислот, входящих в состав современных удобрений, в водном растворе при различных концентрациях. Теоретически показано, что с понижением концентрации солей и слабых (гуминовых) кислот повышается их степень диссоциации и гидролиза, что делает более доступными содержащиеся в них питательные элементы для корней растений.

2. В ходе проведенных экспериментов было показано, что новые комплексные удобрения «Росса» и «Агрикола» весьма эффективны для ускоренного развития семян овса, ржи и ячменя. Скорость роста семян в этих препаратах в 3 – 10 раз превосходит скорость их роста в чистой воде.

3. Экспериментально показано, что скорость роста семян злаковых культур возрастает при снижении концентрации препаратов, что согласуется с теоретическими оценками поведения солей и слабых кислот в водном растворе, проведенными в данной работе.

4. Определена оптимальная концентрация препарата «Росса» для раннего развития семян овса, ржи, ячменя равная 0,125%. При этой концентрации семена растут в 1,5 – 2 раза быстрее, чем при концентрации 1%, рекомендованной производителем препарата.

5. Оптимальная концентрация препарата «Агрикола» для семян овса составляет 0,125%, для семян ржи 0,25% – 0,0625%, для семян ячменя 0,5%. При этих концентрациях скорость роста семян в 1,5 – 2 раза больше, чем при рекомендованной производителем концентрации 1%.

6. Результаты работы могут дать значительный экономический эффект при промышленном выращивании овса, ржи, ячменя, так как позволяют снизить массу вносимого в почву комплексного удобрения «Росса» в 8 раз без потери эффективности, а препарата «Агрикола» в 2 – 16 раз.

Кроме экономического эффекта, применение разбавленных в 8 – 10 раз растворов позволяет получить на ранних стадиях развития более качественные растения, что повышает их засухоустойчивость.

Литература

1. Заручейская Н.А. Стимул к росту // Приусадебное хозяйство. 2012, № 4.
2. Хомченко Г.Н., Цитович И.К. Неорганическая химия. – М.: Высшая школа, 1987. – 464 с.
3. Чечеткин Р.М. Энциклопедия садоводства. – М.: Фитон+, 2009.

Влияние сложности текста на параметры движений глаз при работе с текстами

Кочаровская Милита Владимировна
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель В.А. Демарева,
младший научный сотрудник, аспирант кафедры
психофизиологии ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Работа является продолжением исследования 2012 – 2013 учебного года и направлена на поиск специфических маркеров субъективной сложности текста в пространстве параметров движения глаз при работе с текстовым материалом. Исследование проводилось с использованием прибора SMI HiSpeed, позволяющего записывать трекинг глаз при работе с различным стимульным материалом. В результате исследования выделены специфические параметры движений глаз, характерные для работы со сложным текстом, а также профили значений параметров движений глаз при работе с текстом у студентов различных курсов обучения в вузе.

Проблема оценки профессиональной компетенции актуальна в современном мире, где во всех сферах деятельности человека требуются специалисты. Возможность быстро и объективно оценить знания человека в конкретной области облегчит и ускорит процедуру приема на работу, позволит контролировать процесс обучения в школах и вузах. На основе полученных другими исследователями данных мы выдвинули предположение о том, что при чтении и работе со сложным текстом будут меняться некоторые характеристики параметров движения глаз. Была поставлена цель: проанализировать движения глаз испытуемых при работе с различными по сложности текстами, а также выявить специфические маркеры при работе со сложным текстом.

В ходе работы были поставлены следующие задачи: разработать стимульный материал для проведения эксперимента, изучить параметры движения глаз при чтении различных по сложности текстов, а также выявить специфические маркеры при работе с профессионально-психологическим текстом. Объектом исследования были студенты, обучающиеся по специальности «Психология» в ННГУ им. Н.И. Лобачевского: 24 человека, обучающиеся на первом курсе, 9 человек – на пятом курсе и выпускники. Предмет исследования – параметры движения глаз при работе с текстом.

Уже в начале XX века были установлены некоторые фундаментальные факты. Оказалось, что движения глаз при чтении (как, впрочем, и при рассматривании любой статичной сцены) представляют собой чередование неподвижных фиксаций продолжительностью от 100 до 2000 мс и чрезвычайно быстрых, порядка 500°/с и выше, саккадических скачков. Скорость саккад настолько велика, что практически всякая рецепция зрительной информации в этот короткий отрезок отсутствует. При чтении обычно наблюдаются возвраты глаз к уже прочитанным местам, называемые регрессиями. Подобные регрессии могут составлять до 10% всех саккад, причем их число положительно коррелирует с субъективной сложностью текста. Известно, что успешность обучения человека во многом определяется накопленным словарным запасом (тезаурусом), который в большей степени формируется при чтении и дает возможность адекватно воспринять текст.

Исследование проводилось с использованием прибора SMI-HiSpeed, позволяющим записывать трекинг при работе с различным стимульным материалом. Айтреинг – процесс определения координат взора, точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости наблюдаемого объекта или экрана, на котором предъявляется некоторый визуальный стимул. Eye-tracker – устройство, используемое для определения ориентации оптической оси глазного яблока в пространстве и динамики изменения этой ориентации во времени.

Эксперимент проводился следующим образом. Сначала испытуемые проходили калибровку, во время которой прибор определял зрачок испытуемого. Затем испытуемым предлагалось два текста для чтения: простой и профессионально-психологический. Простой текст состоял из описания фруктов и несложных действий, которые проводились с ними. Профессионально-психологический текст был составлен из терминов по социальной психологии. После прочтения испытуемые должны были найти в текстах ответы на вопросы, составленные с использованием информации, заключающейся в текстах.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью t-критерия, дисперсионного анализа, z-стандартизации.

В 2012 – 2013 учебном году были найдены различия в характере чтения текстов различной сложности; выявлены специфические маркеры при работе со сложным текстом, такие, как уменьшение диаметра зрачка, увеличение средней скорости саккад, увеличение продолжительности и общего количества саккад, увеличение коли-

чества регрессий [2]. В 2013 – 2014 году рассматривались только выделенные ранее параметры. Результаты изучения влияние курса обучения в вузе на параметры движений глаз при чтении и работе с текстами представлены в виде графиков.

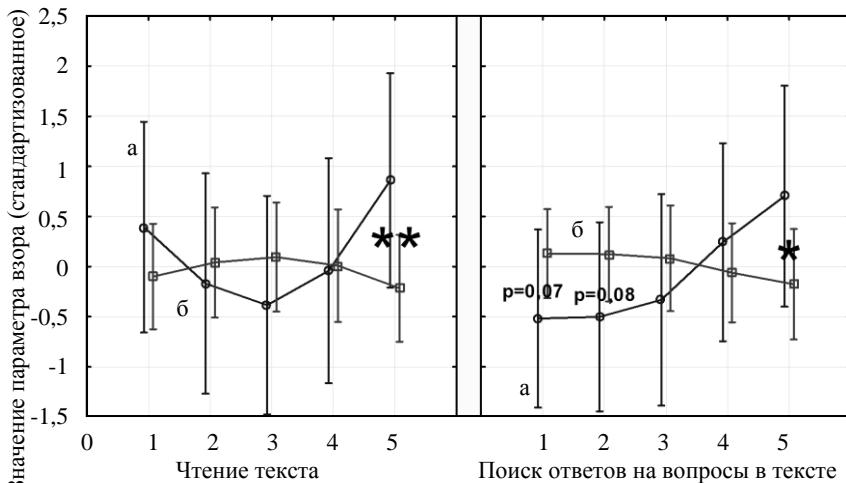


Рис. 1. Влияние курса обучения студентов на параметры движений взора при чтении и поиске ответа на вопрос в тексте:

а – студенты 5 курса и выпускники, б – студенты 1 курса

Параметры движений взора: 1 – длительность саккад, 2 – амплитуда саккад, 3 – скорость саккад, 4 – длительность фиксаций, 5 – диаметр зрачка

Достоверные различия и в чтении, и в поиске ответов на вопросы в тексте были обнаружены для диаметра зрачка. У студентов старших курсов диаметр зрачка во время чтения был больше, что говорит о том, что профессионально-психологический текст для них не представлял большой сложности. Различия, близкие к достоверным, были обнаружены для длительности и амплитуды саккад во время поиска ответа на вопрос в тексте. Студенты 1 курса совершали больше саккадических движений при работе с текстом, чем студенты старших курсов, так как были менее подготовленными в данной области, а следовательно, им нужно было больше раз вернуться к прочитанному материалу, чтобы понять его.

В процессе работы было выдвинуто предположение о существовании профилей значений параметров трекинга глаз при работе с текстом у студентов различных курсов обучения в вузе. Таким

образом, перед нами стояла задача проверить, воспроизведется такая усредненная структура параметров движения глаз (профиль значений параметров трекинга глаз при работе с текстом) для каждого испытуемого группы в отдельности. Для трех испытуемых из каждой группы (студенты 1 курса и студенты 5 курса) были построены графики профиля значений параметров трекинга глаз при чтении текста и при поиске ответа на вопрос в тексте. Предположение о том, что профили значений параметров трекинга глаз при работе с текстом будут различными для студентов 1 и 5 курсов, подтвердилось. Для студентов 5 курса и выпускников, наиболее компетентных в данной области, характерен профиль в виде вогнутой кривой, тогда как для студентов 1 курса – в виде выпуклой кривой. Поскольку профиль значений параметров движений глаз при чтении и поиске ответа на вопрос в тексте зависит от порядка расположения параметров по оси абсцисс, требовалось выбрать наиболее информативное их расположение. Расположение параметров, выбранное по итогам исследования (рис. 1), оказалось наиболее удобным, так как остальные расположения параметров были недостаточно наглядны и информативны.

Из проделанной работы можно сделать следующий *вывод*: выявлен профиль значений параметров трекинга глаз при работе с текстами у студентов 5 курса по сравнению со студентами 1 курса: увеличилась длительность саккад, уменьшилась амплитуда саккад, уменьшилась скорость саккад, увеличился диаметр зрачка.

Теоретическая значимость работы заключается в выделении профилей значений параметров трекинга глаз, специфических для работы с текстом студентов различных курсов обучения в вузе. В дальнейшем, при подтверждении сделанных нами выводов на более широкой группе испытуемых, полученные данные могут быть использованы для определения профессиональной компетенции.

Литература

1. Demareva V.A., Polevaya S.A. Searching for psychophysiological markers of foreign language proficiency: Evidence from eye tracking // International Journal of Psychophysiology. September, 2012. – V. 85. – Iss. 3. – P. 392.
2. Кочаровская М. Влияние сложности текста на параметры движений глаз при работе с текстами // Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; Нижегородский научный центр РАН. – Выпуск 6. – Н. Новгород, 2013. – 171 с. – С. 128 – 133.

Подбор условий синхронизации клеточного цикла опухолевой линии MCF7

Кудряшов Андрей Александрович
9 класс, МБОУ СОШ № 76, ШЮИ ННЦ РАН
Научный руководитель Н.О. Антонова,
аспирант кафедры биохимии и физиологии
растений биологического факультета
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



В работе исследованы методы синхронизации клеточного цикла, которые позволяют сделать культуру физиологически более однородной. Было проведено трофическое блокирование клеточного цикла в G2 фазе путем удаления из среды компонентов сыворотки, необходимых для инициации митоза с последующим запуском клеточного цикла культуры путем возвращения компонентов сыворотки в среду. Проведена оценка эффективности синхронизации путем выявления процента делящихся клеток в предполагаемое время фазы митоза, то есть через 8, 9, 10, 11, 12, 13 часов с момента запуска клеточного цикла после его блокирования. Установлено, что степень синхронизации цикла метаболическим блокированием не превысила 10%, что может свидетельствовать о недостаточной эффективности метода трофического блокирования по отношению к клеткам линии MCF7 или же о необходимости подбора других временных экспозиций для визуализации митоза.

Техника культивирования клеток была разработана еще в начале XX века для изучения свойств отдельных клеток без влияния окружения. До сих пор клеточные культуры – один из распространенных методов, используемых для изучения свойств клеток организмов. Широкое применение этот метод нашел в молекулярной биологии, в том числе при исследовании митотических механизмов, молекулярных каскадов, макромолекулярных суперструктур. Основным преимуществом этого метода является то, что клетки в культуре генетически относительно однородны, к минусам метода относится то, что клетки в культуре различаются по своей физиологии в связи с тем, что находятся на разных стадиях клеточного цикла. Это приводит к проблемам при изучении тонких молекулярных механизмов и структур, динамика и локализация которых зависят от репликационного статуса клетки.

Многие протекающие в клетках процессы зависят от клеточного цикла. При их изучении необходимо иметь большое количество кле-

ток, проходящих по фазам клеточного цикла одновременно. Существуют методы, которые позволяют сделать культуру физиологически более однородной, синхронизировать клеточный цикл. Также известно, что клетки разных клеточных линий, в том числе опухолевые и полученные из одной и той же ткани, обладают разным временем прохождения по фазам цикла. В связи с этим приходится адаптировать уже имеющиеся способы синхронизации и подбирать условия для синхронизации каждой культуры.

Синхронизация считается успешной, если в митозе одновременно находятся более 80% клеток. Конечно, высокая степень синхронизации может быть достигнута только в первом цикле деления; на втором цикле степень синхронизации может быть <60%, а на третьем цикле распределение клеток по фазам может приближаться к случайному, потому процедура синхронизации требует повторения перед каждым экспериментом и, как следствие, должна быть достаточно простой в исполнении и негубительной для клеток.

Целью данной работы был подбор условий для синхронизации клеточного цикла опухолевой линии MCF7. Перед нами стояли следующие задачи: остановить прохождение клетками MCF7 цикла наиболее мягким способом, синхронизовать культуру, подобрать время для наблюдения фазы митоза, чтобы оценить степень синхронизации культуры, оценить эффективность использованного метода синхронизации клеточного цикла в отношении опухолевой линии MCF7.

В работе были использованы человеческие клетки аденокарциномы молочной железы линии MCF7. Клетки выращивали на среде ИглаМем («ПанЭко», Россия) с добавлением глутамина («ПанЭко», Россия) и незаменимых аминокислот для сред МЕМ («ПанЭко», Россия). В среду также добавляли смесь антибиотиков «Пенициллин-стрептомицин» («ПанЭко», Россия) в рабочей концентрации, рекомендаемой производителем, бычий инсулин («ПанЭко», Россия) в конечной концентрации 1мкг/мл среды. Среда содержала 10% сыворотки крови молодых телят («HyClone», США). Клетки выращивали в условиях атмосферы 5% CO₂ при температуре 37°C. Для эксперимента клетки рассевали на покровные стекла, обработанные 0,01% раствором полилизина, которые помещали на дно лунок планшета.

Через 72 часа после инкубации среду удаляли и заменяли ее на обедненную, то есть не содержащую сыворотку незаменимых аминокислот, глутамина и инсулина (факторов, необходимых для нормально-

го метаболизма клеток и прохождения синтетической фазы). Клетки инкубировали на протяжении 24 часов, ожидая остановки клеток в фазе, предшествующей S-фазе, и частичного ухода в фазу покоя G0. Затем обедненную среду заменяли на рабочую среду, т.е. содержащую сыворотку и прочие компоненты. В этой среде клетки инкубировали на протяжении 8, 9, 10, 11, 12 и 13 часов. Далее среду отбирали, клетки несколько раз отмывали от остатков среды фосфатно-солевым буфером (PBS), проводили пермеабилизацию клеточной мембранны 0,2% раствором Тритона-X-100, фиксировали клетки на стекле 4% раствором формальдегида. Фиксированные клетки, лишенные мембранны, окрашивали синим флуоресцентным красителем 4',6-диамино-2-фенил-индолом (DAPI). Это вещество способно проникать через ядерную мембранны и связываться с регионами ДНК, обогащенными аденин-тиминовыми парами азотистых оснований. Флуоресценция DAPI возможна лишь в его связанном с нуклеиновой кислотой состоянии.

Визуализацию образцов проводили на флуоресцентном микроскопе AxioVert200 («CarlZeiss», Германия) на иммерсионном объективе $\times 100$. Для анализа каждого образца было выбрано 5 случайных полей зрения. Образцы снимали с помощью камеры AxioVision («CarlZeiss», Германия). Для возбуждения флуоресцента в ультрафиолетовой области использовали установку с ртутной лампой HBO50 Microscope Illuminator («CarlZeiss», Германия). Для микроскопии образцов использовался светофильтр FilterSet49 («CarlZeiss», Германия). Характеристики светофильтра указаны на рисунке 1.

Полученные данные микроскопии были обработаны в программе «AdobePhotoshop CS6». Эффективность проведенной синхронизации была проанализирована путем подсчета процента делящихся клеток от общего количества клеток. Делящиеся клетки отличали от неделящихся по морфологии их ядер. Ядра неделящихся клеток имели ровную форму с четкими краями и равномерным синим окрашиванием, свидетельствующим о диффузном состоянии хроматина. Для делящихся клеток характерна конденсация хроматина и отсутствие ядерной оболочки, а как следствие, четких контуров ядра. На рисунке 2 показан снимок, в поле зрения которого находятся как делящиеся, так и неделящиеся клетки. Сведения о проценте делящихся клеток в каждом образце представлены в таблице 1.

Количество делящихся клеток во всех образцах не превышает 10%. Самое большое количество делящихся клеток было обна-

руженено в образцах с клетками, которые инкубировали на протяжении 8 часов после добавления сыворотки, – 8,6%. Вероятнее всего, М-фаза наступает через определенное время после добавления сыворотки, близкое к 8 часам, но, поскольку сам митоз, как известно из литературы, длится от 15 до 20 минут, выбранная нами времененная экспозиция, вероятнее всего, не совпала с фазой митоза. На данном этапе работы можно сделать вывод, что эксперимент требует повторения с выбором экспозиций, близких к 8 часам.

Интересным фактом при анализе образцов было обнаружение нами таких явлений, как формирование микроядер и так называемых «гигантских» ядер (рис. 3). Такие патологии митоза в культуре опухолевых клеток мало изучены, и обычно их связывают со старением или вырождением культуры, возникающим при большом количестве пересевов.

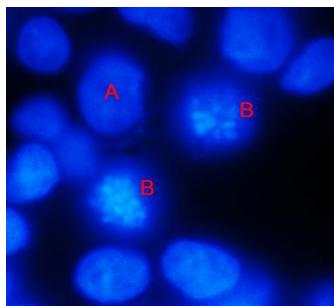


Рис. 2. Ядра клеток MCF7, окрашенные DAPI в неделяющихся клетках (A) и в клетках, находящихся в фазе митоза (B)

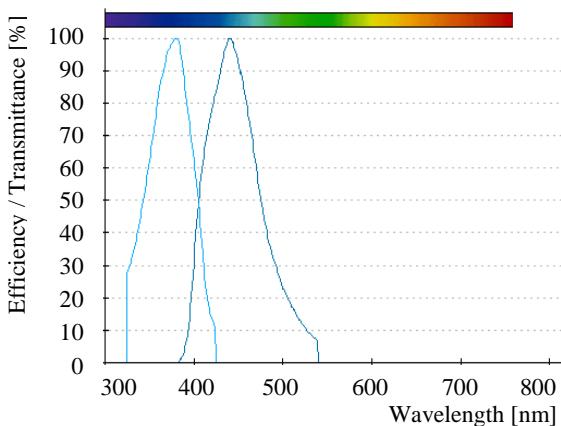


Рис. 1. Спектральные характеристики используемого светофильтра

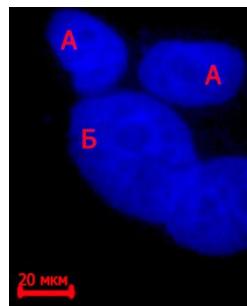


Рис. 3. Аномалии митоза в клеточной культуре MCF7 после трофического ингибирования (ДНК окрашена DAPI). А – нормальные ядра, Б – «гигантское» ядро, В – микроядро

Таблица. Процент делящихся клеток в образцах, полученных в результате трофического ингибиования через разное время после замены обедненной среды на среду, содержащую сыворотку

Время после добавления сыворотки	% делящихся клеток					
	Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Поле 5	Среднее арифметическое
Контроль	0	0	0	0	12,5	2,5
8 ч	3,4	5,2	11,0	12,5	11,1	8,6
9 ч	0	0	0	5,2	4,8	5,0
10 ч	0	0	0	0	2,1	0,4
11 ч	0	0	0	0	0	0
12 ч	0	0	0	4,7	6,7	2,3
13 ч	0	0	0	8,7	0	1,7

В нашем случае культура находилась на ранних пассажах, и эти явления, очевидно, связаны с манипуляциями, проводимыми нами для остановки клеточного цикла. Следует отметить, что микроядра характерны для многих линий рака молочной железы, но природа таких явлений до сих пор обсуждается. Возможно, что исследование природы этих явлений прольет свет на понимание причин высокой злокачественности рака груди – одного из самых распространенных онкологических заболеваний.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: наименьшее количество делящихся клеток наблюдалось в образце через 11 часов после запуска цикла, а наибольшее через 8 часов; степень синхронизации цикла метаболическим блокированием не превысила 10%, в связи с этим эксперимент требует повторения с выбором других, более частых временных экспозиций, близких к 8 часам; обнаружены аномалии митоза, такие, как образование «гигантских ядер» и микроядер, которые требуют обсуждения.

Литература

1. Фреини Р.Ян. Культура животных клеток. Практическое руководство. – БИНОМ. Лаборатория знаний. 2010. – 692 с.
2. Ченцов Ю.С. Введение в клеточную биологию. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 494 с.

Динамика сердечного ритма при различной интеллектуальной нагрузке

Пащенко Ирина Андреевна

11 класс, МБОУ Лицей № 40

Научный руководитель А.В. Бахчина, аспирант, ассистент кафедры психофизиологии ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Вопрос о соотношении уровня физиологической активации субъекта с успешностью выполняемой им интеллектуальной задачи остается одним из актуальных в современной науке. Для исследования нами был выбран метод беспроводной регистрации кардиоритма для непрерывной оценки уровня напряжения регуляторных систем организма, который позволяет проводить измерения без отрыва человека от деятельности. В ходе работы мы получили временную последовательность RR-интервалов при решении математической и языковой интеллектуальных задач и показатели ошибки выполнения задачи.

Вопрос о регуляции вегетативной нервной системой динамики сердечного ритма в процессе интеллектуальной деятельности до сих пор остается открытым, так как исторически исследователи останавливались на оценке вегетативной регуляции в контексте покоя. Нами был выбран и использован метод беспроводной регистрации кардиоритма для непрерывной оценки уровня напряжения регуляторных систем организма. Данный метод позволяет проводить измерения без отрыва человека от целевой деятельности. В ходе нашей работы мы получали временную последовательность RR-интервалов при решении математической и языковой интеллектуальных задач и показатели ошибки выполнения задачи.

Проблема – недостаточность знаний о системе нервно-гуморальной регуляции сердца при информационной нагрузке. Цель исследования – выявить различия в динамике сердечного ритма (СР) при решении математических и языковых задач у школьников. Объект – учащиеся 10 и 11 классов. Предмет исследования – динамика сердечного ритма школьников при интеллектуальной нагрузке. Задачи: проверить физическую модель регуляции СР, выявить различия у школьников при решении математических и языковых интеллектуальных задач.

Для достижения нашей цели была использована система беспроводной регистрации кардиоритма, которая включает программу HxM

Reader2, позволяющую зафиксировать изменение частоты сокращения сердечного ритма (ЧСС) и RR-интервалов (расстояние между пиками на кардиограмме), а также датчик и электроды, посыпавшие данные на мобильное устройство, на котором была установлена программа.

Для выявления различий в динамике СР при решении математических и языковых задач у школьников были задействованы учащиеся лицея № 40, 10 и 11 классов с физическим уклоном ($N=14$: 10 мальчиков и 4 девочки). К участнику эксперимента прикреплялся датчик, считывающий изменения RR-интервалов и ЧСС во времени, далее пять минут школьник находился в состоянии покоя (необходимым условием было предоставление ему подходящих условий для состояния покоя). После этого школьник решал математическую задачу, затем языковую.

Математическая задача включала в себя предъявление испытуемому последовательности из трех двухзначных чисел в диапазоне от 20 до 50, после чего нужно было сложить числа и дать ответ. Числа предъявлялись на экране компьютера в течение 300 мс, интервал между предъявлениеми чисел составлял 200 мс.

Языковая задача включала себя нахождение ошибок в тексте, взятом из рассказа Пушкина «Барышня-крестьянка». Из первой главы был взят текст из 370 слов, и в него было заложено 44 ошибки. Испытуемый должен был найти их за отведенное ему время 5 мин. Также был предложен упрощенный текст на английском языке, взятом из книги Марка Твена «Янки при дворе короля Артура», где также было 370 слов и 44 ошибки.

Рассматривая динамику сердечного ритма, мы получили примеры ритмограмм RR-интервалов в ходе выполнения школьниками математического теста и лингвистического теста (рис. 1). Для анализа RR-интервалов использовались следующие показатели: минимальное и среднее отклонение, среднее значение и среднее отклонение. На графиках видны изменения динамики СР во времени в зависимости от решаемой в данный момент задачи.

В ходе исследования значений RR-интервалов, изменяющихся во времени, были получены ритмограммы динамики спектральных характеристик вариабельности СР с помощью программы, которая оперирует динамическим Фурье с шагом 10 сек и окном 100 секунд (рис. 2).

Сравнивая средние значения спектральных характеристик вариабельности СР при решении математических и лингвистических задач (рис. 3), мы получили значимые отличия значений LF (мощность

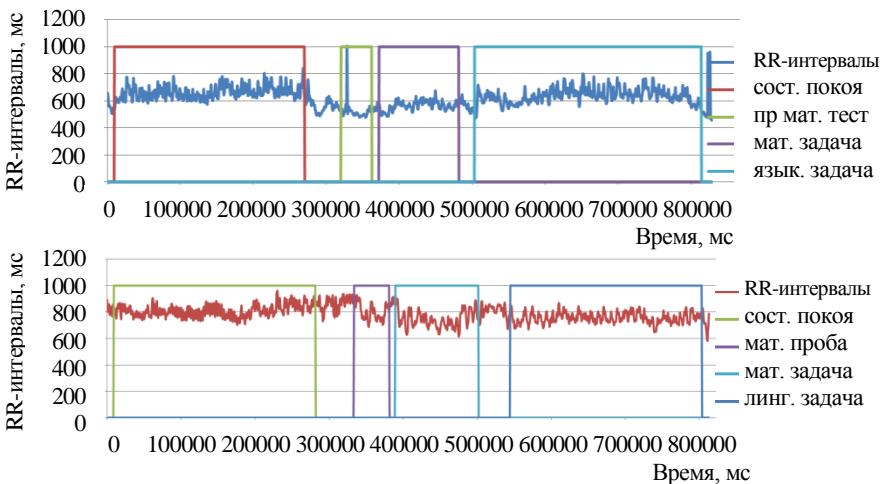


Рис. 1. Изменения RR-интервалов школьников, участвовавших в эксперименте

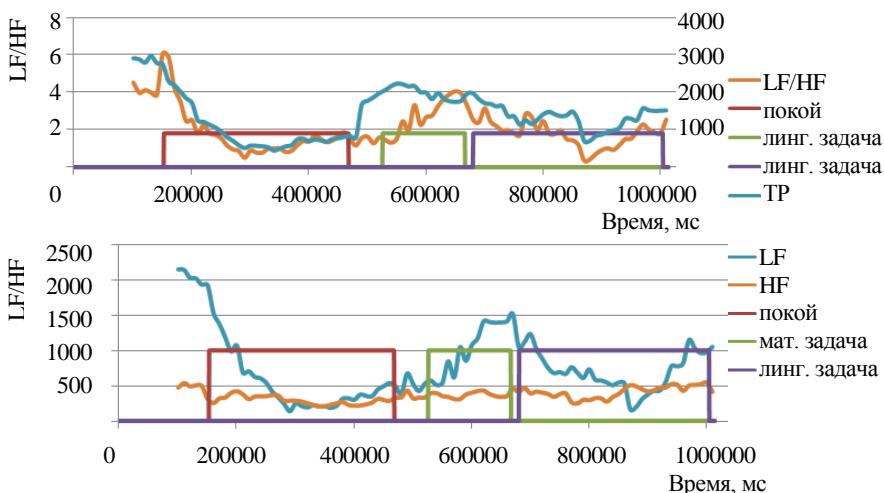


Рис. 2. Результаты разложения компонентов ВНС с помощью динамического Фурье

спектра колебаний RR-интервалов в диапазоне низких частот (0,04 – 0,15 Гц), HF (мощность спектра колебаний RR-интервалов в диапазоне высоких частот (0,15 – 0,6 Гц)), TP (общая мощность спектра колебаний RR-интервалов), LF/HF (индекс вегетативного баланса)

($p<0,05$), что доказывает принципиальные различия регуляции СР вегетативной нервной системой при решении разного типа интеллектуальных задач. Для контекста решения математических задач характерно более высокое напряжение регуляторных систем организма.

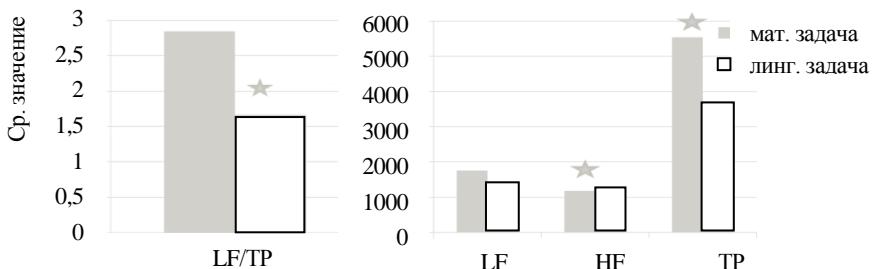


Рис. 3. Гистограммы средних значений спектральных характеристик вариабельности СР при решении математических и лингвистических задач

Также нами была построена гистограмма средних значений LF, HF, TP, LF/HF при решении лингвистических задач по русскому и английскому языкам (* - $p<0,05$) (рис. 4). Для контекста решения задач по русскому языку характерно более высокое напряжение регуляторных систем организма, однако сравнивая средние показатели индекса вегетативного баланса по критерию Стьюдента, мы получаем незначительные отличия между русским и английским языком, что доказывает чувствительность индекса вегетативного баланса к типу решаемой интеллектуальной задачи.

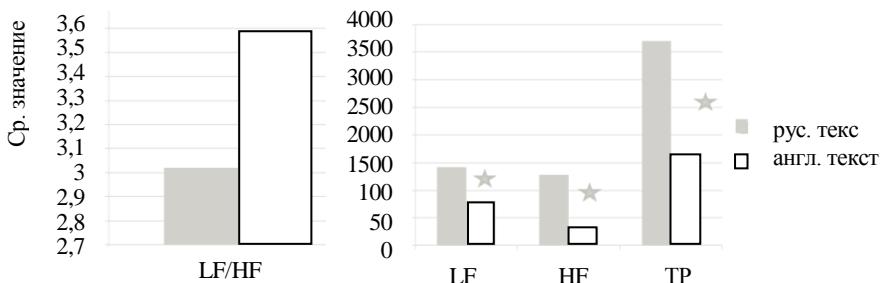


Рис. 4. Гистограммы средних значений ВНС при решении лингвистических задач по русскому и английскому языкам

В ходе сравнения RR-интервалов и показателей эффективности интеллектуальных задач были получены следующие графики: на рисунке 5 показана связь между средними значениями RR-интервалов и неверно найденными ошибками в тексте, связи которых были установлены с помощью корреляций Спирмена.

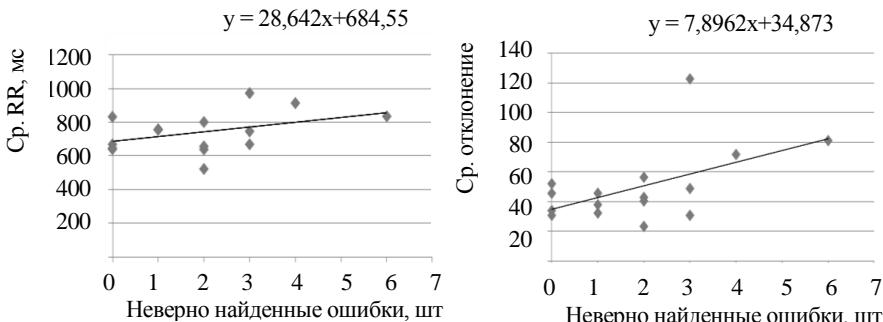


Рис. 5. Зависимость между средними значениями RR-интервалов и неверно найденными ошибками в тексте

Выводы

1. Найдены различия регуляции СР при решении интеллектуальных задач. Индекс вегетативного баланса – отношение LF/HF, чувствителен к типу решаемой интеллектуальной задачи.
2. Необходимо усовершенствование физической модели нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма.

Литература

1. *Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.
2. *Пейн Г.* Физика колебаний и волн. – М.: Мир, 1979. – 389 с.
3. *Гласс Л., Мэки М.* От часов к хаосу: Ритмы жизни: Пер. с анг. – М.: Мир, 1991. – 248 с.
4. *Мандел Б.Дж.* Аритмии сердца. Механизмы, диагностика, лечение. В 3-х т. – М.: Медицина, 1996.
5. *Щербакова О.В., Горбунов И.А., Голованова И.В.* Психофизиологические корреляты ментального усилия, сопровождающего понятийные преобразования и преодоление информационной многозначности // Мат-лы международной научной конференции «Человек, субъект, личность в современной психологии», 10 – 11.10.2013. – ИП РАН – С. 34.

Оптимизация методики определения относительного квантового выхода флуоресценции

Шестакова Лидия Николаевна

10 класс МБОУ СОШ № 14, ШЮИ ННЦ РАН

Научный руководитель Н.Ю. Шилягина,
младший научный сотрудник
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Разработана оптимизированная методика определения относительного квантового выхода. На примере клинически одобренного препарата «Фотосенс» доказана нецелесообразность применения традиционной методики при определении относительного квантового выхода веществ с различными оптическими плотностями. Полученные данные представлены в виде единой таблицы.

В настоящее время ведется активный поиск и исследование новых веществ, способных к флуоресценции, – флуорофоров. Флуорофоры в последнее время активно используются для задач биологии, медицины, техники, сельского хозяйства и в некоторых других областях. Одной из основных характеристик флуорофоров является величина квантового выхода флуоресценции – отношение числа испущенных квантов к числу поглощенных на более короткой длине волны. Определение абсолютной величины квантового выхода флуоресценции является сложно выполнимой задачей, для ее решения нужно дорогостоящее оборудование, которое далеко не все лаборатории могут себе позволить. Поэтому, как правило, для оценки данного параметра применяются относительные измерения, для них достаточно данных, которые можно получить практически в любой лаборатории. В ходе определения относительного квантового выхода интенсивность флуоресценции исследуемого соединения сравнивается с интенсивностью флуоресценции эталона. Эта методика проста в использовании, однако, содержит в себе определенные систематические ошибки, устранение которых на современном этапе развития вычислительной техники не представляет особого труда.

Используемая в настоящее время методика определения относительного квантового выхода имеет ряд ограничений по свойствам исследуемых растворов.

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_2 F_1 D_2}{F_2 D_1},$$

где φ_1 – квантовый выход искомого вещества, φ_2 – квантовый выход эталона, F_1 – флуоресценция искомого вещества, F_2 – флуоресценция эталона, D_1 – оптическая плотность искомого вещества, D_2 – оптическая плотность эталона.

Формула, применяемая в настоящее время, дает точные результаты только при равных оптических плотностях, даже при небольших отклонениях оптической плотности (произведение глубины, концентрации и эффективной площади рассеивания – параметр, характеризующий степень ослабления света, проходящего через поглощающую среду) исследуемого вещества от оптической плотности эталона при вычислении по данной формуле, погрешность составляет больше 10 %. Эта формула является упрощенным вариантом изначальной формулы для вычисления относительного квантового выхода:

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{F_2 (1 - 10^{-D_1})}{F_1 (1 - 10^{-D_2})}.$$

Применяемая в настоящее время формула была разработана в те времена, когда основным вычислительным инструментом была логарифмическая линейка. Этот инструмент значительно уступает в вычислительных возможностях и скорости современным электронно-вычислительным устройствам. Поэтому применение данной формулы не является целесообразным, тем более что она дает весьма значительные погрешности, если оптическая плотность больше 0,1.

Именно по этой причине целью данной работы является разработка современной актуализированной методики определения относительного квантового выхода флуоресценции, ориентированная на широкое использование современных вычислительных средств. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- 1) определение области применимости традиционно используемой методики для вычисления относительного квантового выхода;
- 2) формулировка и экспериментальная апробация актуализированной методики определения относительного квантового выхода флуоресценции;
- 3) сравнение традиционной и актуализированной методик.

В ходе исследования основных свойств оптической плотности, таких, как аддитивность и линейная зависимость параметра от концен-

трации и линейных размеров среды, были использованы три концентрации препарата «Фотосенс» ($2 \cdot 10^{-5}$, 10^{-5} , $5 \cdot 10^{-6}$). Измерения проводились на спектрофотофлуориметре SynergyMX (BioTek, США).

Исследование фотобиологических свойств препаратов осуществлялось в деионизированной воде. В прибор помещался стандартный 96-луночный планшет, в лунках которого находился раствор исследуемого вещества в различных концентрациях и нескольких повторностях. Спектрофотофлуориметр измерял интенсивность поглощения и флуоресценции. Затем на основе полученных данных строились графики зависимости оптической плотности от длины волны, на основе которых было наглядно продемонстрировано свойство аддитивности.

На рисунке 1 представлены спектры поглощения, на рисунке 2 – спектры поглощения препарата «Фотосенс» без учета оптической плотности воды и пластмассы. Свойство аддитивности позволяет легко учитывать поглощение света водой (или другим растворителем, не являющимся флуорофором) и пластиковыми или стеклянными стенками кюветы или иной емкости, в которую заключено исследуемое вещество (данное значение впоследствии вычитается из общего спектра).

С помощью измерений на спектрофотофлуориметре были получены данные, необходимые для расчета отно-

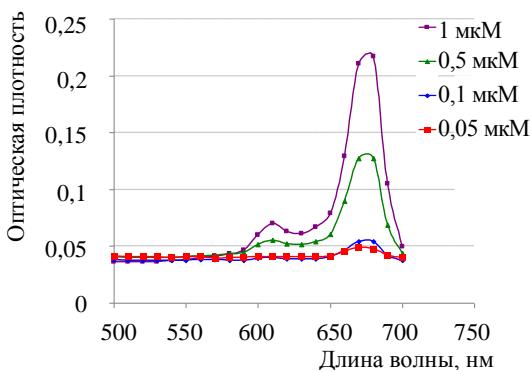


Рис. 1. Зависимость поглощения препарата «Фотосенс», растворенного в деионизированной воде, от концентрации

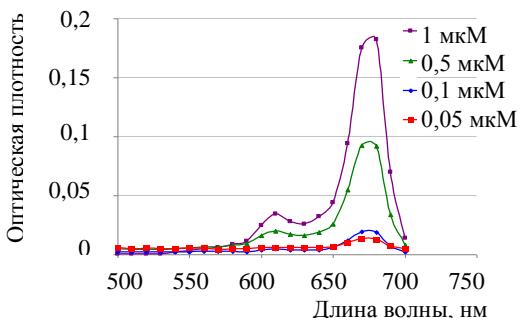


Рис. 2. Зависимость поглощения препарата «Фотосенс» в деионизированной воде от концентрации с учетом оптической плотности воды

сительного квантового выхода по традиционной и актуализированной методикам. Данные сведены в единую таблицу.

Таблица. Значения квантового выхода флуоресценции для препарата «Фотосенс», рассчитанные по традиционной и усовершенствованной методикам

D_2 (582нм)	$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{F_2}{F_1} \frac{D_1}{D_2}$	$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{F_2}{F_1} \frac{(1 - 10^{-D_1})}{(1 - 10^{-D_2})}$
0,21	0,140	0,153
0,13	0,155	0,155
0,07	0,170	0,155

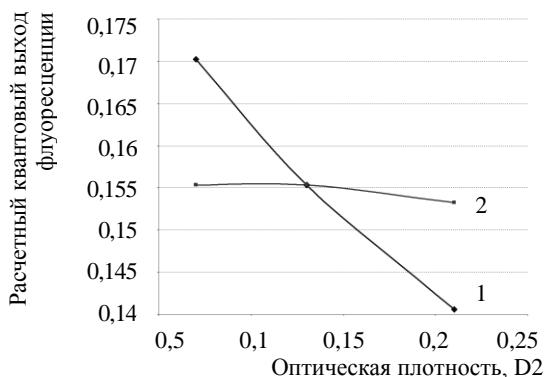


Рис. 3. Зависимость рассчитанного квантового выхода флуоресценции препарата «Фотосенс» от оптической плотности исходного раствора

ние относительного квантового выхода по усовершенствованной формуле не дает практически никаких погрешностей. Присущее отклонение значительно меньше погрешностей, полученных при использовании традиционной формулы, и его можно списать на шумы. Следовательно, благодаря использованию усовершенствованной формулы вычисление значения квантового выхода будет проходить без погрешностей, что может помочь во многих экспериментах.

Таким образом, в ходе работы была опробована современная методика определения относительного квантового выхода флуоресцен-

ции. Как видно из таблицы и рисунка 3, использование упрощенной формулы приводит к ошибкам более 10% уже при относительно небольших отклонениях оптической плотности исследуемого вещества от оптической плотности эталона. В любом эксперименте такая погрешность недопустима. Однако вычисле-

ции, ориентированная на широкое использование современных вычислительных средств. Показано, что использование упрощенной формулы приводит к ошибкам более 10% уже при относительно небольших отклонениях оптической плотности исследуемого вещества от оптической плотности эталона.

Литература

1. *Лозовская Е.Л.* Исцеляющий свет // Наука и жизнь. 2002, № 3.
2. *Узденский А.Б.* Клеточно-молекулярные механизмы фотодинамической терапии. – М., Наука, 2010. – 321 с.

Наука как призвание и профессия



Тот, кто знает науку, уступает тому, кто находит в ней удовольствие.

Конфуций (551 г. до н.э. – 479 г. до н.э.),
древний мыслитель и философ Китая,
основатель философской системы, известной как конфуцианство

Научный работник не должен задаваться целью сделать открытие, его задача – глубокое и всестороннее исследование интересующей его области науки. Открытие возникает только как побочный продукт этого исследования.

Илья Ильич Мечников (1845 – 1916)
российский биолог, лауреат Нобелевской премии
в области медицины и физиологии (1908)

Самое прекрасное, что только может выпасть нам на долю, – это тайна. Стремление разгадать ее стоит в колыбели подлинного искусства и подлинной науки. Тот, кто не знает этого чувства, утратил любопытство, неспособен большие удивляться, все равно что мертвец, все равно что задутая свеча.

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

Зачем людям нужна наука?

Сергей Борисович Парин

доктор биологических наук, профессор кафедры психофизиологии, заведующий лабораторией когнитивной психофизиологии ННГУ им. Н.И. Лобачевского, старший научный сотрудник ЦНИЛ Нижегородской медицинской академии, почетный работник высшего профессионального образования РФ, лауреат конкурса на лучшую научную книгу России



По образованию я биолог, точнее нейрофизиолог. С 1969 года, почти 50 лет, я занимаюсь биологией. Из них 40 лет я посвятил изучению экстремальных состояний, которые возникают при больших угрозах жизни человека. В таких ситуациях люди и животные ведут себя сходным образом. Это то, что мы называем «стресс», «шок». Область этих исследований находится на пересечении нескольких наук – это нейробиология, физиология, биофизика, биохимия, медицина, математика и психология.

Мозг, мысль, сознание – это единое целое или их можно разделить? Представить мозг без мысли можно, но мысль без мозга никак. Мозг порой сравнивают с компьютером. Мне отчасти нравится эта метафора. Если на экране буквы для вас вдруг превратились в армянскую вязь, вы подозреваете, что в этом виноват вирус, и вызываете программиста, который и «лечит» ваш компьютер. Если же ваш компьютер вдруг запищал и из него пошел дымок, вы вызываете уже другого специалиста – по компьютерной технике. Он найдет поломку, заменит деталь. Мозг – это «железо» компьютера, а психика – его «программа». Программа может быть гениальной, но что с ней делать без компьютера, и наоборот?

На самом деле одно от другого оторвать нельзя. Тут проблема в другом: мы научились, благодаря физикам и химикам, измерять те материальные процессы, которые происходят в нашем мозгу, динамику, связи, но не психику. Бесчисленные психологические тесты и опросники позволяют измерить только одно: степень мотивированности диссертанта на защиту диссертации. Никакой объективной информации они, к сожалению, не несут.

Мы пока не имеем прямого инструмента измерения именно психологических процессов. Мы можем устанавливать корреляции

между тем, то происходит в мозгу, и тем, что мы подозреваем в психике, то есть пока мы нащупываем эти связи, но уже ясно, что эти связи динамические. Эта динамика нелинейная и, по всей видимости, вполне закономерная. Постепенно мы доберемся до решения этих вопросов.

Возникают ли этические проблемы, когда проводятся исследования мозга и психики? В свое время в медицинские учреждения биологов брали только в качестве диагностов, лечить должен врач. В нашем случае происходит нечто подобное: мы снимаем информацию, но мы не вмешиваемся в психику. При исследованиях всегда обязательно выполнение нескольких условий. Во-первых, информированное согласие человека, во-вторых, анонимность. Наша задача искать закономерности, стало быть, это не персональные исследования; хотя безумно интересно узнавать про персональные особенности, но это часто дает довольно сомнительные результаты. В любом случае, мы стараемся минимизировать этические проблемы, но без вмешательства в «личную сферу» нельзя обойтись. Если так рассуждать, то эксперименты над животными тоже неэтичны.

Каким открытием я горжусь?

Микрооткрытия случаются у многих и довольно часто. Кто ищет, тот всегда найдет что-то новое. Но случились в моей судьбе и два больших открытия. Первое – в конце 70-х годов нам удалось найти способ спасения людей от травм и отравлений, несовместимых с жизнью. Всем известно, что при стрессе выделяется адреналин и гормон кортизол. Эндорфин – третий неотъемлемый компонент защитных реакций, потому что в первый же момент, когда возникает ситуация опасности, у нас параллельно выделяются адреналин и эндорфин. В 80-м году мы с моим другом Евгением Голановым (он давно уже работает в США, сегодня это один из крупнейших нейрофизиологов мира) запатентовали способ лечения шока с помощью блокатора опиатных рецепторов наркозона. Опиатные рецепторы – это те белки мембранны нервных клеток, с которыми связываются эндорфины и морфиноподобные наркотики и через которые реализуются эффекты этих веществ. Оказалось, если эти рецепторы заблокировать, то состояние больного при шоке улучшается. Мы тогда не знали, что параллельно с нами такую же работу ведут американцы, и получилось, что мы первыми получили на эту разработку патент, а опубликовали результаты первыми – они. Но это не так важно. Я

могу гордиться этой работой, препарат уже не одно десятилетие применяется во всем мире в экстремальных ситуациях и работает замечательно. Так, во время трагедии «Норд-ост» людей спасали с помощью того самого налоксона, лечебные свойства которого мы открыли.

Второе большое открытие в моей жизни произошло в конце 90-х годов – нам с моим аспирантом Русланом Тиняковым (тоже сегодня, увы, уже американцем) удалось обнаружить первый пептид, который связывается с адренорецепторами нейрона и который, соответственно, обеспечивает его реагирование на адреналин. А вообще наука – не гонка, не соревнование. Не так уж принципиально, кто первый, а кто второй. Главное – новые знания, истина. Тем не менее, ужасно приятно быть первым. Мне в этом дважды повезло...

В настоящее время в нашей лаборатории мы (а это молодежная, в основном, команда во главе с профессором Софьей Полевой) создаем дистанционное устройство для контроля за состоянием человека. Это такой легкий поясок, который дает информацию, что происходит с человеком в данный момент. С его помощью можно наблюдать за маленьким ребенком или пожилым человеком, оценивать степень опасности ситуаций, в которых они оказываются. Кроме того, наше изобретение необходимо спасателям, например, пожарным, летчикам, дальнобойщикам, машинистам поездов и т.д. Устройство может показать, в каком состоянии находится человек, которому нужно прийти на помощь, а также уровень стресса самого пожарного или спасателя, чтобы человек не дошел до грани, когда спасать уже нужно будет его самого.

Для исследований мы частично используем уже имеющиеся приборы. Есть датчики, которые прикрепляются на тело, от них сигнал сбрасывается на дисплей мобильного устройства (например, смартфона). Человек бегает, плавает и всегда контролирует состояние своего сердца. Мы решили эту игрушку нагрузить достаточно сложным математическим аппаратом, который является нашим ноу-хау. Сигнал смартфона через спутник перебрасывается на наш сервер, а в сервере происходит не просто глубокая статистическая обработка, но и запуск программ, связанных с математическим моделированием состояний человека. Мы вытаскиваем из поступающего сигнала об интервалах между сердечными сокращениями множество параметров. То есть мы вытаскиваем больше, чем удавалось кому-либо, найдены такие характеристики, которые действительно чувстви-

тельны к состоянию человека, например, найден маркер начала стресса или переутомления. В тот момент, когда человек нервничает, мы видим сигнал, идет обратная связь – и человек предупрежден. Говоря глобально, мы занимаемся системой, которая называется «поиск маркеров состояний, оптимальных для человека», то есть мы стараемся найти сигналы, которые позволили бы самому человеку видеть, в каком состоянии он находится и что ему надо предпринять для оптимизации этого состояния.

Почему я стал заниматься именно биологией?

Прежде всего, конечно, это «голос крови». Мой дед был выдающимся хирургом, соратником Юдина и Бурденко. Отец – основатель реконструктивной хирургии в мире. Дядя обеспечивал медико-биологическое сопровождение полетов наших первых космонавтов (а перед этим собачек: тех самых Белки, Стрелки, Звездочки и др.). Мама – тоже врач, хирург. В общем, когда с колыбели купаешься во всех этих словах, трудно выбрать какую-то другую дорогу. Кроме того, на формирование моих пристрастий оказали влияние книги, прочитанные в детстве. Прежде всего, это книги Эрнеста Сетон-Томпсона. Его рассказы о животных – умные, трогательные, правдивые – советую читать всем. Потом я узнал, что сам он был профессором зоопсихологии в канадском университете.

И еще на мою жизнь повлияло событие, произошедшее в науке, – была расшифрована структура ДНК. А сегодня сделан следующий шаг: расшифрован геном человека. Расшифровка генома – это возможность лечения различных заболеваний и возможность понять наши корни. Большинство наших умозаключений о том, откуда мы, кто мы и как развивались, носят гипотетический характер. Теперь появился инструмент для прямых исследований, потому что можно обнаружить особенности генома каких-то народов, рас и т.д. Мы можем ответить на вопросы, кто, от кого и когда произошел. Во всяком случае, мечтания о том, что наша Родина – где-то в глубине Галактики, а сюда нас привезли на тарелочках зеленые человечки, скончались окончательно и реанимации не подлежат. «Местные мы» – и это неоспоримый научный факт. А отсюда – серьезные возможности и серьезная ответственность. Сегодня наука, и биология в первую очередь, перешла ту заветную черту, за которой начинается область Бога, табуированная область. Раньше все объяснялось просто: Бог дал жизнь, и во всех неприятностях, которые мы себе посто-

янно организуем, виноват все тот же Бог. А теперь появилось клонирование, расшифрован геном человека.

Очень жаль, что когда проект «Геном человека» выполнялся, наша страна активно вложилась в него: и деньгами, и «мозгами» особенно, – а когда пришла пора что называется «урожай собирать», мы отстранились. Это для меня остается загадкой.

В области биологии, на мой взгляд, наиболее значительным за последние годы открытием стала «Синтия-1» – это живое существо, созданное искусственным способом, собранное буквально из молекулярных деталей. Синтия зажила и стала делиться. Человек сумел создать жизнь буквально с нуля. Раньше он умел ее только уничтожать.

Другое солидное открытие в науке, произошедшее в последние годы, – это результаты проекта «Животное-переводчик». Установление того факта, что животные способны усваивать человеческий язык, пускай и искусственный (например, язык глухонемых), – это, пожалуй, одно из самых сенсационных и меняющих наше мировоззрение открытий. В самом деле, рухнула искусственная стена между человеком и другими животными, которую веками возводили «лучшие умы человечества». Стало ясно, что все эти сугубо идеологические бредни об уникальности человеческой речи, о «роли руки и труда в превращении обезьяны в человека» – не более чем попытка убедить самих себя в своей богоизбранности. Мы на планете не одиночки – какая светлая истина!

А впереди еще очень много открытий. Например, сейчас активно развивается новый метод в нейробиологии, который основан на использовании светящихся молекул. Он позволяет маркировать нейроны в разных ситуациях, и уже дает результаты. Еще открытие, которое считают ключевым для психологии (его сравнивают с открытием ДНК для биологии), – это открытие зеркальных нейронов. Эти нейроны, названные нейронами Ризолатти, активируются в ситуации мысленного воспроизведения каких-то поведенческих действий, которые совершает другое существо, то есть я смотрю и представляю, что бы я делал на месте другого. Это, по сути, первый шаг к реальному, то есть естественнонаучному, изучению психики.

Была расхожая фраза, что XIX век был веком физики, XX – химии, о XXI говорили, что будет век биологии. На самом деле век биологии настал раньше, в конце XX века, потому что стало очевидно, что это основополагающая наука. Это и решение проблем пропи-

тания – понятно, что на Земле чем дальше, тем хуже с продовольствием. Это проблемы энергетики, здоровья и лечения болезней. Это проблема развития, проблема социума. Но заниматься этими проблемами будет не та биология XIX века, с которой все начиналось, дарвиновская, скажем так (не в упрек Дарвину, который гениально предвидел наши сегодняшние знания об эволюции), а та, что начала формироваться в середине XX века и получила название биофизики, то есть физики сложных систем. Физика смогла найти некую методологию изучения мира и математический аппарат для этого, что принципиально. XX век назвали веком химии, на самом деле это физическая химия, то есть физические находки применялись в химии и оказались очень важны для ее развития. То же самое происходит с биологией, то есть и методы, и подходы решения проблем физические. Физики, которые отдают себе отчет, что нельзя бесконечно заниматься одним и тем же качающимся маятником, понимающие, что есть задачи более сложные, и задачи тоже физические, развиваются биологию. Френсис Крик, человек, который сделал, пожалуй, главный задел в исследовании сознания человека, в когнитивной науке, – физик. Именно физики Джеймс Уотсон и тот же Френсис Крик под руководством биофизика Розалинд Франклайн решили задачу по исследованию структуры ДНК, и наследственный код стал поддаваться расшифровке. Начинающим биологам я советую прочитать книгу Джеймса Уотсона «Двойная спираль». Там показано, как ищетсястина. Это один из примеров, когда физики отдают себе отчет, что в биологии есть сверхсложные задачи, решением которых можно заняться. Хотя здесь есть и обратная сторона медали, потому что есть феномен эмерджентности. Устройство сложной системы не сводится к сумме входящих в нее элементов, то есть всегда возникает новое качество. Эта проблема существует, но в принципе магистральное направление развития науки сегодня – это биофизика.

Что в жизни самое главное?

Хочется, чтобы будущее стало лучше, чем было прошлое. Наверное, это самое главное. Чтобы дочке моей жилось лучше, чем нам, чтобы студенты учились по книжкам более здравомыслящим, чем те, по которым мы учились. Чтобы знаний в разных областях науки было больше. Зачем нужны знания? Вот заходите в комнату, где гаснет свет, и вас начинают бить. Так вот, наука нужна не для

того, чтобы вас не били (увы!), а для того, чтобы включить свет и пытаться обороняться. Наука это свет. Мы пытаемся узнать то, чего до нас никто не знал. Я однажды услышал слова: «Ученый не должен заниматься тем, что неизвестно». Я считаю, что это катастрофическое заблуждение. Не дай бог так работать. Это же безумно скучно – работать в мейнстриме. Когда я начал заниматься эндорфинами, нас в стране было семь человек, сейчас несколько тысяч. Вот пусть мейнстрим тебя и догоняет!

У нас сегодня все стали мерить деньгами. Знание принципиально противоположно деньгам, потому что когда я продаю товар, я отдаю что-то свое, хотя бы временно, и получаю за это деньги в качестве компенсации. Если я отдаю знания – я их не отдаю, они у меня остаются, и, возможно, даже приумножаются, и у окружающих они приумножаются. Деньгам здесь места нет, они сюда не встраиваются ни по какой логике, и поэтому ни к науке, ни к образованию не должны быть приложимы. В науку идут люди, которым принципиально важно узнать что-то новое, не только для себя, а для всех. Три прошлых года Финляндия (вспомните А. Пушкина: «приют унылого чухонца») считалась страной с самым высоким уровнем жизни. Как им это удалось? Оказалось, все просто. В начале 90-х годов они повысили зарплату научным сотрудникам, русские ученые поехали туда, и за 10 лет построили самый высокий уровень жизни в этой стране.

Так что, если ты решил «пойти в науку», надо отдавать себе отчет, что богатым ты, скорее всего, не станешь (разве что в военной науке), но у тебя есть шанс сделать этот мир чуть-чуть лучше. Не факт, что ты успеешь это увидеть, и не факт, что благодарные потомки вспомнят твое имя, но разве это так уж важно?

Наука

*Почему на зеленой траве
По утрам появляются росы?
Кто же даст подробный ответ
На волнующие нас вопросы?*

*Разобраться в загадках природы,
Изучить тайны Вселенной
Или просто узнать немного
О вещах самых обыкновенных*

*Поможет наука. Она – инструмент
Управления любым механизмом.
Она, изучая каждый фрагмент,
Проникает во все сферы жизни.*

*Наука даже в искусстве нужна:
Вносит в поэзию здравый смысл;
Гармония в музыке рождена
Из волшебной гармонии чисел.*

*Это деятельность не для публичности,
Это служба не для признания,
Это поиск себя как личности,
Синтез, анализ знаний.*

*Вывод формул, поток уравнений,
Утверждений и теорем,
Доказательств, предположений,
Постулатов, законов, схем.*

*Теорий и рассуждений
Полученный результат –
Ряд изученных новых явлений
И в науку собственный вклад.*

*Кропотливо трудясь не спеша
И исследуя ход событий,
Занимаясь наукой, делаешь шаг
По дороге больших открытий.*

Александра Терехина
студентка химического факультета
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ШЮИ ННЦ РАН

Лекции нижегородских ученых



Три стадии признания научной истины: первая – «это абсурд», вторая – «в этом что-то есть», третья – «это общеизвестно».

Эрнест Резерфорд (1871 – 1937),
британский физик, лауреат
Нобелевской премии по химии 1908 года

Наука выигрывает, когда ее крылья раскованы фантазией.

Майкл Фарадей (1791 – 1867),
английский физик-экспериментатор и химик,
основоположник учения об электромагнитном поле

Там, где прежде были границы науки, там теперь ее центр.

Георг Кристофер Лихтенберг (1742 – 1899)
немецкий физик, публицист, писатель,
иностранный почетный член Петербургской Академии наук

Фарадей и все-все-все, или Что перекрывает оптический вентиль

Дмитрий Сергеевич Железнов

кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник, заместитель заведующего
отделом ИПФ РАН



В настоящее время сложно представить себе сферу человеческой деятельности, где бы не применялась в том или ином виде лазерная техника: оптическая связь и обработка материалов, светолокация и контроль окружающей среды, биомедицина, строительство, бурение скважин, машиностроение и многое другое. Это обуславливает интенсивное развитие лазерной техники в направлениях как расширения диапазона доступных длин волн генерируемого излучения, так и мощности излучения. Например, в последние десять лет наблюдается интенсивный рост мощности доступного лазерного излучения: современные СО₂-лазеры и волоконные лазеры способны создавать непрерывное излучение мощностью в десятки кВт. Существуют предпосылки к тому, что темпы такого развития будут только увеличиваться. Но с ростом мощности доступного лазерного излучения необходимость «экранирования» лазера от вышедшего из него излучения становится особенно острой. Попадание даже малой части столь мощного излучения обратно в лазер приводит к искажениям, ухудшению качества генерируемого лазером излучения, может привести даже к повреждению дорогостоящих оптических элементов, выходу из строя источника излучения, остановке технологического процесса, а в отдельных аварийных случаях – угрожать безопасности персонала, обслуживающего установку.

Задачи подобного рода может решать оптический вентиль – изолятор Фарадея (ИФ), и альтернативных способов для предохранения лазера от его собственного излучения нет. Это делает ИФ одними из ключевых элементов описываемых лазерных схем.

Принцип работы оптического вентиля базируется на эффекте Фарадея – эффекте вращения плоскости поляризации лазерного излучения некоторыми оптическими средами, помещенными в магнитное поле. Величина поворота плоскости поляризации зависит от свойств оптической среды, температуры, длины волны излучения.

Впервые эффект влияния магнитного поля на пропускание света некоторыми оптическими средами был экспериментально показан в 1845 году Майклом Фарадеем (1791–1867), который обнаружил вращения плоскости поляризации линейно поляризованного света некоторыми оптическими средами, помещенными в магнитное поле. И, как это часто было с великими учеными XIX века, автор открытия не стал утруждать себя теоретическими изысканиям и интерпретацией. Заслуга по дальнейшему исследованию и систематизации эффекта Фарадея принадлежит Марселю Верде (1824 – 1866). Его перу, в частности, принадлежит современная формула для величины угла поворота плоскости поляризации: $\varphi = VHL$.

Он обнаружил, что угол прямо пропорционален длине магнитоактивной среды, напряженности магнитного поля, в которое помещена среда, и физической величине, характеризующей силу эффекта Фарадея в конкретной среде, названной впоследствии постоянной Верде.

На основе этого эффекта создаются оптические устройства – изоляторы Фарадея, принцип работы которых заключается в следующем. Длина магнитоактивной среды, помещенной в магнитное поле, выбирается таким образом, чтобы угол поворота плоскости поляризации составил 45 градусов на одном проходе излучения. Оптический узел, состоящий из магнитооптического элемента (МОЭ) и магнитной системы (МС), называется вращателем Фарадея. Поместим его между двух поляризаторов. Проходя через первый полярифильтр, излучение приобретает линейную поляризацию, далее поворачивается на 45 градусов и уходит через второй полярифильтр в схему. Обратные блики, вернувшиеся из схемы, проходят через вращатель Фарадея, тем самым поворачивая плоскость поляризации еще на 45 градусов, и отражаются первым полярифильтром (рис. 1).

Поляризационные вентили – оптические устройства, впервые описанные в научной литературе в начале 60-х годов прошлого века (рис. 2) вскоре после изобретения лазера, в настоящее время являются одними из ключевых элементов лазерных схем. При этом интерес к созданию более совершенных изоляторов Фарадея, возникший сразу после их появления, сохранился и по сей день. За это время создан широчайший спектр оптических изоляторов (внешний вид одного из них представлен на рис. 3), и сейчас подавляющее большинство лазерных схем, оперирующих со сколько-нибудь высокой мощностью, имеют в своем составе изоляторы Фарадея.

Поскольку постоянная Верде магнитооптических элементов (МОЭ) зависит от длины волны, для разных диапазонов длин волн путем выбора подходящей магнитоактивной среды изготавливаются различные ИФ. Так, например, для длин волн видимого диапазона были созданы изоляторы на базе кристаллов NaCl, ZnSe, TAG и магнитооптического стекла МОС-105; для ближнего и среднего инфракрасного диапазона длин волн (ИК-диапазон), в котором работает большинство твердотельных лазеров, – изоляторы преимущественно на различных типах магнитооптического стекла и кристаллах тербий-галлиевого граната (TGG); для дальнего ИК-диапазона, приложений CO₂-лазеров, сконструированы изоляторы на базе антимонида индия (InSb) и германия. Существуют изоляторы Фарадея для поляризованного и для неполяризованного излучения, имеющие в качестве магнитной системы импульсные соленоиды, соленоиды непрерывного действия (рис. 2) или постоянные магниты (рис. 3).

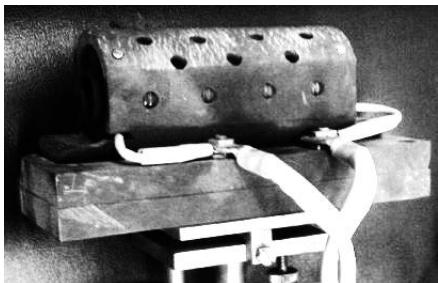


Рис. 2. Внешний вид врачающегося магнитного изолятора Фарадея из 60 – 70-е годы XX века

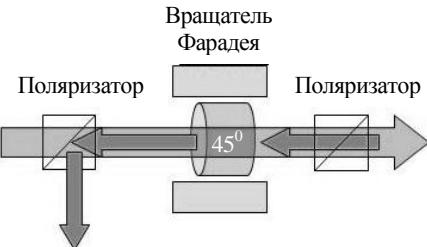


Рис 1. Принцип работы изолятора

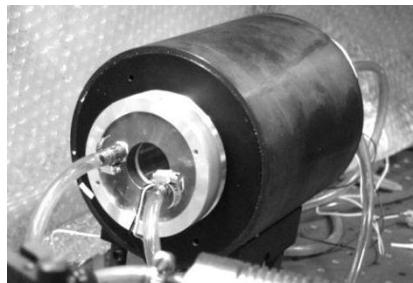


Рис. 3. Внешний вид современного врачающегося магнитного изолятора Фарадея, 2013 год

Но в связи с постоянным увеличением средней мощности как импульсно-периодических, так и непрерывных лазеров все более актуальной представляется проблема усовершенствования изоляторов Фарадея адекватно росту мощности лазерного излучения по причине термонаведенных эффектов, возникающих в них из-за поглощения. Дело в том, что из-за относительно большого поглощения в МОЭ врачателей Фарадея (ВФ) ($\sim 10^{-3}$ см⁻¹) – ключевых элементах

изоляторов – излучение в них подвергается сильному тепловому самовоздействию. Вызванное поглощением неоднородное по поперечному сечению распределение температуры приводит к неоднородному распределению угла поворота плоскости поляризации, обусловленному зависимостью постоянной Верде от температуры; к появлению наряду с циркулярным линейного двулучепреломления (из-за возникающий в связи с неоднородным нагревом внутренних напряжений – фотоупругий эффект) и к искажению волнового фронта проходящего через вращатель Фарадея оптического излучения (тепловая линза).

Температурная зависимость постоянной Верде и фотоупругий эффект изменяют поляризацию излучения, в результате чего работоспособность ИФ ухудшается. Ранее считалось, что степень изоляции устройства определяется температурной зависимостью постоянной Верде, а фотоупругий эффект еще не рассматривался, однако впоследствии было теоретически предсказано, что при больших средних мощностях излучения степень изоляции определяется именно фотоупругим эффектом, и впоследствии этот факт получил экспериментальное подтверждение. Искажения, вызванные тепловой линзой, не приводят к поляризационным искажениям лазерного излучения, но влияют на модовый состав проходящего через ВФ оптического излучения. Существуют задачи (например, детектирование гравитационных волн при помощи лазерных интерферометров), где потери мощности в основной поперечной mode не должны превышать 1% – 2%. Термолинза может быть скомпенсирована с помощью поглащающего стекла или кристалла с отрицательным значением температурного коэффициента показателя преломления (dn/dT), например, кристалла дейтерированного дигидрофосфата калия (DKDP), что используется во многих современных изоляторах Фарадея.

Как упоминалось, степень изоляции – важнейшая характеристика изолятора Фарадея – большей частью определяется поляризационными искажениями – величиной деполяризации γ , вносимой магнитно-оптическим элементом в проходящее излучение. Измеряется эта величина в децибелах и определяется формулой:

$$[dB] = -\lg(\gamma).$$

«Холодная» деполяризация, возникающая в МОЭ из-за неоднородности и неидеальности оптического элемента (свили, неоднородность кристаллической решетки и т. д.), и деполяризация, связанная с поперечной неоднородностью магнитного поля, как правило, малы

($\sim 10^{-5}$ - 10^{-4}). Деполяризация излучения, обусловленная поглощением в оптических элементах и называемая «горячей» или термонаведенной, целиком и полностью зависит от мощности оптического излучения. В лазерных системах с высокой средней мощностью излучения именно термонаведенная деполяризация, значительно превышая «холодную», определяет степень изоляции.

Существуют несколько подходов к проблеме уменьшения термонаведенной деполяризации излучения в магнитооптических элементах ВФ. В основе одного из них лежит идея вычитания набежавших искажений при помощи замены одного МОЭ, поворачивающего плоскость поляризации проходящего излучения на 45° , двумя $22,5^\circ$ -ными МОЭ, между которыми находится взаимный оптический элемент, например, вращатель из кристаллического кварца (рис. 4). При этом искажения, возникшие при проходе через первый элемент, частично компенсируются при прохождении через второй.

Созданные на основе таких схем ИФ и зеркала Фарадея обеспечивают надежную изоляцию при мощности проходящего излучения киловаттного уровня. В последние несколько лет предложен и апробирован еще один способ компенсации, при котором компенсирующий оптический элемент (правый на рис. 4) находится вне магнитного поля. Преимущество данного подхода заключается в большей свободе выбора оптической среды для компенсирующего элемента: среда, вообще говоря, может быть и не магнитоактивной. Кроме того, применением такого метода компенсации термонаведенной деполяризации можно увеличить степень изоляции вращателей Фарадея, уже работающих по схеме с «традиционной» компенсацией, либо без компенсации. Другой подход к подавлению термонаведенных эффек-

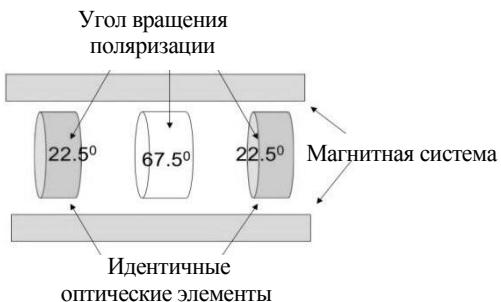


Рис. 4. Схема компенсации термонаведенных искажений Фарадея

тов заключается в разбиении магнитооптического элемента на несколько тонких дисков, охлаждаемых через оптическую поверхность. Такая геометрия приводит к существенному уменьшению поперечного градиента температуры в дисках. Теоретические оценки

показывают, что переход от стержневой геометрии к дисковой позволит создать вращатели Фарадея, работающие при мощности до 10 кВт. Для дальнейшего продвижения в диапазон больших мощностей нужны новые идеи и технические решения.

В качестве пути к созданию вращателей Фарадея для лазерного излучения с высокой средней мощностью рассматривается уменьшение тепловыделения непосредственно в магнитооптических элементах. Уменьшение тепловыделения может быть достигнуто либо за счет укорочения магнитооптического элемента, либо за счет уменьшения поглощения в нем.

Самым очевидным шагом в таком случае является поиск магнитоактивной среды с оптимальным соотношением магнитооптических и термооптических характеристик. Интенсивные исследования в этом направлении ведутся с самого начала 60-х годов прошлого века. Был рассмотрен широкий спектр оптических сред, и в настоящее время оптимальной магнитоактивной средой для вращателей Фарадея признан тербий-галлиевый гранат (TGG). Эта среда может быть эффективно использована в диапазоне длин волн 600...1200 нм, в котором работает большинство лазеров с высокой средней мощностью. В более длинноволновом диапазоне может быть использован железоиттриевый гранат (YIG), а также YIG с замещением части ионов иттрия ионами гадолиния или церия. Основным недостатком является тот факт, что в ферримагнитном кристалле YIG насыщение угла поворота плоскости поляризации излучения по магнитному полю наступает уже при 10 – 20 кЭ, что усложняет конструкцию магнитной системы ВФ и ужесточает требования к настройке положения МОЭ.

В качестве альтернативы TGG могут рассматриваться также тербий-алюминиевый гранат (TAG), тербий-скандий-алюминиевый гранат (TSAG). Постоянная Верде TAG и TSAG на 35% больше, чем у TGG. При этом коэффициент теплопроводности TAG при комнатной температуре также на 30 % больше, чем у TGG. Однако вырастить образцы хорошего оптического качества апертурой больше 3 – 4 мм пока не удается. В этом случае выходом становится изготовление оптической керамики. Это направление пристально изучается, и уже делаются успешные попытки изготовления TGG-керамики и TAG-керамики оптического качества. Таким образом, TAG- и TSAG-керамика может в скором будущем составить конкуренцию TGG.

В работе отдела № 350 ИПФ РАН развивается другой подход к уменьшению тепловыделения во вращателях Фарадея – укорочение

магнитооптического элемента. В свою очередь, укорочение магнитооптического элемента может быть обеспечено увеличением постоянной Верде парамагнитного МОЭ при охлаждении или увеличением магнитного поля. Существует целый ряд способов увеличения напряженности магнитного поля, среди них – применение в магнитных системах магнитопроводов, охлаждение постоянных магнитов, использование в качестве МС сверхпроводящих соленоидов, создавающих в несколько раз более сильные магнитные поля.

Отметим, что охлаждение изоляторов Фарадея было предложено еще в 1967 году и было мотивировано отсутствием магнитооптических элементов хорошего оптического качества, обеспечивающих степень изоляции более 20 Дб. Благодаря развитию технологий получения чистых МОЭ и высокознергетических ферромагнитных сплавов, имеющих большую коэрцитивную силу и остаточную намагниченность, этот подход был на долгое время забыт. Сегодня охлаждение жидким азотом широко используется в мощном лазеростроении (для улучшения термооптических свойств, увеличения коэффициента усиления активных элементов и т.д.). На этом фоне очень привлекательно выглядит возможность существенного укорочения МОЭ (и, следовательно, значительного уменьшения выделения тепла в нем) за счет как увеличения при охлаждении постоянной Верде парамагнитных магнитооптических элементов, так и роста поля постоянных магнитов. Отметим, что охлаждение МОЭ приводит и к улучшению термооптических характеристик, а также к уменьшению «холодной» деполяризации.

Устройство, в котором вращатель Фарадея подвергается охлаждению до азотных температур, получило название «криогенный изолятор Фарадея» (рис. 5). В настоящее время ведутся работы по конструированию магнитной системы для КИФ, создающей поле $\sim 2,5$ Тл, что позволит укоротить МОЭ и поднять планку максимальной мощности до десятков кВт и существенно сократить отставание возможностей ИФ от мощностей существующих лазеров, делая мощные оптические изоляторы все более популярными и востребованными.

В заключение остается заметить, что развитие мощных лазерных схем давно уже пе-



Рис. 5. Внешний вид криогенного изолятора Фарадея

решло из разряда однобокого наращивания мощности источника в область усложнения структуры, пристального исследования паразитных эффектов и разработки более совершенных пассивных оптических устройств. И далеко не последнее место среди них занимают изоляторы Фарадея, предохраняющие мощные лазерные источники от выхода из строя. Новые вызовы времени потребуют новых решений и новых решающих. А какими путями пойдете вы, исследователи будущего?

Литература

1. Complete Dictionary of Scientific Biography [электронный ресурс]. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830904465.html>.
2. CRC Handbook of Chemistry and Physics / Ed. David R. Lide. – 87th Edition. – CRC Press, 2006. – 2592 с.
3. Davis J. A., Bunch R. M. Temperature dependence of the Faraday rotation of Hoya FR-5 glass // Applied Optics, 1984, v. 23. P. 633.
4. Padula C.F., Young C.G. Optical isolators for high-power 1,06-micron glass laser systems // IEEE Journal of Quantum Electronics. 1967. V. QE-3. P. 493 – 498.

О явлении левитации

Николай Иванович Лапин

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и информационных технологий в образовании НГПУ им. К. Минина, заведующий научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария



Первая ассоциация слову левитация – магия. Но в данной работе ни слова о магии, а только научные достижения, подкрепленные экспериментами.

Левитация – это состояние, при котором твердое тело «парит» в силовом поле подвеса, без какого-либо механического контакта с окружающими телами. То есть существует сила, способная уравновесить силу тяжести, что и позволяет «парить» твердому телу. Зная школьный курс физики, можно выделить несколько сил, способных воздействовать на тело подобным образом, например, сила Архимеда. Но следует отметить, что при помещении того же воздушного шара в вакуум, никакой силы не будет, или сила со стороны воздушного или водного потока (иллюстрация данного действия силы вывешивание мяча для пинг-понга в струе воздуха пылесоса), аналогично с силой Архимеда, пропадает, как только отменяем действие потока. Остаются только электрическая и магнитная силы, способные обеспечить компенсацию силы тяжести даже в вакууме. Ярким примером может служить один кольцевой магнит над магнитом на карандаше. В данной статье речь пойдет только о силе, имеющей магнитную природу.

Но сначала посмотрим, какую информацию выдает поисковик в Интернете на слово левитация. На первой же странице – предложение научить каждого желающего левитировать за небольшую сумму. Достаточно пройти курс по левитации – и вы станете тем из немногих, для кого законы физики не писаны. Можно найти и «сведущего» в об-



Рис. 1. Йог левитирует (фото с сайта <http://levitachia.blogspot.ru> (дата обращения 03.11.2014))

ласти левитации (рис. 1), но нетрудно догадаться, что это обман, так как имеется опора и, пожалуй, любой из нас может стать таким «йогом», используя удивительное кресло на опоре. И лишь далее за этими сайтами встречаются ссылки на левитацию, которая непосредственно связана с Наукой.

Прежде чем перейти к современным достижениям, проследим историю открытий, которые позволяют понять с одной стороны простоту данного явления, а с другой – его сложность и загадочность. На мой взгляд, следующая цитата в полной мере отражает удивительность данного явления: «Любая достаточно развитая технология неотличима от магии» (третий закон Кларка).

Сама задача о левитации насчитывает более пятисот лет. Впервые упоминания о левитации в Европе встречаются в очерках о путешествии по Аравии купца и путешественника Людовико ди Вартема в 1503 году. Он описывает парящий гроб пророка Мухаммеда в г. Медина. Легенда понравилась Вильяму Гильберту (William Gilbert (1544 – 1603)), и он включил ее в книгу «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле», первое издание которой вышло в 1600 году [10]. В книге эта информация приводится в качестве легенды, которая не имела доказательств, ни теоретических, ни экспериментальных. Но, что удивительно, первая постановка задачи о левитации, которая будет разрешена через триста лет, поставлена именно У. Гильбертом.

Легенда о парящем гробе пророка понравилась Леонарду Эйлеру (Leonhard Euler (1707 – 1783)). Он упоминает о ней в книге, написанной, выражаясь современным языком, в научно-популярном стиле – «Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материях» [15]. Сама книга представляет собой энциклопедию различных физических процессов, протекающих на Земле. А легенда о парящем гробе перестает быть легендой и воспринимается как задача о возможности состояния левитации. Задача о левитации приобретает популярность в Европе, и многие талантливые ученые приложили руку к решению этой проблемы.

Сформулируем задачу о левитации. Тело левитирует, то есть «парит» без опоры и подвеса в силовом поле, если существует сила или сумма сил, компенсирующих силу тяжести (рис. 2), и данное состояние является устойчивым (рис. 3). Следовательно, при смещении ротора из состояния равновесия возникают силы и моменты сил, воз-

вращающие ротор в первоначальное состояние. Итак, состояние равновесия вычисляется из равенства нулю суммы сил и суммы моментов сил, действующих на ротор:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{mag} = 0, \sum_n \vec{M}_i = 0,$$

а устойчивость достигается минимумом потенциальной энергии в состоянии равновесия.

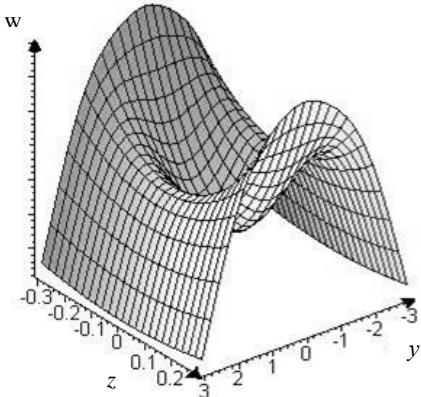


Рис. 3. Потенциальная яма

В 1842 году на задачу, поставленную Эйлером, был дан ответ: «Левитация невозможна». В этом году выходит работа С. Ирншоу (Samuel Earnshaw (1805 – 1888)) «О природе молекулярных сил, определяющих физическое строение светоносного эфира» [5], в которой доказана невозможность устойчивого состояния равновесия в статической системе, состоящей из тел, которые притягивают или отталкивают друг друга с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. К этим силам относятся и гравитационные, и магнитные, и электрические. Доказательство можно представить в краткой форме так: поскольку потенциал является гармонической функцией, то согласно уравнению Лапласа, он не может достигать минимума или максимума в свободном пространстве. Данная теорема и определила ответ на вопрос о возможности левитации. Следует отметить, что С. Ирншоу не занимался решением задачи о левитации. Но именно эта теорема вводит в заблуждение многих, и порой открытия, лежащие у ваших ног, открываются в другом месте.

Теорема Ирншоу известна как «запрет». Можно ли обойти этот «запрет»? Следующий шаг в решении задачи о левитации был сде-

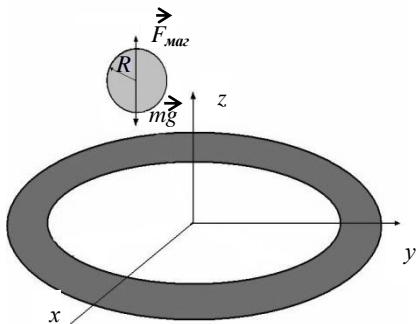


Рис. 2. Силы, действующие на ротор в магнитном поле

В 1842 году на задачу, поставленную Эйлером, был дан ответ: «Левитация невозможна». В этом году выходит работа С. Ирншоу (Samuel Earnshaw (1805 – 1888)) «О природе молекулярных сил, определяющих физическое строение светоносного эфира» [5], в которой доказана невозможность устойчивого состояния равновесия в статической системе, состоящей из тел, которые притягивают или отталкивают друг друга с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. К этим силам относятся и гравитационные, и магнитные, и электрические. Доказательство можно представить в краткой форме так: поскольку потенциал является гармонической функцией, то согласно уравнению Лапласа, он не может достигать минимума или максимума в свободном пространстве. Данная теорема и определила ответ на вопрос о возможности левитации. Следует отметить, что С. Ирншоу не занимался решением задачи о левитации. Но именно эта теорема вводит в заблуждение многих, и порой открытия, лежащие у ваших ног, открываются в другом месте.

лан Майклом Фарадеем (Michael Faraday (1791 – 1867)). В 1845 году Фарадей экспериментально открыл явление диамагнетизма (термин введен Фарадеем). Он обнаружил, что ряд веществ отталкиваются от источника магнитного поля. Данное обстоятельство позволяет решить проблему левитации. Но в 1853 году задача о левитации, которая появилась из легенды о парящем гробе, воспринималась как несостоятельная и не имеющая под собой никакой основы. Бартон – шпион и авантюрист королевского двора, всеми правдами и неправдами пробрался в гробницу пророка Мухамеда и рассказал всем, что гроб покойится на земле, а не парит в воздухе без опоры или подвеса. В решении задачи о левитации можно было бы поставить точку, однако это известие не поколебало уверенности в том, что левитация все-таки возможна.

Следующий шаг был сделан лордом Кельвином Томсоном (William Thomson, 1st Baron Kelvin (1824 – 1907)). Он утверждал, основываясь на достижениях Фарадея о диамагнетизме, что явление левитации с теоретической точки зрения возможно (и это им было доказано), но никогда не будет достигнуто, так как магнитные силы малы и что-либо вывесить в них невозможно [9]. Заключительным шагом в истории о возможности левитации стали работы Вернера Браунбека (Werner Braunbeck (1901 – 1977)) «Магнитная левитация графита» [4] и «О возможности подвески тел в электрических и магнитных полях» [3], в которых было теоретически доказана, а затем реализована на практике возможность левитации диамагнитных тел. В теоретической работе была обобщена теорема Ирншоу, откуда следовало, что устойчивое состояние равновесия при левитации твердых тел в магнитном поле возможно, если тела обладают диамагнитной проницаемостью меньше единицы. К таким телам относятся диамагнетики и сверхпроводники, у которых диамагнитная проницаемость равна нулю. Для экспериментальной вывески диамагнитного тела Браунбеком был сконструирован электромагнит особой формы, в магнитном поле которого он вывесил легкие бусинки графита и висмута массой соответственно 75 и 8 мг. Возможность левитации была не только доказана, но и реализована.

Так как до середины 80-х годов прошлого столетия магниты по создаваемому полю оставались такими же, как у Браунбека, достичь новых результатов в левитации диамагнитных тел не удавалось. А вот левитация сверхпроводящих тел позволила сделать широкий шаг

к новым техническим устройствам, принцип работы которых основан на данном явлении. Это и поезда на магнитной подвеске (магнитопланы), и вакуумные насосы, и сверхточные навигационные приборы: гироскопы, градиентометры, гирокомпасы.

Явление сверхпроводимости было открыто в 1908 году голландским физиком Хейке Камерлинг-Оннесом. Не менее важное открытие о выталкивании магнитного поля из сверхпроводника было сделано Вальтером Мейснером и Робертом Оксенфельдом в 1933 году, известное сегодня как эффект Мейснера [11]. Эти открытия позволили создать сверхпроводящий подвес, который был создан в 1945 году А.К. Аркадьевым – профессором физического факультета МГУ [1]. Иллюстрация данного эксперимента не сохранилась, поэтому приведу изображение из книги [11] (рис. 4).

Фотография эксперимента А.К. Аркадьева, на которой магнит левитирует над сверхпроводящим свинцовым диском, получила известность под названием «гроб Магомета» [12].

Бурный всплеск применения сверхпроводящей левитации возник в середине 80-х годов прошлого века. Были получены высокотемпературные сверхпроводники, температура перехода в сверхпроводящее состояние которых выше температуры кипения жидкого азота, равна 77 К. Такие эксперименты стало возможно проводить в домашних условиях. На рисунке 5 представлена левитация постоянного магнита над высокотемпературным сверхпроводником.

Явление сверхпроводимости позволило разработать магниты, создаю-



Рис. 4. Постоянный магнит длиной несколько сантиметров парит на расстоянии чуть больше 1 см над дном сверхпроводящей чашечки, поставленной на три медные ножки. Ножки стоят в жидком гелии, а чашечка находится в парах гелия для поддержания сверхпроводящего состояния

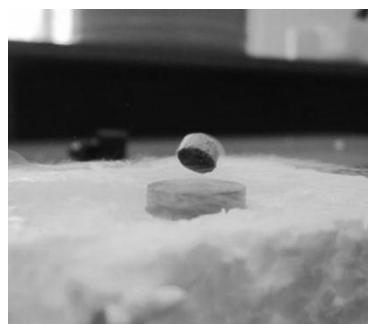


Рис. 5. Левитация постоянного магнита над высокотемпературным сверхпроводником (фото автора)

щие магнитные поля, индукция которых достигает значения 10 – 16 Тл. Эти сверхмощные магнитные поля позволили вывесить в магнитном поле диамагнитные тела, отличающиеся по массе от тех, которые использовались в экспериментах Браунбека. Работ по экспериментальному подтверждению возможности левитации различных диамагнитных тел было много, отмечу лишь две [2, 6], которые позволили Андрею Гейму получить Шнобелевскую премию по физике за 2000 год [7]. В этих работах дается теоретическое описание и экспериментальное подтверждение левитации окружающих нас предметов: лягушка, томат, орех. Видеофрагменты можно посмотреть по ссылке [14].

Исследованием задач, связанных с левитацией, занимались многие ученые как в нашей стране, так и зарубежом. Следует отметить большой вклад нижегородских ученых, работающих в НИИ ПМК ННГУ им. Н.И. Лобачевского, это Г.Г. Денисов, Р.В. Линьков, Ю.М. Урман, В.Н. Комаров, В.В. Новиков и др. В работе [13] приведена библиография работ, результаты которых внесли значительный вклад в решение различных задач динамики неконтактного подвеса.

Левитация диамагнитного тела позволяет решить еще одну задачу. Если диамагнетик выталкивается из магнитного поля, то, следовательно, магнит (источник постоянного магнитного поля) будет отталкиваться от диамагнетика. Хочется вернуться к задаче о возможности вывесить магнит над магнитом. Она разрешалась просто – кольцевой магнит «парит» над магнитом, а устойчивость достигается благодаря наличию опоры. Одна из основных проблем – добиться горизонтальной устойчивости магнита (чтобы магнит не переворачивался) в магнитном поле другого магнита. Действительно, можно пойти путем создания искусственной опоры, как обсуждалось выше, а можно пойти другим путем, позволяющим вывешивать магнит над другим магнитом без различного рода опор.

Один из способов – это диамагнитная стабилизация магнита. Имеется магнит, а между диамагнитными пластинами помещается еще один магнит, который и левитирует (рис. 6).

Теоретический расчет возможности левитации магнита над магнитом с использованием для стабилизации диамагнитных пластин был проведен Р.В. Линьковым. А вот следующая фотография (рис. 7) облетела весь мир. Все бы хорошо, вот только не вся фотография вошла в кадр. В нижней части фотографии отсутствует магнит, который отталкивает тот, что висит между пальцев. А в остальном это

возможно. Пальцы – диамагнетики и могут выступать в качестве диамагнитных пластин для стабилизации магнита.

Для представления следующего метода стабилизации магнита в поле другого магнита я расскажу историю, которую мне поведал Юрий Михайлович Урман. «Работая над задачами динамики ротора в неконтактном подвесе, мы были в нескольких шагах от изобретения устройства, которое известно сегодня как левитрон. Изобретатель левитрона – Рой Хэрриген, который представил его как игрушку. Поражаешься

тому, что ты знаешь, что есть теорема Ирншоу, которая запрещает вывешивание магнита над магнитом, а находится человек, который ее не знает, и получает левитрон». Левитрон представляет собой магнит – волчок, вращающийся над постоянным магнитом (рис. 8).

За счет гироскопического эффекта достигается устойчивость на переворот. Так как устойчивость по вертикали достигается за счет отталкивания магнита от магнита, то проблема решена. Те, кто嘗試ался раскрутить волчок над магнитом, знают, как это сложно. Мне потребовалось два дня на закрутку волчка и несколько часов на вывешивание волчка над магнитом.

О возможности применения сверхпроводящей левитации уже говорилось, перспективы применения диамагнитной левитации широки.



Рис. 7. Левитация магнита между пальцами
(фото из статьи [14])



Рис. 8. Левитрон (фото автора)



Рис. 6. Левитация магнита между диамагнитными пластинами (фото автора)

Преимущество диамагнитной левитации над сверхпроводящей – это отсутствие охлаждения сверхпроводника и ограничения по величине магнитного поля, разрушающего сверхпроводимость. То есть создаем постоянный магнит и в его поле вывешиваем диамагнетик, получаем пассивную левитацию. Тут как раз и кроется основная проблема диамагнитной левитации – создание магнитов, генерирующих постоянные поля в десятки тесла. Не за горами то время, когда мы сможем создавать материалы с заранее заданными свойствами. Тогда можно будет создавать материалы, диамагнитная проницаемость которых значительно отличается от единицы (сегодня диамагнитные вещества имеют диамагнитную проницаемость меньше единицы, но очень близкую к ней), и тогда не придется строить огромные магниты и отдельные электростанции, пытающие их. Сегодня диамагнитная левитация применяется в экспериментах по симуляции невесомости в лаборатории. Такие исследования проводились над мышами для наблюдения процессов, протекающих при пониженном значении ускорения свободного падения, то есть поведение внутренних органов в условиях гравитации Луны, Марса. Выращивание тканей определенного вида из отдельных клеток, выращивание целых живых культур, создание новых материалов – и все это без контакта со средой. В таких условиях можно добиться чистоты, подобно бестигельной плавке некоторых материалов.

Это только малая часть возможностей левитации диамагнитных тел в магнитном поле. Так что, ребята, в ваших руках открывать новые возможности это интереснейшего явления – левитации.

Литература

1. *Arkadiev V. A floating magnet // Nature.* 1947. 160, 330.
2. *Berry M.V., Geim A.K. Of flying frogs and levitrons // Eur. J. Phys.* 1997. 18. P. 307 – 313.
3. *Braunbeck W. Free suspension of bodies in electric and magnetic fields // Physics.* 1939, v. 112. P. 735 – 763.
4. *Braunbeck W. Magnetic levitation of graphite // Physics.* 1939, 112:735.
5. *Earnshaw S. On the nature of the molecular forces which regulate the constitution of the luminiferous ether [1839] // Transactions of the Cambridge Philosophical Society.* 1842, v. 7. P. 97.
6. *Geim A. Everyone's Magnetism // Phys. Today.* 1998, 51. P. 36 – 39.
7. *Improbable research [электронный ресурс].* <http://www.improbable.com>.
8. *Simon M.D., Geim A.K. Diamagnetic levitation; flying frogs and floating magnets // J. Appl. Phys.* 2000, 87. P. 6200 – 6204.

9. *Thomson W.* Reprint of Papers on Electrostatics and Magnetism ~Mac-Millan. – London, 1872, paper XXXIII, pp. 493 – 499, and paper XXXIV, pp. 514 – 515.
10. Гильберт У. О магните, магнитных телах и большом магните – Земле. – М., 1956.
11. Гинзбург В.Л., Андрюшин Е.А. Сверхпроводимость. – М.: Альфа-М, 2006.
12. Мартыненко Ю.Г. О проблемах левитации тел в силовых полях // Соросовский образовательный журнал. 1996, № 3. С. 82 – 86.
13. Урман Ю.М., Бугрова Н.А., Лапин Н.И. О левитации диамагнитных тел в магнитном поле // Журнал технической физики. Т. 80, вып 9. Изд. Наука. РАН. 2010. С. 25 – 33.
14. Фильмы левитирующих объектов [электронный ресурс].
http://www.scientific.ru/journal/translations/levitation-movies_ru.html.
15. Эйлер Л. Письма к немецкой принцессе о разных физических и философских материалах // Серия «Классики науки». – СПб: Наука, 2002.

Вопросы для размышления

1. «Теоретические исследования – это изучение явлений самих по себе, без их промышленного применения. Но заметьте, что нет ни одного научного открытия, которое рано или поздно не получило бы практического применения», – говорил лауреат Нобелевской премии по химии (1935) Фредерик Жолио-Кюри. Всегда ли научное исследование решает какую-либо практическую проблему? Какие, помимо утилитарной, функции выполняет наука в жизни общества?
2. Один из основателей современной теоретической физики, лауреат Нобелевской премии по физике (1921) Альберт Эйнштейн писал: «Если я посвятил себя науке, руководствуясь не только чисто внешними мотивами, как добывание денег или удовлетворение своего честолюбия, и не потому (по крайней мере, не только потому), что считаю ее спортом, гимнастикой ума, доставляющей мне удовольствие, то один вопрос должен представлять для меня как приверженца науки жгучий интерес: какую цель должна и может ставить перед собой наука, которой я себя посвятил? Насколько истинны ее основные результаты? Что в них существенно и что зависит от случайностей ее развития?» А как вы ответите на эти вопросы?
3. Немецкий физик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике (1932) Вернер Карл Гейзенберг утверждал, что «в истории человеческого мышления наиболее плодотворными оказывались те направления, где сталкивались два различных способа мышления». Что дает нам основание согласиться с мнением ученого? Как развивается наука?

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
НАУЧНОЕ РУКОВОДСТВО КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	
<i>Рейман А.М.</i> Школьник в науке и школьные конференции	11
<i>Ермилин А.И., Ермилина Е.В.</i> Мотивы выбора школьником темы для научного исследования школьников.....	20
ФИЗИКА	
<i>Алексеева Я.Г.</i> Исследование прочности некоторых материалов	34
<i>Воскобойникова А.А.</i> Изучение солитонов на поверхности жидкости	39
<i>Егоров А.А.</i> Профилирование газовых мишеней для экспериментов по уско- рению электронов в поле кильватерной плазменной волны	43
<i>Ермилин Е.А.</i> Лабораторное исследование механических свойств природ- ных сред методом резонансной акустической спектроскопии	50
<i>Ерухимова Н.В.</i> Физические свойства мыльной пленки (мыльного пузыря). 55	
<i>Котельникова Д.А.</i> Изучение возможностей синтеза энергоэффективных магнитных систем микроволновых комплексов	59
<i>Локтев Ф.М.</i> Измерение фазы оптического излучения при помоши дифракционного интерферометра	62
<i>Надрищина Я.К.</i> Аппаратная реализация выпрямителя в системе двух коаксиальных витков	66
<i>Раянова Р.Р.</i> Исследование сверхпроводящей магнитной левитации и ее преимуществ в создании маглева	70
<i>Силин Д.А.</i> Оптическая ловушка для сферических диэлектрических частиц 75	
<i>Сухов И.Д.</i> Среды с переменным показателем преломления	80
<i>Филимонов А.Г.</i> Исследование температурной зависимости постоянной Верде перспективных магнитоактивных сред в диапазоне 80 – 300 К	84
<i>Фомин В.Е.</i> Система для спекл-контрастной визуализации кровеносных сосудов	90
<i>Хазанов Г.Е.</i> Разработка системы бесконтактного лазерно-оптического исследования брызг при лабораторном моделировании ветро-волнового взаимодействия	96
АСТРОНОМИЯ	
<i>Гасымов Д.Ф.</i> Определение физических параметров Луны по покрытию звезд	104
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА	
<i>Большакова А.М.</i> Исследование математического бильярда, основанное на законе «угол падения равен углу отражения»	110

ХИМИЯ

Агеева А.А. Химический анализ мыла	114
Земнюкова М.Н. Выращивание кристаллов – дендритов меди	120
Колпакова К.А. Определение содержания ионов железа и витамина С в продуктах питания методами бумажной и тонкослойной хроматографии	123
Ловыгина Д.Д. Природные индикаторы	127
Приказчикова Н.С. Исследование мяса и мясных продуктов.....	130
Рогов М.О. Исследование химических свойств фармацевтических препаратов от изжоги	133
Сорокин П.А. Выделение, доказательство подлинности и оценка содержания кофеина в образцах чая, кофе и лекарственных препаратах	137

БИОФИЗИКА

Батанина Л.К. Численное моделирование и исследование динамики развития нейритов	144
Исрафилова А.Г. Влияние химических веществ на рост и развитие растений	149
Кочаровская М.В. Влияние сложности текста на параметры движений глаз при работе с текстами	154
Кудряшов А.А. Подбор условий синхронизации клеточного цикла опухолевой линии MCF7	158
Пашенко И.А. Динамика сердечного ритма при различной интеллектуальной нагрузке	163
Шестакова Л.Н. Оптимизация методики определения относительного квантового выхода флуоресценции	168

НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ

Парин Б.П. Зачем людям нужна наука?	175
Терехина А.В. Наука	182

ЛЕКЦИИ НИЖЕГОРОДСКИХ УЧЕНЫХ

Железнов Д.С. Фарадей и все-все-все или Что перекрывает оптический вентиль	185
Лапин Н.И. О явлении левитации	193

Вопросы для размышления	202
-------------------------------	-----

Научное издание

Школа юного исследователя

Сборник исследовательских работ учащихся

Выпуск 7

Подписано в печать 24.12.14. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 11,86. Тираж 500 экз. Заказ № 766.

Издание и печать «**Издательский салон**» ИП Гладкова О.В.
603022, Нижний Новгород, Окский съезд, 2, оф. 501
тел./факс: (831) 439-45-11; тел.: (831) 416-01-02