

# Школа юного исследователя

Сборник  
исследовательских работ учащихся

*Выпуск 6*

Нижний Новгород  
2013

УДК 371  
ББК 74.200 я43  
Ш67

**Школа юного исследователя** : Сборник исследовательских работ учащихся – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2013. . – ISBN 978-5-93530-289-4.  
Вып.6 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилоной. – 171 с.  
ISBN 978-5-93530-405-8

Под общевой редакцией

канд. пед. наук

*А.И. Ермилина,*

канд. пед. наук

*Е.В. Ермилиной*

e-mail: [ermilin-aleksandr@mail.ru](mailto:ermilin-aleksandr@mail.ru)

**Рецензенты:**

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 *Е.И. Гачева*

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся ШЮИ – призеров VIII итоговой конференции школьников «В мире знаний», прошедшей в апреле 2013 года в ИПФ РАН.

ISBN 978-5-93530-405-8 (вып. 6)  
ISBN 978-5-93530-289-4

© Нижегородский научный центр РАН, 2013  
© Оформление. ИП Гладкова О.В., 2013

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

2013 год стал в нашей стране годом пристального внимания к науке со стороны общества и государства: обсуждались вопросы организации и эффективности научных исследований, критерии оценки деятельности научных организаций. Российская наука в очередной раз вступила в период реформирования. Серьезной реорганизации подверглась в этом году и система подготовки научных кадров, изменились функции и структура аспирантуры как главной формы обучения исследователей, специалистов науки и образования высшей квалификации. В эпоху перемен важны стабильность и непрерывность в тех видах деятельности, которые ориентированы на будущее. Происходящие изменения и реконструкции не должны зачеркивать существующие практики научного образования. Изменения важны тем, что позволяют обсуждать и анализировать способы подготовки молодых ученых, эффективность их обучения, мотивацию к выбору профессии ученого в новых условиях.

Одно из наиболее перспективных направлений подготовки будущих ученых – дополнительное образование, которое помогает точно определить время и место встречи будущего исследователя с наукой. Привычное утверждение – чем раньше, тем лучше, не учитывает главного – психологических условий готовности к научной жизни. Если творческие способности можно обнаружить у ребенка достаточно рано, то научная одаренность начинает проявляться, как правило, в подростковом возрасте, когда интеллект ребенка достигает необходимого уровня. Этот возраст связан с поиском своего места в мире людей, с определением своего будущего. 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. В сочетании с активным самоопределением, выбором школьником профессии подростковый возраст в развитии будущего ученого приобретает большое значение.

В последнее время исследовательской деятельности уделяется повышенное внимание, в эту деятельность все больше включается школа, различные общественные организации проводят исследовательские конференции школьников и студентов. Расширение круга организаторов школьной науки, несомненно, отражает интерес об-

щества и вузов к новому поколению, но одновременно ставит вопросы культуры, целесообразности и организации исследовательской деятельности школьников.

Дополнительное образование сегодня и всегда является местом мотивации, поиска и проб, но именно творческий потенциал дополнительного научного образования требует четкого понимания того, чем является «самостоятельная исследовательская работа школьника», какова роль научного руководителя, какие критерии должны быть предъявлены при оценке деятельности. Если работа со школьниками организована в научно-образовательных центрах на базе исследовательских институтов, то эти вопросы культуры научного труда решаются естественным для науки образом: занятия со школьниками проводят аспиранты и молодые ученые, а к самой работе школьника предъявляются требования, свойственные науке – достоверности, обоснованности, новизны и значимости. К сожалению, основными критериями оценки научной работы школьника зачастую становятся не ценности научного сообщества, а ценности массовой культуры: модные темы, отсутствие самого исследования, необоснованность выводов, заимствование чужих мыслей, ораторские приемы.

При организации любой деятельности мы всегда должны понимать ее цели, задачи и способы реализации. Рассуждая о научных исследованиях, мы исходим из понимания, что наука – сфера деятельности человека с целью получения нового знания. В работе со школьниками это означает, что мы, опираясь на имеющийся у ребенка багаж знаний, осуществляем деятельность, результатом которой будет новое знание. Встает вопрос: для кого новое?

Оценивая исследовательские проекты школьников, мы часто получаем противоречивые отзывы на одну и ту же работу. С одной стороны именитые ученые отмечают качество способов выполнения и соблюдение процедуры проекта, с другой – отсутствие научной новизны, нового знания. Получается, что работа школьника не может быть научной? Не уверены. Организуя условия для исследовательской деятельности школьника, мы должны понимать, что его необходимо научить оперировать понятиями «объект», «предмет исследования», помочь ему овладеть научными методами реализации поставленной цели, методиками наблюдения, эксперимента. В решении своих задач ученые не только открывают, но и применяют имеющиеся знания, полученные М.В. Ломоносовым, Д.И. Менделе-

евым, 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, возможно лишь научно организовать процесс исследования.

Кроме «правильного» возраста и места, в научной жизни школьника необходим значимый взрослый. Будущему ученому предстоит пройти свой собственный путь. Его маршрут может быть омрачен невежеством и непризнанностью, а может быть наполнен красотой науки. Погрузившись в научную задачу, он посвящает и подчиняет ее решению свою жизнь: это не только работа, это способ мышления, деятельности, отношения к действительности – это жизнь во всем многообразии ее отношений. Школьник должен загореться идеей, освоить методы научного исследования и прожить свою «жизнь» в науке. Но критериями оценки работы ученика зачастую становятся не знания и методы, а Массовость и Отчетность. Популяризация науки, исследовательской деятельности имеет огромное значение, и заниматься этим должны люди, понимающие цели и владеющие методами исследовательской деятельности, секретами ее организации.

Мотивация ребенка к самостоятельному получению новых знаний – вот ориентир для педагогов и ученых, готовых популяризировать науку и способных готовить новые научные кадры.

Вы держите в руках шестой очередной сборник исследовательских работ школьников. В нем представлены образцы работ учащихся 7 – 11-х классов, которые, на наш взгляд, отвечают требованиям культуры научного исследования. Работы очень разнообразны как по тематике, так и по степени сложности, а также уровню полученных результатов. Это и пробные работы начинающих исследователей, и работы старшеклассников, выполненные в лабораториях исследовательских институтов. Каждый ученик проходит свой путь исследо-

вателя самостоятельно и в своем темпе. Без этапа выполнения учебно-исследовательских работ – экспериментальных работ, предполагающих постановку эксперимента с заранее известным результатом в иллюстративных целях, невозможно передать ребенку методологию научного исследователя. Однажды А. Эйнштейна спросили, в чем он видит основное различие между собственным интеллектом и интеллектом других людей, на что ученый ответил, что если люди ищут иголку в стоге сена, то большинство из них останавливаются, как только ее найдут. Он же продолжает поиски, обнаруживая вторую, третью и, возможно, если очень повезет, даже четвертую и пятую иголку. Показав пытливому ребенку, как найти одну «иголку», можно не сомневаться, что он найдет самостоятельно вторую, а может быть третью и четвертую. Главное – дать ему возможность, инструмент для поиска и претворения своих идей.

Этот сборник позволяет познакомиться не только с работами ребят, но и с системой организации исследовательской деятельности школьников, с той большой и многообразной деятельностью, которую проводят Институт прикладной физики РАН и Нижегородский научный центр РАН. Эта система охватывает поиск заинтересованных и способных школьников, процесс обучения методологии исследования, непосредственное выполнение учениками ШЮИ исследований в лабораториях ИПФ РАН, ИФМ РАН, НГТУ им. Р.Е. Алексеева и ННГУ им. Н.И. Лобачевского, экскурсии в исследовательские лаборатории и лекции ведущих ученых, исследовательскую конференцию. В сборнике представлен опыт организации деятельности в Школе юного исследователя ННЦ РАН. Процесс поиска заинтересованных детей, организация их встреч со значимым событием или человеком науки, обучение самостоятельной исследовательской работе лежат в основе этой деятельности.

Для становления личности будущего ученого огромное значение имеет общение с увлеченным человеком, который учит мыслить и анализировать, сомневаться и доказывать, делать выбор и изобретать. Именно такой для кого-то стала встреча с Андреем Викторовичем Гапоновым-Греховым – научным руководителем Института прикладной физики РАН, академиком Российской академии наук, состоявшаяся в детском образовательно-оздоровительном лагере им. Н.С. Талалушкина ИПФ РАН в июле 2013 года. Встреча с участниками летних исследовательских смен прошла под девизом «Давайте

думать!». Под этим названием запись пресс-конференции, которую сделали участники встречи – ученики Школы юного исследователя Всеволод Фомин и Яна Надршина, вошла в сборник. Знакомство с ответами ученого на вопросы ребят будет интересно не только школьникам, но и родителям, учителям и, конечно, ученым.

Примером того, как школьные исследовательские работы могут иметь продолжение, становясь предметом интереса научной общественности, служит лекция Вячеслава Федоровича Вдовина, опубликованная в сборнике. В 2011 году работа учеников ШЮИ Василия Шампорова и Дмитрия Сидорова «Исследование уровней электромагнитного излучения мобильного телефона и его периферийных устройств», выполненная в лаборатории ИПФ РАН под руководством В.Ф. Вдовина и Д.В. Коротаева, была признана победителем конкурса «Эколинк» компании Скай Линк. Результаты, полученные ребятами, послужили основой для научно-популярных лекций В.Ф. Вдовина: «Поговорим о мобильнике» и «Есть ли универсальная защита от вредных излучений?», которые были представлены слушателям в 2013 году в рамках проекта «Открытая наука» Нижегородского научно-просветительского центра «Знание – НН». Лекции были прочитаны в Нижегородской государственной областной универсальной научной библиотеке им. В.И. Ленина и Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева. Учащиеся ШЮИ являются соавторами данных лекций. Таким образом, исследования, выполненные школьниками, обогащают не только самих юных исследователей, но являются нужными и полезными ученыму сообществу.

Очевидно, что далеко не все молодые люди, прошедшие школу научной подготовки, сделают науку сферой своей будущей деятельности. Научные принципы работы с информацией и идеями постепенно проникают в другие сферы жизни: научный метод применяют при анализе информации в бизнесе, в быту люди привыкают отличать доказанные факты от вымыслов. Торжество научного метода подразумевает, что непредвзятый сбор информации, беспристрастная ее проверка, доказательство выводов и их последующее испытание становятся принятой нормой жизни и деятельности общества.

Изменение общественного сознания – процесс сложный и длительный, но без него невозможно кардинальное изменение положения науки и ученого в обществе. Чтобы завтра оно изменилось к

лучшему, необходимо сегодня работать со школьниками, так как именно от них в недалеком будущем будет зависеть реализация социальных, экономических и политических программ. Для этого необходима популяризация научного знания, вовлечение подрастающего поколения в исследовательскую деятельность. В результате лишь единицы школьников придут в науку, но многие приобретут знания и опыт, а с ними и уважение к миру науки.

Выражаем огромную благодарность педагогам, руководителям школьников, научным сотрудникам академических институтов и вузов, принимавшим участие в этой большой работе, итогом которой стал данный сборник.

*В.Ф. Вдовин,*  
доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН,  
профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева

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

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

*Е.И. Перфильева,*  
кандидат пед. наук, доцент НИУ ВШЭ – Нижний Новгород

# Научное руководство как исследовательская деятельность



*Нефти может быть очень много, но все равно в стране будет темно, если не будет развиваться наука.*

Дмитрий Иванович Менделеев (1834 – 1907),  
русский ученый, открывший периодический  
закон химических элементов

*Наука не сводится к сумме фактов, как здание не сводится к груде камней.*

Жюль Анри Пуанкаре (1854 – 1912),  
французский математик, физик и астроном

## **Тьюторство как новая педагогическая позиция в дополнительном научном образовании школьников**



**А.И. Ермилин**

кандидат педагогических наук,  
Институт прикладной физики РАН

**Е.В. Ермилина**

кандидат педагогических наук,  
Институт прикладной физики РАН

Последние события в сфере российской науки, реформирование Академии наук, ограничение функций исследовательских институтов исключительно узкопрофессиональной исследовательской деятельностью делают особо актуальным вопрос воспроизведения научных кадров.

Ученые своими открытиями раздвигают привычные и понятные рамки среды обитания людей. Вхождение в мир науки для молодых людей не всегда просто по этой причине и в то же время открыто в юные, полные поиска годы. Социологи отмечают, что в настоящее время существенно изменились мотивы выбора научной деятельности, а осознанный профессиональный выбор в сферу науки продолжают делать те, кто обладает ментальностью ученого, для кого занятие наукой становится самоцелью и самодостаточной деятельностью [2]. Как формируется этот выбор?

Важная составляющая научного образования – процесс ученичества в его исходном значении, то есть передача ученикам навыков научной работы, присущих специалисту, ученому, исследователю, мастеру. Это особый вид общения, основой которого является не обмен информацией, а межсубъектное взаимодействие, обмен переживаниями, способами деятельности и мышления. «Юный ученый должен научиться самостоятельно, непосредственно воспринимать свой предмет, находить его, переживать, узнавать, созерцать, исследовать.

А опытный ученый должен передавать ему это искусство» [3, с. 51 – 52]. Однако в науке складывается круг избранных, институт професионалов, не всегда выбирающих подвижническую жизнь Учителя: «мир ученого настолько далек от повседневной жизни, что совершенно чужд человеку непосвященному» [5]. Одна из задач научного образования школьника – создать условия для ученичества, подготовить к образовательному странствию в мире науки новое поколение. Ученичество в его педагогической сути – естественный диалог Мастера и Ученика. Такое взаимодействие предполагает не только высокие требования к личности мастера, но и гуманистический характер взаимоотношений, наставничество, воспитание примером. Как и какими силами решается эта задача сегодня?

В настоящее время в 110 научных учреждениях Академии наук работают более 150 базовых кафедр 40 ведущих вузов страны, что позволяет приобщить к научным исследованиям студентов и аспирантов вузов. В вузах, колледжах, лицеях читают лекции и ведут практические занятия более 6000 сотрудников РАН – докторов и кандидатов наук. Силами Академии наук и вузов создана единая система образования – «школа – институт – аспирантура – докторантура», которая позволяет выявлять, отбирать, целенаправленно готовить к научной работе способных молодых людей. В систему академического образования приходят научные работники, изобретатели, конструкторы, талантливые инженеры, программисты, у которых нет профессиональной педагогической подготовки, но есть потребность передавать свои знания и любовь к науке новому поколению. Они находят свое место в системе дополнительного образования в роли наставников юных исследователей. Система дополнительного научного образования школьников на базе научно-исследовательских учреждений позволяет решать задачу воспитания молодых интеллектуальных лидеров путем интеграции науки и образования.

Примером такой интеграции, основанной на привлечении в дополнительное научное образование специалистов, ориентированных на занятие наукой и наделенных «сознанием собственного присутствия в науке», стала Школа юного исследователя Нижегородского научного центра РАН. За восемь лет существования в ШЮИ сложился педагогический коллектив, основу которого составляют научные сотрудники академических институтов и вузов, педагоги профильных лицеев и аспиранты. Они учат ребят самостоятельно про-

водить исследования, помогают в постановке экспериментов, структурировании текста научного доклада. Сложилась и получила научное обоснование система образовательных, развивающих и воспитательных задач: обучение выбору темы исследования и планированию, сбору и анализу научной информации по теме; развитие навыков самостоятельной исследовательской работы, теоретических и экспериментальных умений научного познания; принятие научного творчества в качестве жизненной ценности; воспитание культуры научной дискуссии, публичного выступления. Образовательные задачи решаются разнообразными методами и способами: организуются лекции по истории развития науки, экскурсии в научно-исследовательские институты города, предметные лаборатории, семинар «Методика научного исследования», практические занятия по информатике «Обработка данных исследования методами ПК» и исследовательская практика под руководством специалистов академических институтов и педагогов вузов, исследовательская конференция, выпуск и издание научно-методической литературы. Разнообразие методов и выбор исследовательского проекта позволяют школьнику сконструировать свое личное научное образование.

За одиннадцать лет реализации программы дополнительного научного образования школьников ИПФ РАН «В мире знаний» в исследованиях приняли участие более 3000 школьников. Ежегодно 50 – 60 школьников, победителей летних конференций, продолжают обучение в Школе юного исследователя. За восемь лет работы ШЮИ в научную деятельность были вовлечены 147 наиболее одаренных учеников: 85 из них стали студентами вузов, 62 – продолжают обучение в ШЮИ в настоящий момент, а 15 – 18 ее выпускников ежегодно выступают в летнем отборочном этапе реализации программы в качестве педагогов-наставников. В 2013 году выпускники ШЮИ впервые пополнили ряды научных руководителей школьников.

Миссия любого дополнительного образования как территории мотивации к познанию и проб – открыть свободный доступ к мастерству и творчеству. Академическая среда исследовательского института гарантирует свободу познания и образовательной деятельности школьника. «...Только при свободе можно избежать обычного явления: вызывания отвращения к предметам, которые в свое время и свободно были бы любимы. Только при свободе возможно узнать, к какой специальности ученик имеет склонность, только свобода не

нарушает воспитательного влияния», – утверждал Л.Н. Толстой [8, с. 365 – 366]. Другой великий русский педагог К.Н. Венцель считал, что ребенок должен получать столько знаний, сколько желает, и приобретать их тогда, когда в этом чувствует необходимость. В статье «Идеальная школа будущего» он предложил в качестве идеального метода школы освобождение в ребенке творческих сил, творческой воли и сознательной творческой активности. Такой «идеал школы был бы достигнут, если бы ребенок мог переходить от одного предмета к другому по собственному усмотрению и желанию и брать сколько ему понадобится». Он призывал педагогов демонстрировать детям примеры исследовательского поведения и поддерживать в них «дух неугомонного исследователя истины» [1, с. 435]. Мыслители-гуманисты понимали значение принципа свободы преподавания и учения задолго до современных образовательных реформ.

Академический принцип свободы преподавания и учения соответствует условиям и миссии дополнительного образования, специфической чертой и ценностью которого является приоритет свободного воспитания на основе права выбора. Научное образование школьников на базе академического института организуется как индивидуальная траектория обучения и поэтому значительно расширяет возможности свободного выбора научного направления, способа деятельности, формы познавательной активности, образовательного маршрута и т.д. При такой позиции школьника меняется и позиция взрослого во взаимодействии с ним.

При разработке концепции и программы дополнительного научного образования для академического НИИ принципиальным для нас было предложение иного способа педагогического и научного взаимодействия детей и взрослых, который преодолел бы отчуждение между учениками и педагогами. ШЮИ была задумана как школа, которую будут создавать вместе дети, родители, педагоги, учёные. Наш опыт показывает, что ШЮИ – это творческая мастерская не только для школьников, но и для их научных руководителей. В процессе развития научного образования в академической среде рождались новые формы взаимного влияния участников программы. Например, в этом году родилась идея куратора исследовательской группы. Образцом для реализации этой идеи послужило академическое сообщество университета.

Университет (от лат.*Universitas* – совокупность) исторически представляет собой братство, исповедующее единые ценности, гово-

рящее на одном языке и признающее одни научные авторитеты. В университетском образовании изначально не было программ и расписаний. Каждый магистр читал то, что составляло предмет его интереса, каждый школьник сам выбирал, кого и когда ему слушать, у кого учиться. Университет не заботился о том, чтобы студенты слушали определенные курсы. При этом студенты из одних колледжей могли быть слушателями лекций профессоров из других колледжей. Каждый профессор читал и комментировал свою книгу. Студенту предстояло самому решать, каких профессоров и какие предметы он будет слушать. Университет же предъявлял свои требования только на экзаменах, и студент должен был сам выбрать путь, которым он достигнет знаний, необходимых для получения степени. Первые постоянные кафедры (греческого, латинского и еврейского языков, римского права и медицины) были введены только в начале XVI века.

Программа дополнительного научного образования школьников «В мире знаний», реализуемая в Институте прикладной физики, является открытой, то есть предусматривает возможность ее освоения школьниками по индивидуальному плану и в индивидуальном режиме. Так, школьник может неоднократно участвовать в летних исследовательских сменах (ЛИС), которые являются ознакомительным этапом в освоении содержания дополнительного научного образования. И лишь овладев теоретическими и экспериментальными основами научного поиска, он может перейти на следующий этап – в Школу юного исследователя ННЦ РАН. Для тех, кто уже находится на более высоком уровне освоения программы, возвращение на ознакомительный этап помогает расширить научный кругозор, открыть новые области знания, уточнить тематику исследования.

Открытый характер программы помогает включаться в обучение детям разного возраста и в разные периоды школьного обучения. Опыт показывает, что различия в поисковой активности между детьми одного возраста и различия между разными возрастами вполне соразмерны. Совместное пребывание в программе новичков и ребят, обладающих значительным опытом самостоятельной исследовательской работы, победителей различных всероссийских и международных конкурсов и конференций, создало условия для возникновения института тьюторства в программе дополнительного научного образования школьников. Идея родилась у руководителей летней исследовательской смены, нашла живейшую поддержку у педа-

голов и оказалась интересной для начинающих исследователей. Для ребят, ставших тьюторами, она оказалась давно желанной ролью и важным статусом.

Потребность в новой педагогической позиции в программе дополнительного научного образования школьников была рождена логикой развития открытого обучения. Современное научное образование предлагает только две версии подготовки научных кадров: аспирантура в вузах и аспирантура (участие в фундаментальных исследованиях) в НИИ. Организационные и методические основы работы с аспирантами сложились в другой образовательной ситуации и при всех достоинствах не ставят задач воспитания наукой на первое место. Дополнительное научное образование школьников предлагает, по нашему мнению, не столько получение первичных навыков научных исследований, сколько воспитание наукой в условиях открытого обучения.

Научный метод прививается молодым людям в ходе школьного и дополнительного обучения разными средствами. В дополнительном научном образовании школьное знание основ наук доводится до полноты непротиворечивым сочетанием ученичества и свободы выбора.

Почему именно тьюторская деятельность востребована в научном образовании школьников сегодня?

Тьютор (от англ. tutor) – домашний учитель, репетитор, (школьный) наставник, опекун. Возникновение феномена тьюторства исследователи связывают с историей университетов средневековой Европы. Тьюторство зародилось в Великобритании в XII – XIII веках в классических английских университетах – Оксфорде и Кембридже.

В этот период экономическая и культурная жизнь потребовала большого количества грамотных и профессиональных людей, подготовку которых взяли на себя университеты, где стали готовить носителей практического знания: юристов, врачей, учителей. Университеты возникали как кампусы вокруг старинных монастырских школ, где хранились большие книжные собрания, и в городах, чьи местные законы были благоприятны для чужеземцев, занимающихся наукой.

Многие студенты, получившие степень, но не получившие должности члена коллегии (они занимались исследованиями), или члена преподавателя (они читали лекции), или продолжавшие учиться дальше для получения высших ученых степеней, оставались в университете. Они жили в коллегиях в качестве причисленных к университету под названием *tutors* и со временем образовали главную

составную часть коллегий. Эти тьюторы получали в коллегии общее содержание, им вменялся надзор над определенным числом школьников; они сопровождали жизнь студента во время пребывания в коллегии, включая его быт, готовили к академическим лекциям и руководили в частных занятиях. К концу XVI века тьютор стал центральной фигурой в университетском образовании, отвечая, прежде всего, за воспитание подопечных.

Начиная с XVII века, большее значение в деятельности тьютора приобрели образовательные функции. Тьютор определял и советовал студенту, какие лекции и практические занятия лучше всего посещать, как составлять план своей учебной работы, следил за тем, чтобы его ученики хорошо занимались и были готовы к университетским экзаменам. Тьютор стал ближайшим советником студента и помощником во всех затруднениях; фактически тьютор заменял студенту родителей.

В XVII веке тьюторская система официально была признана частью английской университетской системы. В течение XVIII – XIX веков в старейших университетах Англии тьюторская система заняла центральное место в обучении, а лекционная стала служить дополнением к ней. Так, в начале XIX века совет ректоров Оксфорда выступил с протестом против ввода немецкой модели организации учебного процесса в университетах (системы кафедр и учебных программ, закрепленных за кафедрой). «Отмена тьюторства, – писали они в своей петиции, – будет подменять образование информацией, а религию – псевдоученостью» [7]. Тьюторство считалось формой неформальной передачи знаний.

Внедрение в образовательную систему университетской жизни тьюторства имело следствием переход от «спекулятивного» обучения к практическому. Профессор на лекции читал книгу, по ходу демонстрируя образец интерпретации текста. Само слово лекция означает чтение. Тьютор же собирал своих подопечных тесным кругом вокруг той же книги, и каждый из них упражнялся в понимании текста, имея возможность сравнить свои упражнения с другими, обсудить разницу в понимании, сам способ понимания, перечитать одно и то же место в книге несколько раз.

Тьюторы отвечали за индивидуальную подготовку каждого из студентов к сдаче экзамена. Тьютор стремился, чтобы его подопечные заняли первое место в списке экзаменующихся. Студенты звали тьютора coach(man) – извозчик, тренер. Сдать экзамен на бакалавра в

условиях отсутствия курсов по всем необходимым дисциплинам или выбора их из множества без тытютора было невозможно, особенно неколлегиальным (частным образом живущим) студентам.

В учебном режиме, как правило, тытютор занимался со своим студентом индивидуально, а наиболее известные тытюторы устраивали «тытюторские классы». Тытютор задавал путь освоения материала и прихода к цели, а также линии освоения его вглубь и вширь. Тытюторами, в отличие от профессоров, становились те, кто обладал способностями к рефлексии своего опыта самообразования и изобретал способы его передачи.

В России была принята германская модель университета, которая не предполагала института тытюторов. В лексикон отечественной педагогики слово «тытютор» вошло в 1999 году после подписания Российской Болонского соглашения.

Таким образом, тытютор – исторически сложившаяся особая педагогическая позиция, которая сопровождает процесс индивидуального образования в школе, вузе, в системах дополнительного и непрерывного образования. История становления тытюторства, уточнение роли и функций тытютора в университетской среде подтверждает уникальность этой деятельности, в которой изначально *автономные цели образования (учение, воспитание и формирование образа жизни)* получили возможность *объединения и индивидуального освоения*. Подобное единство воспитания разума, воли и сердца не находят сегодня ни единого пространства, ни одной фигуры, которая бы собирала эти процессы в своей деятельности.

В настоящее время существует несколько основных идей в представлениях о роли тытютора.

1. Отношения ученика и учителя-тытютора рассматриваются, как правило, в отрыве от традиционной практики этих отношений: ученик самостоятельно осуществляет реальную образовательную деятельность, а тытютор сопровождает и анализирует эту деятельность вместе с учеником.

2. Реже встречаются взгляды практической направленности, рассматривающие тытюторство как субъект-субъектное взаимодействие в процессе сопровождения. Отличительной особенностью процесса сопровождения является то, что при его осуществлении актуализируется потенциал сопровождаемого, и он приобретает опыт решения проблем собственной профессиональной деятельности.

3. Оформляется тенденция, рассматривающая тьюторство как новую образовательную технологию. Например, Т.М. Ковалева, характеризуя тьютора как ключевую фигуру, которая, фокусируя феноменальность учеников, одновременно помогает ей стать увиденной и востребованной, отмечает: «По сути, тьютор явился антиподом традиционному школьному учителю-предметнику, а тьюторство стало альтернативой традиционной педагогике, поскольку было инновационной формой индивидуально ориентированной педагогической деятельности»[6, с. 147].

4. Учитывая постановку проблемы в контексте гуманистической педагогики, следует отметить, что тьюторская позиция основана на признании тьютором права ребенка на самостоятельность, индивидуальность, отражает культурный опыт ребенка и способы деятельности, которые позволяют ученику быть эффективным.

В ходе реформы высшей школы тьюторы появились в исследовательских университетах. Они стали заменять кураторов учебных групп, но не формально, а новой направленностью своей деятельности: тьюторы переместились в небольшие проектные учебные группы, в которых основной акцент делается на методы работы и формы взаимодействия участников. Проблема коммуникации участников образовательного процесса в современном вузе заслуживает специального обсуждения. В ситуации, когда потеряли привычную четкость категории «преподаватель», «ассистент», «исследователь», а лекции все больше заменяются интерактивными методами обучения, требуется такие формы коммуникации, в которых есть место для спора, обсуждения, развития собственного мнения. Тьюторы в учебной проектной группе должны реализовывать такие формы коммуникации.

Однако, несмотря на достаточно широкую тематику исследований, посвященных педагогическим и психологическим сторонам тьюторства, остается актуальной проблема целесообразности средств, методов тьюторской деятельности в дополнительном научном образовании школьников.

Обратимся к истории тьюторства еще раз. Тьюторы следили за выполнением студентом правил общежития в университете. В английском университете придавали большее значение воспитанию, нежели образованию. В обязанности тьютора входило следить за поведением студента: за посещением церкви и лекций, его костюмом, соблюдением режима дня и т.д. Тьюторы принимали активное

участие в самом образе жизни студентов вплоть до XIX века: в клубных мероприятиях, спортивных занятиях, играх и развлечениях.

Неотъемлемой частью университетского образа жизни с участием тьютора являлись игровые способы социализации и ритуальность – всевозможные спортивные игры: гонки, скачки, охота, теннис, крикет, карты, шахматы, футбол существовали наравне с политическими обществами (*socialclubs*). Для каждой игры у студента был свой костюм, общества также придумывали себе форму. Каждый колледж имел общество дебатов. Общество, в свою очередь, имело библиотеку и гостиную для встреч по примеру лучших английских клубов. Сами дебаты происходили по парламентским правилам – назначались спикер, оратор и оппоненты. Вопрос мог подниматься любой, студенты упражнялись в красноречии и форме публичной речи. У общества имелась специальная книга, куда каждый желающий мог занести тезис, который он собирается отстаивать публично. Когда против его тезиса оказывалось достаточное количество галочек – оппонентов, назначалась дата слушания. После слушания против тезиса появлялась отметка «одобрено – отвергнуто». Упражнения в искусстве публичного устного слова могли быть дополнены практикой письменного публичного слова. Студенты в университете могли писать и печатать все, что им было угодно.

В программе дополнительного научного образования мы отмечаем важность роли тьютора как коммуникатора и хранителя традиций, ритуалов образовательной программы.

Мы видим, что тьютор – это посредник между учеными и школьной молодежью, между научным руководителем и начинающими исследователями. Он – старший товарищ, который, как и тьютор в классическом университете, во всех ситуациях демонстрирует три типа отношения к начинающему исследователю: наставление примером, наставление знаниями и наставление в трудности. Его миссия в научном наставлении ученика состоит в том, чтобы помочь начинающему исследователю в выборе себя как человека науки. При этом тьютор, даже если он по возрасту сам еще ученик, позиционируется как человек, сделавший свой выбор в сферу науки, как *человек университета*.

Ученые – это особая психологическая категория людей, которые не могут не заниматься объяснением того, что пока не ясно, будь то открытие новых законов природы или общественной жизни. Их открытия часто лежат за рамками понятного людям, что порождает

разнообразные легенды и мифы как о самих открытиях, так и об их авторах. Мифологизация научной деятельности как сферы для избранных поддерживается СМИ, авторами художественных биографий ученых, произведениями искусства. В научном образовании школьников это создает соблазн «забавляющей науки», игры в науку, при этом наряду с положительным эффектом «очарования наукой» у школьников возникает нереальный образ науки и научной деятельности. Роль тьютора – служение примером, то есть не просто помочь в получении научных знаний, а воспитание собственным опытом научной деятельности. Таким образом, *тьюторство – это территория нравственного выбора*.

В зарубежной и отечественной педагогике до второй половины XX века содержание научного образования школьников разрабатывалось преимущественно по линии изменения количественных характеристик образовательного знания. К ним в первую очередь относятся объем и уровень трудности изучаемого материала. На основе этих параметров родились два подхода к отбору содержания научного образования. Первый предполагал, что традиционные учебные программы обогащаются (расширяются и дополняются) содержанием за страницами учебника. С признанием этого подхода стали разрабатываться идеи качественной перестройки – «обогащения содержания образования». Это понятие активно утверждается и в современной отечественной дидактике, и в практике обучения одаренных детей. Второй подход ориентировал педагогов на «стратегию интенсификации» (увеличение числа изучаемых предметов и углубленное изучение базовых дисциплин). Обе стратегии адресованы детям «с быстрым развитием», не учитывая направление таланта и способности к конкретным видам деятельности. *Тьютор – автор индивидуального образовательного маршрута школьника*. Он создает условия для образования на таком уровне сложности, который выбирает сам ученик, при этом осуществляется взаимный обмен научными знаниями и поисковой активностью между тьютором и начинаящим исследователем.

Тяга к знаниям – это внутренне присущая человеку привычка. Школа и учитель, отвечая на потребность ученика в знаниях, предлагают, как правило, декларативное знание, новое только для тех, кого обучают. Соотношение процедурного и декларативного знания в содержании школьного образования всегда склоняется в пользу декларативного. Осознавая эту закономерность, педагоги-новаторы призывали уважать незнание ученика. В.П. Зинченко пишет о необ-

ходимости при такой ситуации обучения применять понятие «живое знание». Живое знание (англ. livingknowledge) всегда пристрастно – включает знание о субъекте знания, то есть о себе самом. Главные признаки живого знания – открытость и недосказанность. Живое знание – это рефлексивное знание. Его можно характеризовать и как «опытное знание». В него, помимо разных знаний, входит отношение к знанию и знание о себе самом как знающем или незнающем. В работе тьютора передача знания не связана с какой-либо выгодой, а наградой является осознание собственного присутствия в науке, в исследовании. Следовательно, *тьютор – носитель живого процедурного знания*.

Исходя из такого понимания культурной роли тьюторства, при обсуждении совместно с будущими тьюторами института тьюторов в летней исследовательской смене, мы определили следующие позиции и виды деятельности:

- тьютор (куратор исследовательской группы, проекта) – это опытный наставник, мудрый советчик, который помогает юным исследователям не растеряться в новой среде – учебно-исследовательской жизни лагеря, всегда осведомленный о происходящих событиях в жизни научного кружка, факультатива и лектория;
- тьютор выбирается из числа юных исследователей, имеющих опыт проведения научного поиска – участников Школы юного исследователя ННЦ РАН, обучающихся в 10 – 11-х классах, выполнивших научно-исследовательскую работу и имеющих опыт выступления на конференциях различного уровня;
- тьютор выступает в роли помощника преподавателя дополнительного образования, организующего исследовательскую работу по физике, химии, биологии, астрономии;
- во время подготовки исследовательской работы тьютор выступает наставником юного исследователя, предлагает тематику исследования, а после ее утверждения научным руководителем разрабатывает совместно с начинаяющим исследователем план исследования и приступает к его выполнению, при этом на всех этапах работа обсуждается с научным руководителем;
- тьютор сам принимает участие в исследовательской работе под руководством научного руководителя.

В обязанности тьютора входит помочь ученику при разработке плана исследования, в поиске и систематизации теоретического и

иллюстративного материала, в структурировании информации и разделении ее по блокам, в установке и настройке оборудования для эксперимента совместно с юным исследователем. Тьютор следит за соблюдением методики проведения экспериментального исследования учеником и оказывает помощь в обработке экспериментальных данных, помогает структурировать и готовить речь устного выступления. Работа тьютора организуется во второй половине дня по индивидуальному графику, установленному совместно с научным руководителем.

В этом году в летней исследовательской смене было четыре тьютора: Ростислав Плотников (биология), Яна Надршина (астрономия), Всеволод Фомин и Елисей Ермилин (физика). Они успешно справились со своей работой. По итогам смены лучшим тьютором была признана Яна Надршина – куратор группы астрономии. По мнению самих ребят, возможность стать тьютором группы пробудила в них воодушевление и стремление помочь ребятам в их начинаниях, поэтому они стремились сделать процесс выполнения работ более интересным и увлекательным. Это опыт, который позволяет взглянуть на свою научную деятельность с другой точки зрения. Процесс обучения был обоядным, они учили ребят и учились сами. Они объясняли ученикам теорию по теме исследования, а это требовало самостоятельного ее освоения самим тьютором. На практике тьюторы подтвердили известную мысль, что сам лучше понимаешь учебный материал, когда можешь объяснить его другому так, чтобы он понял. Тьюторская система дала возможность ребятам ощутить себя в качестве научных руководителей, почувствовать, насколько это трудно и ответственно. В то же время она позволила педагогам охватить исследовательской работой больше ребят и уделить каждому больше времени. Тьютор стал неотъемлемой частью образовательного процесса, дополнив систему «педагог – научный руководитель» собственным опытом выполнения научного исследования, психологической близостью с начинающим исследователем. Преимущество тьютора в лагере перед научным руководителем заключалось в том, что к нему можно обратиться по имени, на «ты», что очень важно психологически для младших ребят, особенно для тех, кто приехал впервые.

Попытка осмыслить тьюторство сквозь призму исторических понятий и собственный опыт показали, что тьюторская позиция – гибкий открытый конструкт, способный к изменениям, новым способам

реализации, поэтому в характеристике тьютора преобладают качественные характеристики: увлеченность наукой, познавательная и поисковая активность, общительность. Основная идея внедрения тьюторства как формы передачи живого процедурного знания и академических ценностей будущим исследователям требует значительной методической разработки: нужна программа подготовки самих тьюторов, а также система согласования методов тьютора и научного руководителя. Появилась проблема нормативного одобрения способа деятельности тьютора. В текущий момент мы находимся в поиске оптимальных вариантов внедрения этой идеи.

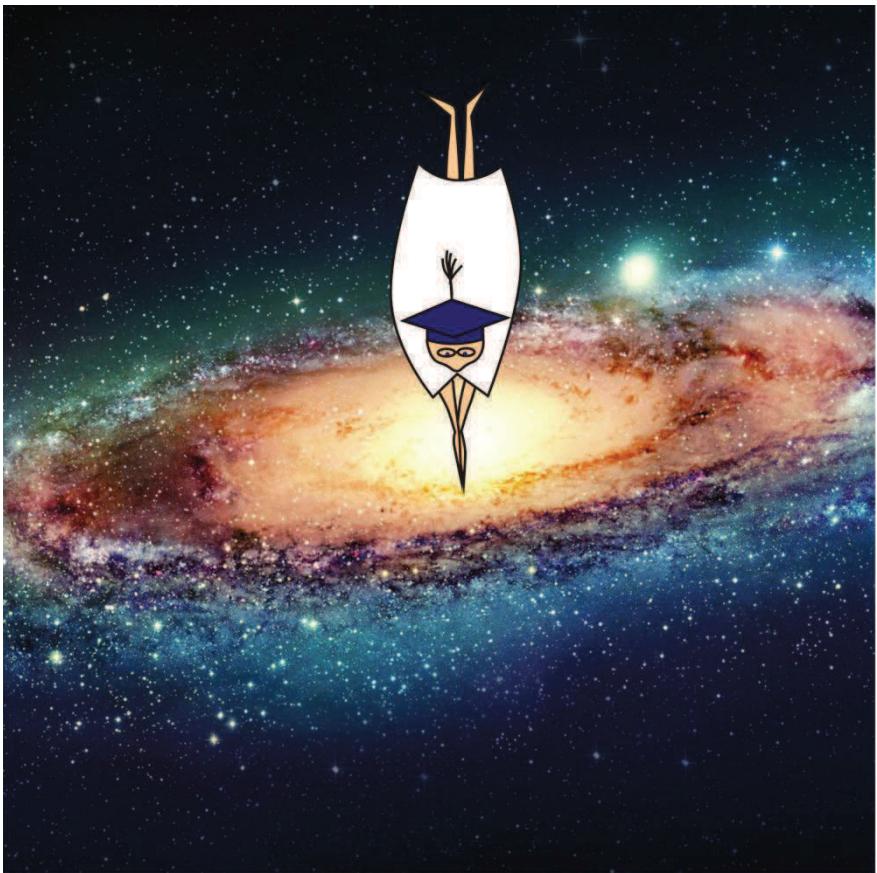
На наш взгляд, именно такой путь: от начинающего исследователя, участника многочисленных научных конференций и конкурсов, автора научных статей, к тьютору, куратору исследовательской группы, проекта, а затем к научному руководителю, позволяет сформировать ментальность ученого, для которого занятие наукой становится самоцелью и самодостаточной деятельностью уже в школьные и студенческие годы. Этот путь в науку не может дать массового эффекта, но и сама наука требует индивидуальности, нестандартности мышления и самостоятельности, что возможно развить лишь при индивидуальном подходе в обучении.

Сегодня это работающая система и главное – не разрушить ее в период реформирования науки!

### **Литература**

1. *Венцель К.Н.* Новые пути воспитания и образования детей // Хрестоматия по истории педагогики. Т. 4. – М., 1936.
2. *Ермолаева Е.П.* Психология социальной реализации профессионала. – М.: Изд.-во Института психологии РАН, 2008.
3. *Ильин И.А.* Наши задачи. Собр. соч. в 10 т. Т. 2, кн.1. – М.: Русская книга, 1993. – 496 с.
4. *Махов А.П.* Научно-практические основы формирования тьюторской позиции педагога / Канд. диссертация. – Н.Новгород, НГПУ им. К. Минина. 2012. – 185 с.
5. *Московиси С. Машина, творящая богов.* – М.: Центр психологии и психотерапии, 1998. – С. 403.
6. Новые ценности образования: тезаурус для учителей и школьных психологов. Антропологический, деятельностный и культурный подходы // Новые ценности образования. 2005. № 5 (24). – 182 с.
7. *Рыбалкина Н.В.* История тьюторства // Thetutor.ru: Сайт тьюторской ассоциации [Электронный ресурс]. [www.thetutor.ru/history/article04.html](http://www.thetutor.ru/history/article04.html).
8. *Толстой Л.Н.* Педагогические сочинения. – М., 1948.

# Физика



## **Изготовление зонной пластиинки Френеля и исследование ее свойств**

Гежес Петр

10 класс

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



*Фокусировка электромагнитного излучения необходима в большинстве устройств, работающих с ним. Разные типы излучения можно фокусировать различными методами. Мы рассмотрели способ фокусировки при помощи зонной пластиинки Френеля. В ходе данной работы была получена фокусировка лазерного излучения от различных пластиинок Френеля, рассчитанных и созданных нами.*

Зонная пластиинка Френеля имеет свойства обычной линзы, причем не обладает дисторсией. С ее помощью можно фокусировать электромагнитное излучение, строить изображение протяженного объекта, используя пластиинку в качестве объектива. Принцип действия пластиинки основан не на преломлении световых лучей, как в обычной линзе, а на явлениях дифракции и интерференции, что открывает возможность ее применения для фокусировки инфракрасного, ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения. Для этих типов излучения показатель преломления большинства прозрачных сред близок к единице, что затрудняет изготовление линз надлежащего оптического качества в данных диапазонах длин волн.

Целью работы являлось создание зонных пластиинок для различных фокусных расстояний и получение с их помощью фокусировки излучения от лазерного источника.

В ходе работы решались следующие задачи:

- 1) расчет и изготовление различных зонных пластиинок при помощи компьютера;
- 2) создание экспериментальной установки и проведение экспериментов по фокусировке лазерного излучения зонными пластиинками;
- 3) определение качества фокусировки, сравнение с качеством фокусировки другими методами (при помощи линз).

Перед выполнением эксперимента было проведено теоретическое исследование зонной пластиинки. Поясним физические принципы, на которых основана ее работа [1, 2]. Человеческий глаз, как и большинство измерительных приборов, не в состоянии отслеживать

быстрые изменения полей в электромагнитной волне. Воспринимаемой глазом физической величиной является интенсивность поля – энергия, переносимая волной за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную лучевому вектору. Для плоской монохроматической волны интенсивность  $I$  пропорциональна квадрату амплитуды электрического поля в волне:

$$I \propto |(\vec{E} \times \vec{H})| \propto \left\langle \left| \vec{E}^2 \right| \right\rangle \propto \frac{|E_0|^2}{2},$$

где  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  – напряженности электрического и магнитного полей,  $E_0$  – амплитуда электрического поля, а скобки  $\langle \dots \rangle$  означают усреднение по времени.

Интенсивность суммарного колебания не равна сумме интенсивностей отдельных колебаний (рис.1). В этом состоит суть явления интерференции света: при сложении нескольких волн суммируются не интенсивности, а поля, что может приводить к образованию интерференционных картинок – чередованию максимумов и минимумов интенсивности поля.

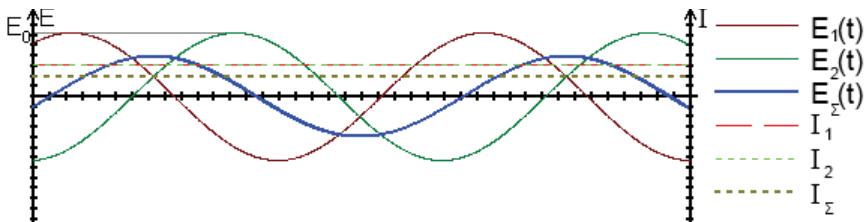


Рис. 1. Схема сложения двух волн

Рассмотрим интерференцию излучения, прошедшего через пластину Френеля (рис. 2). Для этого найдем интенсивность света в точке F, находящейся за круглым отверстием, через которое проходит коллинированный пучок света. Согласно принципу Гюйгенса – Френеля заменим действие всего пучка действием вторичных источников, расположенных на всей поверхности отверстия. Разобьем эту поверхность на небольшие участки  $dS$ . Участки настолько малые, что у волн, приходящих от каждой точки одного такого участка в точку F, фаза и амплитуда одинаковые. Разность фаз волн, приходящих от

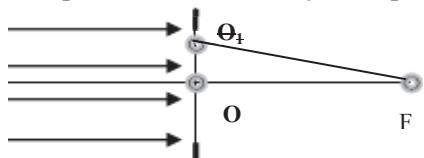


Рис. 2. Построение зон Френеля

соседних участков, обозначим  $\Delta\phi$ . Эта величина много меньше единицы. Изобразим действие рассматриваемых участков при движении от точки О к краю отверстия на векторной диаграмме (рис. 3).

В падении бесконечно большого отверстия и бесконечно малых участков разбиения мы получим спираль, сходящуюся к точке (амплитуда волн немного уменьшается при переходе от одного участка к другому).

Интенсивность в точке F может быть сильно увеличена. Для этого достаточно закрыть зоны, которые гасят интенсивность. Найдем границы этих зон.

Разобъем отверстие на кольца, центр которых совпадает с центром отверстия, а расстояние от краев до точки F различается на  $\frac{\lambda}{2}$ , то есть

$$FO_n = FO + \frac{n\lambda}{2} \text{ (рис.2). Свет от этих колец будет доходить до точки}$$

F в противофазе. Радиусы этих колец  $r_n = OO_n = \sqrt{FO_n^2 - FO^2} = \sqrt{\frac{n^2\lambda^2}{4} + 2FO \frac{n\lambda}{2}} = \sqrt{FO \cdot n\lambda + \frac{n^2\lambda^2}{4}}$ . Будем считать, что  $FO \gg n\lambda$ , что справедливо для достаточно большого числа зон при  $FO \gg \lambda$ , тогда

$$r_n = \sqrt{FO \cdot n \cdot \lambda}.$$

Мы можем закрыть все четные или нечетные зоны, что приведет к значительному увеличению света в точке F (по сравнению со случаем открытых зон), то есть свет, проходящий через отверстие, будет фокусироваться в точке F. Экран, состоящий из последовательно чередующихся прозрачных и непрозрачных колец, подчиняющихся условию  $r_n = \sqrt{FO \cdot n \cdot \lambda}$ , и называемый зонной пластинкой Френеля.

Для проведения эксперимента мы рассчитали на компьютере и распечатали на пленке для принтера

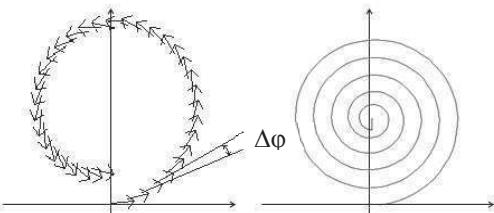


Рис. 3. Векторная диаграмма для точки F

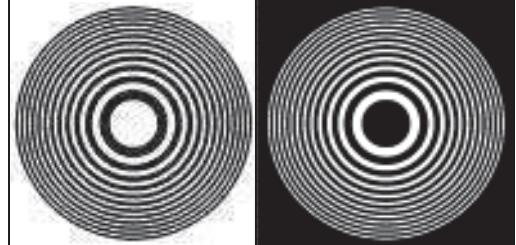
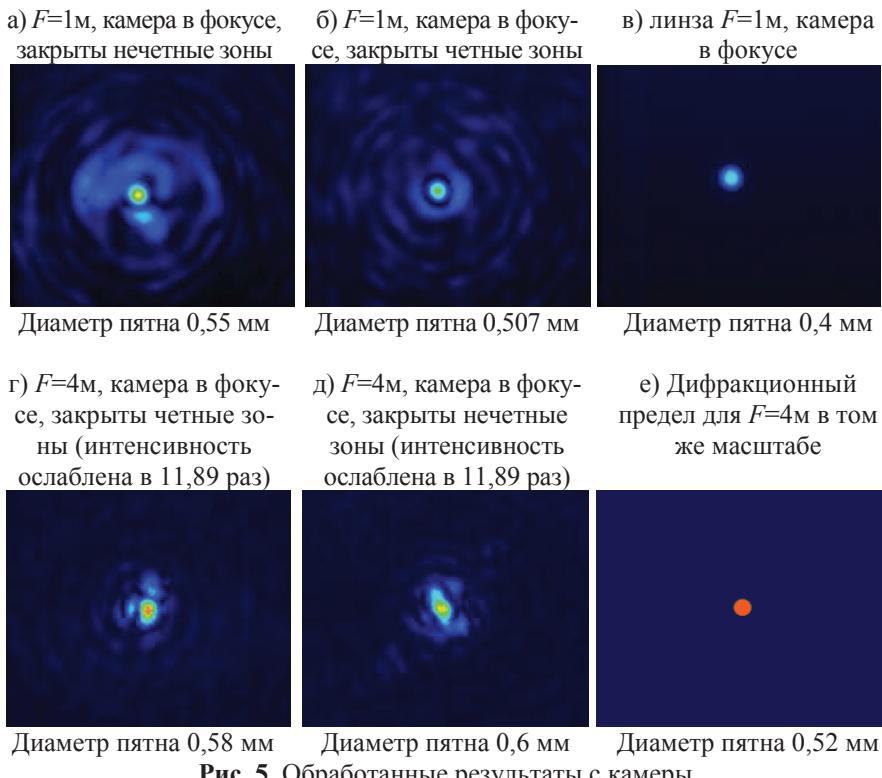


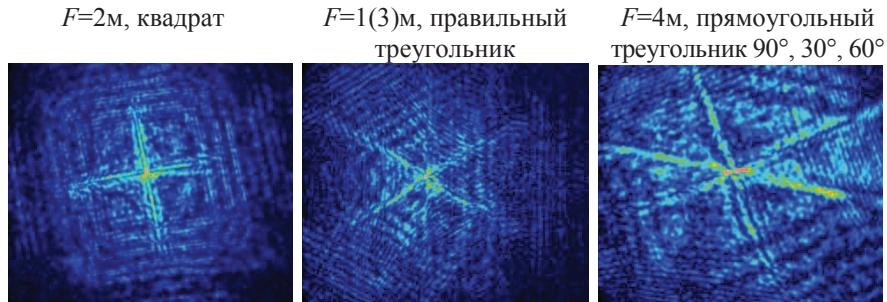
Рис. 4. Зонные пластинки с закрытыми четными и нечетными зонами

зонные пластинки с различными фокусными расстояниями с открытыми четными и нечетными зонами (рис. 4). Пластинки по очереди закреплялись в пучке от Nd:YLF лазера. При помощи CCD камеры, установленной на различных расстояниях от пластинки, мы наблюдали процесс фокусировки лазерного излучения. Качество фокусировки определялось близостью диаметра фокального пятна к теоретическому (дифракционному) пределу, рассчитываемому по формуле  $d = 2,44 \frac{\lambda}{D} F$ . Размер реального пучка в фокальной перетяжке не может быть меньше этой величины. Качество изготовленных пластинок Френеля мы могли оценить по отношению размеров сфокусированных ими в экспериментах лазерных пучков к соответствующим предельным значениям, определяемым дифракцией. Для частного случая  $f = 1\text{м}$  была снята фокусировка лазерного излучения линзой того же фокусного расстояния. Наблюдение показало, что, несмотря на низкое качество пластинки, неполную прозрачность пленки и частичную прозрачность закрашенных принтером зон, размер фокального пятна после пластинки близок к дифракционному пределу или размеру пятна после линзы (рис. 5) (размер пучка света в фокусе составил примерно 1,1 от дифракционного предела). Аналогичные результаты мы получили для остальных изготовленных нами пластинок.

Не всегда электромагнитное излучение необходимо фокусировать в точку. Например, если пучок света проходит через экран, состоящий из чередующихся прозрачных и непрозрачных полос, границы которых подчиняются условию  $r_n = \sqrt{F \cdot n \cdot \lambda}$ , где  $r_n$  – расстояние от центральной оси до края полосы, то на некотором расстоянии ( $F$ ) от экрана лазерное излучение сфокусируется в прямую линию. Чередующиеся темные и прозрачные полосы играют роль зон Френеля по аналогии с кольцами, рассмотренными ранее. Полученный результат можно распространить на случай многоугольных по форме зон. Если изготовить экран, состоящий из последовательно чередующихся прозрачных и непрозрачных многоугольных полос, стороны которых находятся на расстоянии  $r_n$  до некоторой точки  $O$ , то такой экран также будет фокусировать свет. Фокусировка в данном случае будет значительно слабее, чем для зонной пластинки с зонами в форме колец, так как соответственные стороны многоугольников фокусируют свет не в точку, а в отрезки прямых. В пересечении этих отрезков будет наблюдаться максимальная интенсивность излучения.



**Рис. 5.** Обработанные результаты с камеры



**Рис. 6.** Фокусировка лазерного излучения зонными пластинками в форме многоугольников

Мы рассчитали и изготовили пластиинки в форме правильного треугольника с углами  $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  и квадрата. Затем наблюдали дифракцию света на этих пластиинках. Мы увидели четкую фокусировку, при-

чем, как и ожидалось, свет фокусировался не в пятно, как при использовании обычной фазовой пластинки или линзы, а в несколько лучей, исходящих из одной точки (каждая сторона многоугольника фокусировала излучение в отрезок, параллельный ей) (рис. 6).

Таким образом, нам удалось при использовании рассчитанных и изготовленных с помощью обычного принтера зонных пластинок экспериментально получить фокусировку излучения до размера, составляющего примерно 1,1 от дифракционного предела, что почти не уступает по качеству фокусировке от сферической линзы. Кроме того, мы теоретически доказали возможность использования пластиинок многоугольной формы, а также экспериментально продемонстрировали фокусировку с их помощью лазерного излучения. Легкость, компактность и возможность работы в широком спектре излучения делают во многих случаях использование зонной пластиинки Френеля гораздо более предпочтительным, чем применение линз.

### **Литература**

1. *Ландсберг Г.С.* Оптика. 6-е изд. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
2. *Транковский С.Д.* Зонная пластиинка Френеля // Наука и жизнь. 2009. № 5. С. 110 – 111.

## Диагностика режимов генерации фемтосекундного лазера

Горчаков Михаил

10 класс

Научный руководитель К.Ф. Бурдонов,  
младший научный сотрудник ИПФ РАН



*В работе рассмотрен метод диагностики режимов генерации фемтосекундного генератора (ФЗГ) при помощи дисперсионных оптических элементов. ФЗГ способен работать в непрерывном и импульсном режимах, отличающихся по спектральному составу лазерного излучения. Дисперсионный элемент позволяет оценить ширину спектра излучения ФЗГ и определить режим его работы.*

Одним из интенсивно развивающихся направлений лазерной физики в последние годы является создание лазерных комплексов сверхвысокого уровня мощности излучения [3]. В Нижнем Новгороде в ИПФ РАН создана субпетаваттная лазерная система PEARL, основанная на оптическом параметрическом усилении световых импульсов [1]. Как и во всех сверхмощных лазерных системах, в ней используется способ усиления chirped-pulse amplification – CPA) [2]. Основным достоинством способа CPA является возможность усиливать лазерные импульсы до петаваттного уровня без особого риска оптического пробоя материала усилителя.

Стартовым элементом в схеме CPA является фемтосекундный за дающий генератор. В лазерной установке PEARL используется хромфорстеритовый лазер, излучающий импульсы длительностью 50 фс с центральной длиной волны  $\lambda_0 = 1250$  нм. ФЗГ способен генерировать лазерное излучение в импульсном и непрерывном режимах. В импульсном режиме генератор работает по принципу пассивной синхронизации мод [4], и в случае спектральной ограниченности лазерного импульса ширина его спектра обратно пропорциональна длительности:

$$\tau = \frac{4\ln 2}{\Delta\omega}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – длительность импульса, а  $\Delta\omega$  – ширина спектра. В непрерывном режиме генерация происходит на одной длине волны  $\lambda_0$ .

Для реализации способа CPA необходимо, чтобы ФЗГ работал в импульсном режиме. Факт работы в импульсном режиме обычно

детектируется при помощи сканирующих автокорреляторов или спектрометров – дорогостоящих приборов, требующих предварительной настройки. Однако спектр излучения можно оценить, используя обычный дисперсионный оптический элемент, например, стеклянную призму или дифракционную решетку. Вследствие явления дисперсии свет с разными длинами волн будет по-разному преломляться или отражаться – в случае с решеткой. В импульсном режиме фемтосекундный лазер излучает в некотором диапазоне длин волн, каждой из которых соответствует свой угол преломления, поэтому при прохождении света через дисперсионный элемент будет наблюдаться уширение лазерного пучка. В непрерывном режиме не будет уширения пучка после призмы или решетки. Цель работы состоит в том, чтобы найти простой метод определения режимов генерации ФЗГ с помощью дисперсионного элемента.

Первая часть нашей работы состояла в нахождении наиболее подходящего для реализации предложенного метода дисперсионного элемента. В нашем распоряжении были стеклянная призма и дифракционная решетка. Для того чтобы оценить, насколько заметно расхождение лазерных пучков с разными центральными длинами волн при прохождении через дисперсионный элемент, мы светили на призму и решетку красной и зеленой лазерными указками с  $\lambda_0 = 640$  нм и  $\lambda_0 = 535$  нм соответственно. Эксперимент показал, что расхождение лазерных пучков более заметно у дифракционной решетки, чем у стеклянной призмы. Для предложенного метода мы выбрали дифракционную решетку, так как в этом случае инсталляция будет компактнее.

Во второй части работы мы реализовали метод определения режимов работы ФЗГ. Схема эксперимента представлена на рисунке 1. Под углом  $\alpha$  к излучению, идущему из фемтосекундного задающего генератора, располагается дифракционная решетка. На расстоянии  $L$  от точки падения лазерного пучка на решетку уста-

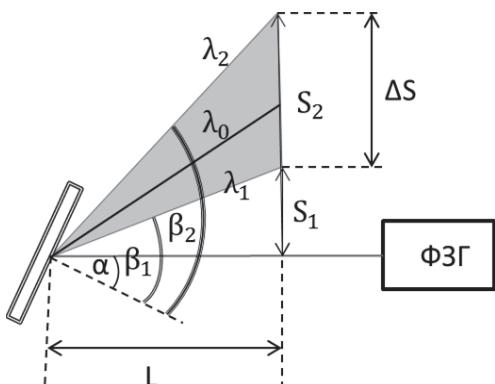
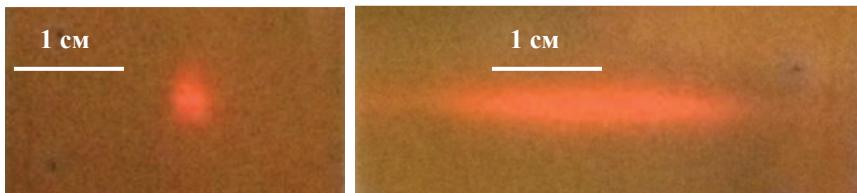


Рис. 1. Схема эксперимента

новлен визуализатор инфракрасного излучения, с помощью которого мы регистрировали режим генерации ФЗГ по виду отраженного от дифракционной решетки пучка.

В непрерывном режиме генерации лазер излучает на одной длине волны, и мы наблюдаем на визуализаторе одну точку (рис. 2 слева). В импульсном режиме генерации наблюдается пространственное разложение спектральных составляющих лазерного излучения (рис. 2 справа).



**Рис. 2.** Отображение на визуализаторе лазерного излучения после дифракционной решетки в непрерывном режиме работы ФЗГ (слева) и в импульсном режиме (справа)

Считая, что в импульсном режиме ФЗГ излучает спектрально ограниченные импульсы, по формуле (1) можно оценить их длительность, измерив ширину и крайние положения полосы излучения на визуализаторе. Формула для вычисления длительности фемтосекундного лазерного импульса имеет следующий вид:

$$\tau = \frac{2 \ln 2 \cdot d \cdot (\sin \alpha + \sin(\tan^{-1}(\frac{S_1}{L}) + \alpha)) \cdot (\sin \alpha + \sin(\tan^{-1}(\frac{S_2}{L}) + \alpha))}{\pi \cdot c \cdot ((\sin \alpha + \sin(\tan^{-1}(\frac{S_1}{L}) + \alpha)) - (\sin \alpha + \sin(\tan^{-1}(\frac{S_2}{L}) + \alpha))), \quad (2)}$$

где  $d$  – период дифракционной решетки,  $c$  – скорость света, а  $\alpha$ ,  $L$ ,  $S_1$  и  $S_2$  представлены на рисунке 1. Мы провели измерения для трех разных расстояний  $L$ , результаты измерений и вычисленные длительности импульсов приведены в таблице.

*Таблица.* Результаты эксперимента

№ измерения	$L$ , мм	$\Delta S$ , мм	$\Delta \lambda$ , нм	$\lambda_0$ , нм	$\tau$ , фс	$\varepsilon \tau$ , %
1	300	41	52	1246	44	7
2	500	67	51	1244	45	5
3	700	95	52	1248	45	5

Длительность фемтосекундных лазерных импульсов рассматриваемого ФЗГ, измеренная с помощью автокоррелятора, составляет 50 фс. Расхождение с нашими измерениями на 10% можно объяснить. Во-первых, мы вычисляли длительность импульса в предположении, что он спектрально ограничен, однако реальность может быть иной, и формула (1) будет не совсем верна. Во-вторых, в силу быстрой насыщаемости визуализатора инфракрасного излучения довольно сложно определить уровень интенсивности засветки, по которому будет правильней оценивать ширину полосы.

Таким образом, в работе был реализован метод диагностики режимов генерации фемтосекундного задающего генератора при помощи дисперсионного оптического элемента – дифракционной решетки. Метод позволяет однозначно отличить импульсный и непрерывный режим генерации, а также измерить ширину спектра излучения в импульсном режиме. Недостатком метода является достаточно большая погрешность измерения спектра, но метод можно усовершенствовать, используя вместо визуализатора прибор ночного видения, а также учитывая при вычислении спектра факт наличия фазовой модуляции.

### Литература

1. Lozhkarev V.V., Ginzburg V.N., Katin E.V., Khazanov E.A., Kirsanov A.V., Luchinin G.A., Mal'shakov A.N., Martyanov M.A., Palashov O.V., Poteomkin A.K., Sergeev A.M., Shaykin A.A., Yakovlev I.V. Compact 0,56 petawatt laser system based on optical parametric chirped pulse amplification in KD\*P crystals // Laser Phys. Lett., 2007. 4. P. 7.
2. Strickland D., Mourou G. Compression of amplified chirped optical pulses // Opt. Commun. 1985. 56. 219.
3. Коржиканов А.В., Гоносков А.А., Хазанов Е.А., Сергеев А.М. Горизонты петаваттных лазерных комплексов // УФН. 2011. 181. С. 9 – 32.
4. Крюков П.Г. Лазеры ультракоротких импульсов // Кvant. Электроника. 2001. 31(2). С. 95 – 119.

# Разработка оптоакустического генератора ультразвуковых импульсов

Демидов Даниил

9 класс

Научный руководитель П.В. Субочев, канд. физ.-мат.наук, научный сотрудник ИПФ РАН



*Работа посвящена изучению оптоакустического (ОА) эффекта и разработке ОА-генератора, обеспечивающего получение акустического импульса максимальной амплитуды при заданном лазерном импульсе. В ходе экспериментов были изготовлены и исследованы различные варианты оптоакустических генераторов. Согласно результатам проведенного анализа наиболее эффективным оказался ОА-генератор на основе углеродных нанотрубок, позволивший достичь наибольшей пиковой мощности ОА-импульсов.*

Оптоакустика – область научных знаний, охватывающая эффекты возбуждения звука лазерным импульсом или модулированным по интенсивности световым пучком. Акустический импульс, распространяющийся из области, поглотившей оптическую энергию, – одно из основных проявлений эффекта взаимодействия лазерного излучения с веществом [1].

При оптоакустической (ОА) генерации звука лазерный пучок вызывает нестационарный нагрев поглощающей среды, приводящий к ее неравномерному расширению и генерации акустических волн. Если излучение лазера падает из непоглощающей на сильно поглощающую среду, можно считать, что от границы раздела фаз перпендикулярно к ней расходятся два акустических импульса. Акустический импульс, полученный под действием лазерного излучения, можно сделать компактным: длительность акустического и лазерного импульсов может быть одинаковой, но из-за разницы в скорости распространения звука и света они занимают различное положение в пространстве.

Оптоакустический эффект имеет практическое применение в комплексной экспресс-диагностике жидких образцов и создании мощного дистанционно возбуждаемого источника звука. Облучение лазерными импульсами наносекундной длительности поглощающих субмикронных пленок позволяет генерировать компактные ОА импульсы с частотами порядка десятков и даже сотен МГц, тогда как достижение сходных частот традиционными способами возбуждения ультразвука затруднительно. Таким образом, использование опто-

акустического эффекта представляется перспективным для генерации высокочастотных зондирующих ультразвуковых импульсов, например, для создания новых УЗИ-аппаратов или ультразвуковых дефектоскопов повышенного пространственного разрешения.

Излучение не может сфокусироваться в одну точку из-за своей волновой природы. Минимальный фокусный объем тем меньше, чем меньше длина волны или чем больше частота. Возможность создания ультразвука очень высокой частоты обеспечивает высокий фокусный выход в случае использования оптоакустических генераторов в виде сферических линз. Фокусный выход в сферических линзах – это отношение давления в фокусе к давлению на сферической поверхности. Выход для данного гармонического частотного компонента может быть рассчитан по формуле [2]:

$$G = \frac{2\pi f}{c_0} r \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{4f n^2}}\right),$$

где  $f$ ,  $c_0$ ,  $r$  и  $f_N$  – соответственно акустическая частота, адиабатическая скорость звука, радиус кривизны, а  $f$  – число, которое определяется отношением радиуса кривизны к диаметру линзы.

Мы использовали лазер с длиной волны 532 нм, частотой повторения импульсов 10 Гц, длительностью импульса 25 нс и с максимальной энергией в импульсе 5 мДж, а также сферический датчик давления. В серии проведенных экспериментов излучение падало на полусферу с радиусом 7,5 мм. Подставляя это значение и частоту 15 МГц в приведенную выше формулу, получим увеличение амплитуды в фокусе на величину порядка 500.

В качестве поглощающего вещества была использована затвердевшая эпоксидная смола с взвешенными в ней частицами различных светопоглощающих веществ (графита, углеродных нанотрубок, черного колера). Сферическую поверхность получили, вставляя металлический шар в смесь жидкой эпоксидной смолы и отвердителя.

Установка по измерению ультразвуковых импульсов состояла из сферического пьезоприемника с максимальной частотой 30 МГц, в фокусе которого находился участок поверхности исследуемого образца. Образец помещался в дистиллированную воду. Луч лазера на YAG

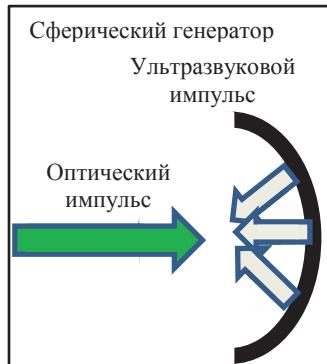


Рис. 1. Лазерная генерация ультразвуковых импульсов

$\text{Nd}^{3+}$  с каскадным умножением частоты во вторую гармонику падал на образец, пройдя через жгут из волоконных световодов. Незначительная часть света направлялась на фотодиод. Электрический импульс от фотодиода запускал цифровой осциллограф, обеспечивая синхронизацию. Энергия световых импульсов, с помощью которых осуществлялась оптоакустическая генерация, составляла порядка 1 мДж. С пьезоприемника сигнал подавался на осциллограф и записывался. Акустический сигнал нормировался на максимум оптической энергии.

При помощи сферического датчика давления измерялся оптоакустический импульс от поверхности каждого образца для выявления генератора, позволяющего достичь наибольшей амплитуды сигнала. При этом мы получили временные осциллограммы (рис 2).

Проведенный анализ показал, что генератор с колером оказался слишком неоднороден для его практического использования при создании фокусирующих оптико-акустических систем. Генератор с графитом обладал сравнительно низким коэффициентом поглощения света по сравнению с генератором из углеродных нанотрубок, о чем свидетельствовала большая длительность оптико-акустических импульсов и меньшие их амплитуды. Таким образом, ОА-сигналы наибольшей амплитуды могут быть получены при помощи генератора с углеродными нанотрубками. Однако, для обеспечения максимальной пиковой амплитуды ОА-импульсов необходимо минимизировать длительность этих импульсов. Мы рассмотрели эффект уширения ОА-импульсов по сравнению с исходной длительностью лазерных импульсов, описали различные механизмы уширения ОА-импульсов теоретически и предложили способы практического устранения эффектов уширения. Для этого были рассмотрены различные эффекты, влияющие на пространственные масштабы ОА-импульсов: конечность полосы датчика (30 МГц), конечность лазерного импульса (30 нс), теплопроводность, конечность оп-

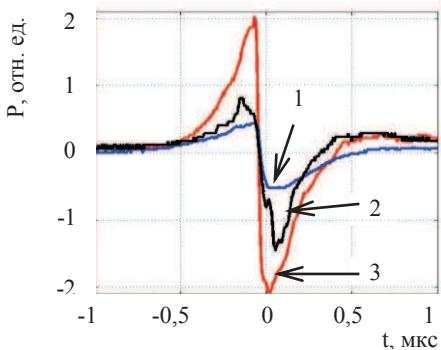


Рис. 2. Полученные временные осциллограммы ОА-импульсов: 1 – генератор с графитом, 2 – генератор с колером, 3 – генератор с углеродными нанотрубками

тического поглощения материалов. Согласно расчетам, первые три эффекта в сумме дают «размытие» импульса до 100 мкм.

Увеличение характерного пространственного масштаба импульса из-за конечности поглащающего слоя можно оценить как  $\alpha^{-1}$ , где  $\alpha$  – коэффициент поглощения света. Подставляя коэффициент поглощения света углеродных нанотрубок ( $1,08 \times 10^7 \text{ м}^{-1}$ ) [5], получим характерный масштаб «размытия», равный 0,1 мкм. Однако экспериментально мы регистрировали увеличение характерного пространственного масштаба импульса до 250 мкм. Коэффициент поглощения света мог существенно уменьшиться из-за использования нанотрубок не в чистом виде, а их взвеси в затвердевшей эпоксидной смоле.

**Выводы.** В ходе работы изготовлены и исследованы различные варианты оптоакустических генераторов, проведен анализ временных осцилограмм. Генератор с углеродными нанотрубками позволил достичь удовлетворительного качества поглащающей поверхности и наибольшей амплитуды ОА-импульсов при наименьшей длительности (наименьшей глубине засветки). Полученные результаты могут быть значительно улучшены при помощи увеличения концентрации поглащающего вещества, подбора нанотрубок с повышенным коэффициентом оптического поглощения или длины волны лазера под максимум поглощения нанотрубок, повышения коэффициента теплового расширения материала-носителя, точности в изготовлении полусферы, уменьшения толщины поглотителя (для более компактных импульсов), увеличения или уменьшения теплопроводности контактной жидкости.

### Литература

1. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. – М.: Наука, 1991.
2. Hyoung Won Baac. Optical Generation and Detection of High-Frequency Focused Ultrasound and Associated Nonlinear Effects. 2012.
3. Hyoung Won Baac, Jong G. Ok, Hui Joon Park, Tao Ling, Sung-Liang Chen, John Hart & L. Jay Guo. Carbon nanotube composite optoacoustic transmitters for strong and high frequency ultrasound generation. 2010.
4. Hyoung Won Baac, Jong G. Ok, Adam Maxwell, Kyu-Tae Lee, Yu-Chih Chen, A. John Hart, Zhen Xu, Euisik Yoon, L. Jay Guo. Carbon-Nanotube Optoacoustic Lens for Focused Ultrasound Generation and High-Precision Targeted Therapy. Scientific Reports. <http://www.nature.com/srep/2012>.
5. Грудзинская И.С., Косаковская З.Я., Овчинников О.Б., Чабан И.А. Оптоакустический эффект в плотных слоях ориентированных углеродных нанотрубок: использование его для измерения коэффициента поглощения света и толщин пленок // Акустический журнал. 2006. Т. 52. № 3. С. 330 – 334.

# **Исследование процесса формирования резонансных конусов в слабоионизированной магнитоактивной плазме**

**Ермилин Елисей**

**9 класс**

**Научный руководитель В.В. Назаров,  
младший научный сотрудник ИПФ РАН**



*Целью настоящей работы является исследование возможностей диагностики околоземной плазмы с помощью метода резонансных конусов, который позволяет проводить локальные абсолютные измерения концентрации плазмы с высокой точностью. Данный метод основан на изучении резонансных особенностей диаграммы направленности электромагнитных источников в магнитоактивной плазме.*

На протяжении многих лет с целью изучения параметров околоземной плазмы активно проводятся спутниковые миссии. Данные исследования проводятся для мониторинга состояния околоземного пространства, а также для изучения разнообразных физических процессов, развивающихся в ионосфере и магнитосфере Земли (электромагнитных неустойчивостей, взаимодействия с солнечным ветром и пр.). Существует достаточно много методов, позволяющих проводить локальные измерения концентрации плазмы с борта космических аппаратов, однако большинство из них не позволяет восстановить абсолютные значения концентрации плазмы и, соответственно, требует дополнительной калибровки. Кроме того, осаждение частиц плазмы на корпус космического аппарата приводит к систематическим ошибкам в измерениях концентрации фоновой плазмы.

При использовании метода резонансных конусов для диагностики околоземной плазмы необходимо размещать оборудование на космических аппаратах, которые двигаются относительно фоновой плазмы со скоростями порядка 8 – 10 км/с ( $V_{\text{сп}} \approx 10^6$  см/с). Важно отметить, что, как и любой другой резонансный эффект, процесс формирования резонансных конусов требует определенного времени. Соответственно, на данный момент остается открытым вопрос, успеет ли сформироваться диаграмма направленности излучающей антенны за время пролета спутника через исследуемую область.

Плазма – частично или полностью ионизированный газ, образованный из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц

(ионов и электронов). «Ионизированный» означает, что от электронных оболочек значительной части атомов или молекул отделен по крайней мере один электрон. «Квазинейтральная» означает, что несмотря на наличие свободных зарядов (электронов и ионов), объемные плотности положительных и отрицательных заряженных частиц, из которых образована плазма, оказываются почти одинаковыми, а суммарный электрический заряд плазмы приблизительно равен нулю. Присутствие свободных электрических зарядов делает плазму проводящей средой, что обуславливает ее заметно большее (по сравнению с другими агрегатными состояниями вещества) взаимодействие с магнитным и электрическим полями.

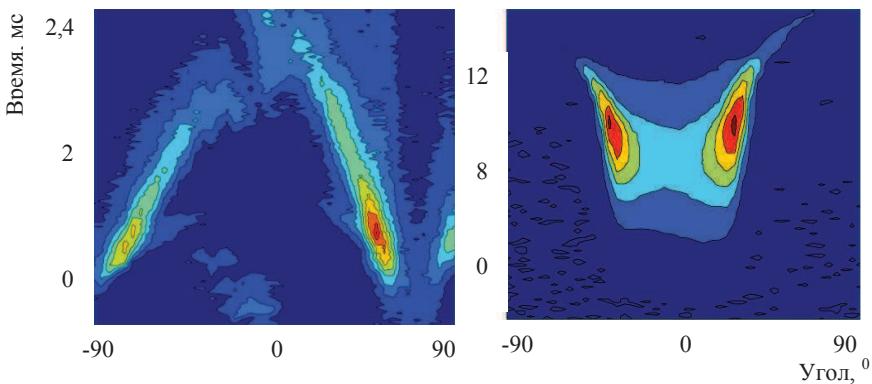
Чтобы газ перешел в состояние плазмы, его необходимо ионизировать. Степень ионизации пропорциональна числу атомов, отдавших или поглотивших электроны, и больше всего зависит от температуры. Степень ионизации  $\alpha$  определяется как  $\alpha = n_i/(n_i + n_a)$ , где  $n_i$  – концентрация ионов, а  $n_a$  – концентрация нейтральных атомов. Концентрация свободных электронов в незаряженной плазме  $n_e$  определяется соотношением:  $n_e = \langle Z \rangle n_i$ , где  $\langle Z \rangle$  – среднее значение заряда ионов плазмы.

Для низкотемпературной плазмы (температура меньше миллиона К) характерна незначительная степень ионизации (до 1 %). Горячая плазма (температура, равная миллиону К и выше) почти всегда полностью ионизирована (степень ионизации  $\sim 100\%$ ).

В плазме, находящейся в постоянном внешнем магнитном поле  $B_0$ , при заданной частоте  $\omega$  и угле  $\varphi$  между волновым вектором  $k$  и полем  $B_0$ , существуют две волны с разными показателями преломления  $n$ . В некоторых диапазонах частот (верхнегибридный диапазон –  $\max(\omega_{Pe}, \omega_{He}) < \omega < \sqrt{\omega_{Pe}^2 + \omega_{He}^2}$ ) и нижнегибридный диапазон –  $\sqrt{\Omega_{Pi}\Omega_{Hi}} < \omega < \min(\omega_{Pe}, \omega_{He})$ , где  $\omega_{Pe}, \omega_{He}$  – плазменная электронная частота и электронная гирочастота,  $\Omega_{Pi}, \Omega_{Hi}$  – плазменная ионная частота и ионная гирочастота), показатель преломления одной из волн может обращаться в бесконечность ( $n \rightarrow \infty$ ) при стремлении угла  $\varphi$  к некоторому значению  $\varphi = \varphi_r$ . В этом случае компоненты поля, возбуждаемого в плазме электромагнитными источниками, имеют резонансные особенности на конусах, берущих начало в области источников. Образующие таких резонансных конусов составляют угол  $\theta = \pi/2 - \varphi_r$  с внешним магнитным полем  $B_0$ . Направ-

ление, отвечающее углу  $\theta_r$  – резонансное направление. На высоких частотах  $\omega$ , когда движением ионов плазмы под действием поля волны можно пренебречь, величина  $\theta_r$  определяется только частотой  $\omega$ , гирочастотой  $\omega_h = eB_0/mc$  и плазменной частотой электронов  $\omega_p = (4\pi e^2 N/m)^{1/2}$  (где  $e = |e|$ ,  $m$  – абсолютное значение заряда и масса электрона,  $N$  – плотность плазмы). Поэтому, измеряя угол  $\theta_r$ , можно определить параметры плазмы.

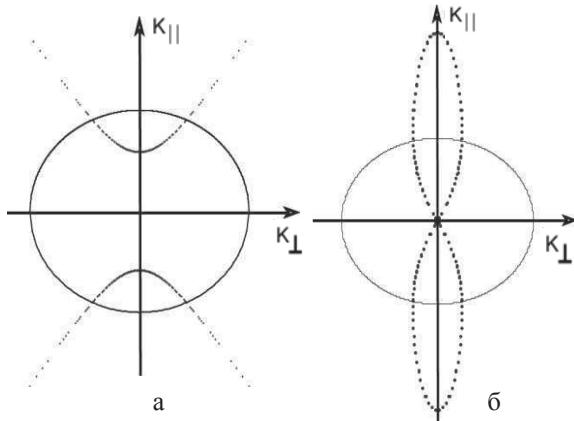
Для экспериментального исследования нами был использован метод лабораторного моделирования околоземной плазмы с учетом параметров подобия. Лабораторное моделирование процесса формирования резонансных конусов проводилось в ИПФ РАН на экспериментальном стенде «Ионосфера». Длина вакуумной камеры – 1,5 м, радиус камеры – 70 см. Эксперименты проводились в вакуумной камере в аргоновой плазме, плазма создавалась в импульсном режиме. В ходе экспериментов сигнал с генератора по кабелю подводился к излучающей антенне. Далее сигнал, принятый приемной антенной, обрабатывался, подавался на осциллограф и записывался на компьютер.



а – верхнегибридный диапазон частот:  
магнитное поле  $H = 83 \text{ Г}$ ;  
частота  $\omega = 300 \text{ МГц}$ ;  
концентрация плазмы  $N = 6,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$   
б – нижнегибридный диапазон частот:  
магнитное поле  $H = 210 \text{ Г}$ ;  
частота  $\omega = 300 \text{ МГц}$ ;  
концентрация плазмы  $N = 2,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$

Рис. 1. Диаграмма направленности излучающей антенны

На рисунке 2 пунктирной линией изображены теоретически рассчитанные поверхности волновых векторов в нижнегибридном и верхнегибридном диапазонах. Окружность показывает, с каким волновым числом волны могут излучаться антенной.



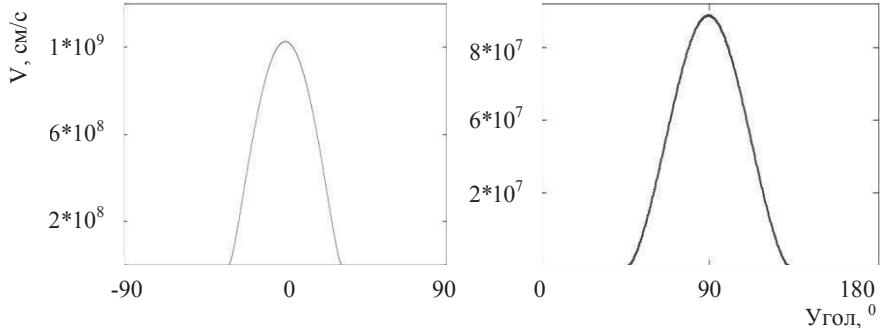
а – нижний гибридный диапазон:  
магнитное поле  $H = 210 \text{ Гц}$ ;  
частота  $\omega = 300 \text{ МГц}$ ;  
концентрация плазмы  $N = 2,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$

б – верхний гибридный диапазон:  
магнитное поле  $H = 83 \text{ Гц}$ ;  
частота  $\omega = 300 \text{ МГц}$ ;  
концентрация плазмы  $N = 6,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$

**Рис. 2.** Теоретический расчет поверхности волновых векторов

Зависимость групповой скорости от угла:

$$t_{H\Gamma}^{xap} = \frac{L}{V_{gr}^{H\Gamma}} = \frac{5}{2 \times 10^8} = 250\mu\text{s}; \quad t_{B\Gamma}^{xap} = \frac{L}{V_{gr}^{B\Gamma}} = \frac{5}{2 \times 10^7} = 250\mu\text{s}.$$

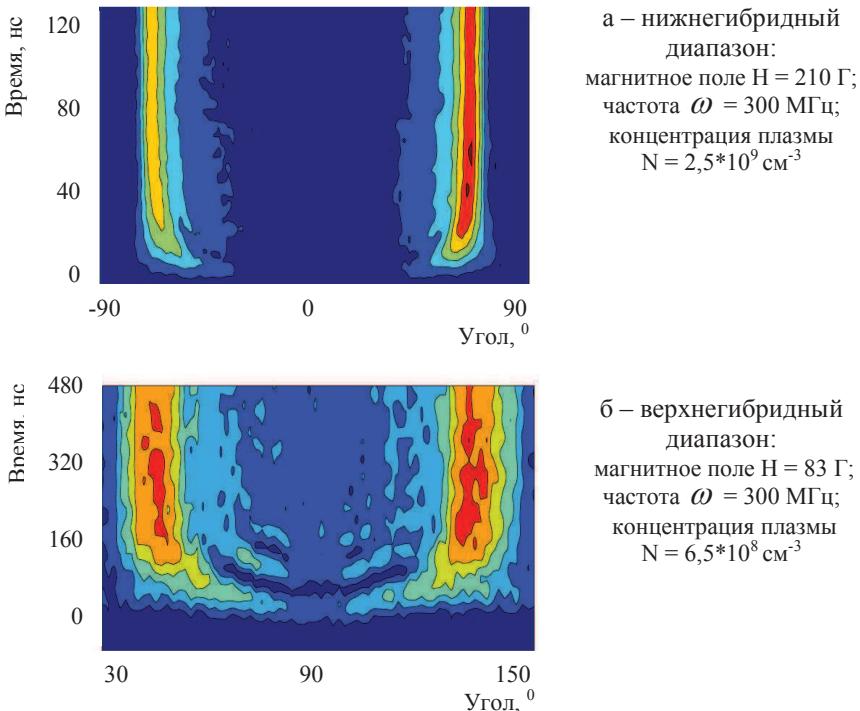


а – нижний гибридный диапазон:  
магнитное поле  $H = 210 \text{ Гц}$ ;  
частота  $\omega = 300 \text{ МГц}$ ;  
концентрация плазмы  $N = 2,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$

б – верхний гибридный диапазон:  
магнитное поле  $H = 83 \text{ Гц}$ ;  
частота  $\omega = 300 \text{ МГц}$ ;  
концентрация плазмы  $N = 6,5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$

**Рис. 3.** Характерная зависимость от угла групповой скорости волн, излучаемых антенной

Учитывая, что резонансные конусы формируют медленные квазиэлектростатические волны, можно оценить характерное время формирования резонансных конусов. В верхнегибридном диапазоне частот получается 250 нс, а в нижнегибридном – примерно 25 нс. Эксперименты проводились при включении генератора в импульсном режиме. 0 по вертикальной оси – это момент включения генератора.



**Рис. 4.** Процесс формирования резонансных конусов

В ходе проделанной работы было экспериментально найдено характерное время формирования резонансных конусов.

*Таблица.* Характерное время формирования резонансных конусов

Диапазон частот	Экспериментальные расчеты	Теоретически предсказанное время
Верхнегибридный	200 нс	250 нс
Нижнегибридный	30 нс	25 нс

Результаты экспериментальной работы в целом согласуются с теоретическими расчетами. Поэтому можно теоретически оценить характерную скорость формирования резонансных конусов в космической плазме. Рассмотрим характерное расстояние, на котором летают спутники (порядка 500 км). На данной высоте концентрация плазмы составляет  $N \approx 10^6 \text{ см}^{-3}$ , магнитное поле  $H \approx 0,37 \text{ Г}$ , характерная скорость  $V_{rp} \approx 5 \times 10^6 \text{ см/с}$ . При измерении резонансных конусов в околоземной плазме с борта космических аппаратов характерная скорость формирования резонансных конусов становится сравнимой со скоростью движения спутника. В таком случае резонансные конусы, возбуждаемые и принимаемые антеннами, установленными на космическом аппарате, не успевают сформироваться и, соответственно, результаты измерения параметров околоземной плазмы с помощью данного метода могут быть ошибочными.

### **Литература**

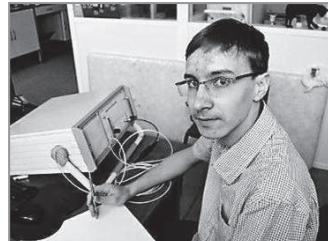
1. Костров А.В., Лучинин Г.А., Пермитин Г.В., Мтародубцев М.В. Перенос излучения в резонансных направлениях в магнитоактивной плазме. Препринт № 598. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 2002. – 20 с.
2. Костров А.В., Кудрин А.В., Шайкин А.А. Определение параметров магнитоактивной плазмы по резонансным конусам электромагнитных источников. Лабораторная работа. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 1999. – 19 с.

## **Повышение информативности изображений бумаги, полученных методом оптической когерентной томографии (ОКТ)**

Ермолаев Артем

11 класс

Научный руководитель П.Д. Агрба, канд. физ.-мат. наук, мл. научный сотрудник ИПФ РАН



*В работе методом ОКТ был исследован эффект просветления различных типов бумаги и проведена последующая программная обработка полученного ОКТ-изображения, позволяющая снизить уровень спектр-шума путем пространственного сглаживания или усреднения по набору реализаций. Для более детальной интерпретации полученных эффектов в работе реализовано моделирование формирования ОКТ-изображения бумаги методом Монте-Карло. Результаты, полученные численным моделированием, качественно согласуются с результатами физического эксперимента.*

Оптическая когерентная томография (ОКТ) является методом наблюдения внутренней структуры сильно рассеивающих объектов на глубинах до единиц миллиметров с разрешением до единиц микрон [2, 3, 5]. Основной областью применения метода ОКТ, основанного на принципе низкокогерентной интерферометрии, является биомедицинская диагностика, однако данный метод может быть успешно использован и для визуализации структуры других рассеивающих объектов (бумага, керамика и т.п.). Основным элементом установки является интерферометр Майкельсона, который позволяет выделить ОКТ-сигнал, пришедший с определенной глубины [1], и получить зависимость интенсивности рассеиваемого сигнала от глубины (А-скан). Из набора А-сканов путем поперечного сканирования зондирующим лучом можно получить двумерную внутреннюю структуру исследуемого объекта (В-скан).

Интенсивность ОКТ-сигнала определяется долей зондирующего излучения, рассеянного назад. Рассеяние света происходит на границах с резким изменением показателя преломления, и оно тем больше, чем больше это изменение. При наличии сильно рассеивающей области на поверхности объекта информация о его внутренней структуре может быть «скрыта» из-за незначительного уровня зондирующего сигнала, проходящего в более глубокие области, и «за-

мытия» ОКТ-сигнала из глубоких областей многократно рассеянными фотонами надлежащих областей. Для получения информации о более глубоко расположенных слоях объекта может быть использовано оптическое просветление. Для просветления рассеивающих сред необходимо уменьшить «скачок» показателя преломления, что приводит к уменьшению рассеяния.

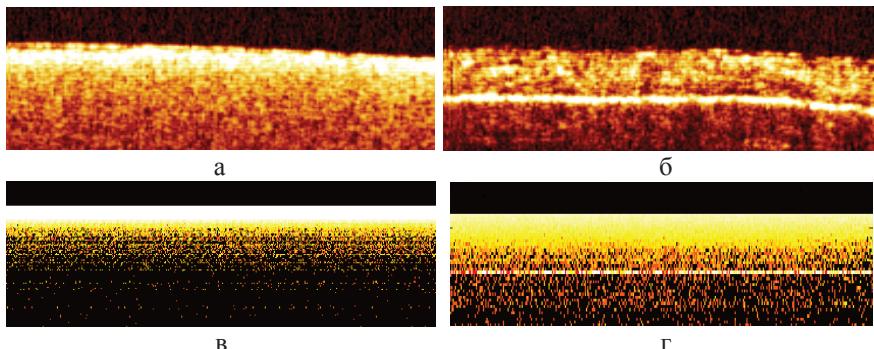
В качестве объекта исследования была выбрана бумага. Она состоит из спрессованных волокон целлюлозы ( $n=1,53$ ) с воздушными полостями и является сильно рассеивающим объектом в видимом диапазоне длин волн. В качестве просветляющего агента был использован глицерин с показателем преломления  $n=1,47$ . В качестве опорного объекта для контроля нижней границы бумаги использовалась фольга.

Для получения ОКТ-изображений зонд размещался на поверхности бумаги. Сначала получалось изображение листа сухой бумаги, затем на ее поверхность наносили несколько микролитров глицерина. После впитывания раствора в бумагу получалось ОКТ-изображение объекта при просветлении.

Для более детального описания эффекта просветления бумаги было реализовано моделирование процесса методом Монте-Карло. Метод Монте-Карло – это численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин. В работе с помощью стандартного оператора случайных величин рассчитывались случайная длина свободного пробега фотона, направление рассеяния, вероятность его поглощения. В случае, когда фотон достигает границы раздела сред, по формулам Френеля рассчитывается вероятность отражения. Если фотон не отражается, значит он проходит сквозь границу, причем угол преломления связан с углом падения в соответствии с законом Снеллиуса. Итерации продолжаются до тех пор, пока фотон не попадет в область приемника, поглотится, либо уйдет в отдаленные области среды.

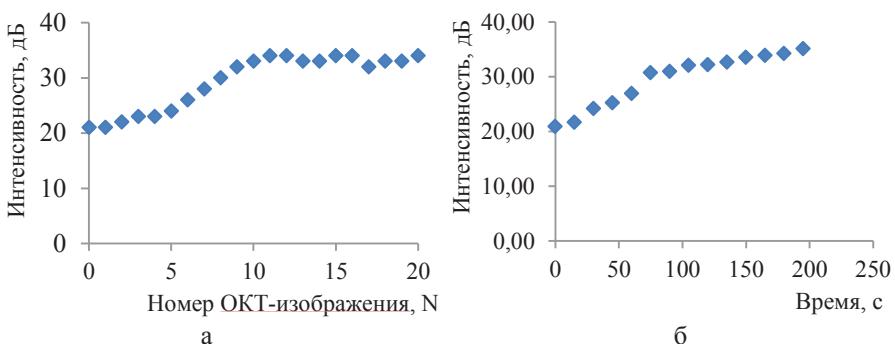
Для численной реализации эксперимента из дополнительных источников [4] были взяты численные значения для коэффициентов поглощения и рассеяния сухой бумаги, а также средний показатель преломления ( $\mu_a = 0,0005 \text{ 1/мкм}$ ,  $\mu_s = 0,23 \text{ 1/мкм}$ ,  $n = 1,56$ ), в том числе при условии заполнения полостей просветляющим агентом (для глицерина  $\mu_s = 0,0005 \text{ 1/мкм}$ ;  $\mu_a = 0,046 \text{ 1/мкм}$ ). Толщина бумаги принималась равной 100 мкм. При просветлении воздушные полости

считались полностью заполненными просветляющим агентом. На рисунке 1 приведены ОКТ-изображения экспериментальные и полученные методом численного моделирования для сухой бумаги и после просветления.



**Рис. 1.** Экспериментальные ОКТ-изображения бумаги для печати до просветления (а), после просветления глицерином (б).

ОКТ-изображения, полученные методом численного моделирования до просветления (в) и после просветления глицерином (г)



**Рис. 2.** Зависимость величины ОКТ-сигнала отраженного от фольги от времени в эксперименте (а) и численном моделировании при разной объемной доле глицерина (б)

Экспериментальные и полученные методом Монте-Карло ОКТ-изображения имеют качественно схожую структуру. В случае непросветленной бумаги наблюдается монотонно спадающий с глубиной сигнал. Отсутствие сигнала от фольги объясняется «замытием» нижних слоев сигнала многократно рассеянными фотонами. После про-

светления, то есть снижения рассеяния в бумаге, в обоих случаях наблюдается выделение ОКТ-сигнала, соответствующего фотонам, отраженным от фольги.

Для оценки динамики просветления был проведен эксперимент по непрерывному наблюдению проникновения глицерина в бумагу для печати. На рисунке 2а приведена зависимость величины ОКТ-сигнала, отраженного от фольги, от времени. За точку отсчета времени принимается момент, в который появляется отраженный от фольги сигнал. На рисунке 2б приведены результаты аналогичного численного эксперимента.

Считалось, что коэффициент рассеяния бумаги с агентом изменяется линейно со временем. Нами показано, что величина отраженного сигнала в обоих случаях возрастает с течением времени, поэтому предложенная линейная модель заполнения полостей адекватно описывает процесс просветления.

Таким образом, в работе было проведено исследование просветления бумаги. Использование просветляющих агентов позволяет получить более полную информацию о структуре бумаги и подлежащих слоях (фольги). Это может быть использовано, в частности, для контроля качества бумаги в процессе ее производства или для контроля изготовления многослойных структур.

В процессе выполнения работы было также реализовано численное моделирование процесса просветления с помощью метода Монте-Карло. Результаты численного моделирования качественно совпадают с экспериментальными результатами, что косвенно свидетельствует о корректности выбранного механизма рассеяния света внутри объекта. Таким образом, реализованная модель может быть использована для проведения численных экспериментов с измененными параметрами.

### Литература

1. *Bouma B.* Handbook of Optical Coherence Tomography. – CRC Press, 2001. – 756 p.
2. *Paaso J.* Moisture depth profiling in paper using near-infrared spectroscopy // Oulu: VTT Publications, 2007. – 201 p.
3. Гладкова Н.Д., Шахова Н.М., Сергеев А.М. Руководство по оптической когерентной томографии. – М.: Физматлит, Медицинская книга, 2007.
4. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М.: Наука, 1975.
5. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. – М.: Физматлит, 2010. – 488 с.

# **Поведение воды при криогенных температурах.**

## **Эффект заостренного купола**

Михайлова Ирина

11 класс

Научный руководитель А.С. Мухин,  
инженер ЛКН НГТУ им. Р.Е. Алексеева

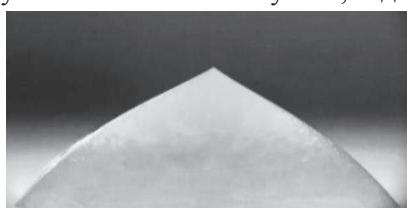


В настоящее время ученые всего мира занимаются изучением свойств жидкостей при низких температурах. Эти исследования необходимы, так как составные части многих технических устройств и сокрушений для нормальной и отлаженной работы требуют охлаждения.

Так, нидерландские ученые в 2011 – 2012 годах заинтересовались необычным для жидкостей эффектом, а точнее, у капли воды, а результаты опубликовали в виде статьи в научном журнале [1]. Они обратили внимание на образование заострения на вершине замороженной капли [2], однако привели лишь экспериментальный материал без каких-либо физических моделей. Цель данной работы заключалась в создании методики и проведении эксперимента по замораживанию капли воды, а также создание теоретической модели наблюдаемого процесса.

Нидерландскими учеными университета города Твента был проведен следующий опыт [1]: они посадили каплю воды, максимально приближенную к куполообразной форме, на золотую подложку, температура которой много ниже температуры замерзания воды. При попадании воды на равномерно охлаждаемую подложку капля начинает покрываться льдом. Фронт распространения льда идет снизу к вершине. Что же происходит на вершине капли, когда вся основная масса замерзла? Вместо того чтобы принять форму начальной капли – купола, ледяная капля продемонстрировала эффект так называемого «заостренного купола». Как это произошло?

Когда капля касается холодной пластины, появляется фронт замерзания, имеющий круглую форму. Далее фронт растет вверх, продвигаясь к вершине капли, а линия фронта становится все бо-



**Рис. 1.** Профиль капли воды под микроскопом

лее изогнутой. В каждый момент времени замерзания оставшаяся жидкая часть находится в виде сферической крышки, на дне которой сравнительно глубокое водяное пространство с куполообразным дном. Известно, что вода расширяется при замерзании, но выяснилось, что она не расширяется в радиальном направлении. Таким образом, когда оставшийся водяной объем становится сравнимым с объемом, вытесняемым при замораживании воды, начинает образовываться заострение. Остаточная видимая водяная часть очень мала, а за счет куполообразного дна у остаточного объема и малой площади незамерзшей воды скачок высоты у вершины явно заметен. Сочетание расширения и удержания объема воды поверхностным натяжением и создает форму «заостренного купола».

Для проведения опыта нам потребовались:

- очищенная вода;
- медная подложка, так как медь является отличным проводником тепла. Медь имеет очень высокую теплопроводность, благодаря которой ее часто используют в теплообменниках – коэффициент теплопроводности чистой меди (99,8%) при 300°К составляет 386 Вт/м×К. Более высокую теплопроводность среди металлов имеет только серебро – 430 Вт/м×К;
- тонкая алюминиевая пленка. Алюминий обладает высокой теплопроводностью – выше теплопроводность среди металлов только у серебра и меди;
- увеличительный микроскоп;
- жидкий азот;
- пенопластовая ванночка. Пенопласти обладают высокими теплоизолирующими свойствами при условии, что температура эксплуатации конкретного вида пенопласта не превышает температуры его деструкции (разрушения, потери структуры);
- видеокамера.

Для проведения опыта мы использовали пенопластовую ванночку, налив в нее жидкий азот (77°К), затем опустили в ванночку гибкий хладопровод, сплетенный из медных проволок. Второй конец хладопровода закрепили на медной подложке. На место, где должна находиться капля, была приклеена алюминиевая пленка. Подложку поместили под камеру микроскопа. Набрали в медицинский шприц чистую воду и поместили каплю воды на алюминиевую пленку под камеру микроскопа. Далее мы наблюдали процесс замерзания капли

воды. Фронт замерзания распространялся от основания капли до ее вершины. На вершине капли мы наблюдали появление острой вершины, причем конечная высота замороженной капли становится больше, чем у изначальной капли воды. Объясним наблюдаемый эффект.

Известно, что при замерзании вода расширяется. Коэффициент расширения воды при замерзании больше единицы. Смачиваемость поверхности алюминиевой пленки плохая, поэтому энергетически выгоднее увеличить объем замораживаемой капли за счет увеличения высоты капли. Вначале человеческий глаз не видит ощутимой разницы в изменении параметров капли, однако когда большая масса капли уже застыла, а на вершине остался такой объем жидкой воды, который сравним с вытесняемым объемом за счет расширения воды при замерзании, мы отчетливо наблюдали резкий скачок высоты столба жидкости. Именно это заострение и наблюдается за счет резкого скачка высоты столба воды.

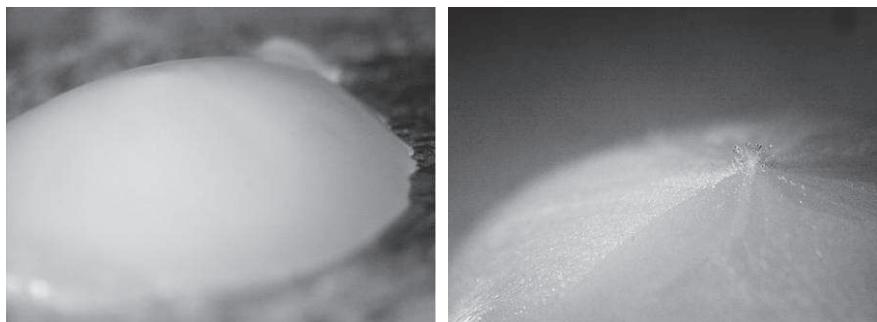


Рис. 2. Изображение капли воды под микроскопом

Мы попытались теоретически описать процесс замерзания капли воды, используя программу Mathcad 14. Данная программа позволяет описать математическим языком каждый этап процесса заморозки и построить графики, которые демонстрируют разницу параметров капли воды и замороженной капли. За начальные данные возьмем радиус капли, количество шагов разбиения всего процесса и коэффициент расширения воды при заморозке. В результате получаем показатель увеличения высоты слоя заморозки при каждом шаге.

Построим график того, как выглядит незамороженная капля воды. Для этого разделим высоту капли на  $n$  равных кусочков и выясним единичную высоту  $h$ . Чтобы построить вид незамороженной

капли, вычислим высоту капли на каждом этапе, это и будет координата  $y$  для графика, координату  $x$  найдем с помощью теоремы Пифагора, зная высоту и радиус капли. Получившиеся координаты на каждом этапе записываем в массив:

$r(i)$  – функция вычисления координаты  $x$  на каждом этапе,

$ry(i)$  – функция вычисления координаты  $y$  на каждом этапе.

Затем построим вид замерзшей капли воды с учетом ее расширения, помня о том, что теперь высота столба замороженной части будет больше на каждом этапе за счет вытесненного объема. Каждая точка нового графика будет иметь ту же координату  $x$ , что и точка на том же этапе в первом графике, так как капля почти не расширяется радиально, а лишь увеличивается ее высота (координата  $y$  на каждом этапе построения). Высота будет увеличиваться за счет вытесняемого на каждом этапе объема. Создаем новый массив, где записываем координаты на каждом этапе:

$dh$  – высота, которая добавилась за счет расширения при замерзании с первого этапа до  $i$ , вначале она равна 0;

$h$  – единичная высота капли между  $i$  и  $i+1$  этапом;

$V_{item}$  – объем воды, который замерз между  $i$  и  $i+1$  этапом;

$K$  – коэффициент расширения воды при замерзании;

$V_{add}$  – объем воды, который был вытеснен между  $i$  и  $i+1$  этапом за счет расширения воды;

$h_{add}$  – добавочная высота капли (в результате расширения воды между  $i$  и  $i+1$  этапом).

Записываем в качестве координаты  $y$  на каждом этапе новую высоту, то есть сумму координаты  $y$  из первого массива и добавочную высоту, которая образовалась к  $i$  этапу.

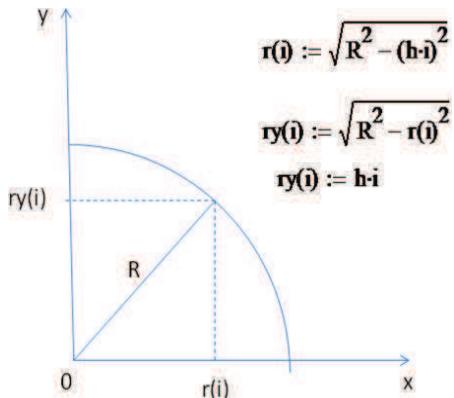


Рис. 3. Схематическое изображение математической модели замерзания капли воды

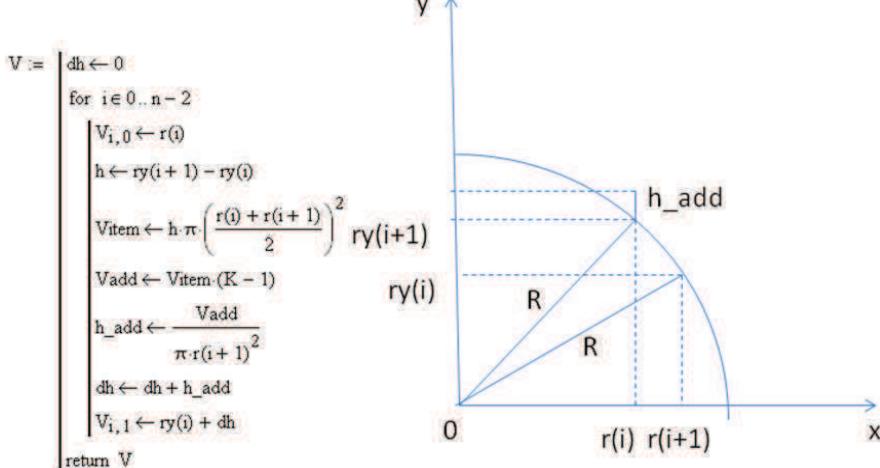


Рис. 4. Листинг программы расчета профиля капли воды

Таким образом, мы провели экспериментальное исследование и в первом приближении рассчитали форму замороженной капли, а также теоретически описали наблюдаемый эффект, представили математическую модель замораживания капли.

Опыт заключался в замораживании капли чистой воды на подложке, имеющей криогенную температуру (подложка охлаждалась хладопроводом, помещенным в жидкий азот). Фронт замерзания воды развивался от основания капли до ее верхушки. Причем на последних этапах заморозки экспериментально наблюдался необычный для жидкостей эффект образования конусообразного возвышения вверху замороженной капли. Причиной такого эффекта является то, что у воды коэффициент расширения при замерзании больше единицы, то есть объем замороженной воды становится больше, чем объем воды до заморозки.

### Литература

1. Oscar R. Enríquez, Alvaro G. Marín, Koen G. Winkels, Jacco H. Snoeijer. Freezing singularities in water drops. PHYSICS OF FLUIDS 24, 091102. 2012.
2. Freezing water drops [Интернет ресурс]. <http://www.youtube.com/watch?v=9VIRtyKSNVI>.
3. Исток [Интернет ресурс]. <http://www.istok-penza.ru/root>.
4. Хомченко Г.П. Пособие по химии для поступающих в вузы. 4-е изд. – М., 2002.

# **Расчет индуктивности внутреннего контура в системе двух коаксиальных катушек**

Надршина Яна

9 класс

Научный руководитель Н.И. Лапин,  
ассистент НГПУ им. К. Минина



*Рассматриваются разные способы расчета индуктивности контура. Для правильной формы соленоида возможно применение формулы расчета по геометрическим параметрам. Для произвольного по форме контура используется метод, основанный на вычислении потока вектора магнитной индукции.*

В настоящее время разрабатываются системы, осуществляющие подзарядку «гаджетов» без присоединения к источнику питания, подзарядку электроавтомобилей при движении по «умной» дороге.

Существует несколько схем данного процесса, но основная идея состоит в том, что имеется два контура, по одному из них протекает переменный ток определенной частоты, во втором на основе электромагнитной индукции возникает переменная ЭДС, что позволяет осуществить подзарядку.

Рассмотрим систему двух коаксиальных соленоидов. На внешний соленоид подается переменное напряжение, частоту которого можно изменять с помощью генератора. Получим зависимость величины переменного напряжения на внутреннем соленоиде от параметров напряжения на внешнем соленоиде в системе двух коаксиальных соленоидов.

Предположим, что в любой точке соленоида для величины индукции магнитного поля справедливо равенство:

$$B = \gamma I, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров катушки и положения соленоида.

Через внешний соленоид пропускается переменный ток:

$$I = I_0 \cos \omega t. \quad (2)$$

В результате второй соленоид пронизывает переменный магнитный поток:

$$\Phi = NBS = \gamma NSI_0 \cos \omega t, \quad (3)$$

где  $N$  – количество витков на внутреннем соленоиде,  $S$  – площадь поперечного сечения.

В свою очередь магнитный поток  $\Phi = LI$ , или с учетом определения силы переменного тока  $\Phi = LI_0 \cos \omega t$ . Приравниваем оба значения:

$$LI_0 \cos \omega t = \gamma NSI_0 \cos \omega t, \quad (4)$$

откуда следует выражение для индуктивности внутреннего соленоида:

$$L = \gamma NS. \quad (5)$$

Сложность заключается в определении  $\gamma$ .

Из закона Фарадея следует:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = \gamma NS\omega I_0 \sin \omega t = \varepsilon_0 \sin \omega t, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_0 = \gamma NS\omega I_0$  – амплитудное значение ЭДС. Из выражения (6)

при учете  $S = \pi r^2$ ,  $\omega = 2\pi f$ ,  $U_{nk} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}}$  и  $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$  – действующие значения напряжения и тока,  $U_{nk}$  – напряжение на внутреннем соленоиде, радиус которого  $r$ ,  $f$  – частота изменения тока, следует формула для вычисления  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1}{NS} \frac{\varepsilon_0}{I_0 \omega} = \left( \frac{1}{2\pi^2 r^2 N} \right) \left( \frac{U_{nk}}{If} \right). \quad (7)$$

При подстановке выражения (7) в выражение (5) получим формулу для вычисления индуктивности внутреннего соленоида

$$L = \frac{U_{nk}}{2\pi If}. \quad (8)$$

Расчет индуктивности проводится по измерениям напряжения на внутреннем соленоиде. Для этого проводится экспериментальное исследование. На схеме, представленной на рисунке 1, с помощью генератора задается и значение напряжения, и частота на внешнем соленоиде. С помощью вольтметра измеряется напряжение.

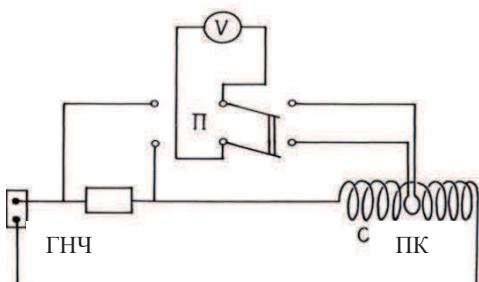


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Геометрические характеристики внутреннего соленоида следующие: диаметр медной проволоки 1,05 мм; диаметр внутреннего соленоида 4,5 см; длина внутреннего соленоида 19,5 см; погонная плотность витков, количество витков на один сантиметр равно 14; удельное электрическое сопротивление меди 0,017 ( $\text{Ом}^*\text{мм}^2$ )/м.

Активное сопротивление медной проволоки:

$$R = \frac{\rho l}{s}. \quad (9)$$

$$\text{Длина проводника } l = N2\pi R = N\pi D. \quad (10)$$

Сила тока вычисляется по закону Ома. Сопротивление медной проволоки внутреннего соленоида  $R = 0,6245 \text{ Ом}$ , напряжение  $U=3B$ , которое не изменяется в процессе эксперимента, следовательно, сила

$$\text{тока } I = \frac{U}{R} = \frac{2B}{0,6245 \text{ Ом}} = 3,2 \text{ А.}$$

Рассчитывая по формуле (8) индуктивность для различных значений частоты и напряжения на внутреннем соленоиде, среднее значение индуктивности равно  $L=20,3 \text{ мкГн}$ .

Для длинного соленоида можно использовать теоретическое определение  $\gamma = \mu_0 n$ , где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ ,  $n$  – количество витков на единицу длины.

Количество витков на 1 м равно 1400, отсюда следует, что  $\gamma = 1,75 \cdot 10^{-3}$ . При подстановке значения  $\gamma$  в формулу (5) значение индуктивности получается  $L=76 \text{ мкГн}$ , что не соответствует экспериментальным данным.

Для определения индуктивности соленоида используется анализ линейной части экспериментальной зависимости напряжения на внутреннем соленоиде от частоты на внешнем, полученной в работе [1].

График зависимости представляет прямую, что позволяет опреде-

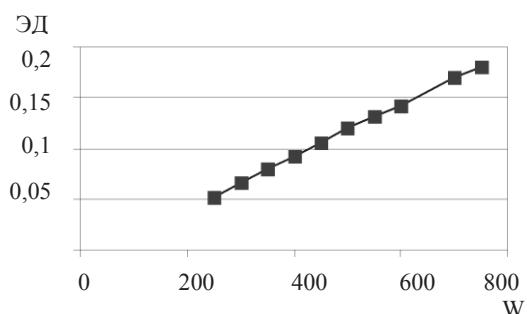


Рис. 2. График зависимости напряжения от частоты при небольших частотах

лить тангенс угла наклона, а из этого вычислить индуктивность внутреннего соленоида.

Зная силу тока, найдем индуктивность катушки. Воспользуемся графиком 1 при малых частотах:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\Delta U}{\Delta \omega}, \\ L &= \frac{\Delta U}{\Delta \omega I} = \frac{0,812}{11800 * 3,2} = 0,0000215 \text{ Гн.} \end{aligned} \quad (11)$$

Еще один из методов предполагает расчет индуктивности контура на основе результатов измерения геометрии контура [2]:

$$L = k \mu_0 \mu n^2 \frac{S}{a}. \quad (12)$$

Коэффициент  $k$  определяется из отношения длины соленоида к его диаметру. Для результатов измерения длины и диаметра соленоида  $k = 0,9$ . Расчет индуктивности по приведенной формуле дает результат  $L = 23 \text{ мкГн}$ .

Таким образом, в процессе проведенного исследования были получены различными способами равные по порядку значения индуктивности. В ходе исследования была получена формула, отражающая зависимость напряжения на внутреннем соленоиде от величин на внешнем соленоиде:  $U_{nk} = 2\pi L If$ . Из формулы видно, что напряжение на внутреннем соленоиде зависит от частоты  $f$ , силы тока  $I$  и индуктивности  $L$ . Добиться максимального значения напряжения на внутреннем соленоиде возможно при увеличении частоты, но при частотах больших 15 кГц напряжение убывает, что отражено в работе [1], или при изменении индуктивности. Индуктивность – величина, не зависящая от внешних параметров, она является величиной, отражающей конфигурацию. На основе полученных результатов можно прогнозировать максимальную мощность, которую можно передать в процессе электромагнитной индукции от одного соленоида к другому в системе двух коаксиальных соленоидов.

### Литература

1. Надшина Я.К., Лапин Н.И. Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина. – Выпуск 5. – Н.Новгород, 2012. – С. 53 – 58.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. 2-е изд. – М.: Наука, 1985.

# Исследование эффективного размера молекулы $O_2$

Николенко Андрей

11 класс

Научный руководитель М.Ю. Третьяков,  
канд. физ.-мат. наук, заведующий отделом  
микроволновой спектроскопии ИПФ РАН



*Объектом исследования являлись молекулы чистого газообразного кислорода в равновесном термодинамическом состоянии, движение которых проявлялось в виде спектра поглощения газа. Предмет исследования – количественные характеристики наблюдаемой спектральной линии молекулярного кислорода. Работа проводилась в лаборатории микроволновой спектроскопии ИПФ РАН.*

Эффективное сечение молекулы – площадь круга двух радиусов молекулы, пересекая который пролетающая мимо молекула непременно произведет взаимодействие. Эффективное сечение молекулы ( $\sigma$  на рис.1) является одним из основных молекулярных параметров. Оно зависит от способа движения атомов в молекуле (вращаются или колеблются относительно общего центра масс) и от относительных скоростей движения молекул. Эффективное сечение можно измерить в лаборатории параметрами формы наблюдаемых спектральных линий. Однако из-за

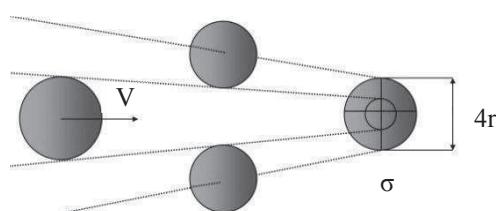


Рис. 1. Классическая модель движения молекул в газе (столкновение упругих шаров)

сложности измерений таких данных недостаточно, а точность их не высока. Теоретические расчеты тоже довольно сложны, их результаты согласуются с результатами экспериментов гораздо хуже, чем требуется для удовлетворительного решения задач дистанционного зондирования атмосферы. Точность восстановления макроскопических параметров атмосферы определяется адекватностью моделей, по которым происходит восстановление этих параметров из данных зондирования, а точность моделей, в свою очередь, определяется точностью определения параметров молекулярных линий, измеряемых в хорошо контролируемых лабораторных условиях.

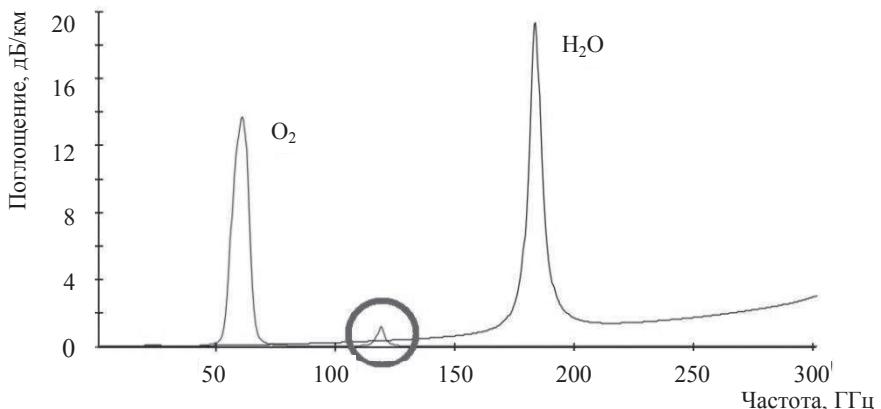
Целью данной работы являлось нахождение зависимости эффективного размера отдельных молекул от температуры, а также измерение эффективного размера отдельных молекул кислорода в одном из наиболее спокойных (с наименьшей внутренней энергией) состояний.

Эффективный размер можно получить исходя из данных эксперимента, измерив параметр, связанный со средним временем между соударениями. Но если при расчете допустить, что все молекулы двигаются только со средней тепловой скоростью, то зависимость величины этого параметра от температуры получается отличной от эксперимента. Даже если учесть распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла) и то, что «быстрых» и «медленных» молекул может быть больше или меньше в зависимости от абсолютного значения температуры, результат все равно оказывается неверным. Ибо молекулы – это не шарики (по классическому представлению), а имеют внутреннюю структуру и, кроме поступательного движения, они могут вращаться как целое, причем с различной скоростью, то есть иметь разную внутреннюю энергию. Поэтому необходимо учитывать распределение молекул по энергиям (распределение Больцмана).

Молекулы не могут менять скорость вращения непрерывно – только дискретно. Вращающаяся молекула обладает угловым моментом, который квантован, его минимальная дискретность – постоянная Планка. Дискретность приводит к тому, что существуют определенные энергетические уровни, на которых «находятся» молекулы. За населенность уровней отвечает распределение по энергиям, в соответствии с которым число молекул на данном энергетическом

уровне ( $E$ ) пропорционально  $e^{-\frac{E}{kT}}$ , где  $e$  – число Эйлера,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура. Действие этих факторов приводит к зависимости эффективного размера молекулы от температуры. Однако для построения современных моделей распространения излучения расчет эффективного сечения молекулы только на основе распределения Максвелла и Больцмана все равно оказывается недостаточно точным из-за нехватки информации о том, как молекулы взаимодействуют между собой, поскольку неизвестна пространственная конфигурация поля, окружающего молекулу. Отсюда возникает необходимость найти эффективное сечение молекулы экспериментально.

На рисунке 2 представлены спектры газов, наиболее активно участвующих в поглощении электромагнитного излучения атмосферы. Переход молекулы с одного энергетического уровня на другой соответствует определенная линия в спектре. Исследуемый переход, с наименьшей внутренней энергией, соответствует частоте 118,754 ГГц.



**Рис. 2.** Спектры основных атмосферных поглотителей – кислорода и водяного пара в мм диапазоне волн (кругом отмечена исследуемая линия)

Из газодинамики известно, что эффективное сечение определяется как  $\sigma = 2\gamma \sqrt{\frac{\pi^3 k T m}{8}}$ , где  $\gamma$  – коэффициент уширения линии давлением,  $m$  – масса молекулы. Радиус эффективного размера молекулы можно найти по формуле:  $r = \sqrt{\frac{\sigma}{4\pi}}$ .

Экспериментальная установка состоит из источника излучения, ячейки с исследуемым газом и приемника, регистрирующего величину поглощения при изменении частоты излучения.

При обработке данных использовался математический пакет, позволяющий проводить заданную модельную функцию через экспериментальные точки, подбирая коэффициенты функции. В данной работе использовалась модельная функция Лоуренца, так как она лучше всего подходит для моделирования формы линии в используемом диапазоне давления  $\sim 1$  Торр.



Рис. 3. Фотографии установки

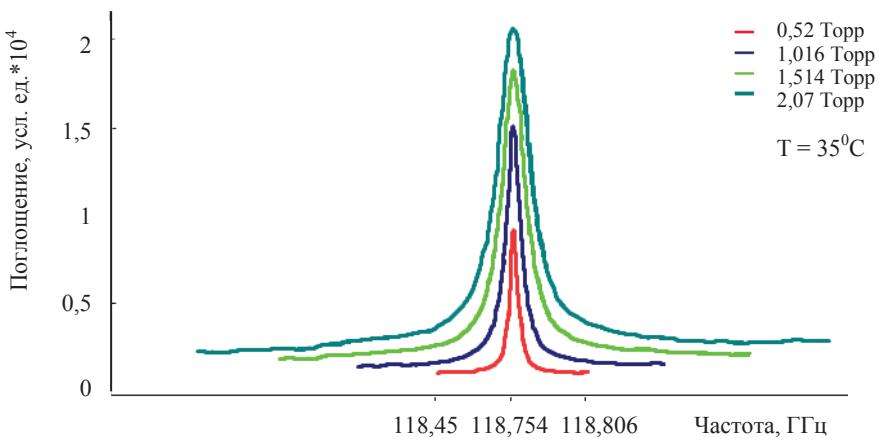


Рис. 4. Семейство кривых, полученных в эксперименте

В первом эксперименте запись линии 118,754 ГГц делалась при изменяющемся давлении при фиксированной температуре – 35°C. На рисунке 4 представлены кривые, полученные в эксперименте. Видно, что ширина линии увеличивается при увеличении давления. При каждом давлении проведено по три измерения.

На рисунке 5а представлены точки, соответствующие полученной из обработки записей ширине линии, и проведенная через них прямая. Угол наклона данной прямой – это коэффициент уширения

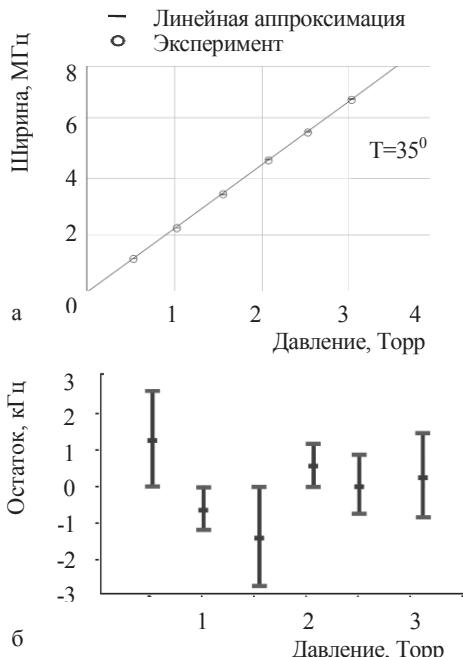


Рис. 5. Результаты 1-го эксперимента

где  $T_0 = 300$  К. Значение  $x = 0,83$ . Эффективный размер молекулы при различных температурах находился по полученным значениям параметра уширения и приведенным выше формулам.

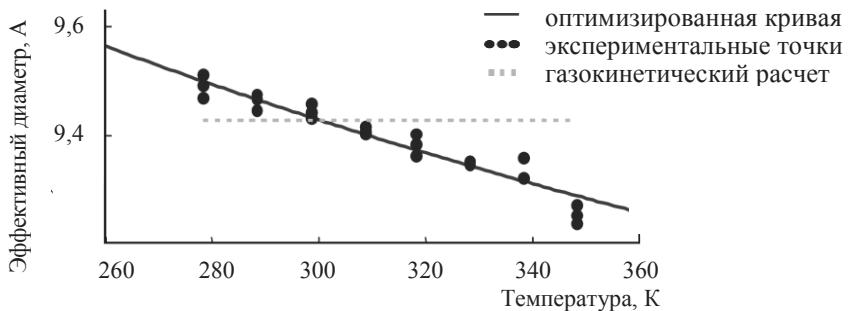


Рис. 6. Полученная зависимость эффективного диаметра молекулы от температуры

Видно, что полученные данные (рис. 6) отличаются от расчета по газокинетической теории, согласно которому коэффициент ушире-

данной линии  $O_2$  давлением. Он получился следующим:

$$\gamma = 2,286 \frac{MHz}{Torr}.$$

На рисунке 5б представлен график отклонения экспериментальных точек от прямой. Это необходимо для того, чтобы убедиться в отсутствии систематической ошибки (остаток носит шумовой характер).

Во втором эксперименте измерялась зависимость параметра уширения линии от температуры (измерялась ширина при фиксированном давлении 0,5 Torr), которая аппроксимировалась по формуле:

$$\gamma(T) = \gamma(T_0) \cdot \left( \frac{T_0}{T} \right)^x,$$

ния обратно пропорционален корню из абсолютного значения температуры, а сечение взаимодействия от температуры не зависит. Полученная зависимость эффективного диаметра молекулы имеет степенной характер. Если экстраполировать полученный результат на диапазон температур реальной атмосферы, то отличие от газокинетической теории достигает 4%. Для сравнения отметим, что для адекватного восстановления параметров атмосферы по данным дистанционного зондирования требуется точность спектроскопических параметров не ниже 1%.

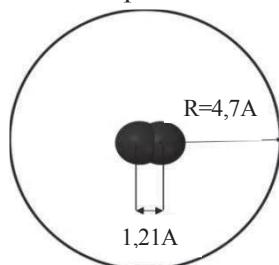
Природа эффективного столкновительного размера молекулы  $O_2$  представляет собой собственный магнитный dipольный момент, создающий поле вокруг молекулы. Поэтому эффективный размер значительно превышает геометрический размер молекулы, величина которого известна и составляет  $\sim 1,2$  ангстрема.

Эффективный размер зависит от того, с какой скоростью пролетит молекула от одного соударения до другого, а также от скорости вращения сталкивающихся между собой молекул. И то и другое зависит от температуры.

**Заключение.** Проведены эксперименты, по результатам которых определен эффективный размер молекулы. Обнаружена нелинейная зависимость эффективного размера от температуры, в отличие от газокинетических расчетов, где у молекул размер постоянный, так как считается, что у всех молекул одинаковая скорость. Данное исследование показало, что такой эффект необходимо учитывать при определении параметров реальной атмосферы. Полученные параметры могут быть использованы для дистанционного зондирования атмосферы и будут способствовать более точному прогнозированию погоды.

### Литература

1. Бенуэлл К.Н. Основы молекулярной спектроскопии. 1985. – 386с.
2. Крупнов А.Ф. Микроволновая спектроскопия. Изд. 2. 2009. – 84 с.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. 1981. – 400 с.



**Рис. 7.** Получившаяся модель молекулы-шарика (средняя по большому числу сталкивающихся между собой молекул)

# **Улучшение точности измерения постоянной Планка в школьном демонстрационном эксперименте**

Паршина Наталья

11 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина,  
учитель высшей категории



*На явлении фотоэффекта основано действие фотоэлектронных приборов, получивших разнообразное применение в различных областях науки и техники. В заданиях части «А» единого государственного экзамена по физике часто предлагают задание по определению постоянной Планка. В работе сделана попытка увеличения точности измерения в школьном эксперименте по измерению постоянной Планка с помощью светодиода, проанализированы причины возникновения погрешности измерений.*

При изучении квантовой физики в школе предлагается демонстрационный эксперимент по определению величины постоянной Планка с помощью внутреннего фотоэффекта в полупроводниках. Результат такого измерения имеет верный порядок величины, но значащие цифры заметно отличаются от действительного значения константы. Возникает вопрос, нельзя ли увеличить точность школьного эксперимента?

Существует большое количество методов экспериментального определения постоянной Планка: использование законов внешнего фотоэффекта, анализ спектра рентгеновского излучения, спектроскопический метод, измерения с помощью светодиода. Наиболее точное значение измеряемой постоянной дают анализ спектра тормозного рентгеновского излучения и спектроскопический метод. Однако они недоступны в школьном эксперименте. Из оставшихся двух способов менее точен, но более зрелищен и нагляден выбранный нами (по излучению светодиода). Поэтому мы решили проанализировать возможности уменьшения погрешностей измерения, применив этот метод.

На рисунке 1 представлена принципиальная электрическая схема установки – а, оптическая схема – б, фотография внешнего вида части установки – в. Все элементы этой цепи за исключением вольтметра смонтированы на платформе. Напряжение на полупроводниковом лазере регулируется с помощью переменного резистора. Для измерения

напряжения используется демонстрационный цифровой вольтметр, который подключается к имеющимся на платформе клеммам.

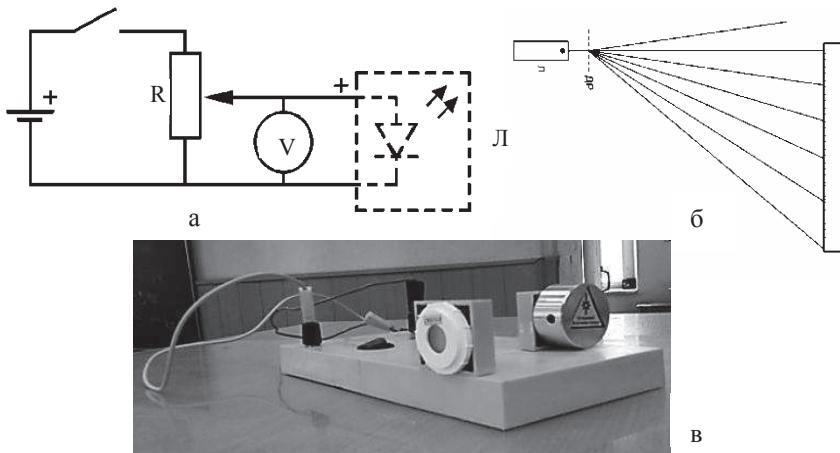


Рис. 1. Электрическая (а) и оптическая (б) схемы установки, ее внешний вид (в)

Включив лазер и установив напряжение питания в  $3B$ , мы направляем луч лазера вертикально вверх параллельно боковому краю доски. Начало шкалы линейки совмещается с точкой пересечения луча с линейкой. Установив дифракционную решетку на магнитный держатель, имеющийся на платформе, решетку поворачиваем таким образом, чтобы плоскость дифракции была параллельна плоскости доски. При этом дифракционные максимумы должны попасть на линейку.

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x_1}{L} \text{ (рис. 1б).}$$

$\Delta = ds\sin\varphi$  – формула дифракционной решетки, где  $\Delta$  – оптическая разность хода;

$\Delta = m\lambda$  – условие максимума интерференции,  $m=1$  (первый максимум);

$v = \frac{c}{\lambda}$  – связь длины волны с частотой для электромагнитной волны в вакууме;

$h\nu = eU$  – энергия ширины запрещенной зоны,  $\operatorname{tg}\varphi \approx \sin\varphi$  – приближение малого угла.

Таким образом, получаем  $h = \frac{eUds\sin\varphi}{c}$ .

Проведена серия из пяти опытов по измерению постоянной Планка. Длина волны измерялась дифракционной решеткой с перио-

дом  $d = 0,0067$  мм (наибольшее количество штрихов на миллиметр из имеющихся решеток в наборе). В данной серии опытов использовалась рекомендованная методика сбора установки. При расчетах использовались различные значения скорости света в вакууме и элементарного заряда:

- 1) по справочным материалам ЕГЭ среднее значение измеренной нами постоянной Планка:  $h = (6,423 \pm 0,700) \cdot 10^{-34}$  Дж\* с;
- 2) по данным БСЭ 1976 года среднее значение измеренной нами постоянной Планка:  $h = (6,427 \pm 0,700) \cdot 10^{-34}$  Дж\* с;
- 3) по согласованию фундаментальных физических констант, проведенному Р. Коэном (E. R. Cohen) и Б. Тэйлором (B. N. Taylor) в 1986 году среднее значение измеренной нами постоянной Планка:  $h = (6,427 \pm 0,700) \cdot 10^{-34}$  Дж\* с.

По результатам расчетов стало ясно, что уточнение значения таких используемых констант, как скорость света в вакууме и элементарный электрический заряд, практически не влияет на полученное значение постоянной Планка (даже при достаточно грубых приближениях, используемых при решении заданий ЕГЭ). Очевидно, что основной вклад в погрешность вносит измерение длины волны света при помощи дифракционной решетки. Используемое при расчетах длины волны приближение малого угла выполняется с высокой степенью точности, так как расстояние от решетки до экрана с наблюдаемой интерференционной картиной много больше расстояний между максимумами. Значит, основной вклад в неточность измерения длины волны вносит неточность ориентации луча лазерного излучения по отношению к плоскости решетки и плоскости экрана. Если собирать установку более тщательно, например, с использованием строительного уровня для более точной параллельности установки плоскостей дифракционной решетки и экрана и более точной перпендикулярности луча решетке, то можно ожидать увеличения точности измерений.

Была проведена еще одна серия опытов, при проведении которых использовалась рекомендованная методика сбора установки, но дополнительно использовался строительный уровень. Это дало возможность более точно измерить длину волны лазерного излучения: 675 нм вместо 651 нм. Таким образом, увеличение точности измерения длины волны в демонстрационном школьном эксперименте уменьшило расхождение между измеренным нами и табличным зна-

чением постоянной Планка с 3,2 % до 1% при одинаковой относительной погрешности косвенных измерений в обеих сериях опытов:

1) по справочным материалам ЕГЭ среднее значение измеренной нами постоянной Планка:  $h = (6,659 \pm 0,700) \cdot 10^{-34}$  Дж<sup>\*</sup> с;

2) по данным БСЭ 1976 года среднее значение измеренной нами постоянной Планка:  $h = (6,664 \pm 0,700) \cdot 10^{-34}$  Дж<sup>\*</sup> с;

3) по согласованию фундаментальных физических констант, проведенному Р. Коэном (E. R. Cohen) и Б. Тэйлором (B. N. Taylor) в 1986 году среднее значение измеренной нами постоянной Планка  $h = (6,663 \pm 0,700) \cdot 10^{-34}$  Дж<sup>\*</sup> с.

Несмотря на несложность школьной демонстрационной установки для измерения постоянной Планка с помощью светодиода, константа может быть определена с точностью до десятых долей. Оказалось возможным лишь незначительно уменьшить погрешности измерения при более точной параллельности установки плоскостей дифракционной решетки и экрана и более точной перпендикулярности луча решетке.

Дополнительное уменьшение погрешности данного эксперимента, очевидно, может получиться при увеличении точности измерения напряжения на диоде и определении момента исчезновения излучения диода с помощью оптических датчиков, а не визуально, как предлагается в методике эксперимента.

### Литература

1. *Cohen E.R., Taylor B.N. The 1986 adjustment of the fundamental physical constants // Rev. Mod. Phys. 1987, v. 59. – 1121 p.*
2. *Proc. of the 1988 Conference on precision electromagnetic measurements // IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement. 1989, v. 38, № 2. P. 145.*
3. *Двоеглазов В.В., Тюхтиев Ю.Н., Фаустов Р.Н. Уровни энергии водородоподобных атомов и фундаментальные константы // ЭЧАЯ. 1994. Т. 25. С. 144.*
4. Квантовая метрология и фундаментальные константы. Сб. ст., пер. с англ. – М., 1981.
5. Рекомендуемые согласованные значения фундаментальных физических постоянных – 1973 // Успехи физических наук. 1975. Т. 115. В. 4.
6. Таблица стандартных справочных данных. Фундаментальные физические константы. – М., 1976.
7. *Тейлор Б., Паркер В., Лангенберг Д. Фундаментальные константы и квантовая электродинамика / Пер. с англ. – М., 1972.*
8. Физическая энциклопедия. В 5 томах / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия. 1988.

# Определение изменения энтропии при плавлении

Прокопенко Марина

10 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина,  
учитель высшей категории



*В работе рассмотрен метод определения удельной теплоты плавления и изменения энтропии при фазовом переходе первого рода по диаграмме плавления.*

Понятие энтропии было введено Рудольфом Клаузиусом в 1865 году. Он определил изменение энтропии термодинамической системы при обратимом процессе как отношение изменения общего количества тепла к величине абсолютной температуры. Энтропия – степень беспорядка системы. При фазовом переходе первого рода, каким является плавление, энтропия тела скачкообразно изменяется. Мы решили рассчитать изменение энтропии при плавлении снега.

Одним из способов измерения температуры и теплоты плавления является получение диаграмм плавления, то есть кривой зависимости температуры плавящегося вещества от времени при неизменных внешних условиях. Обработка данных таких графиков позволяет определять теплоту плавления и изменение энтропии кристаллического вещества при плавлении.

Для получения температурной кривой мы набирали снег в алюминиевый стакан, максимально его уплотняли и помещали в комнату, температура в которой была выше температуры плавления льда. Далее опускали в стакан термометр и снимали зависимость темпе-

туры от времени. Блок-схема установки показана на рисунке 1. Измерения проводились с помощью компьютерного измерительного блока «Л-Микро» с прилагающимся к нему датчиком температуры.



Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Эксперимент проводился 5 раз в одинаковых условиях, погрешность измерения оценивалась по отклонению от среднего значения.

Масса алюминиевого стакана измерялась на электронных весах с точностью до 0,001 г, полученное значение – 43,160 г. Масса льда определялась

после его полного растаивания по получившемуся объему воды, среднее полученное значение – 29,000 г. Удельные теплоемкости льда и алюминия определены по данным таблиц: С льда = 2200 Дж/кг·К, С алюминия = 920 Дж/кг·К. В результате проведения эксперимента мы получили графики зависимости температуры от времени, один из которых показан на рисунке 2.

По графикам определялись среднее время нагрева льда  $t_n = 193$  с и плавления льда  $t_n = 5806$  с, а также средний тангенс угла наклона прямой нагревания льда  $\operatorname{tg} \alpha = 5/190$  К/с.

По формулам были вычислены удельная теплота плавления:

$$q_{n,l} = \frac{\Delta t}{m} (mC + m_c Cc) \left( \frac{dT}{dt} \right) \quad \text{и изменение энтропии } \Delta S = \frac{q_{n,l} m}{T_n}.$$

В результате измерений удельная теплота плавления получилась следующей:  $q_{n,l} = 320000 \pm 16000$  Дж/кг с относительной погрешностью 5%, а изменение энтропии  $\Delta S = 33 \pm 6$  с Дж/К с относительной погрешностью 20%.

Проанализировав полученные результаты, мы сделали следующие выводы: удельная теплота плавления отличается от табличного значения на 3%, что, очевидно, вызвано содержанием в снеге определенного количества воздуха. Поэтому его удельная теплоемкость отличается от удельной теплоемкости льда, использованной нами при расчетах. С помощью данного метода можно определять изменение энтропии при плавлении. Вследствие отклонения процесса

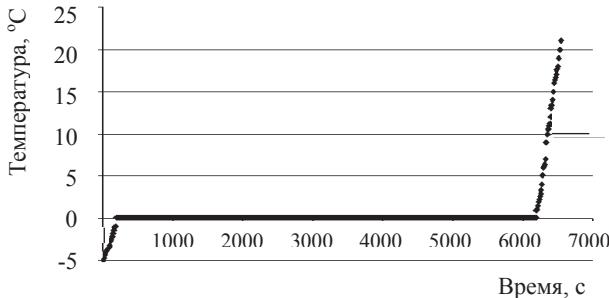


Рис. 2. Зависимость температуры льда от времени

нагревания от квазистатического, а также из-за непостоянства температуры окружающей среды, относительная погрешность измерения энтропии велика (порядка 20 %).

### **Литература**

1. *Алексеев П.В., Панин А.В.* Философия: Учебник. 3-е изд. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2003. – С. 38.
2. *Кудрявцев П.С.* Курс истории физики. Учебное пособие. – М.: Просвещение, 1974. – С. 12, 134.
3. *Юбина О.А.* Биофизика. Конспект лекций. – Новосибирск, 2006. – С. 24 – 31.
4. Сайт ВПИ (ВолгГТУ) [Интернет ресурс].  
[www.volpi.ru/kafedr/vpf/site/books/Mex301/122.htm](http://www.volpi.ru/kafedr/vpf/site/books/Mex301/122.htm)
5. Сайт МИ ВлГУ [Интернет ресурс]. <http://www.mivlgu.ru/kafedra/phisica>.

# **Изучение теплозащитных свойств зимней обуви, так ли хорош русский валенок?**

Самсонов Александр

11 класс

Научный руководитель О. С. Большаков,  
младший научный сотрудник ИПФ РАН



*В настоящее время разработка новых сверхнизкотемпературных установок для различных приложений является весьма актуальной. При создании и проектировании подобных систем значимы вопросы теплоизоляции. При этом некоторые закономерности возникающих процессов можно изучить на достаточно простых моделях. В данной работе такие закономерности исследуются на примерах валенка и других моделей зимней обуви. Отметим, что подобные задачи решаются и в других сферах, например, в строительстве жилых домов, космической промышленности и т.д.*

За 100 лет, прошедших со времени оживления основных атмосферных газов и открытия сверхпроводимости, освоение криогеники принесло в жизнь множество технических решений – от энергетики и электроники до криохирургии и косметологии. Поэтому разработка новых сверхнизкотемпературных установок и исследование теплофизических характеристик конструкционных материалов является весьма актуальными. Одной из таких установок, обеспечивающей уровень охлаждения в тысячу раз ниже, чем температура жидкого гелия, является установка «Тритон – 200» НГТУ им. Р.Е. Алексеева (Н. Новгород). Эта установка 2012 года новая и первая в России.

При создании и проектировании подобных систем, а также при создании на их основе лабораторных исследовательских стендов, ключевую роль играют вопросы высокоеффективной теплоизоляции. Чрезвычайно важно как можно точнее определять характеристики теплопроводности материалов, меняющиеся при различных температурах. При этом некоторые закономерности возникающих проблем и происходящих процессов можно изучить на достаточно простых моделях. В данной работе эти закономерности исследуются на примерах валенка и других моделей зимней обуви.

Целью работы является исследование теплоизоляционных свойств различных материалов при разных уровнях температур.

Устройство валенка чем-то похоже на устройство термоса, однако валенок хуже изолирует излучение. При изготовлении валенок следует учитывать не только низкий коэффициент теплопроводности материала, но и его прочность. Такой материал известен давно, это войлок. Он обладает достаточно низким коэффициентом теплопроводности в сочетании с высокой прочностью и определенной пластичностью. Однако валенок, как будет показано в настоящем исследовании, уступает в своих теплозащитных свойствах современной обуви, изготовленной из таких теплозащитных материалов, как, например, этиленвинилацетат.

### *Теоретическое обоснование процессов, происходящих в валенке*

Так как внутри войлока тепло передается только с помощью теплопроводности, то  $P = \frac{\lambda S \Delta T}{l}$ , отсюда:

$$\lambda = \frac{P l}{S \Delta T}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность теплового потока внутри войлока,  $S$  – площадь взаимодействующих поверхностей,  $\Delta T$  – разность температур внутренней и внешней поверхности валенка,  $l$  – толщина войлока,  $\lambda$  – ис-комый коэффициент теплопроводности.

Из уравнения (1) видно, что для определения коэффициента теплопроводности войлока надо создать методику проведения эксперимента, с помощью которой можно определить мощность теплового потока. Площадь и толщину рассчитать геометрически достаточно просто, а для определения температуры достаточно использовать температурные датчики.

Для определения мощности теплового потока и дальнейшего определения коэффициента теплопроводности войлока были проведены две серии экспериментов с различными методиками. Первый эксперимент, проводившийся в 2012 году, был поставлен в бытовых условиях с реальным перепадом температур. Второй эксперимент (2013 год) для большей точности проводился при криогенных температурах.

По итогам первой серии экспериментов [4] был сделан вывод о том, что валенок уступает в теплозащите современным моделям специализированной зимней обуви для рыбаков и охотников. Для сравнения: валенок пропускает тепловой поток мощностью 18 Ватт, тогда как два разных современных сапога – 15 Ватт.

Целью второй серии экспериментов являлось определение коэффициента теплопроводности войлока в области низких (криогенных) температур. Для проведения эксперимента нами была предложена ме-

тодика, позволяющая достаточно просто определить коэффициент теплопроводности войлока. Так как направление теплового потока не имеет значения, то для создания стационарного режима было предложено использовать жидкий азот с постоянной температурой кипения. При этом измерять температуру надо только на внешней стороне валенка. Азот находился внутри валенка, и в этом случае тепловой поток шел от окружающей среды. Экспериментально было определено, что азот просачивается через валенок, если его туда налить, поэтому во время эксперимента азот наливался в пакет, что не мешало равномерному распределению азота в валенке. Для уменьшения погрешности в качестве рабочей поверхности было оставлено только голенище валенка, носок был закрыт теплоизолятором. В итоге азот испарился за счет передачи ему тепла из комнаты через слой войлока. То есть:

$$\frac{\Delta m r}{\tau} = \frac{\lambda S \Delta T}{l}, \quad (2)$$

где  $\Delta m$  – масса азота, испарившегося за время  $\tau$ ,  $r$  – удельная теплота кипения азота. Массу азота можно рассчитать, зная его объем и плотность. В эксперименте объем измерялся с помощью расходометра. В итоге получилась следующая схема эксперимента (рис. 1).

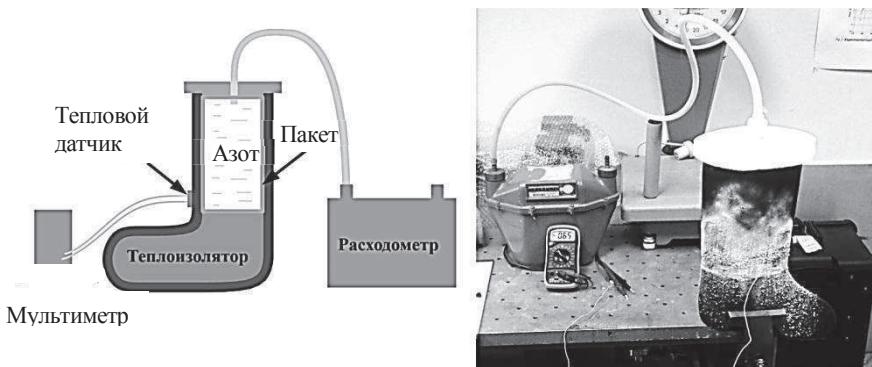


Рис. 1. Схема и фотография экспериментальной установки

Из уравнения (2):  $\lambda = \frac{\Delta m r l}{\tau S \Delta T}$ ;

$$\lambda = \frac{\rho \Delta V r l}{\tau S \Delta T}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность объема,  $\Delta V$  – объем азота, испарившийся за время  $\tau$ ,  $l$  – толщина войлока,  $\Delta T$  – разность температур внешней и внутренней поверхности валенка.

Так как азот испаряется, объем жидкого азота в валенке уменьшается, а, следовательно, уменьшается и площадь взаимодействующей поверхности. Изменение площади поверхности пропорционально изменению объема, следовательно:

$$S = S_{\text{начальная}} \left(1 - \frac{V_{\text{израсход}}}{V_{\text{общий}}}\right).$$

Тогда уравнение (3) принимает вид:

$$\lambda = \frac{\rho \Delta V r l}{\tau S_{\text{начальная}} \left(1 - \frac{V_{\text{израсход}}}{V_{\text{общий}}}\right) \Delta T}. \quad (4)$$

Перед проведением эксперимента в валенок помещали пакет, который герметично соединялся со шлангом, вставленным в расходомер. Для удобства заливания азота в валенок к пакету прикреплялась бутылка с крышкой. Термовой датчик устанавливался внизу голенища, так как там азот оставался до конца эксперимента. Далее в валенок заливался жидкий азот. Через определенное время устанавливался стационарный температурный режим, а внешняя поверхность валенка охлаждалась до минимальной температуры. Затем, чтобы восполнить объем азота, в валенок опять заливался азот и закрывалась крышка со шлангом. В течение эксперимента каждую минуту показания расходомера и температурного датчика записывались в таблицу. Когда азот испарялся полностью, о чем можно было судить по статичности показаний расходомера, эксперимент заканчивался.

В итоге был построен график, показывающий коэффициент теплопроводности войлока в каждую минуту эксперимента (рис. 2), и найдены средние значения.

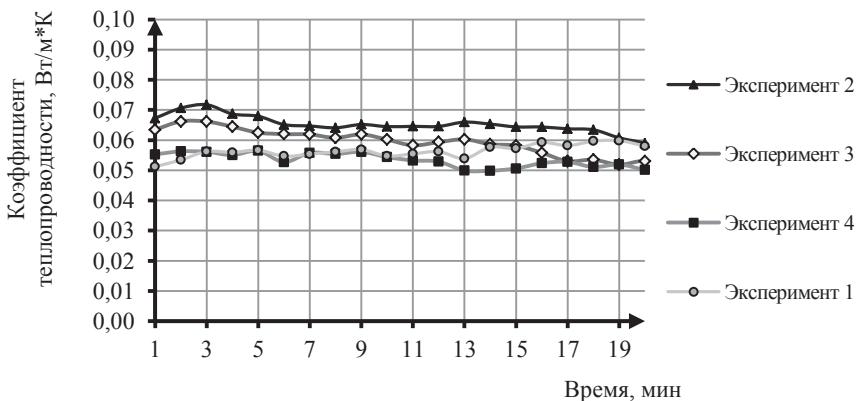


Рис. 2. Коэффициент теплопроводности войлока

По итогам экспериментов можно вывести значение коэффициента теплопроводности войлока:  $\lambda \approx 0,059 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Полученный результат достаточно близок к табличному значению:  $\lambda = 0,046 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Разницу можно объяснить тем, что этот коэффициент зависит от абсолютной температуры образца. Табличное значение измерено при комнатной температуре, тогда как в нашем случае валенок находился при криогенной температуре.

Предложенные методики оказались достаточно точными, чтобы сделать следующие выводы. Коэффициент теплопроводности войлока  $\lambda \approx 0,059 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ . Валенок уступает современным моделям специализированной обуви для рыбаков и охотников.

Главным результатом данной работы является создание методики определения коэффициента теплопроводности для твердых тел в широком диапазоне температур. Возможно, данный метод получит распространение в связи с относительной простотой вычислений и оборудования, необходимого для проведения эксперимента. Кроме того, стационарный режим при таком методе достигается достаточно быстро, что также является плюсом. Из недостатков следует отметить необходимость оценивать изменение площади взаимодействующей поверхности. Так как вмешательство в процессы нежелательно, можно измерить только относительное изменение, что может влиять на точность результатов.

### Литература

1. Вентура Г., Ризегари Л. Искусство криогеники: Перевод с англ. / Под ред. Л.П. Межова-Деглина. – М.: Интеллект, 2011.
2. Гольдин И.И. Русские валенки // Теория теплозащиты валенка (так ли прост русский валенок?!). 2009. – С. 36 – 42.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 520 с.
4. Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина. – Выпуск 5. – Н. Новгород, 2012. – С. 79 – 83.

# **Исследование влияния давления света на диэлектрические частицы, оптическая ловушка**

Силин Денис

10 класс

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 процес- сах отражения, поглощения и рассеяния света телами последние могут испытывать механическое воздействие. Это воздей- ствие настолько мало, что в течение долгого времени о его практическом применении никто не задумывался. Предположение о наличии светового им- пульса, высказанное Дж. Максвеллом, нашло подтверждение в эксперимен- тальных работах П.Н. Лебедева, а практическое применение явление давления света получило после работ А. Эшкина, 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 своей работе мы сосредоточимся именно на этом свойстве света.

*Цель работы.* Нам необходимо было установить условия, при которых сила тяжести, действующая на прозрачную сферическую диэлектрическую частицу заданной плотности с показателем пре-ломления отличным от окружающей среды, может быть уравнове-шена силой светового давления.

*Математическая модель.* Используя приближение геометриче- ской оптики, мы рассчитывали характер хода рассеянных лучей че-рез сферу и, с учетом закона сохранения импульса, рассчитывали силу давления света, действующую на частицу.

Преломление света на границе двух сред описывается законом Снеллиуса:

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} * \sin\theta_1\right).$$

Коэффициент отражения излучения в поперечной и продольной поляризации вычислим по формулам Френеля:

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

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  $F_0 = \frac{2*P}{c}$ . Так как изучаемая нами частица прозрачна, то при тех же условиях сила, действующая на нее, будет меньше:

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

Эта сила связана с преломлением и отражением лучей, и для ее вычисления 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  $Q$  расчитывается как сумма:  $Q = \sum_{i=1}^4 q_i$ . Для левитации частицы необходимо уравновесить силу тяжести, то есть должно быть выполнено условие  $F_z = mg$ ,  $g$  – ускорение свободного падения. Масса частицы пропорциональна  $r^3$ , интенсивность излучения, падающего на частицу, рассчитывается как его мощность, деленная на площадь  $\pi r^2$ .

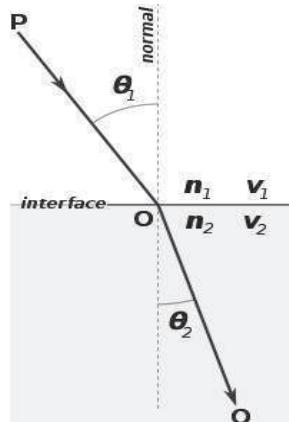
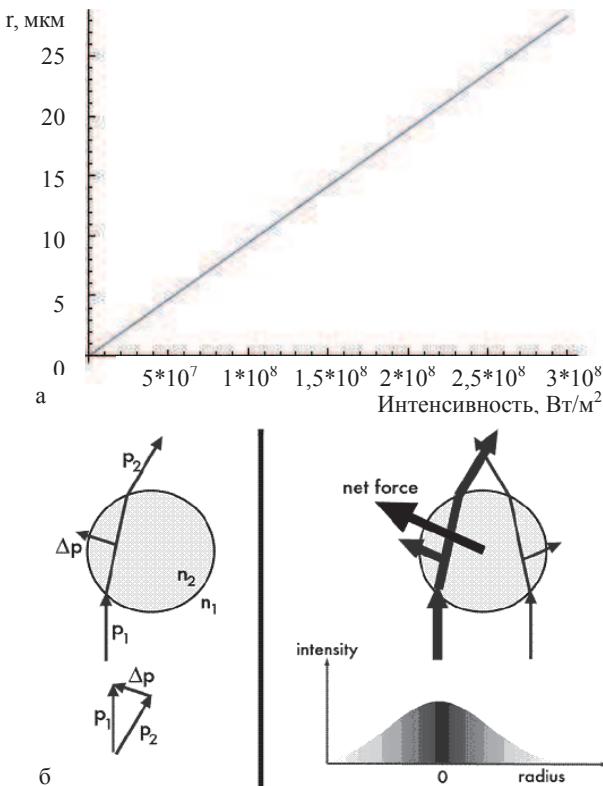


Рис. 1. Преломление луча на границе двух сред



**Рис. 2.** а) радиус частицы в зависимости от интенсивности излучения, способного уравновесить ее силу тяжести; б) пояснение причин возникновения поперечной силы

частицу обратно в область высокой интенсивности (рис. 2б), что позволяет надеяться на устойчивость положения поднятой частицы.

*Экспериментальное исследование.* Эксперимент заключался в том, чтобы поднять частицу с покровного стекла с помощью силы давления света. Для этого мы использовали лазер мощностью 150 мВт,  $\lambda=650\text{нм}$ , алюминиевые зеркала, объектив для фокусировки пучка и камеры с объективом (рис. 3). Поперечный размер лазерного пучка равен 1 мм, что позволяет оценить размер пучка в фокусе – 10 мкм. Таким образом, достигаемая в фокусе интенсивность превышает  $5 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ , что, в соответствии с нашими расчетами, достаточно для преодоления силы тяжести используемых нами частиц.

Применяя полученное равенство к частицам из полиамида ( $\rho = 1,06 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $n=1,58$ ), получим линейную зависимость радиуса частицы, силу тяжести которой мы способны уравновесить, от интенсивности  $r = 9,4 \times 10^{-14}I$ . График зависимости приведен на рисунке 2а. Следует отметить, что помимо продольной силы, уравновешивающей силу тяжести, может возникать еще и поперечная сила. Эта сила будет возвращать ча-

В ходе эксперимента луч лазера, расположенного горизонтально на оптическом столе, зеркалом направлялся вверх и фокусировался объективом. Чуть ниже фокуса было установлено покровное стекло на вертикальной подвижке.

На поверхность стекла насыпались частицы полиамида. После включения лазера мы двигали покровное стекло вверх, пытаясь тем самым пройти через фокус. Около фокуса частицы должны были подняться с поверхности покровного стекла и взлететь, но этого не наблюдалось в эксперименте. Частички не удалось отделить от покровного стекла (даже перевернув его), это свидетельствует о том, что они прилипли к поверхности, а значит сила, удерживающая их, превосходит силу тяжести.

**Вывод.** Сделанные нами расчеты показывают, что с помощью давления лазерного излучения можно уравновесить силу тяжести прозрачной частицы размером в десятки микрон в воздухе или вакуме. Эксперимент был проведен с частицами, выполненными из полиамида. Размеры частиц были различны, форма частиц не была строго сферической. При проведении эксперимента была предпринята попытка поднять частицы полиамида над поверхностью покровного стекла. Сделать это не удалось по причине того, что частицы полиамида прилипли к покровному стеклу. Возможным выходом из сложившейся ситуации при текущей постановке задачи о подъеме частиц световым давлением с подложки может быть смена материала подложки, либо смена материала частиц.

### 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.

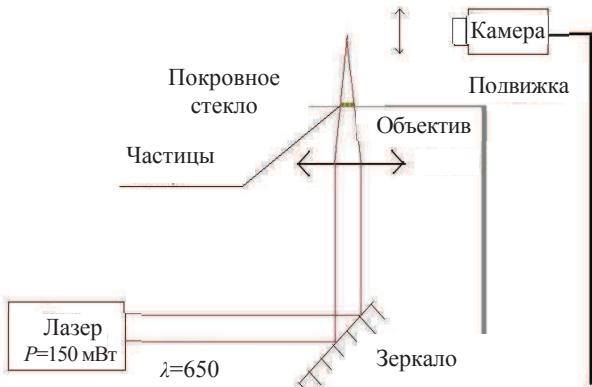


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

# **Создание полупроводникового перестраиваемого лазера с заданной длиной когерентности**

Слиняков Юрий

10 класс

Научный руководитель В.А. Маткивский,  
младший научный сотрудник ИПФ РАН



*Перестраиваемые лазеры изобретены давно и существует множество их реализаций. С другой стороны, для решения конкретных задач необходим лазер с вполне определенными параметрами (ширина спектра, диапазон перестроения, мощность, длина волны). К тому же он должен быть доступен с экономической точки зрения.*

Лабораторией цифровой голограмии, в которой проводилась работа, передо мной и моим научным руководителем была поставлена задача: создать перестраиваемый лазер на полупроводниковом усилительном модуле, конечная мощность излучения которого должна быть приемлемой для использования его в различного рода установках, например, в интерферометрах, которые используются в лаборатории для цифровой голограмии. Длина когерентности должна быть порядка миллиметра. Лазер должен перестраиваться в диапазоне  $850 \pm 20 - 30$  нм.

Предстояло определить оптимальную схему расположения отдельных элементов лазера и выяснить, какие параметры влияют на длину когерентности.

Так как длина когерентности находится по формуле:  $L_{\text{коэ}} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$ , где  $\lambda$  – длина волны, на которой получена генерация, а  $\Delta\lambda$  – ширина спектра, то очевидно, что для получения большей длины когерентности необходимо уменьшить ширину спектра. Поэтому, определив параметры, влияющие на ширину спектра, мы определим параметры, от которых зависит длина когерентности.

Кратко рассмотрим, что представляет собой лазер. Лазер – аббревиатура от начальных букв английского выражения «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», что в переводе означает «усиление света вынужденным излучением». Лазер является квантовым генератором. Принципиально он состоит из двух элементов: квантового усилителя и обратной связи. В нашем случае обратная связь – селективная, так как лазер – перестраиваемый.

В качестве селективной обратной связи в нашей установке использовалась дифракционная решетка, которая представляет собой периодическую систему одинаковых, расположенных на одном и том же расстоянии друг от друга, щелей. Плоская волна, прошедшая через решетку, преобразуется в дискретный набор плоских волн, распространяющихся под разными углами относительно направления распространения исходной волны. Это явление называется угловой дисперсией, то есть зависимостью угла дифракции от длины волны, что и обуславливает селективность дифракционной решетки.

*Эксперимент.* Элементная база: дифракционная решетка (период  $d = \frac{1}{600}$  мм); 2 коллиматора с фокусным расстоянием  $f = 11$  мм и диаметром  $d = 2r = 2,5$  мм; полупроводниковый усиливательный модуль SOA – 371 фирмы «Superlum»; делительное зеркало. Оборудование: спектроанализатор, фотоприемник, амперметр, измеритель мощности, визуализатор.

Нами были реализованы две схемы. В одной схеме было исследовано два различных варианта (в зависимости от положения дифракционной решетки).

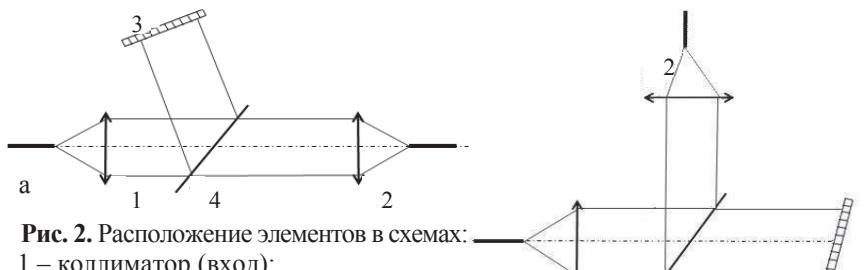


Рис. 2. Расположение элементов в схемах:

- 1 – коллиматор (вход);
- 2 – коллиматор (выход);
- 3 – дифракционная решетка;
- 4 – делительное зеркало.

Сигнал выводится из коллиматора, попадает на делительное зеркало, делится на 2 части: один луч идет к дифракционной решетке, после чего один из порядков возвращается обратно в коллиматор; второй луч попадает в другой коллиматор (выход), после чего может использоваться для измерений.

Первоначально нами была реализована схема 2б, была получена очень слабая генерация на минус первом порядке, а на минус втором порядке получить генерацию не удалось.

Мы не были удовлетворены полученными результатами, поэтому реализовали другую схему, где поменяли дифракционную решетку и коллиматор (выход) местами, поставив последний напротив коллиматора (входа). В результате получили генерацию на минус первом порядке и определили ширину спектра с помощью спектроанализатора:  $\Delta\lambda = 0,4$  нм. Мы решили расположить дифракционную решетку дальше от остальных элементов схемы с целью получить более узкий спектр.

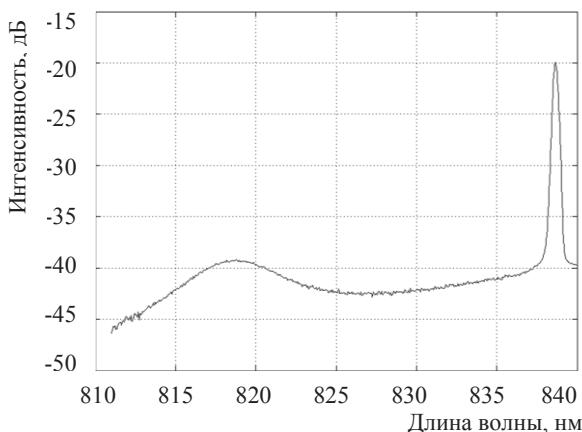


Рис. 3. Генерация на минус первом порядке

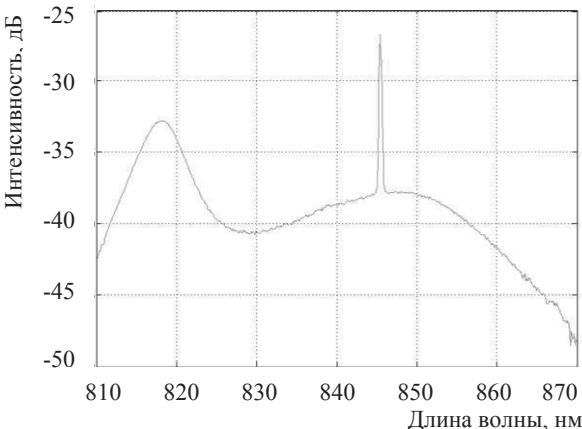


Рис. 4. Генерация на минус втором порядке

Однако мы получили  $\Delta\lambda = 0,7$  нм (рис. 3) при генерации на минус первом порядке (интенсивность излучения относительно 1 мВт). На минус втором порядке, вместо ожидаемого обужения спектра, произошло его дальнейшее уширение (рис. 4). Легко заметить, что ширина спектра возросла почти в 2 раза.

С помощью измерителя мощности мы определили мощность излучения на выходе, примерно равную 500 мкВт. В волокно из коллиматора при этом вводилось 50%, а это весьма хороший показатель.

С помощью фотоприемника и амперметра был определен коэффициент деления зеркала. Отсюда было найдено излучение на входе. Сигнал на выходе был также измерен. Нашли КПД по свету, то есть отношение излучения на выходе к общему излучению, приблизительно равный 10%.

Мы выявили 3 особенности, которые не были учтены нами заранее.

1. В схеме с близко поставленной дифракционной решеткой спектр уже, чем в схеме с далеко поставленной дифракционной решеткой. Интуитивно ожидался обратный результат, но простое геометрическое рассмотрение задачи дает ответ на этот вопрос;

$$\alpha \approx \frac{D}{2f}, \text{ поэтому не пред-}$$

ставляет труда найти

$$\Delta\lambda = \frac{dD}{2mf}, \text{ где } d - \text{период}$$

решетки,  $D$  – диаметр волокна,  $f$  – фокусное расстояние,  $m$  – порядок. Можно заметить, что в формуле отсутствует зависимость ширины спектра от расстояния до дифракционной решетки. Однако экспериментально полученный результат не совпадает не только с нашим предположением, но и с теоретическим результатом, поэтому дальнейшее исследование будет посвящено и этому вопросу.

2. При использовании минус второго порядка дифракции в первой схеме ширина спектра увеличилась, что объясняется тем, что на него приходится в четыре раза меньше излучения, чем на минус первый.

3. Во второй схеме генерация заметно хуже, чем в первой и это не зависит от коэффициента деления зеркала (эксперимент с прозрачным стеклом тоже закончился неудачей). Мы предполагаем, что в этом случае имеет место сильная зависимость от качества стекла. Видимо, вносимые искажения в фазовый фронт не позволяют эффективно вводить в волокно излучение.

Требуется дополнительное исследование некоторых особенностей установки, так как полученные результаты нельзя считать идеальными.

### Литература

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. – М.: Наука, 2004. – 654с.
2. Новейшие применения перестраиваемых лазеров. Тезисы доклада / Международная конференция «Перестраиваемые лазеры и их применения». – Лоэн, Норвегия. 6 – 11 июня 1976 года.
3. Фейнман Р., Лейтон Р. Фейнмановские лекции по физике. Излучение. Волны. Кванты. – М.: Сэндс. – 235 с.

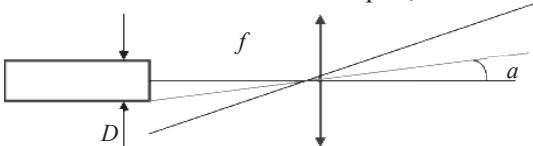


Рис. 5. Иллюстрация к геометрической задаче

## Определение периода колебания воды в манометре

Сухов Илья

7 класс

Научный руководитель Т.В. Севрюгина,  
педагог высшей категории



*В данной работе определяется период колебаний воды в сообщающихся сосудах, подбирается теоретическая модель определения периода колебаний, выясняется, как быстро затухают эти колебания.*

Жидкости в сосудах очень легко выходят из состояния покоя, поэтому могут участвовать в различных видах механических движений. Наиболее вероятный вид движения, возникающий в емкостях с жидкостями – это колебания. Если жидкость находится в сообщающихся сосудах, то при любом внешнем воздействии на нее возникают свободные колебания жидкости. Этот вид движения может накладываться на любой другой вид движения, что может привести к резонансу и нежелательным последствиям, например, при транспортировке различных жидкостей.

Будем считать систему U-образной трубы с водой колебательной системой. Колебания в этой системе происходят под действием внутренних сил системы, поэтому являются свободными. Период и частота колебаний определяются свойствами самой колебательной системы, в данном случае упругими свойствами воды и ее массой.

Кроме того, мы не будем учитывать действие сил трения, а смещения уровня воды от положения равновесия будем считать малыми по сравнению с высотой столба воды в трубках сосуда. Тогда можно считать колебания воды в сосуде гармоническими.

Поскольку воздействие повышенного давления на поверх-

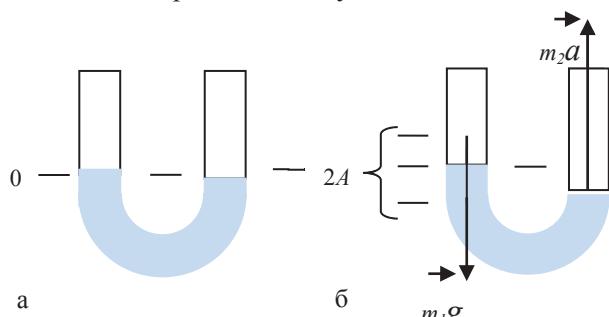


Рис. 1. Состояние воды в трубке: а – без внешнего воздействия; б – при наличии внешнего воздействия

ность воды кратковременное, вода ведет себя как упругое тело. Получим формулу для расчета периода колебаний воды в сообщающихся сосудах.

После выведения воды в одной из трубок из состояния равновесия, в другой трубке возникает возвращающая сила – сила тяжести, создаваемая массой воды  $m_1$ , поднятой по сравнению с уровнем воды в соседней трубке:  $F_1 = m_1 g$ . Эта сила вызывает движение всей массы воды в сообщающихся сосудах  $m_2$ , величину которой можно определить по второму закону Ньютона:  $F_2 = m_2 a$ . Эти силы равны по модулю, но противоположны по направлению (согласно третьему закону Ньютона):

$$m_1 g = m_2 a. \quad (1)$$

Массу столба воды, поднятой над уровнем воды в соседней трубке сообщающихся сосудов, определим, используя формулу плотности:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m_1 = \rho V_1.$$

Объем воды определим как произведение площади поперечного сечения трубы  $-S$  и высоты водяного столба  $-2A$ :

$$V_1 = S \cdot 2A,$$

где  $2A$  – суммарное отклонение уровня столба воды в одной трубке относительно уровня в другой. Тогда масса воды равна:

$$m_1 = 2\rho S A.$$

Аналогичные вычисления проведем для определения массы воды в манометре  $m_2$ :  $m_2 = \rho V_2$ . Объем воды определим как произведение площади поперечного сечения трубы  $-S$  и длины водяного столба  $-l$ :  $V_2 = S \cdot l$ . Тогда для массы всей воды в трубке имеем:  $m_2 = \rho S l$ .

Подставляя эти массы в уравнение (1), получим:  $\rho S l a = 2\rho S A g$ .

Тогда ускорение воды  $a$  в начальный момент времени равно:  $a = \frac{2g}{l} A$ .

Ускорение во время колебаний меняется, так как изменяется высота столба воды в трубках сообщающихся сосудов. Тогда для его определения имеем выражение:

$$a(t) = \frac{2g}{l} x(t),$$

где  $x(t)$  – высота столба воды в любой момент времени.

Коэффициент пропорциональности между ускорением и отклонением столба воды является квадратом циклической частоты колебаний  $\omega$ :

$$\omega^2 = \frac{2g}{l}.$$

Зная связь циклической частоты и периода колебаний, получим выражение для периода колебаний воды в сообщающихся сосудах:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{2g}}.$$

Если длина водяного столба в исследуемой U-образной трубке  $l = 20$  см = 0,2 м, а ускорение свободного падения примем за 9,81 Н/кг, то получим:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{2g}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{2 \cdot 9,81}} = 0,64(\text{с}).$$

Если длина водяного столба в манометре равна  $l = 45$  см = 0,45 м, а ускорение свободного падения примем за 9,81 Н/кг, то получим:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{2g}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{0,45}{2 \cdot 9,81}} = 0,94(\text{с}).$$

В практической части проведены серии опытов по определению периодов колебаний воды и найдено среднее значение: в U-образной трубке  $T = 0,74$  с, в манометре  $T = 0,89$  с. Были проведены опыты с различными амплитудами колебаний, периоды практически не отличались. При проведении серии опытов было выявлено, что затухание колебаний в манометре происходило уже на втором или третьем периодах, а в U-образной трубке – на четвертом или пятом периодах колебаний.

*Вывод.* Период колебаний зависит от суммарной длины столбов воды в трубках. Влияния амплитуды колебаний на период не выявились. Однако от сечения зависит быстрота затуханий: чем шире трубка, тем медленнее затухание в системе. Таким образом, чем больше жидкостью заполнены емкости, тем медленнее колеблется в них жидкость, но чем шире их сечение, тем медленнее происходит затухание колебаний.

### Литература

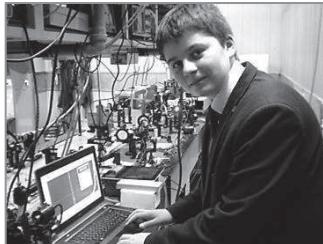
1. Кабардин О.Ф. Физика: Справ. материалы: Учеб. пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика 8 класс. – М.: Просвещение, 1972. – 255с.
3. Физика 7 класс.: учебник для общеобразоват. учреждений / А.В. Перышкин. – М.: Дрофа, 2011. – 192 с.
4. Виды манометров [Интернет ресурс]: <http://www.tehno-kip.ru>.
5. История изобретения и развития жидкостного манометра [Интернет ресурс]: <http://www.kipstory.ru/pribori/razvitiye>.
6. Контрольно-измерительные приборы: Манометры [Интернет ресурс]: <http://www.prodaymne.ru/manometr>.

# **Зависимость величины эффекта Фарадея от длины волны излучения в некоторых магнитооптических средах**

Филимонов Александр

9 класс

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



*Работа посвящена исследованию зависимости величины эффекта Фарадея от длины волны лазерного излучения в образцах магнитоактивных сред, обладающих различной кристаллической структурой: магнитооптическом стекле марки «МОС-31» (аморфные среды), кристалле тербий-галлиевого граната TGG (моноокристаллические среды), керамике тербий-алюминиевого граната, легированной атомами церия Ce:TAG (оптическая керамика). В процессе работы создана универсальная измерительная установка, позволяющая проводить измерения постоянной Верде с точностью более 5% образцов магнитооптических сред различных форм и размеров на длинах волн излучения 401, 532, 637 и 1064 нм. Результаты экспериментальных измерений в пределах погрешности совпали с литературными данными. Сделан вывод о целесообразности использования в изоляторах Фарадея исследованных оптических сред, в том числе Ce:TAG, в которой зависимость величины эффекта Фарадея от длины волны излучения исследовалась впервые.*

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 таких направлениях, как расширение диапазона доступных длин волн генерируемого излучения, так и мощность излучения. 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, а в отдельных аварийных случаях – угрожать безопасности персонала, обслуживающего установку.

Проблемы подобного рода может решать оптический вентиль – изолятор Фарадея (ИФ), и альтернативных способов для предохранения лазера от собственного излучения просто нет. Это делает ИФ одним из ключевых элементов описываемых лазерных схем.

Принцип работы оптического вентиля базируется на эффекте Фарадея – эффекте поворота плоскости поляризации линейно поляризованного лазерного излучения некоторыми оптическими средами, помещенными в магнитное поле. Величина поворота плоскости поляризации зависит от свойств оптической среды, температуры, длины волны излучения. Адекватное описание зависимости силы эффекта Фарадея от длины волны излучения важно для создания все более востребованных оптических изоляторов.

Заслуга по исследованию и систематизации эффекта Фарадея (впервые продемонстрированного в 1845 году) принадлежит Мерседлю Этьену Верде [1]. Ему, в частности, принадлежит формула величины угла поворота плоскости поляризации:

$$\varphi = VHL.$$

Угол прямо пропорционален длине магнитоактивной среды, напряженности магнитного поля, в которое помещена среда, и физической величине, характеризующей силу эффекта Фарадея, названной впоследствии постоянной Верде.

Экспериментальное исследование зависимости величины эффекта Фарадея от длины волны излучения включало в себя измерения:

1) длин волн используемых лазерных источников, в совокупности перекрывающих интервал от синей границы видимого до ближнего инфракрасного диапазона: 401, 532, 637, 1064 нм (при помощи спектрометра «Solar TII S-150-2» и сопутствующего программного обеспечения «PSI Line»). Измерения показали, что неопределенность значения длины волны каждого источника не превышает 1%;

2) пространственного распределения продольной компоненты магнитного поля используемой магнитной системы из Nd-Fe-B ферромагнитного сплава (при помощи тесламетра «Маяк-5»). Для того чтобы измерительная установка позволяла исследовать величину эффекта Фарадея в оптических образцах большого диаметра, распределение магнитного поля было измерено не только внутри (рис. 1а), но и снаружи (рис. 1б) системы;

3) длин исследуемых оптических сред цифровым штангенциркулем;

4) угол поворота плоскости поляризации излучения исследованных источников при прохождении света через оптические среды, помещенные в исследованную магнитную систему (при помощи созданной измерительной схемы, рис. 2);

5) вычисление постоянной Верде исследованных оптических сред, расчет погрешности.

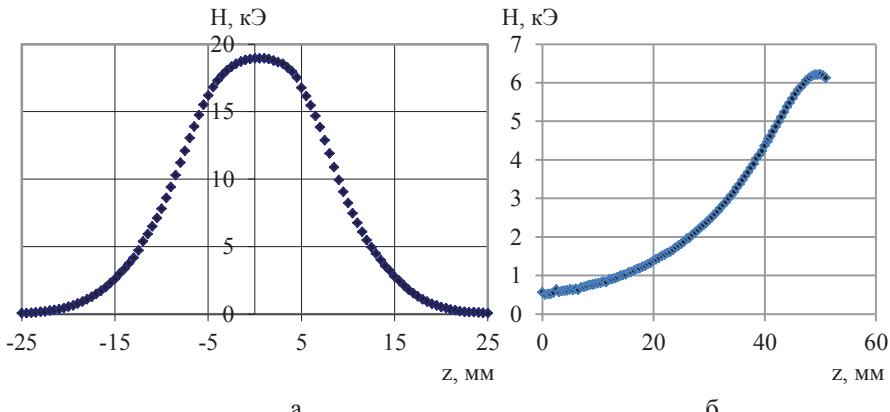


Рис. 1. Пространственное распределение напряженности магнитного поля исследуемой системы

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.

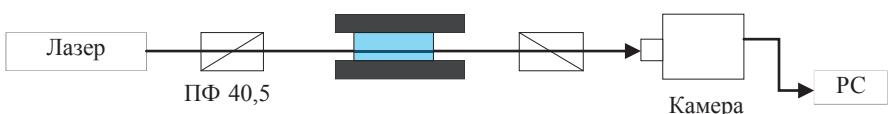


Рис. 2. Экспериментальная схема по измерению угла поворота плоскости поляризации излучения

Излучение лазера, пройдя через поляризационный фильтр (ПФ 40,5), линейно поляризовалось, проходило через исследуемую оптическую среду, помещенную в магнитную систему, направлялось на поляризационный фильтр, размещенный на лимбовом столе, и регистрировалось камерой. Угол поворота плоскости поляризации изме-

рялся путем поворота второго полярифильтра в лимбовом столе из положения, когда плоскости поляризации полярифильтров ортогональны друг другу, до положения, когда сигнал на камере минимален (плоскость поляризации второго ПФ ортогональна плоскости поляризации падающего на него излучения, прошедшего оптическую среду).

В рамках работы нами исследовались оптические материалы, являющиеся представителями магнитоактивных сред разной кристаллической структуры: магнитооптическое стекло марки «МОС-31» (аморфные среды) длиной 9 мм; кристалл тербий-галлиевого граната TGG (моноокристаллические среды) длиной 3,4 мм; керамика тербий-алюминиевого граната, легированная атомами церия Ce:TAG (оптическая керамика) длиной 4 мм.

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.

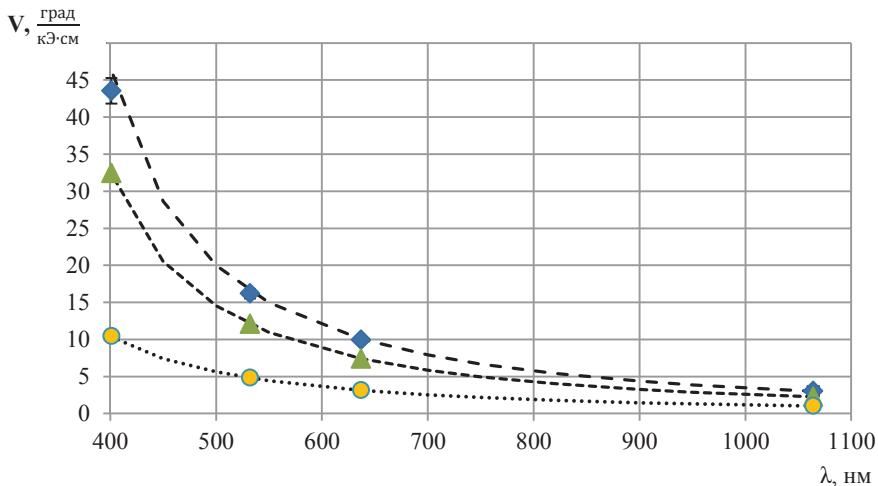
Значение постоянной Верде исследованных сред вычислялось по формуле:

$$V = \frac{\varphi}{HL}.$$

В измерениях магнитооптический элемент из кристалла TGG располагался в максимуме магнитного поля, где средняя величина магнитного поля на длине магнитооптического элемента составляла  $H_{cp}=18,9$  кЭ, образцы МОС-31 и Ce:TAG располагались на краю магнитной системы,  $H_{cp}=6$  кЭ. Результаты представлены в таблице и на рисунке 3.

*Таблица. Результаты измерений*

Длина волны $\lambda$ , нм	MOS-31		TGG		Ce:TAG	
	Постоянная Верде $V$ , $\frac{\text{град}}{\text{кЭ}\cdot\text{см}}$	Погрешность Верде, $\varepsilon V$	Постоянная Верде $V$ , $\frac{\text{град}}{\text{кЭ}\cdot\text{см}}$	Погрешность Верде, $\varepsilon V$	Постоянная Верде $V$ , $\frac{\text{град}}{\text{кЭ}\cdot\text{см}}$	Погрешность Верде, $\varepsilon V$
1064	1,02	0,047	2,25	0,014	3,02	0,041
637	3,15	0,031	7,4	0,012	9,95	0,029
532	4,85	0,025	12,07	0,011	16,19	0,024
401	10,43	0,023	32,43	0,011	43,55	0,022



**Рис. 3.** Теоретические (линии) и экспериментальные (точки) зависимости постоянной Верде от длины волны излучения в МОС – 31 (круги), кристалле TGG (треугольники) и оптической керамике Ce:TAG (ромбы)

Теоретические зависимости для исследованных сред имеют вид  $V \sim \frac{1}{\lambda^2 - \lambda_0^2}$ , значения  $\lambda_0$  для МОС-31 и TGG приводятся в работе [2]: 233 нм и 297 нм соответственно; для чистого TAG – в работе [3]: 305 нм, однако экспериментальные результаты для оптической керамики Ce:TAG также совпали с данной зависимостью в пределах погрешности 5%. Дополнительно совпадение теоретических данных и экспериментальных измерений подтверждается при помощи построения графика  $1/V$  от  $\lambda^2$  с использованием  $\lambda_0$  в качестве подгоночного параметра. Полученные при такой процедуре значения  $\lambda_0$  также совпали с известными ранее с точностью 5%.

В рамках работы была разработана универсальная измерительная оптическая установка, позволяющая исследовать зависимость величины эффекта Фарадея от длины волны лазерного излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона, в которой:

- с большой точностью определены параметры установки (длина волны излучения используемых источников, пространственное распределение продольной компоненты магнитного поля, используемая магнитная система);
- экспериментально исследована зависимость постоянной Верде от длины волны в магнитоактивных средах разной кристаллической

структуры: магнитооптическом стекле марки «МОС-31» (аморфные среды); кристалле тербий-галлиевого граната (моноокристаллические среды); керамике тербий-алюминиевого граната, легированной атомами церия (оптическая керамика).

Обработка полученных результатов показывает совпадение в пределах рассчитанной погрешности экспериментальных измерений данным, приведенным в литературе.

Использование исследованных магнитоактивных сред в изоляторах Фарадея для излучения рассмотренного диапазона длин волн оправдано. При прочих равных условиях магнитооптический элемент из Ce:TAG будет почти в 3 раза короче МОЭ из МОС-31. Длина такого МОЭ изолятора Фарадея для 1064 нм (большинство твердотельных промышленных лазеров) составит всего ~ 9мм.

Однако достижение цели конкретной работы не исчерпывает научный потенциал выбранной тематики. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение температурной зависимости величины эффекта Фарадея в исследованных оптических средах, а также на поиск новых перспективных магнитоактивных сред.

### Литература

1. Complete Dictionary of Scientific Biography [Интернет источник]. <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. Warren DeSorbo, Magneto-Optical Properties of Terbium Aluminum Garnet at Liquid-Helium Temperatures // Physical Review, 1967, v. 158. P. 839 – 842.

# **Применение лазерно-оптической анемометрии для исследования течений в волнах на поверхности воды**

**Хазанов Григорий**

**10 класс**

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



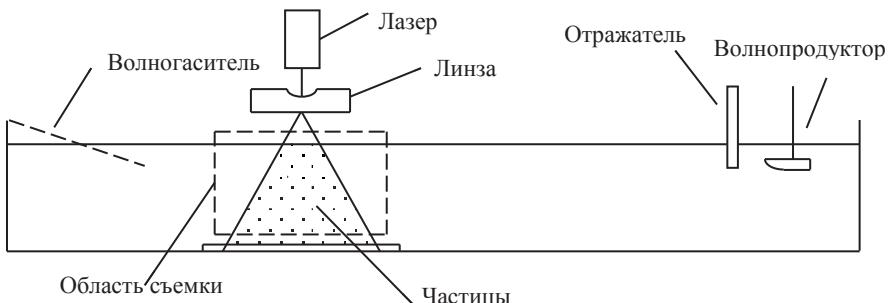
*Применение методов лазерно-оптической анемометрии для решения различных прикладных задач сейчас крайне востребовано. Нами был применен бесконтактный метод лазерно-оптической анемометрии по изображениям частиц (Particle Image Velocimetry) для исследования течений в волнах на поверхности воды. В ходе работы были получены и исследованы поля скоростей внутри волн для случаев бегущей и стоячей волн.*

На высокоскоростном ветро-волновом канале ИПФ РАН проводятся эксперименты по лабораторному моделированию взаимодействия волн с ветром, в том числе создаются условия, при которых наблюдается регулярное обрушение волн. Детальное исследование структуры ветрового потока осуществляется посредством бесконтактной лазерной системы PIV. Использование системы требует введения в поток мелких частиц. Если попытаться использовать ее для изучения течений внутри волн на поверхности бассейна, над которым построен ветро-волновой канал, то необходимо внести частицы в его немалый объем, что затруднительно. Поэтому была предпринята попытка проведения подобных измерений в малом лотке с использованием волнопродуктора для генерации волн вместо ветра.

Целью работы являлась отработка методики применения бесконтактных способов измерения для изучения течений в волнах на поверхности воды. В ходе работы решались следующие задачи: подготовка лабораторной установки с регулярно получаемыми поверхностными волнами разных типов, создание подходящей для измерений конфигурации системы PIV, непосредственное проведение эксперимента с регистрацией скоростей течений, возникающих в поверхностных волнах, обработка и интерпретация полученных данных.

Для достижения нашей цели использовался метод лазерно-оптической анемометрии по изображениям частиц. Particle Image Velocimetry – это бесконтактный метод цифровой визуализации,

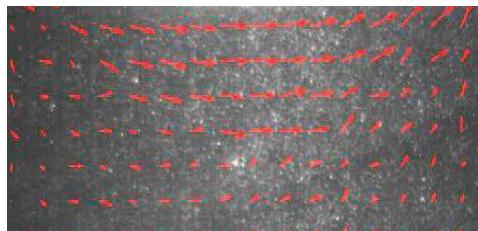
позволяющий измерить поля скорости в потоках. Он выгодно отличается от других методов возможностью регистрировать мгновенные пространственные распределения скорости. Мы применили его для исследования течений в волнах на поверхности воды. В лоток с водой были искусственно введены частицы. Так как частицы очень маленькие ( $d = 20 \text{ мкм}$ ), они увлекаются вязкими силами и долгое время не оседают на дно. Сверху частицы освещаются плоским лазерным лучом – «лазерным ножом». Сбоку движение частиц отслеживает камера. В начальной (правой) части лотка был установлен волнопродуктор для генерации волн. В конечной (левой) части лотка может быть установлен волногаситель, а после волнопродуктора – отражатель для отражения волн (рис. 1).



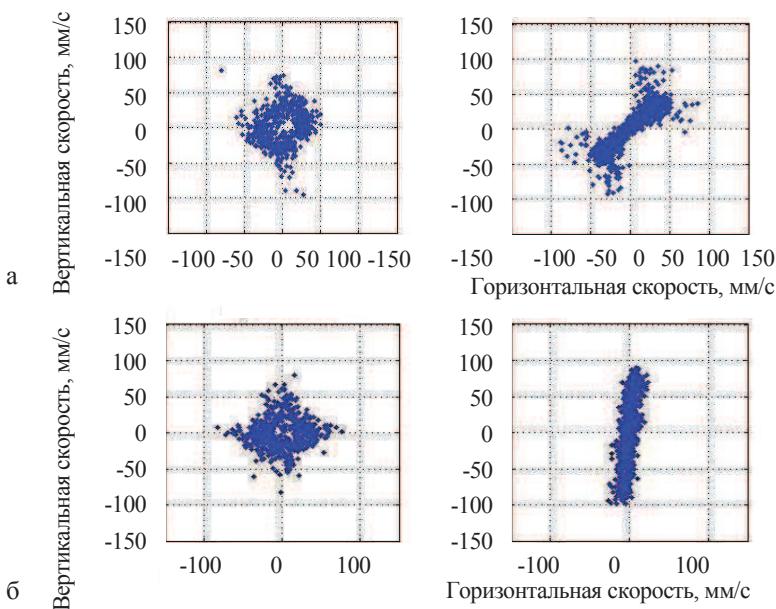
**Рис. 1.** Общая схема эксперимента, вид сбоку

Нами были проведены эксперименты с получением бегущей и стоячей волн. Получая бегущую волну, мы поставили волногаситель в левой части лотка, чтобы волны, идущие справа, гасились; это позволяло наблюдать бегущую волну и отслеживать поля скоростей в ней. Для получения стоячей волны мы убрали волногаситель, чтобы волны, идущие справа, отражались от левой стенки лотка, а отражатель поставили после волнопродуктора, погрузив его на несколько сантиметров, чтобы волны, идущие слева, отражались, а волнопродуктор при этом мог генерировать волны за счет переноса энергии под отражателем. В этом случае лазер находился сверху и располагался на расстоянии 81 см от конца канала. Камера располагалась сбоку на расстоянии 80 см от того места, где находился лазер. Вся длина канала составляла 306 см. Область съемки охватывала 21 см по вертикали. Волнопродуктор располагался на 10 см левее начала лотка, его длина составляла 9 см.

Для обработки результатов использовался метод кросскорреляции. Исходные кадры разбивались на небольшие элементы размером 32\*32 пикселя. Между элементами, расположенными на соседних кадрах, производилось сравнение: находилось такое смещение элемента на первом кадре, которое было наиболее близким к элементу со второго кадра. Это смещение соответствует видимому перемещению частиц на изображении и математически вычисляется как положение максимума кросскорреляционной функции. Зная, что в нашем случае масштаб изображения равен 0,62 мм/пиксель, а частота съемки 500 кадров в секунду, можем найти истинную скорость частицы в плоскости лазерного ножа. В результате получаем поле скоростей для каждого кадра (рис. 2).



**Рис. 2.** Пример поля скорости, полученного в результате обработки

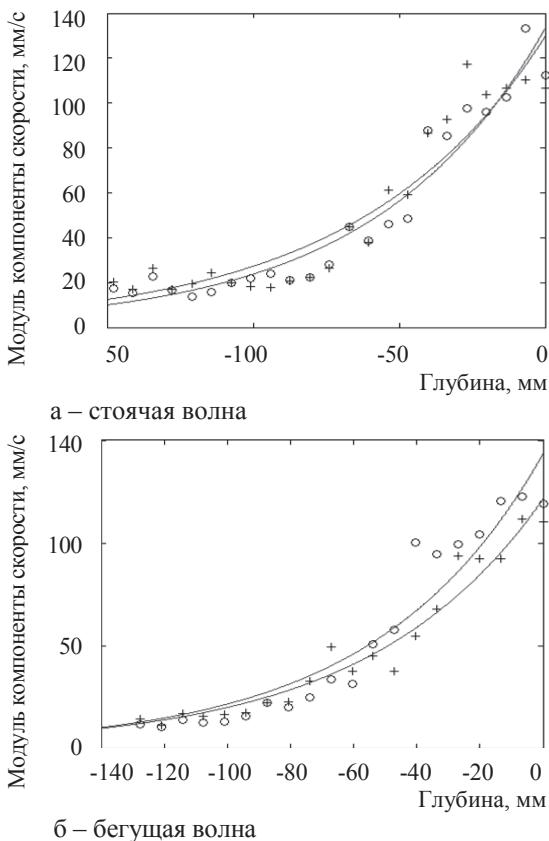


**Рис. 3.** Годограф скорости для бегущей волны (слева) и стоячей волны (справа), глубина 33,6 мм; на рис. б вертикальная ось взята на расстоянии 9,2 см от вертикальной оси на рис. а

На основе полученных результатов мы исследовали различия в полях скоростей для случаев со стоячей и бегущей волнами. Для этого мы выбрали точку на одной вертикальной линии и на одинаковой глубине, построив все найденные для них скорости (рис. 3а). Если мы выберем другую вертикаль, то картина течений для бегущей волны не изменится, а для стоячей волны изменится угол, под которым наклонены скорости (рис. 3б). Это свидетельствует о том, что для случая бегущей волны нет четкой направленности движения частиц. На рисунке 3 изображены голографы скорости, то есть точки, представляющие собой геометрическое место концов изменяющегося со временем вектора скорости, отложенного от начала координат.

Мы рассмотрели зависимость амплитуды скорости течений от глубины. При увеличении глубины скорость уменьшается как для бегущих (рис. 4б), так и для стоячих (рис. 4а) волн. Формулы для горизонтальной и вертикальной составляющих вектора скорости на глубокой воде выглядят так:

$V_{horizontal} = e_k \sigma a e^{kz} \cos \theta$  и  
 $V_{vertical} = \sigma a e^{kz} \sin \theta$ . В общем виде это можно записать:  $f(x) = ae^{bx}$ .



**Рис. 4.** Зависимость скорости течений от глубины  
(о – горизонтальная компонента скорости,  
+ – вертикальная компонента скорости.  
Точки взяты на одном вертикальном сечении.  
Сплошными линиями показана экспоненциальная аппроксимация по МНК)

Эта функция использовалась для аппроксимации полученных экспериментально зависимостей компонент скорости от глубины методом наименьших квадратов. В данном случае  $b$  соответствует волновому числу, которое было получено из наших экспериментальных данных. Полученное таким образом значение волнового числа близко к теоретическому (с разницей в пределах восьми процентов). Это значит, что экспоненциальная зависимость хорошо описывает полученные нами экспериментальные данные.

В результате проделанной работы мы получили поля скоростей для случаев с бегущей и стоячей волнами. На основе полученных скоростей была найдена и исследована зависимость модуля скорости от глубины, которая оказалась экспоненциальной. Эта зависимость одинакова для случаев с бегущей и стоячей волнами при одинаковой амплитуде волн и частоте волнопродуктора. Исследованы различия между полями скоростей для бегущей и стоячей волны и показано, что во втором случае присутствуют выделенные направления в средних картинах течений. Полученные результаты соответствуют теоретическим представлениям о течениях в поверхностных волнах. Основным результатом работы стала разработанная методика детального бесконтактного исследования течений в волнах на поверхности с помощью лазерно-оптической анемометрии по изображениям частиц.

### Литература

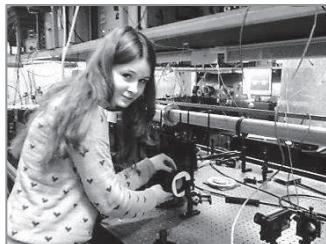
1. *Джо Вулфи.* Струны, стоячие волны и гармоники. [Интернет источник]: [http://www.gmstrings.ru/russian/articles/wolfe\\_stingsharmonics.htm](http://www.gmstrings.ru/russian/articles/wolfe_stingsharmonics.htm).
2. *Дубнищев Ю.Н.* Оптические методы исследования потоков / Ю.Н. Дубнищев, В.А. Арбузов, П.П. Белоусов, П.Я. Белоусов. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2003. – 418 с.
3. *Звелто О.* Принципы лазеров. – М.: Мир, 1990. – 559с.
4. *Островский Л.А.* Волны на поверхности жидкости // Физическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – Т. 1. – 707 с.

## **Оптические элементы, позволяющие управлять поляризацией**

Чижевская Яна

10 класс

Научный руководитель М.С. Кузьмина,  
младший научный сотрудник ИПФ РАН



*В работе исследовано понятие поляризации света и способы, позволяющие ею управлять. Найдена зависимость угла поворота и эллиптичности поляризации выходного излучения от ориентации полуволновой и четвертьволновой пластинок. Из простых элементов создан поляризационный элемент, вращающий поляризацию на заданный угол. Исследованы особенности изготовления волновой пластинки из кристалла DKDP.*

Управление поляризацией лазерного излучения является одним из развивающихся направлений лазерной физики. Изменение эллиптичности и угла наклона эллипса поляризации позволяют реализовать многопроходные схемы, компенсировать негативные тепловые и нелинейные эффекты. Такие двулучепреломляющие оптические элементы, как волновые пластинки, изолятор Фарадея, вращатель поляризации относятся к элементам преобразования поляризации, являются неотъемлемыми составляющими современных лазерных систем.

Цель работы состояла в рассмотрении способов преобразования поляризации при помощи волновых пластинок. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование преобразования поляризации при помощи волновой и четвертьволновой пластинок, изготовленных из кристаллического кварца. Предложен вращатель поляризации, состоящий из стандартных поляризационных элементов и осуществляющий поворот эллипса поляризации на заданный угол. Определен угол наклона оптической оси по отношению к направлению распространения излучения в волновой пластинке, изготовленной из кристалла DKDP. Рассмотрим перечисленные этапы данной работы подробнее.

Применение двулучепреломляющих сред относится к одному из основных средств изменения поляризации излучения. Преобразование поляризации в этом случае осуществляется за счет внесения разности фаз между двумя компонентами вектора электрического поля, лежащих в параллельной и перпендикулярной по отношению к

выделенному направлению плоскости. Для описания изменения поляризации используют матричный метод Джонса. Этот способ позволяет определить состояния поляризации плоских монохроматических волн, проходящих через оптические системы, обладающих двулучепреломлением. Будем рассматривать изменение проекций вектора напряженности электрического поля  $E$  в системе координат, связанной с главными осями пластиинки. Воспользуемся матрицей Джонса для собственных линейно поляризованных волн пластиинки. Запишем преобразование поляризации для излучения с исходно линейной поляризацией, повернутой на угол  $\alpha$  относительно главных направлений полуволновой ( $\delta = \pi$ ) и четвертьволновой ( $\delta = \pi/2$ ) пластиинок:

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{-i\frac{\delta}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\delta}{2}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} E_0 \cdot \sin \alpha \\ E_0 \cdot \cos \alpha \end{pmatrix},$$

где  $\alpha$  – угол поворота пластиинки,  $\delta$  – разность фаз.

В случае с полуволновой пластиинкой выходное излучение сохранит исходную форму эллипса поляризации, изменится лишь угол наклона –  $\beta$ . Поворот эллипса поляризации в этом случае описывается следующей зависимостью:  $\beta = 2\alpha$ . Данный угол может быть определен также через отношение модулей проекций вектора  $E$  на главные оси пластиинки:  $\beta = \arctg(|E_y|^2/|E_x|^2)$ . На выходе из четвертьволновой пластиинки форма эллипса поляризации излучения зависит от угла наклона исходно линейно поляризованного излучения  $\alpha$ . Данное преобразование поляризации будем описывать при помощи отношения  $|E_y|/|E_x| = -1 + (1 - (\sin \delta/2 \cdot \sin 2\alpha)^2)^{-1}$ , где  $|E_y|/|E_x| = 1$  соответствует циркулярной поляризации излучения, а  $|E_y|/|E_x| = 0$  – линейной поляризации.

Проверим полученные зависимости параметров эллипса поляризации от угла  $\alpha$  на выходе из волновых пластиинок экспериментально. Для эксперимента была использована схема, изложенная на рисунке 1.

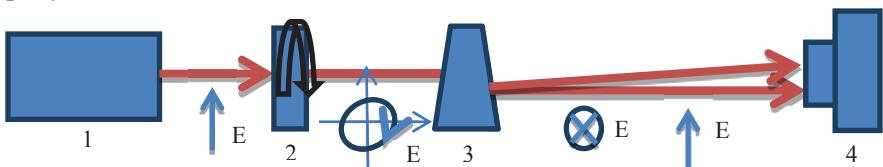


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Линейно поляризованное излучение, генерируемое Nd:YLF лазером, проходило через волновую пластинку 2 ( $\lambda/2$  или  $\lambda/4$ ), а затем через шпатовый клин 3. При помощи клина излучение было разделено в пространстве на две ортогонально поляризованные компоненты. Распределение интенсивностей этих компонент фиксировалось CCD-камерой 4 в виде двух пятен. Программная обработка полученных изображений позволила найти отношение интенсивностей составляющих компонент выходного излучения и, как следствие, построить теоретические и экспериментальные зависимости (рис. 2а) угла поворота линейной поляризации на выходе из  $\lambda/2$  пластиинки и  $|E_y|/|E_x|$  на выходе из  $\lambda/4$  пластиинки от угла  $\alpha$  (рис. 2б).

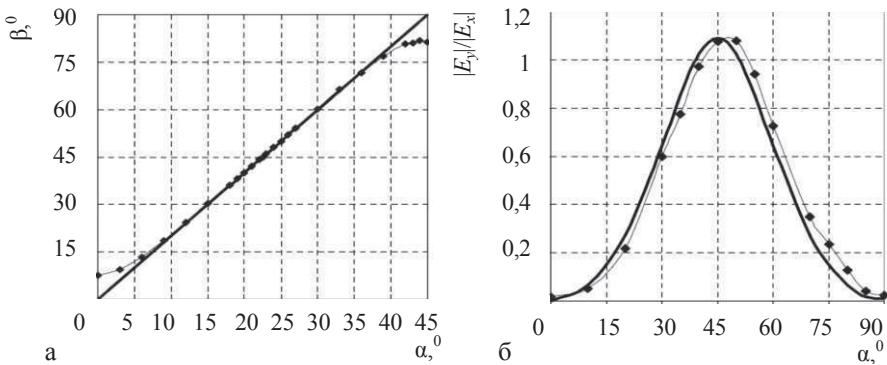


Рис. 2. Теоретические (сплошная линия) и экспериментальные (линия точками) зависимости угла поворота линейной поляризации на выходе из  $\lambda/2$  пластиинки (а) и отношение  $|E_y|/|E_x|$  на выходе из  $\lambda/4$  пластиинки (б) от угла  $\alpha$

Теоретические и экспериментальные зависимости на рисунке 2а хорошо согласованы, есть различия значений вблизи  $\alpha = 0^{\circ}$  и  $\alpha = 45^{\circ}$ . Это можно объяснить большой погрешностью измерений, связанной с чувствительностью CCD-камеры, так как распределение интенсивности слабой компоненты находится на уровне шумов самой камеры. Небольшая эллиптичность поляризации при  $\alpha = 45^{\circ}$  (то есть  $|E_y|/|E_x| \neq 1$ ) объясняется неточностью вырезки используемой в эксперименте четвертьволновой пластиинки (рис. 2б). Сдвиг экспериментальной кривой по оси абсцисс относительно теоретической зависимости объясняется неточностью измерений. Таким образом, нами были исследованы принципы преобразования поляризации такими простейшими элементами, как волновые пластиинки.

Покажем возможность создания вращателя поляризации, состоящего из двух неким образом ориентированных волновых пластинок с  $\delta_1$  и  $\delta_2$ . Запишем произведение матриц Джонса для первой пластиинки и пластиинки, повернутой относительно первой на угол  $\alpha$ . Предположим, что данная система эквивалентна вращателю, поворачивающему поляризацию на угол  $\beta$ . Решив систему уравнений для  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\alpha$ , мы выяснили, что система должна состоять из пластиинок  $\lambda/2$ , а зависимость угла поворота пластиинки  $\alpha$  от угла поворота поляризации  $\beta$  следующая:  $\alpha = \beta/2 - \pi/2 + \pi m$ ,  $m \in \mathbb{Z}$ . Собрав данную схему, мы убедились в правильности наших рассуждений экспериментально.

Исследуем двулучепреломляющие свойства волновой пластиинки, изготовленной из кристалла DKDP. Разница между показателями преломления обыкновенной ( $n_o$ ) и необыкновенной ( $n_e$ ) волны у кварца меньше, чем у DKDP (рис. 3).

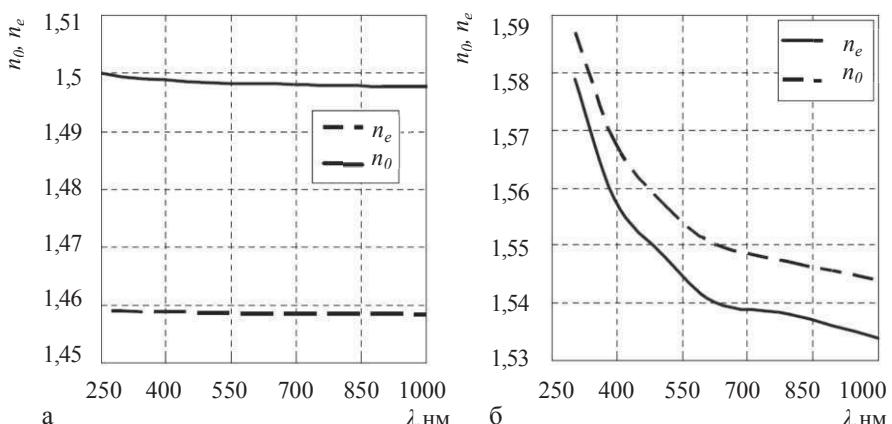


Рис. 3. Показатели преломления обыкновенной ( $n_o$ ) и необыкновенной ( $n_e$ ) волны у кристаллического кварца (а) и у DKDP (б)

Поскольку  $\delta = 2\pi/\lambda(n_o - n_e)d + 2\pi m$  ( $m$  обозначает порядок волновой пластиинки, а  $d$  – ее толщину), для получения разности фаз  $\delta$  такой же, как у пластиинки из кварца, у пластиинки из кристалла DKDP пришлось бы значительно уменьшить толщину. В этом случае возникает сложность с вырезкой пластиинки, которая обусловлена толщиной, меньшей 0,2 мм. Однако данная проблема может быть решена за счет изменения разницы между показателями преломле-

ния  $n_0$  и  $n_e$  при подборе угла наклона оптической оси кристалла  $\beta$ . Воспользуемся уравнением волновых нормалей Френеля (1) и получим связь между требуемым значением  $\delta$  и углом  $\beta$  при заданной толщине волновой пластинки (2):

$$\frac{\cos^2 \beta}{\varepsilon_{\perp}} + \frac{\sin^2 \beta}{\varepsilon_{||}} = \frac{1}{n_e^2}, \quad (1)$$

$$\sin \beta = \sqrt{\frac{\left[ \varepsilon_{\perp} - \left( \sqrt{\varepsilon_{\perp}} - \frac{\lambda(2m+1)}{4d} \right)^2 \right] \varepsilon_{||}}{\left( \varepsilon_{\perp} - \varepsilon_{||} \right) \left( \sqrt{\varepsilon_{\perp}} - \frac{\lambda(2m+1)}{4d} \right)^2}}, \quad (2)$$

где  $n_0^2 = \varepsilon_{\perp}$ ,  $n_e^2(\beta = 90^\circ) = \varepsilon_{||}$ ,  $\varepsilon_{\perp}$  – диэлектрическая проницаемость волн, поляризованных перпендикулярно оси кристалла,  $\varepsilon_{||}$  – диэлектрическая проницаемость волн, поляризованных параллельно оси кристалла. Зависимость (2) представлена на рисунке 4. Теперь в зависимости от порядка пластиинки, наклоняя ось пластиинки на определенный угол  $\beta$ , мы добьемся нужной разности показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.

Интерес к изготовлению волновой пластиинки из кристалла DKDP обусловлен тем, что для кристаллического кварца коэффициент кубической нелинейности на порядок выше, чем для кристалла DKDP.

Кубическая нелинейность проявляется себя при высокой пикивой интенсивности лазерного излучения и приводит к наведенной полем анизотропии. Дополнительная анизотропия приводит к изменению собственных поляризаций пластиинки, что понижает точность преобразования

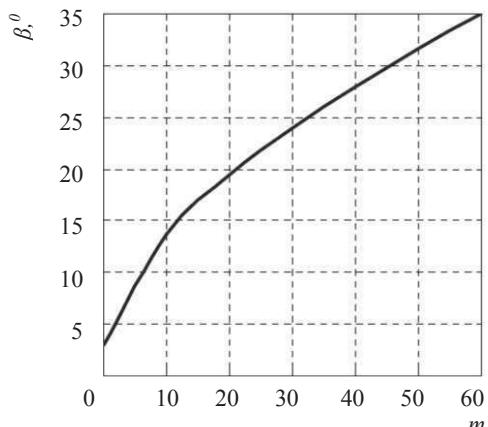


Рис. 4. Теоретическая зависимость угла наклона оптической оси кристалла в зависимости от ее порядка  $m$  при толщине пластиинки  $d = 1,8$  мм для длины волны  $\lambda = 795$  нм.

поляризации при помощи волновой пластиинки для высокоэнергетического излучения. По этой причине можно предположить, что, начиная с определенного значения интенсивности лазерного излучения, использование пластинок из DKDP более перспективно.

Таким образом, на примере поляризационных элементов, изготовленных из кристаллического кварца и кристалла DKDP, изучены способы преобразования поляризации. Рассмотрено преобразование поляризации при помощи полуволновой и четвертьволновой пластиинок. Проанализированы параметры вращателя поляризации, состоящего из простых поляризационных элементов.

### **Литература**

1. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 621 с.
3. *Ландсберг Г.С.* Оптика. Учеб. пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
4. *Мякишев Г.Я., Синяков А.З.* Колебания и волны. 11 класс. – М.: Дрофа, 2002. – 288с.
5. *Яворский Б.М., Пинский А.А.* Основы физики. Т. 2. – М., 1981.

# Химия



# **Синтез и исследование химической устойчивости гидроксиапатита состава $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$**

Богатова Софья

10 класс

Научный руководитель А.А. Еремина,  
аспирант кафедры химии твердого тела  
химического факультета ННГУ



*В данной работе представлен оптимальный метод синтеза гидроксиапатита кальция  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , по составу аналогичного естественному, изложены результаты исследования его химической устойчивости. Установлены пределы кислотности pH 4,5 – 8, в которых сохраняется целостность структуры гидроксиапатита кальция. Экспериментально доказано, что за этими пределами происходит разрушение его структуры. Проанализировано воздействие различных кислот на зубную эмаль. Установлено, что при взаимодействии с неорганическими кислотами происходит более сильное разрушение структуры гидроксиапатита, чем при взаимодействии с органическими кислотами.*

Зубная эмаль – это внешняя защитная оболочка зубов человека. Основной ее функцией является защита зубов от механического и химического воздействия. Зубная эмаль является самой твердой тканью в организме человека. Ее твердость определяется высоким содержанием в ней неорганических веществ (до 97 %), главным образом гидроксиапатита –  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (до 75,04 %). Но вместе с этим эмаль довольно уязвима для воздействия внешних факторов. Проблемы кариеса, гиперестезии, слабости зубной эмали в наши дни касаются практически всех, начинаясь еще в детстве и усугубляясь с каждым годом жизни.

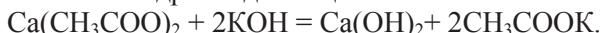
К настоящему моменту одним из способов решения этих проблем стал синтез гидроксиапатита, являющегося основной составляющей всех костных тканей. Гидроксиапатит нашел широкое применение в медицине как материал для различных имплантатов, в том числе он успешно используется для предотвращения повреждений и восстановления зубной эмали.

Известно, что эмаль прежде всего слабеет и разрушается под воздействием кислот, содержащихся в продуктах питания. Но ведь продуктов, которые мы ежедневно можем употребить в пищу,

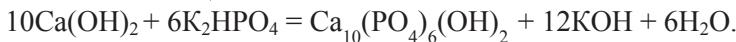
огромное множество, и все они имеют абсолютно разную кислотность и щелочность. Какие из них представляют опасность для целостности и здоровья нашей зубной эмали? Для ответа на этот вопрос необходимо знать, в каких пределах кислотности эмаль сохраняется, а при каких значениях начинает разрушаться, и исследовать действие различных по кислотно-основным свойствам веществ на зубную эмаль возможно, используя в качестве опытного образца именно соединение гидроксиапатита как главного аналога минеральной составляющей эмали.

В данной работе представлен оптимальный метод синтеза гидроксиапатита кальция, по составу аналогичного естественному, а также изложены результаты исследования его химической устойчивости.

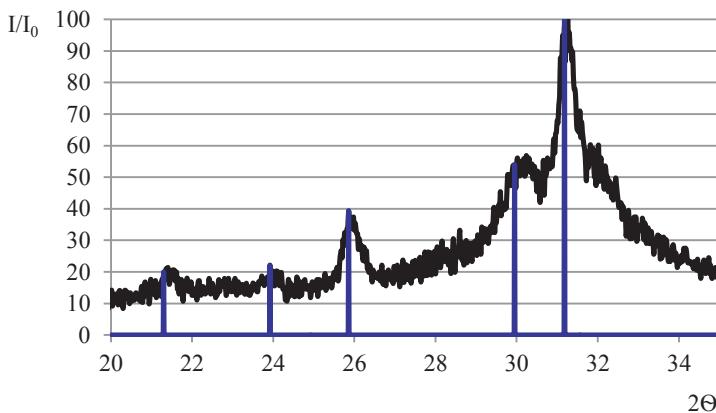
Образец гидроксиапатита  $\text{Pa}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  синтезировали методом осаждения его из раствора. Для этого к раствору ацетата кальция добавляли щелочь при  $\text{pH}=12$ , при этом происходила данная реакция, образовывался гидроксид кальция:



Затем к полученному раствору постепенно прикапывали раствор гидрофосфата калия. В результате выпадал белый рыхлый осадок – гидроксиапатит кальция.



Полученный осадок промывали дистиллированной водой, отделяли центрифугированием и высушивали при комнатной температуре.



**Рис. 1.** Рентгенофазовый анализ синтезированного образца гидроксиапатита  $\text{Pa}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

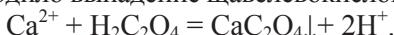
Для доказательства правильности состава синтезированного вещества полученный образец исследовали методом рентгенофазового анализа. Полученные рентгенограммы, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о правильности проведенного синтеза, поскольку совпадают с имеющимися литературными данными.

Для исследования влияния кислотности на химическую устойчивость гидроксиапатита кальция навеску полученного вещества по 100мг заливали в пластиковые емкости 0,05 л воды или разбавленными растворами кислот и гидроксидом натрия с требуемым значением pH. Данные растворы выдерживали в течение двух недель, периодически встряхивая их. Далее осадок отделяли от раствора центрифугированием, высушивали при комнатной температуре и взвешивали на аналитических весах. Полученные значения приведены в таблице 1.

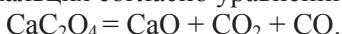
*Таблица 1.* Результаты определения массы не растворившегося гидроксиапатита  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$

Раствор	Масса ГА начальная, г	Масса нерастворившегося ГА, г
NaOH, $10^{-2}$ М	0,1	0,09370
NaOH, $10^{-3}$ М	0,1	0,09515
$\text{H}_2\text{O}$	0,1	0,09655
$\text{HNO}_3$ , $10^{-3}$ М	0,1	0,09575
$\text{HNO}_3$ , $10^{-2}$ М	0,1	0,09490
$\text{CH}_3\text{COOH}$ , $10^{-2}$ М	0,1	0,09560
$\text{CH}_3\text{COOH}$ , $10^{-3}$ М	0,1	0,09630
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ , $10^{-3}$ М	0,1	0,09655
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ , $10^{-2}$ М	0,1	0,09370

Раствор, отделенный от осадка, анализировали на содержание в нем кальция, используя весовой метод. Суть метода заключалась в следующем: к исследуемому раствору приливали избыток щавелевой кислоты, при этом происходило выпадение щавелевокислого кальция.



Осадок щавелевокислого кальция фильтровали, промывали дистиллированной водой, а затем прокаливали, в результате чего он разлагался до оксида кальция согласно уравнению реакции:



Полученный оксид кальция взвешивали на аналитических весах, результаты взвешивания представлены в таблице 2. Далее, зная массу, была рассчитана концентрация кальция в исследуемых растворах.

Таблица 2. Результаты определения содержания кальция в водных растворах весовым методом

Раствор	Масса оксида кальция после прокаливания, г	Объем пробы, мл	Концентрация кальция, моль/л
NaOH, $10^{-2}$ М	0,0034	25	2,43E – 06
NaOH, $10^{-3}$ М	0,00265	25	1,89E – 06
H <sub>2</sub> O	0,0019	5	6,79E – 06
HNO <sub>3</sub> , $10^{-3}$ М	0,0023	5	8,21E – 06
HNO <sub>3</sub> , $10^{-2}$ М	0,0028	25	2,00E – 06
CH <sub>3</sub> COOH, $10^{-2}$ М	0,0024	4	1,07E – 06
CH <sub>3</sub> COOH, $10^{-3}$ М	0,0018	20	1,61E – 06
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub> , $10^{-3}$ М	0,0017	10	3,04E – 06
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub> , $10^{-2}$ М	0,0019	20	1,70E – 06

При использовании этих данных была построена графическая зависимость концентрации кальция от кислотности растворов. Из рисунка 2 видно, что наименьшая концентрация кальция наблюдается в нейтральных средах, а при переходе в щелочную или кислую область увеличивается.

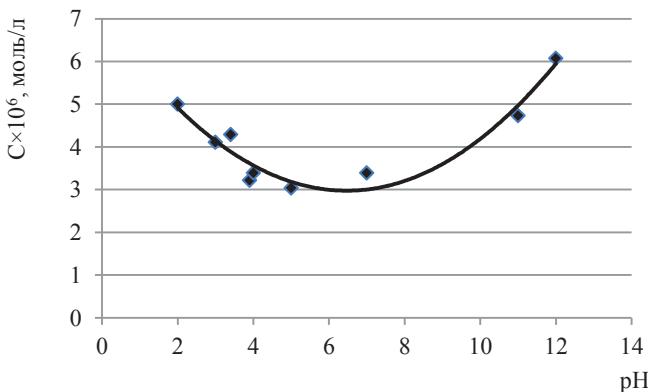


Рис. 2. Кривая зависимости массы не растворившегося ГА от кислотности раствора

Далее была рассчитана масса ГАП которая перешла в раствор, а также теоретическая масса оставшегося осадка. Полученные теоретические значения совпали в пределах погрешности с экспериментально полученными значениями массы осадка, что подтверждает правильность проведенного анализа. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчета массы кальция, перешедшего в раствор, массы не растворившегося ГА

Раствор	Масса кальция в растворе, г	Теоретическая масса ГА в осадке, г	Экспериментально определенная масса ГА в осадке, г
NaOH, $10^{-2}$ М	0,00610	0,09390	0,09370
NaOH, $10^{-3}$ М	0,00475	0,09525	0,09515
H <sub>2</sub> O	0,00340	0,09659	0,09655
HNO <sub>3</sub> , $10^{-3}$ М	0,00412	0,09588	0,09575
HNO <sub>3</sub> , $10^{-2}$ М	0,00502	0,09498	0,09490
CH <sub>3</sub> COOH, $10^{-2}$ М	0,00430	0,09570	0,09560
CH <sub>3</sub> COOH, $10^{-3}$ М	0,00323	0,09677	0,09630
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub> , $10^{-3}$ М	0,00305	0,09695	0,09655
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub> , $10^{-2}$ М	0,00341	0,09659	0,09370

На рисунке 3 представлена графическая зависимость массы ГАП от кислотности раствора. На нем прослеживается тенденция сохранения структуры в нейтральных средах.

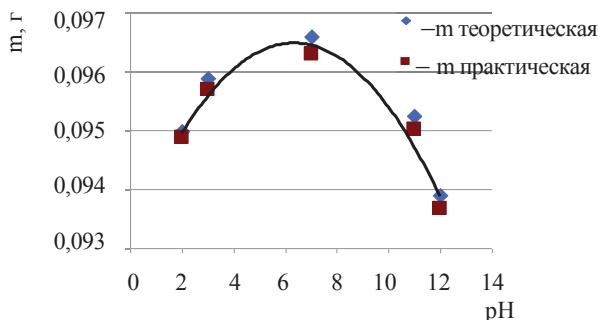


Рис. 3. Кривая зависимости массы не растворившегося ГА от кислотности раствора

Таблица 4. Концентрация кальция в растворах кислот различной концентрации

Раствор	Концентрация раствора, моль/л	
	$10^{-2}$	$10^{-3}$
Азотная кислота	2,00E-06	8,21E - 06
Уксусная кислота	1,07E-06	1,61E - 06
Аскорбиновая кислота	1,70E-06	3,04E - 06

Далее сравнивали химическую устойчивость гидроксиапатита к различным кислотам. В представленном эксперименте использовали азотную, уксусную и аскорбиновую кислоты. Полученные данные свидетельствовали об увеличении растворимости при одинаковой концентрации кислоты (табл. 4).

Таким образом, нами был получен гидроксиапатит, по составу аналогичный естественному. По результатам исследования химической устойчивости установлены пределы кислотности, в которых сохраняет целостность структуры гидроксиапатит кальция и, соответственно, зубная эмаль – при рН от 4,5 до 8. Экспериментально доказано, что при выходе кислотности среды за эти пределы происходит разрушение структуры гидроксиапатита и, соответственно, повреждение зубной эмали. Также проанализировано воздействие различных кислот на зубную эмаль. Установлено, что при взаимодействии с неорганическими кислотами происходит более сильное разрушение гидроксиапатита, чем при взаимодействии с органическими.

#### **Литература**

1. *Баринов С.М., Комлев В.С.* Биокерамика на основе фосфатов кальция. – М.: Наука, 2005. С. 25 – 87.
2. *Безруков В.М., Григорян А.С.* Гидроксиапатит как субстрат для костной пластики. Теоретический и практический аспект проблемы // Стоматология. 1996. Т. 76, № 5. С. 7 – 12.
3. *Орловский В.П., Суханова Г.Е., Ежова Ж.А., Родичева Г.В.* Гидроксиапатитная биокерамика // Ж. Всес. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. 1001. Т. 36, № 10. С. 683 – 690.
4. *Хэм А., Кормак Д.* Костная ткань // Гистология. 1983. Т. 3. С. 19 – 131.

# Изучение физико-механических свойств пластизолей

Гущин Тимофей

11 класс

Научный руководитель Н.С. Захарычева,  
канд. хим. наук, младший научный сотрудник  
НИИ химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Поливинилхлорид (ПВХ) – крупнотоннажный полимер винилхлорида, нашедший применение в различных отраслях производства. Для расширения областей использования ПВХ необходимо варьирование его свойств добавлением пластификатора. В данной работе рассмотрен процесс получения пластизолей и изменение физико-механических свойств полученных образцов в зависимости от доли добавленного пластификатора.*

Поливинилхлорид отличается химической стойкостью к щелочам, минеральным маслам, многим кислотам и растворителям, не горит на воздухе. Благодаря своим химическим и физическим свойствам широко применяется для электроизоляции проводов и кабелей, производства пленок для натяжных потолков, искусственных кож, линолеума, обувных пластикатов, мебельной кромки, для производства грампластинок, профилей для изготовления окон и дверей. Поливинилхлорид также часто используется в одежде и аксессуарах для создания подобного коже материала, отличающегося гладкостью и блеском. В связи с широким применением ПВХ весьма актуальным является изучение процессов его переработки и физико-механических свойств полученных продуктов промышленности.

Для использования ПВХ в разных отраслях необходимо варьировать его свойства в соответствии с поставленной задачей. Для этого используют пластификаторы – вещества, которые вводят в состав полимерных материалов для придания (или повышения) эластичности / пластиичности при переработке и эксплуатации. Поэтому необходимо уметь правильно выбирать количество и вид пластификатора для использования ПВХ в конкретных целях.

Цель исследования – получить пластизоли с различным содержанием ПВХ и пластификатора, изучить физико-механические свойства полученных образцов. Объекты исследования: поливинилхлорид (ПВХ), диоктилфталат (ДОФ). Предмет исследования: термическая обработка, измерение физико-механических параметров с помощью разрывной машины.

### *План исследования*

1. Изучить литературу, связанную с получением пластизолей, их желатинизацией и физико-механическими свойствами, освоить работу на разрывной машине.
2. Получить жидкие пластизоли, провести их желатинизацию, установить оптимальные условия желатинизации.
3. Определить физико-механические свойства пластизолей в зависимости от массовой доли пластификатора, входящего в их состав.

### *Пример описания эксперимента*

Оборудование: весы, фарфоровая чашка с пестиком, скальпель, шприц, шпатель, форма для запекания, сушильный шкаф.

Реактивы: поливинилхлорид (ПВХ), диоктилфталат (ДОФ).

Полученные образцы пластизолей испытывали на разрывной машине с программным обеспечением.

#### *Ход исследования:*

1. ПВХ-пластизоли получали следующим способом. В ступку насыпали 3 – 7 г ПВХ и добавляли к нему раствор ДОФ до тех пор, пока масса смеси не достигала 10 г. Смесь тщательно растирали в ступке пестиком. Полученной пастообразной массой заполняли форму для запекания, при этом следили, чтобы толщина образцов во всех участках была одинаковой. Форму с жидкими пластизолями помещали в сушильный шкаф, разогретый до 165°C, и запекали в течение 30 минут. После окончания процесса желатинизации форму с образцами пластизолей остужали до комнатной температуры и извлекали полученные образцы скальпелем. ПВХ-пластизоли выдерживали в течение суток на воздухе, после чего испытывали их на разрывной машине.

2. Для получения высококачественных пластизолей необходим выбор оптимальных температуры и времени. Для определения оптимальной температуры была проведена серия опытов на растворах с массовой долей ПВХ 50%. Процесс желатинизации пластизолей проводили при трех температурах: 150, 165 и 180°C в течение различного времени (от 20 до 50 минут).

3. Физико-механические свойства полученных образцов пластизолов измеряли на разрывной машине с программным обеспечением. Полученные деформационные кривые были проанализированы, на основании чего были получены значения модуля упругости, прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве полученных пластизолов.

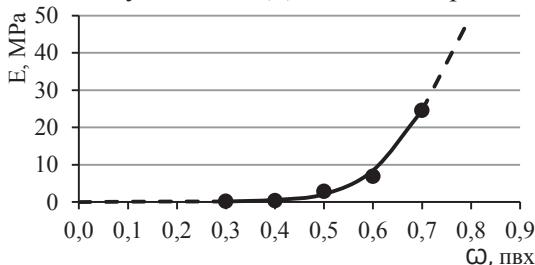
## Результаты исследования

1. Оптимальные условия проведения желатинизации ПВХ-пластизолей. Первоначально форму с жидкими пластизолями поставили в сушильный шкаф, разогретый до  $150^{\circ}\text{C}$ . Наблюдения проводили через каждые 10 минут. В ходе наблюдений в период с двадцати до пятидесяти минут желатинизации пластизолей не произошло. Затем желатинизацию проводили аналогичным образом при  $t = 165^{\circ}\text{C}$  и  $180^{\circ}\text{C}$ . Выяснилось, что при  $165^{\circ}\text{C}$  градусах в течение двадцати минут запекание пластизолей происходило не до конца, а тридцати и сорока минут хватало для полного запекания смеси. При  $t = 180^{\circ}$  уже через 20 минут наблюдалось пожелтение образцов, свидетельствующее о деструкции ПВХ.

2. Установление зависимости физико-механических свойств ПВХ – пластизолей от состава. Модуль упругости – напряжение, которое могло бы возникнуть при удлинении образца в 2 раза, если бы зависимость напряжения от деформации в течение всего процесса удлинения была такой же, как в начальный момент удлинения.

Результаты исследования модуля упругости от состава представлены на рисунке 1. Видно, что модуль упругости закономерно уменьшается с увеличением массовой доли ДОФ. Это связано с тем, что при добавлении ДОФ к ПВХ его молекулы проникают между макромолекулами ПВХ, что способствует уменьшению сопротивления при их разворачивании, при растяжении пластизолей и резкому уменьшению модуля упругости.

Прочность при растяжении или предел прочности – наибольшее напряжение, которое регистрируется при растяжении образца до его разрушения. Результат исследования прочности при растяжении от состава представлен на рисунке 2. Видно, что прочность при растяжении возрастает с уменьшением массовой доли ДОФ в составе ПВХ. Поскольку введение ДОФ в ПВХ приводит к уменьшению плотности



ПВХ в единице объема материала и снижению числа полярных связей, образованных макромолекулами ПВХ, прочность испытуемых пластизолей уменьшается с уменьшением доли ПВХ в их составе.

Рис. 1. Зависимость модуля упругости от  $\omega_{\text{пвх}}$

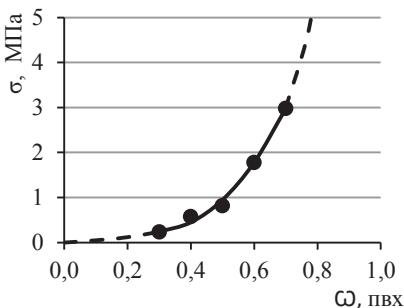


Рис. 2. Зависимость прочности при растяжении от  $\omega$  ПВХ

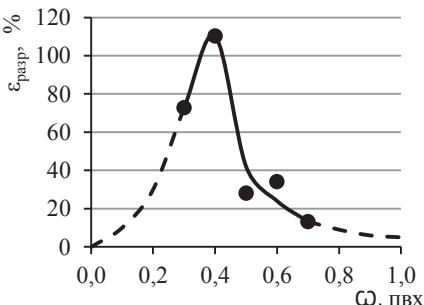


Рис. 3. Зависимость относительного удлинения при разрыве от  $\omega$  ПВХ

Относительное удлинение – это отношение приращенной в результате растяжения длины к первоначальной длине образца.

Результаты исследования относительного удлинения в зависимости от состава представлены на рисунке 3. Видно, что добавление ДОФ к ПВХ способствует более легкому разворачиванию макромолекул и, как следствие, к росту относительного удлинения при разрыве. По мере увеличения содержания ДОФ в композиции наступает такое состояние системы, при котором плотность макромолекул в объеме материала настолько низка, что разрыв образца происходит до максимального разворачивания макромолекул.

Таким образом, нами были получены образцы пластизолей с массовой долей ПВХ от 0,3 до 0,7. Установлено, что оптимальными условиями для их желатинизации являются  $t = 165^{\circ}\text{C}$  и время – 30 минут. Исследованы физико-механические свойства полученных образцов. Установлено, что при увеличении массовой доли ПВХ в составе пластизолей происходит увеличение прочности и модуля упругости и уменьшение относительного удлинения при разрыве. Данное исследование позволит получать пластизоли в лабораторных условиях и варьировать свойства опытных образцов в соответствии с поставленной задачей для практического применения.

### Литература

- Ульянов В.М. Поливинилхлорид / В.М. Ульянов, Э.П. Рыбкин, А.Д. Гуткович, Г.А. Пишин. – М.: Химия. – 1992. – 155 с.
- Гроссман Ф. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ // Научные основы и технологии. – 2009. – 550 с.
- Полимерная индустрия [Электронный ресурс]: <http://plastinfo.ru/information/glossary/l17/624>.

## Исследование диаграммы состояния $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9 - \text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$

Демидов Даниил

9 класс

Научный руководитель А.В. Князев, доктор хим. наук, профессор кафедры химии твердого тела ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Работа посвящена исследованию структур упорядоченных состояний и характера фазовых переходов системы  $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9 - \text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$ . В ходе работы путем высокотемпературного твердофазного синтеза получены различные вещества состава  $\text{Bi}_2\text{W}_{2x}\text{Mo}_{2-2x}\text{O}_9$ , проведено их рентгеновское и рентгенотермическое исследование, а также дифференциальный термический анализ. У некоторых соединений с вольфрамовой структурой обнаружен фазовый переход, отсутствующий у  $\text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$ .*

Фазы Ауривиллиуса – это группа слоистых перовскитоподобных кристаллов, общую формулу которых можно записать в виде формулы  $\text{A}_{m-1}\text{Bi}_2\text{B}_m\text{O}_{3m+3}$ , где  $m$  обычно варьируется от 1 до 5. Фазы Ауривиллиуса находят широкое практическое применение. В частности, во многих соединениях этого типа наблюдается люминесценция висмута в оптическом диапазоне, применяемом в оптоволоконных сетях. Многие фазы Ауривиллиуса являются сегнетоэлектриками. Кроме того, существуют публикации, где описано использование фаз Ауривиллиуса в качестве керамических мембран для разделения газов. Производные Mo и W –  $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$  и  $\text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$  являются изоформульными соединениями, однако их структуры весьма различны. Возможно добавление некоторого количества Mo в вольфрамовую структуру (фаза Ауривиллиуса), или, наоборот, W в молибденовую. При этом атомы добавляемого элемента частично замещают атомы основного элемента с образованием твердого раствора.

Основной целью данной работы является исследование структур упорядоченных состояний, характера фазовых переходов и видов диаграммы состояния  $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9 - \text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$ . С помощью твердофазных реакций получены различные вещества состава  $\text{Bi}_2\text{W}_{2x}\text{Mo}_{2-2x}\text{O}_9$ . В зависимости от соотношения W и Mo полученное соединение имеет вольфрамовую или молибденовую структуру. Идентификация и оценка чистоты получаемых веществ проводилась при помощи рентгеновского порошкового дифрактометра. Типы рентгенограмм вольфрамовой и молибденовой структур показаны на рисунке 1.

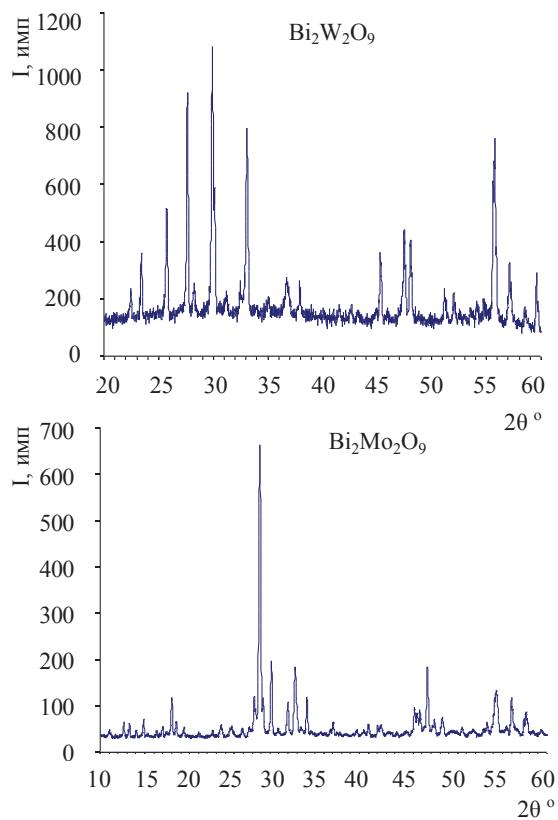


Рис. 1. Рентгенограммы  $\text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$  и  $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9$

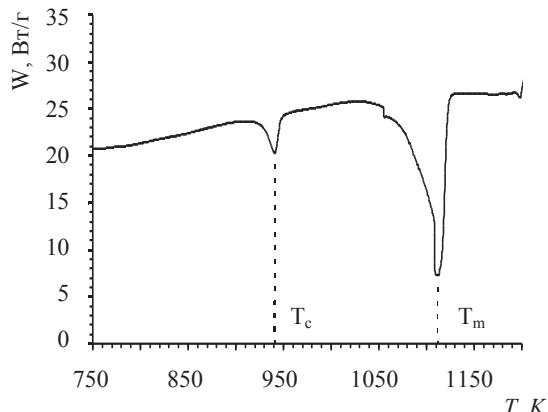


Рис. 2. Термограмма  $\text{Bi}_2\text{W}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_9$

В ходе эксперимента мы определили кристаллохимические границы для каждого структурного типа. При помощи дифференциального термического анализа (рис. 2) определены температуры плавления и температуры фазовых переходов в рассматриваемых соединениях. Природа данных фазовых переходов устанавливается.

Было проведено рентгенотермическое исследование  $\text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$  и  $\text{Bi}_2\text{W}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_9$ . Обработка экспериментальных данных позволила определить зависимость параметров и элементарного объема от температуры, а также коэффициенты теплового расширения. Для  $\text{Bi}_2\text{W}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_9$  обработке поддаются только рентгенограммы, записанные до фазового перехода (рис. 3). В непосредственной близости от перехода наблюдается аномальный рост параметров кристаллической решетки и, вероятно, повышение симметрии элементарной ячейки.

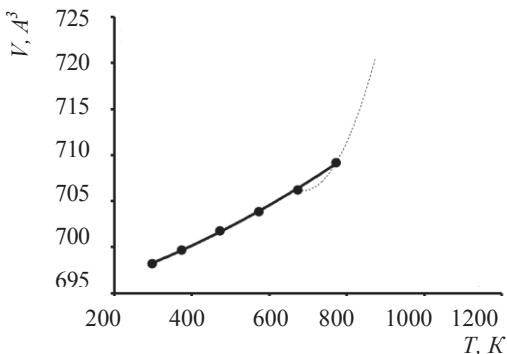


Рис. 3. Зависимость элементарного объема от температуры для  $\text{Bi}_2\text{W}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_9$

плавления, изучены фазовые переходы в рассматриваемых соединениях. Природа данных фазовых переходов устанавливается.

3. Рассчитаны коэффициенты теплового расширения изученных соединений.

4. В дальнейшем мы надеемся провести рентгенотермическое исследование  $\text{Bi}_2\text{W}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_9$  с большей точностью и большим количеством вещества, что позволит определить структуру его высокотемпературной модификации.

### Литература

1. Александров К.С., Безносиков Б.В. Перовскиты. Настоящее и будущее. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2004. – 231 с.
2. Власенко В.Г., Шуваев А.Т., Зарубин И.А., Шуваева Е.Т., Петин Г.П. Кристаллическая структура новых фаз Ауривиллиуса // Электронный научный журнал «Исследовано в России». 2007. – 291 с.  
<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/030.pdf>
3. Коробова С.С. Синтез, строение и физико-химические свойства марганецодержащих шпинелей. – Н. Новгород: ННГУ, 2012.
4. Крашенинникова О.В. Высокотемпературные исследования некоторых фаз Ауривиллиуса. – Н. Новгород: ННГУ, 2012.
5. Пахомов Л.Г., Кирьянов К.В., Князев А.В. Физические методы в химических исследованиях. – Н. Новгород: ННГУ, 2007.
6. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Кристаллохимия. – М.: МГУ, 2004.
7. Jean-Claude Champarnaud-Mesjard, Bernard Frit and Akiteru Watanabe. Crystal structure of  $\text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$ , the n=2 member of the homologous series  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)\text{B}^{VI}_n\text{O}_{3n+1}$  of cation-deficient Aurivillius phases // Journal of Materials Chemistry. 9. 1999. P. 1319 – 1322.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Твердофазным синтезом получены 4 вещества строения  $\text{Bi}_2\text{W}_{2x}\text{Mo}_{2-2x}\text{O}_9$ . Два из них синтезированы впервые.

2. Методами дифференциального термического анализа и высокотемпературной рентгенографии определены температуры

## **Рентгенофлуоресцентное определение селена в растворах, продуктах и пищевых добавках**

Пименов Владимир

11 класс

Научный руководитель Р.В. Абрашев, канд. хим. наук, доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*В работе исследованы возможности определения селена рентгенофлуоресцентным методом. Определено содержание селена в ряде витаминных добавок и установлено, что чувствительность определения селена в порошках способом фундаментальных параметров не может считаться достаточной для анализа указанных объектов. Показано, что чувствительность определения селена в водных растворах более чем на два порядка превышает чувствительность при анализе порошков витаминных добавок, что связано с меньшим матричным эффектом.*

Потребность организма человека в селене невелика, поэтому селен традиционно относят к микроэлементам. Считается, что взрослому человеку ежедневно необходимо потреблять не менее 55 – 70 мкг селена. В Институте питания РАМН установили, что около 80% населения России испытывают дефицит селена.

Даже небольшой недостаток селена вызывает тяжелые последствия для здоровья. Одними из первых признаков селенодефицита являются такие заболевания кожи, как дерматиты и экземы, а также дистрофия ногтей. Хронический недостаток селена вызывает поражение всех систем организма.

Поэтому в последнее время на потребительском рынке все чаще появляются продукты питания, витамины, пищевые добавки, обогащенные селеном. Однако если на упаковках большинства витаминов приведена информация об их составе, в том числе о содержании селена, то, например, содержание селена в яйцах или некоторых пищевых добавках представляет собой недоступную для потребителя информацию – производитель ограничивается заявлением «обогащено селеном».

Необходимо учитывать, что в больших дозах селен может вызывать отравления, так как он относится к тиоловым ядам: блокирует сульфидрильные группы, инактивируя ферментные системы. При этом нарушаются обменные процессы, в особенности белковый. Кроме того, избыточное количество селена (в особенности его орга-

нических соединений) вызывает падение артериального давления, судороги, поражение центральной нервной системы, атонию, усиление проницаемости стенок капилляров, поражает печень, оказывает раздражающее действие, вызывает анемию. Токсичной для человека является доза в 5 мг.

Во многих случаях установить, какую долю суточной нормы потребления селена человек получает, усваивая тот или иной продукт, обогащенный селеном, затруднительно.

Целью данного исследования явилось выявление наличия и определение содержания селена в образцах. Объектами анализа выступили продукты питания, витамины и добавки, в состав которых производителем введен селен. Предмет исследования – концентрация селена в образцах. Были поставлены и решались следующие задачи:

- 1) установить диапазон определяемых концентраций и величину погрешности определения селена рентгенофлуоресцентным методом в жидких и твердых образцах, сравнить их;
- 2) сравнить возможности определения селена в образцах различного агрегатного состояния;
- 3) определить содержание селена в образцах продуктов питания, витаминах и добавках, обогащенных селеном.

В первой части работы рентгенофлуоресцентным методом, используя способ фундаментальных параметров, определили содержание селена в ряде витаминных комплексов и продуктов питания. Анализируемый объект – образец массой около двух граммов – расстирали в ступке в течение пятнадцати минут до однородной массы, насыпали в кювету рентгенофлуоресцентного спектрометра Shimadzu EDX-900 слоем в 1 см, которую помещали для проб на панель прибора. В течение 100 секунд образец облучался рентгеновскими лучами трубки, одновременно с этим регистрировалась интенсивность флуоресцентного излучения. Программное обеспечение спектрометра, установленное на ПК, способом фундаментальных параметров рассчитывало массовую долю селена в образце. Результаты выводились на дисплей в форме спектра, а также численных значений интенсивности излучения и массовой доли. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Полученные экспериментальные данные в целом согласуются с паспортным содержанием селена в проанализированных образцах, однако величина аналитического сигнала при анализе витаминов

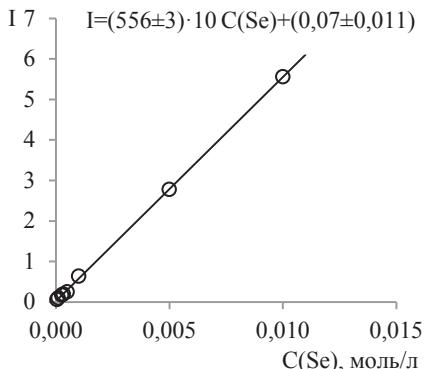
близка к минимальному полезному сигналу, что не позволило выполнить анализ образцов «Витрум» и «Илецкая соль». Это свидетельствует о недостаточной чувствительности непосредственного определения селена способом фундаментальных параметров в порошкообразных образцах витаминных добавок.

*Таблица.* Результаты рентгенофлуоресцентного определения селена в витаминных комплексах и продуктах питания способом фундаментальных параметров (EDX-900)

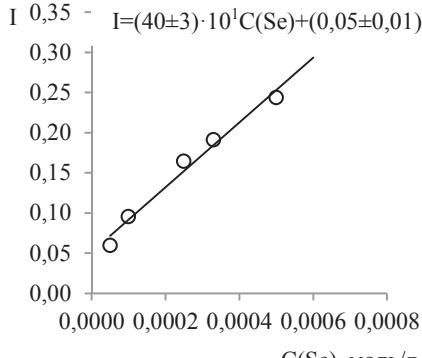
Продукт	Содержание Se, %, найденное рентгенофлуоресцентным методом	Содержание Se, %, рассчитанное по информации на упаковке
Дуовит	Не найдено	Не указано
Компливит	Не найдено	Не указано
Витрум	Не найдено	0,0025
Илецкая соль	Не найдено	0,0034
Селен Актив	0,011	0,010
Компливит Селен	0,016	0,016
Коктейль EnergyDiet	0,032	0,033

В связи с этим вторая часть работы была посвящена изучению возможностей рентгенофлуоресцентного определения селена в водных растворах. Объектом выступили растворы селениита натрия, приготовленные растворением точной навески вещества и его последующим разбавлением. По результатам анализа растворов селениита натрия с концентрацией от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $10^{-5}$  моль/л построены градиуро-вочные графики. Графики демонстрируют хорошую линейную взаимосвязь между аналитическим сигналом и концентрацией селена в растворе в выбранном интервале концентраций. Второй градиуро-вочный график следует использовать при анализе разбавленных растворов. Доверительный интервал углового коэффициента градиуро-вочного графика свидетельствует о том, что совокупная случайная погрешность определения возрастает с уменьшением концентрации, однако в рабочем интервале концентраций не превышает 8%.

Пятнадцать раз выполнив анализ дистиллированной воды в выбранных условиях, оценили предел обнаружения селена в растворе, который составил  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л или  $8 \cdot 10^{-5}$  %. Данное значение ниже более чем в сто раз по сравнению с содержанием селена в витаминных добавках, обеспечивающим при анализе порошков сигнал, близкий к минимально полезному.



а – EDX-900HS, диапазон концентраций от  $10^{-2}$  до  $10^{-5}$  моль/л



б – EDX-900HS, диапазон концентраций от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$  моль/л

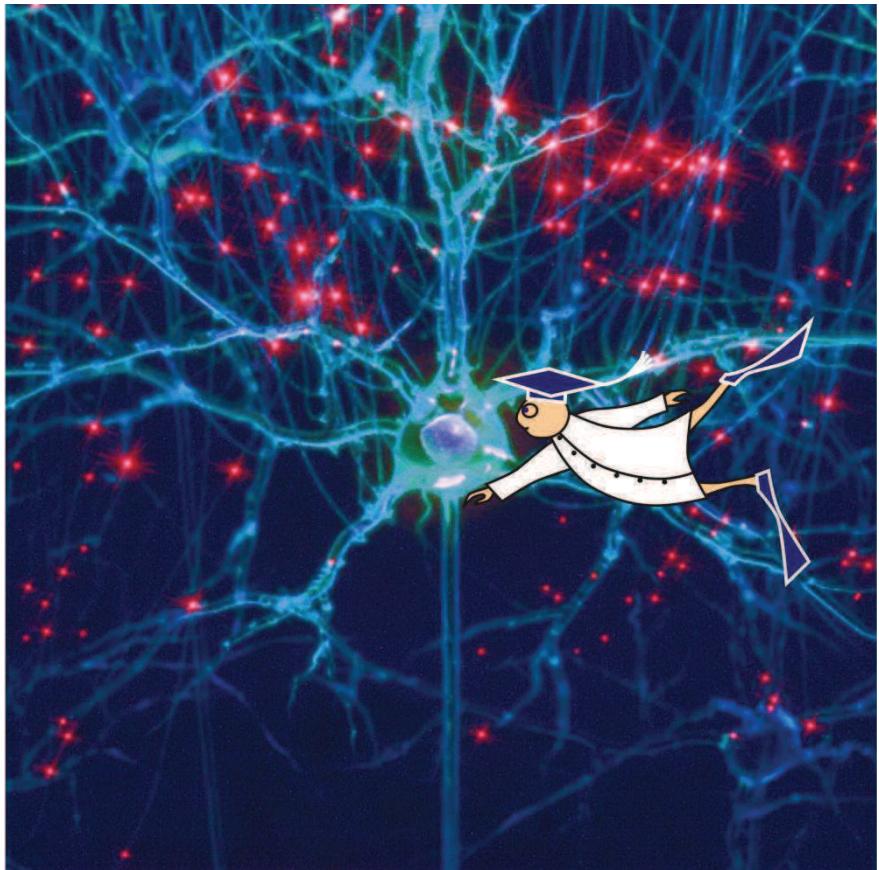
Рис. Градуировочный график для определения селена в растворах

Таким образом, в результате проделанной работы способом фундаментальных параметров было определено содержание селена в некоторых витаминных добавках и поваренной соли, обогащенной селеном, которое оказалось близко к паспортному. Установлено, что чувствительность определения селена в порошках витаминных добавок способом фундаментальных параметров в целом недостаточна для анализа выбранных образцов. Показано, что чувствительность определения селена в растворах более чем на два порядка превышает чувствительность определения в порошке витаминных добавок, что можно объяснить меньшим матричным эффектом в растворе.

### Литература

1. Введение в РФА/BRUKER. – 47 с.
2. Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н. Основы РФА. – М.: Химия, 1982. – 208 с.
3. Мазалов Л.Н. Метод рентгеноспектрального анализа и его возможности в строительстве. – Новосибирск, 2002. – 31 с.
4. Назаренко И.И., Ермаков А.Н. Аналитическая химия селена и теллура. – М.: Наука, 1971. – 245 с.

# Биофизика



# **Исследование динамики биомассы *Eichornia crassipes* и биогенных элементов в накопительной культуре**

**Коган Анна**

**7 класс**

**Научный руководитель М.И. Коротаева,  
студентка биологического факультета  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского**



*По литературным данным проанализирована возможность использования водного гиацинта (*Eichornia crassipes*) для очистки сточных вод, изучена динамика его биомассы и биогенных элементов в накопительной культуре, рассчитаны параметры роста *Eichornia crassipes* (максимальная продуктивность и потребность в биогенных элементах). Полученные данные пригодны для создания модели биологической очистки сточных вод и их использования.*

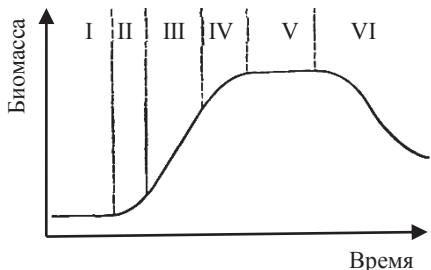
Высшие водные растения способны достаточно эффективно поглощать и утилизировать комплекс загрязняющих неорганических и органических соединений, входящих в состав сточных вод, что может найти широкое применение в процессе их очистки. Для этого необходим подбор видов макрофитов, способных расти и развиваться в условиях загрязненной водной среды, эффективно поглощая загрязняющие вещества. К их числу относится водный гиацинт, который и является объектом нашего исследования.

Цель – изучить параметры роста водного гиацинта в накопительной культуре для создания модели биологической очистки сточных вод.

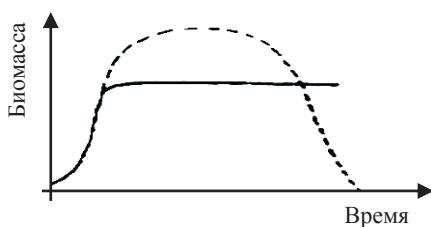
Задачи:

- 1) изучить особенности биологии и экологии водного гиацинта, достоинства и недостатки его применения в очистке сточных вод;
- 2) воспроизвести модель накопительного культивирования водного гиацинта, исследовать динамику биогенных элементов и биомассы водного гиацинта в накопительной культуре;
- 3) рассчитать параметры, необходимые для моделирования процесса проточного культивирования водного гиацинта.

Существует два основных метода культивирования организмов – периодический (накопительный) и непрерывный (проточный). Накопительный метод основан на выращивании организмов в непроточной культуре (бассейне, пруде и т.д.), подвергшейся единичному загрязнению, в течение вегетационного сезона (рис. 1а).



а – метод накопительного культивирования



б – метод проточного культивирования

Рис. 1. Динамика биомассы

ной среды в культиваторах составлял 50,0 л. Рабочий объем на протяжении всего эксперимента поддерживали, доливая водопроводную воду. Растения культиватора выращивали в условиях искусственного освещения с 9 до 21 часов. Продолжительность эксперимента составила 7 недель. В культиватор были помещены 5 растений общей массой 83 г. Два раза в неделю проводили измерения температуры, pH, концентрации нитратов и фосфатов. Один раз в неделю измеряли массу количества растений [1; 3].

К концу пятой недели эксперимента в питательной среде были исчерпаны фосфаты, рост растений прекратился. Было добавлено фосфатное удобрение. Окончанием эксперимента послужило изъятие гиацинтом всех нитратов из питательной среды.

Полученные значения концентрации биомассы и биогенных веществ в период линейной фазы накопительной культуры были использованы для расчета максимальной продуктивности *Eichornia crassipes* и потребности растений в нитратном азоте и фосфатном фосфоре.

Метод непрерывного (проточного) культивирования подробно описан И. Малеком и другими авторами [2]. При непрерывном методе в культиватор с определенной скоростью подается питательная среда и изымаются организмы, причем объем культуры сохраняется постоянным. При этом методе культивирования организмы, как правило, сохраняют экспоненциальную fazу роста, где они делятся однородно и непрерывно (рис. 1б).

В эксперименте растения выращивали методом накопительной культуры. Для выращивания водного гиацинта использовали столитровый аквариум. Питательная среда – модельные сельскохозяйственные сточные воды. Рабочий объем питатель-

В результате по мере роста культуры наблюдалось уменьшение концентрации нитратов (рис. 2) и фосфатов (рис. 3) в культуральной среде. Начальная концентрация нитратов в культиваторе составляла >45 мг/л, к концу эксперимента их количество снизилось до нуля.

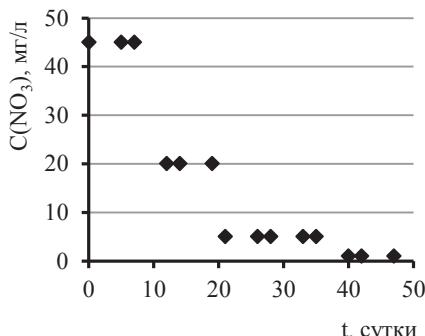


Рис. 2. Динамика концентрации нитратов

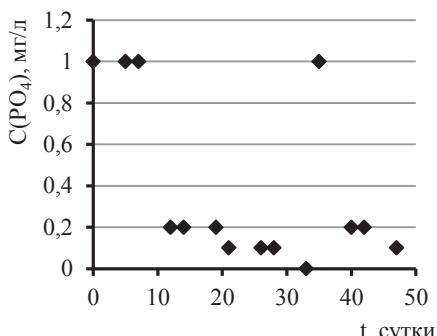


Рис. 3. Динамика концентрации фосфатов

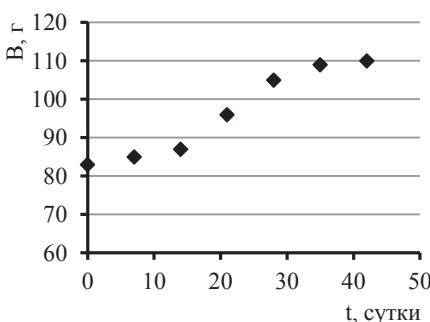


Рис. 4. Динамика концентрации биомассы

Масса растений в начале эксперимента составляла 83 г, к концу эксперимента увеличилась до 115 г (рис. 4). Линейная фаза накопительной культуры длилась с четырнадцатых по двадцать восьмые сутки эксперимента. Максимальная продуктивность *Eichornia crassipes* составила 0,0023 г/(л\*сут), потребности в азоте и фосфоре составили соответственно 0,2290 и 105,1893 мг/г АСВ (абсолютно сухого вещества).

**Выводы.** По литературным данным определены оптимальные условия среды для роста и развития *Eichornia crassipes*, оценены преимущества и недостатки ее использования в биологической очистке

сточных вод. Воспроизведена накопительная модель культивирования на примере выращивания *Eichornia crassipes*. Изучена динамика массы растения, концентрации нитратов и фосфатов в питательной среде. Рассчитаны максимальная продуктивность водного гиацинта и его потребности в азоте и фосфоре. Эти параметры в будущем могут быть использованы для моделирования процесса очистки сточных вод в проточной культуре.

### **Литература**

1. Горбунова С.Ю., Боровков А.Б., Тренкеницу Р.П. Математическая модель биологической системы по очистке сточных вод // Экология моря. 2008. Т. 76. С. 81 – 85.
2. Непрерывное культивирование микроорганизмов (теоретические и методологические основы) / Под ред. И. Малека и З. Фенцеля. – М.: Пищевая промышленность, 1968.
3. Эйхорния // Большая советская энциклопедия [Интернет ресурс]. Сайт «Академик» // Словари и энциклопедии. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/153033/>.

## **Влияние сложности текста на параметры движений глаз при работе с текстами**

Кочаровская Милита

9 класс

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



*Работа направлена на поиск специфических маркеров субъективной сложности текста в пространстве параметров движения глаз при работе с текстовым материалом. С помощью айтрекера SMI HiSpeed найдены специфические параметры движения глаз, характерные для работы со сложным текстом. Показано, что при работе с более сложным текстом увеличивалось общее время прочтения и количество регрессий, уменьшалась амплитуда саккад, а также наблюдалось сужение диаметра зрачка.*

В XIX веке все исследования в области движений глаз проводились исключительно методом наблюдения [1]. В 1879 году в Париже Луи Эмиль Жаваль обнаружил, что в процессе чтения напечатанного текста глазные яблоки совершают короткие остановки, которые он назвал фиксациями, и резкие передвижения – саккады. Данное наблюдение привело к возникновению вопросов о природе процесса чтения.

В современном мире человеку приходится запоминать много информации, большая часть которой хранится в формате объемных текстов. Часто при работе с текстами возникают сложности в понимании написанного, поэтому требуется упрощение для облегчения запоминания информации. На основе полученных другими исследователями данных мы выдвинули предположение о том, что при чтении и работе со сложным текстом будут меняться некоторые характеристики движения глаз.

Уже в начале XX века было установлено, 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 воспринимать текст. На кафедре психофизиологии ФСН ННГУ получены данные о том, что параметры движения глаз могут быть информативными при оценке компетенции в английском языке [2, 3].

Цель – проанализировать движения глаз испытуемых при работе с различными по сложности текстами, а также выявить специфические маркеры при работе со сложным текстом.

Задачи:

- 1) освоить айтрекер для использования в исследовании;
- 2) подготовить стимульный материал для проведения эксперимента;
- 3) получить данные о параметрах движения глаз и провести их обработку;
- 4) оценить различия параметров движения глаз при чтении текстов разной сложности;
- 5) выявить специфические маркеры при работе со сложным текстом.

Объектом исследования были студенты ННГУ им. Н.И. Лобачевского, обучающиеся по специальности «Психология». Предмет исследования – параметры движения глаз при чтении.

Айтрекинг – процесс определения координат взора, точек пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости наблюдаемого объекта или экрана, на котором предъявляется некоторый визуальный стимул. Айтрекер (eye-tracker) – устройство, используемое для определения ориентации оптической оси глазного яблока в пространстве и динамики изменения этой ориентации во времени.

Исследование проводилось с использованием прибора SMI-HiSpeed, позволяющим записывать трекинг при работе с различным стимульным материалом. Сначала испытуемый проходил калибровку на айтрекере. В ходе этой процедуры ему предлагалось последовательно направлять свой взгляд на серию калибровочных маркеров. Параллельно с этим айтрекер записывал координаты зрачка, которые соответствуют каждой из позиций калибровочных маркеров. Затем испытуемому предлагалось прочитать простой текст, выведенный на монитор прибора. После прочтения студенту были заданы вопросы,

ответы на которые он должен был найти в тексте и озвучить, причем испытуемые предупреждались о том, что нужно искать ответ в тексте, а не вспоминать его. Далее испытуемому предъявлялся более сложный текст, состоящий из терминов по социальной психологии. По нему так же, как и по первому тексту, были заданы вопросы. Вопросы к сложному тексту отличались от вопросов к простому тексту не только формой, но и способом, которым испытуемый должен был дать ответ. Если ответ на вопросы к простому тексту испытуемый должен был озвучить, то ответ на вопросы к сложному тексту требовалось зафиксировать взглядом в течение некоторого времени.

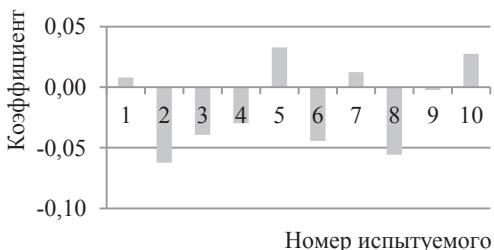
После окончания эксперимента полученные данные подвергались обработке. Вычислялся коэффициент, показывающий изменение характеристик движений глаз в зависимости от сложности текста. Коэффициент считался по следующей формуле:

$$k = \frac{F_o - F_p}{F_o + F_p},$$

где  $F_o$  – значение измеряемого параметра движений глаз для простого текста,  $F_p$  – то же для сложного (психологического) текста. По полученным значениям коэффициента для различных параметров движений глаз строились графики и диаграммы, которые в дальнейшем анализировались.

Сравнение общей длительности и количества саккад при чтении текстов различной сложности показало, что при усложнении текста общая длительность всех саккад, а также их количество значительно увеличивалось, что объясняется увеличением количества фиксаций, а значит и саккад.

Построенный график для коэффициента длительности фиксаций (рис. 1) показал, что длительность фиксаций увеличивается у большинства испытуемых при увеличении сложности текста. Это объясняется тем, что при чтении более сложного текста испытуемым приходилось делать фиксации чаще и продолжительнее для того, чтобы лучше понять предлагаемый материал. Однако по графику видно, что таких



**Рис. 1.** Длительность фиксаций при работе с различными по сложности текстами

изменений не произошло у некоторых испытуемых, например, у 1 и 5. Предположим, что это объясняется тем, что для этих испытуемых модели работы с обычным и психологическим текстом схожи. Поэтому психологический текст был для них менее сложным, чем для других испытуемых, участвовавших в эксперименте.

График для коэффициента скорости саккад (рис. 2) показывает, что при чтении более сложного текста скорость саккад у большинства испытуемых возрастила, так как они делали большее количество быстрых саккад, «метались» по тексту. Для первого испытуемого такого не произошло, что также объясняется схожестью моделей работы с обычным и психологическим текстами.

По графикам, построенным по значениям коэффициента для количества регрессий (рис. 3), видно, что для большинства испытуемых количество регрессий при чтении более сложного текста увеличилось потому, что они чаще возвращались к уже прочитанным словам для лучшего понимания материала.

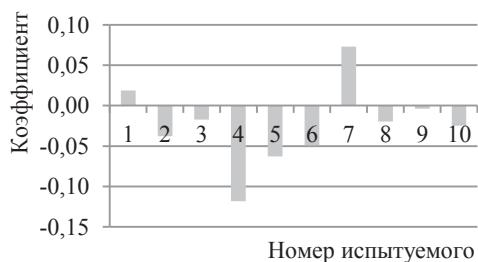


Рис. 2. Скорость саккад при работе с различными по сложности текстами

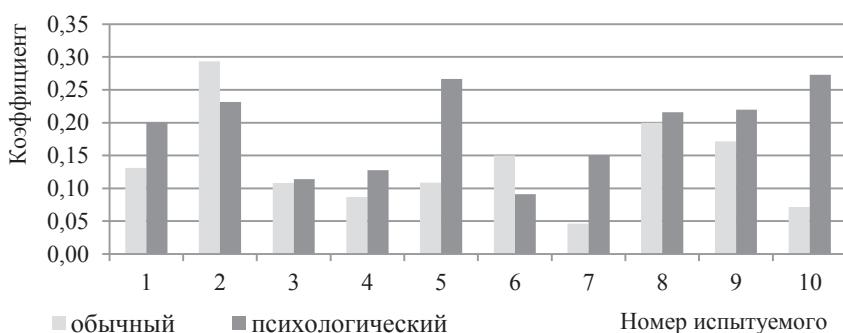
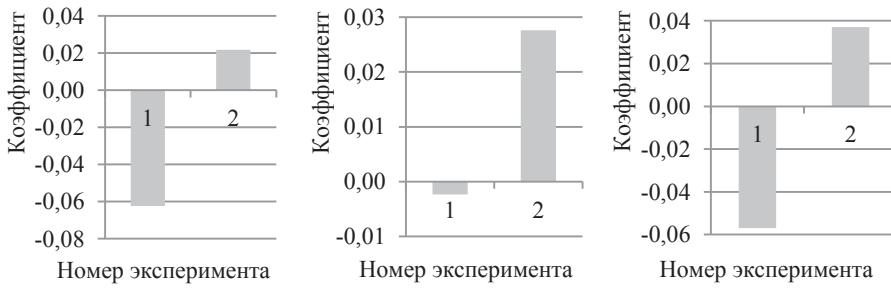


Рис. 3. Количество регрессий при работе с различными по сложности текстами

Были построены графики по значениям коэффициента для диаметра зрачка при чтении (рис. 4) и работе с вопросами по текстам различной сложности. У большинства испытуемых диаметр зрачка уменьшался при чтении более сложного текста и у всех испытуемых –

при работе с вопросами по более сложному тексту. Однако эта закономерность наблюдалась не у всех испытуемых. Для испытуемых 1 и 5 это может объясняться схожестью моделей работы с обычным и психологическим текстами.

Были рассмотрены значения коэффициентов длительности фиксаций для трех испытуемых, участвовавших в эксперименте два раза (рис. 5). Длительность фиксаций при чтении сложного текста во второй раз уменьшилась по сравнению с первым прочтением. Это свидетельствует о том, что произошло обучение.



**Рис. 5.** Диаметр зрачка при работе с текстами различной сложности в контексте обучаемости

Полученные результаты согласуются с данными научных исследований [4]. Однако наше исследование проведено в рамках уникального контекста, что свидетельствует о практической значимости и новизне работы. В будущем планируется увеличение количества испытуемых для получения более достоверных данных по всем параметрам движений глаз, а также выработка статистики и установление диапазонов значений тех или иных параметров движений глаз для различного уровня компетенции, что может использоваться при принятии человека на работу и для оценки уровня компетенции конкретного человека в данной области.

*Выводы.* Найдены различия в характере чтения текстов различной сложности. Выявлены такие специфические маркеры при работе

со сложным текстом, как уменьшение диаметра зрачка, увеличение средней скорости саккад, увеличение продолжительности и общего количества саккад, увеличение количества регрессий.

### **Литература**

1. *Величковский Б.М.* Когнитивная наука: основы психологии познания. Т.2. – М., 2006.
2. *Демарева В.А.* Поиск маркеров языковой компетенции в пространстве параметров движения глаз при чтении текстов и выполнении задачи зрительного поиска // Ломоносов – 2012: Матер. XIX Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: секция «Психология». 9 – 13 апреля; Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова: Сб. тезисов. – М.: Изд-во МГУ, 2012.
3. *Demareva V.A., Polevaya S.A.* Searching for psychophysiological markers of foreign language proficiency: Evidence from eye tracking. Int.J. of Psychophysiology. September 2012. V. 85, Iss. 3. P.392.
4. *Wotschack Ch.* Eye Movements in Reading Strategies. Doctoral Thesis submitted to the Faculty of Human Science at the University of Potsdam in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Potsdam, 2009.

# **Специфические параметры цветового зрения у воспитанников художественной школы**

Кравченко Екатерина

6 класс

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



*В работе исследовано влияние занятий по развитию художественных навыков на цветовое зрение детей. Методом компьютерной кампиметрии были получены данные о порогах цветоразличения и количестве различаемых оттенков по шкале H у детей, занимающихся в художественной школе, и у детей, не осваивающих данную компетенцию. В результате исследования найдены различия в порогах цветовосприятия у детей во всех основных диапазонах (красный, зеленый и синий) и разница в количестве различаемых цветов по шкале H.*

До сих пор имеется мало исследований с использованием объективных методов в области цветоразличения у детей с художественными навыками и без них. Результаты подобных исследований могут быть востребованы в профориентации и оценке профессиональной пригодности. Экспериментальные данные о различии функции цветовосприятия у детей с художественными навыками и без них позволяют давать объективную информацию о вероятности успеха в освоении художественной компетенции детьми.

Цель исследования – выявить, есть ли разница в порогах цветоразличения в двух группах – у детей, занимающихся в художественной школе и не занимающихся в ней.

Задачи исследования:

- 1) оценить пороги цветоразличения в двух группах испытуемых: у школьников, занимающихся один год в художественной школе, и школьников, не осваивающих данную компетенцию;
- 2) измерить диапазон различаемых оттенков в двух группах испытуемых;
- 3) сравнить результаты, полученные в контрольной и экспериментальной выборках, относительно друг друга.

Благодаря целенаправленному развитию цветовое зрение художника острее, тоньше улавливает характеристику форм и красок, подмечает интересные ситуации в жизни [2]. Художники любят повторять

рять, что «без развития глаза можно смотреть, да не видеть». Во время выполнения постановок с натуры обучающиеся используют средства живописи для правдивой передачи цветового и тонального богатства окружающей действительности, а также постигают законы стилизации и метафоричности формы и цвета.

Эксперимент проводился методом компиметрии – технологии для измерения дифференциальных порогов в виртуальном цветовом пространстве в интерактивном режиме [3]. Были набраны две группы испытуемых в возрасте 11 – 14 лет по десять человек – контрольная (не художники) и экспериментальная (художники). Экспериментальная группа состояла из воспитанников детской школы искусств № 1 Нижнего Новгорода, обучавшихся в первом классе. В контрольную группу вошли учащиеся 6 класса МБОУ СОШ № 110, никогда не занимавшиеся в художественных кружках. Измерения в обеих группах производились в одно и то же время суток (с 10:00 до 14:00).

### 1) Измерение дифференциальных порогов по оттенку Н.

В данном тесте испытуемым предлагалось находить фигуру на цветовом фоне экрана, нажимая на кнопку, а затем восстанавливать исходную однородность фона. Изначально испытуемому предъявлялся цветовой квадрат – фоновый стимул, в котором находился целевой стимул (геометрические фигуры – квадрат, горизонтальный и вертикальный прямоугольники), причем оттенок фонового и целевого стимула совпадали. Далее, при нажатии на кнопку, на экране испытуемый менял оттенок целевого стимула на 1 у.е. вправо по шкале Н до ситуации распознавания. Как только испытуемый распознавал целевой стимул, он фиксировал это нажатием на кнопку с изображением формы стимула. Затем испытуемый приступал к обратной задаче – к восстановлению исходной монохромности фонового стимула нажатием на кнопку на экране, меняя оттенок стимула на 1 у.е. влево по шкале Н до ситуации отсутствия целевого стимула на фоновом. После этого испытуемый приступал к следующему цветовому образцу.

Инструкция для испытуемого: перед тобой квадрат, в котором спрятана фигура (квадрат, вертикальный или горизонтальный прямоугольник). Твоя задача – нажимая на кнопку, проявлять фигуру в фоне до тех пор, пока ее не увидишь, после чего необходимо определить эту фигуру, нажав на кнопку с нужным вариантом формы. При обнаружении фигуры и нажав кнопку с ее

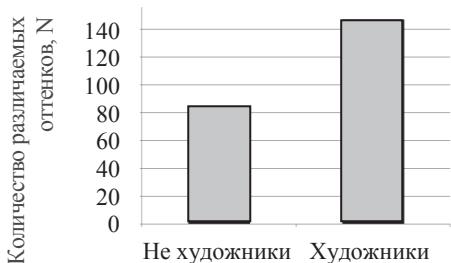
значком, ты увидишь оценку своего ответа на появившейся табличке. Если ты ответил неверно, попробуй еще раз, если прав – появится стрелка вниз. Нажимай на нее до тех пор, пока фон и фигура не станут фигурой одинакового цвета.

## 2) Измерение количества различаемых оттенков по шкале Н.

В данном тесте испытуемым предлагалось находить фигуру на цветовом фоне, проявляя ее нажатием на кнопку на экране, а после того цветом фона становился цвет найденной фигуры. Изначально испытуемому предъявлялся цветовой квадрат – фоновый стимул, в котором находился целевой стимул (геометрические фигуры – квадрат, горизонтальный и вертикальный прямоугольники). Далее при нажатии на кнопку на экране испытуемый менял оттенок целевого стимула на 1 у.е. вправо по шкале Н до ситуации распознавания. Как только испытуемый распознавал целевой стимул, он фиксировал это нажатием на кнопку с изображением формы стимула. После определения стимула оттенок фона сдвигался по шкале Н вправо до равенства с оттенком целевого стимула. Затем испытуемый продолжал поиск целевого стимула на данном фоне.

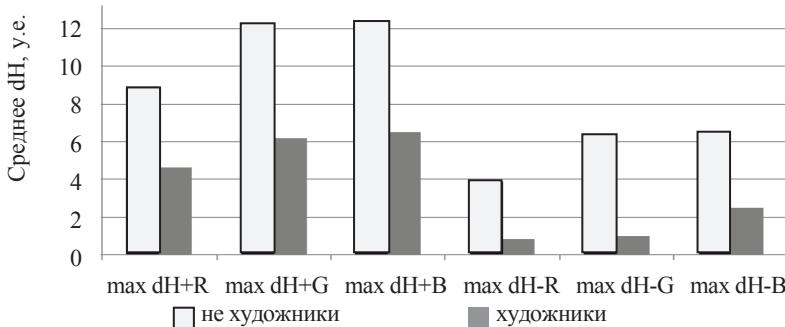
Инструкция для испытуемого: перед тобой квадрат, в котором спрятана фигура (квадрат, вертикальный или горизонтальный прямоугольник). Твоя задача следующая – нажимая на кнопку, проявлять фигуру в фоне до тех пор, пока ее не увидишь, после чего необходимо определить эту фигуру, нажав на кнопку с нужным вариантом формы. После обнаружения фигуры и нажатия на кнопку с ее значком ты увидишь оценку своего ответа на появившейся табличке. Если ты ошибся, попробуй еще раз, если ответ верен – цвет фона изменится, а значит можно приступать к аналогичному действию.

В результате исследования было выяснено, что количество различаемых оттенков по шкале Н среди художников и не художников отличаются. Среднее количество различаемых оттенков по шкале Н намного выше в группе художников (рис. 1).



**Рис. 1.** Среднее количество различаемых оттенков по шкале Н в контрольной (не художники) и экспериментальной (художники) группах

В результате измерений для каждого испытуемого были получены параметры – верхние и нижние дифференциальные пороги по оттенку Н в основных диапазонах – красном ( $H = 0 - 20, 220 - 240$ ) – dHR, зеленом ( $H = 60 - 110$ ) – dHG, синем ( $H = 160 - 200$ ) – dHB. При сравнении двух групп выявлены различия в параметре максимальных верхних и нижних дифференциальных порогов в красном, зеленом и синем. Максимальные различия порогов наблюдаются в диапазоне зеленых оттенков. Средние значения этих параметров в выборке не художников намного выше, чем у художников (рис. 2).



**Рис. 2.** Различия в контрольной и экспериментальной группах по параметрам различения оттенков во всех основных диапазонах (dHR – диапазон оттенков красного, dHG – диапазон оттенков зеленого, dHB – диапазон оттенков синего цвета)

**Выходы.** Количество различаемых оттенков по шкале Н среди художников и не художников значимо отличаются. Средние дифференциальные пороги по оттенку Н значимо выше в группе художников во всех основных диапазонах.

### Литература

1. Антонец В.А. Измерения, процедуры и оборудование в экспериментально-психологических исследованиях // Измерение ощущений – Учреждение Российской академии наук Институт психологии РАН, Московский городской психолого-педагогический университет. 2010. С. 70 – 72.
2. Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Черноризов А.М. Психофизиология цветового зрения. – М.: МГУ, 1989. – 206 с.
3. Полевая С.А. Интеграция эндогенных факторов в систему обработки экстероцептивных сигналов. – Пущино, 2009. – 51 с.

# **Влияние локализации источника звука на параметры движения глаз с помощью айтреинга**

Кудряшов Андрей

8 класс

Научный руководитель М.И. Хомякова,  
ст. лаборант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Доказано, что глаза отклоняются в сторону звука, стараясь найти его источник. При иллюзии смещения звука вправо увеличивается число саккад направо, а при иллюзии смещения звука влево – налево.*

Все системы организма работают согласованно и могут влиять на функционирование друг друга. И зрение, и слух участвуют в ориентировочном рефлексе, а значит могут усиливать или, наоборот, уменьшать уровень значимости друг друга. Изучая влияние аудиостимуляции на параметры движения глаз, можно определить степень взаимозависимости этих сенсорных систем и возможность влияния на одну из них путем изменения настроек другой.

Цель – определить влияние локализации источника звука на параметры движения глаз с помощью айтреинга.

Айтреинг (отслеживание глаз) – процесс определения координат взора (точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости наблюдаемого объекта или экрана, на котором предъявляется некоторый визуальный стимул).

Человек может сфокусироваться на объекте даже в полной темноте, удерживая взгляд на нем, но на внимание влияет усложнение окружающей информационной среды, то есть появление звуковых раздражителей. Саккады, вызываемые акустическим сигналом, изучались ранее Е.Н. Соколовым [4]. Идея отвлечения внимания на них и стала контекстом, исследуемым с помощью нашей методики.

Мы использовали методы латерометрии и айтреинга.

Виртуальное акустическое пространство формировали с помощью серии дихотических импульсов частотой 3 Гц с нарастающей интегральной задержкой и шагом 23 мкс [1]. Использовались шумовые звуковые импульсы амплитудой 40 дБ над порогом и продолжительностью 50 мкс (рис. 1). Если звуковые сигналы в дихотическом стимуле были равны по интенсивности и предъявлялись одновременно в оба уха (для каждого уха свой канал стимуляции), то формировался

единий звуковой образ, который ощущался испытуемым внутри головы, в центре межушной дуги. При нарастании задержки звук начинал смещаться из центра по направлению к опережающему уху [3].

Выборка состояла из двадцати человек в возрасте от 17 до 20 лет. Зрение испытуемых было равноценным, так как разрешалось корректировать его очками и линзами. Это не мешало определять положение точки взора.

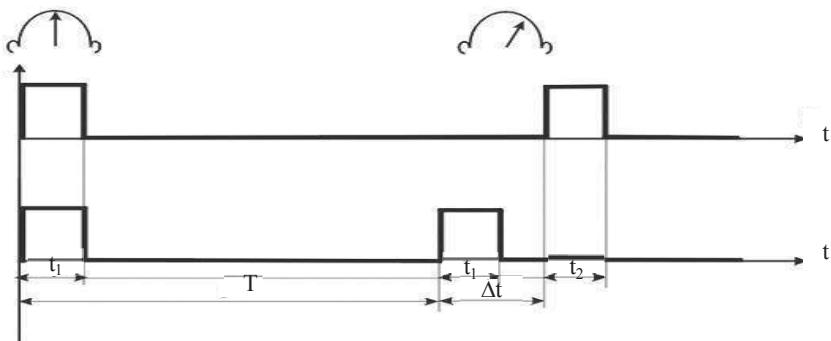
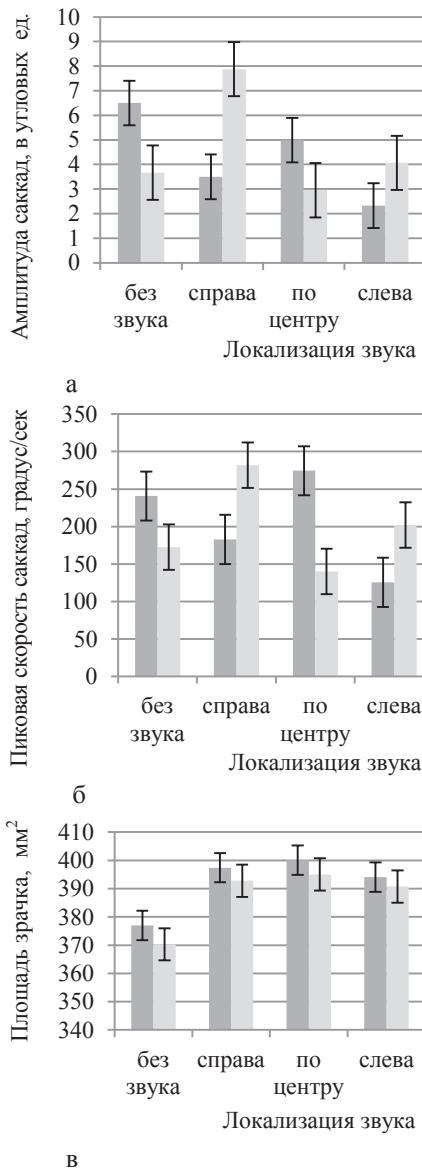


Рис. 1. Временная диаграмма серии дихототических стимулов  
( $t_1$  – продолжительность звукового импульса;  $\Delta t$  – интерауральная временная задержка;  $t$  – период в серии)

Для оценки трекинга глаз использовался программно-аппаратный комплекс iViewX Hi-speed system 1250. В качестве визуального стимула предъявлялось круглое цветовое пятно по центру экрана монитора айтрекера. В ходе эксперимента испытуемый садился за айтрекер и надевал наушники для латерометрии. Ему давали задание смотреть на зеленый круг диаметром 1 см на мониторе. Параллельно с началом визуальной стимуляции запускали аудиостимуляцию с латерометра. Использовали 4 варианта предъявления аудиосигнала: без звука; звук по центру (межушная задержка равна нулю); звук из центра смещался вправо (межушная задержка возрастила с шагом в 23 мкс); звук из центра смещался влево (межушная задержка возрастила с шагом 23мкс). Аудио и визуальная стимуляция проводились в каждом случае по 15 сек., так как этого времени вполне достаточно для того, чтобы звук полностью сместился к одному уху, но глаза испытуемого еще не успевали устать и, соответственно, отсутствовали излишние саккады за границы рабочей области экрана айтрекера. После каждого использования пары стимулов испытуемому предъявляли чистый экран.



Каждому испытуемому предлагали три серии по 4 вида аудиостимуляции в каждой. Результаты айтрекинга обрабатывали сначала в специальном программном обеспечении BeGaze на айтрекере, затем оцифрованные данные обрабатывали в программе Excel.

По результатам статистической обработки было показано, что средние значения амплитуды саккад зависят от локализации звука (рис. 2а): при звуке в центре межушной дуги, как и без звука, выше амплитуда саккад левого глаза, а при иллюзии смещения звука из центра вправо или влево наблюдали обратную картину: амплитуда саккад левого глаза оказалась ниже амплитуды саккад правого глаза. Подобное перераспределение активности глаз может свидетельствовать об изменении функциональной межполушарной асимметрии при иллюзии движения звука. Такая же зависимость наблюдается и для пиковой скорости саккад (рис. 2б).

При любом виде аудиостимуляции наблюдалось достоверное ( $p \leq 0,05$ ) увеличение диаметра зрачка, что свидетельствует о некотором рассеивании внимания, отвлечении его на звуковой стимул (рис. 2в).

При смещении звука как направо, так и налево, в величине пиковой скорости преобладают правые саккады.

Выборка была разделена на испытуемых с правым и левым ведущим глазом по времени начала фиксаций и их количеству, так как ведущий глаз раньше фиксируется на объекте видеостимуляции, и число таких фиксаций у ведущего глаза обычно больше (рис. 3).

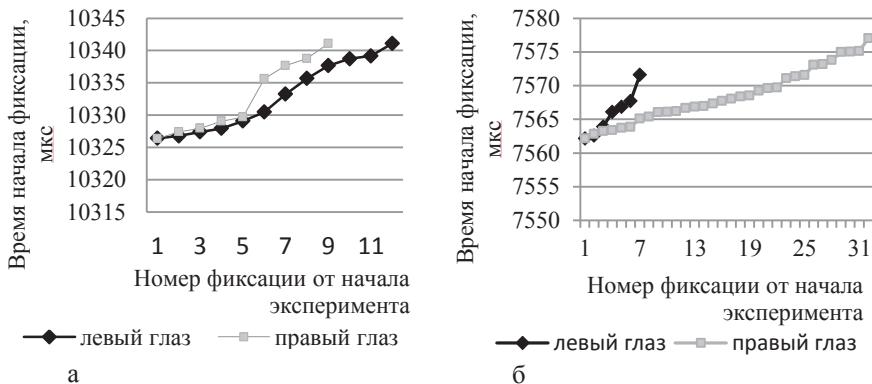


Рис. 3. Время начала фиксации для людей с левым (а) и правым (б) ведущим глазом

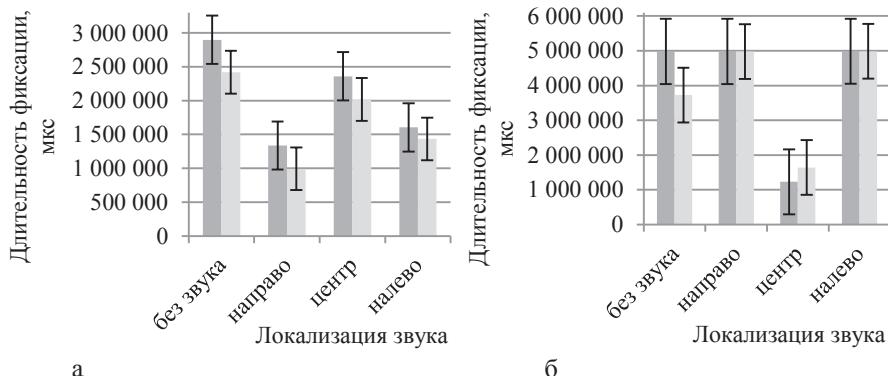


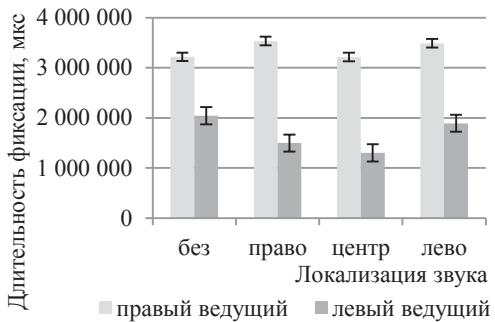
Рис. 4. Зависимость длительности фиксаций от локализации звука:  
а – 1-й тип, б – 2-й тип (■ – левый глаз, ■ – правый глаз)

Как для людей с правым, так и для людей с левым ведущим глазом мы наблюдали некоторые закономерности в наличии одного из двух вариантов зависимости длительности фиксации от локализации источника звука, причем их соотношение в выборке практически одинаковое. В первом случае длительность фиксаций при звуке по центру или без звука больше, чем при иллюзии смещения звука в ту

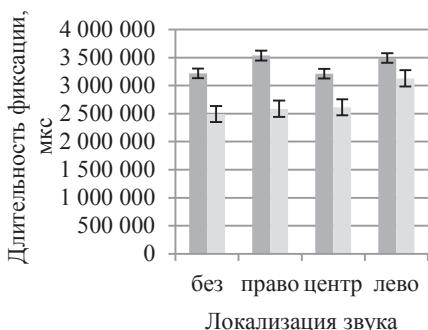
или иную сторону (рис. 4а). При этом при смещении звука влево для людей с левым ведущим глазом изменения не достигли необходимой точности, что требует проведения дополнительных измерений. Во втором случае, наоборот, длительность фиксаций при звуке по центру меньше, чем при иллюзии смещения звука (рис. 4б).

Возможно, что причиной являются два разных режима функционирования зрительной системы в присутствии дополнительной аудиостимуляции [1]. Этот режим может у одного и того же человека изменяться в течение времени, от эксперимента к эксперименту. Вероятно, этот факт может быть использован в дальнейшем для оценки функционального состояния испытуемых.

Было показано также, что для людей с правым ведущим глазом характерна в среднем большая длительность фиксаций, чем для людей с левым ведущим глазом (рис. 5). Длительность фиксации у людей с ведущим правым глазом была достоверно меньше (рис. 6а), а у людей с ведущим левым глазом имела тенденцию к снижению (рис. 6б) по сравнению с соответствующим ведомым глазом.

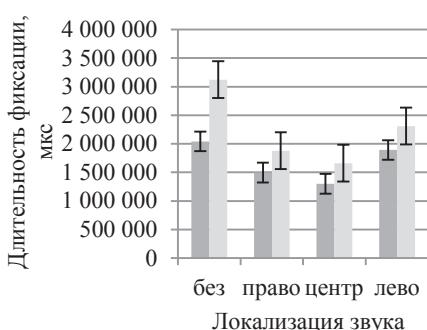


**Рис. 5.** Зависимость длительности фиксации от локализации звука



а

**Рис. 6.** Длительность фиксаций для людей с правым (а) и левым (б) ведущим глазом (■ – левый глаз, □ – правый глаз)



б

Таким образом, доказано, что аудиостимуляция влияет на параметры фиксации взгляда. Это позволяет сделать вывод об изменении функционального состояния зрительной системы под влиянием аудиостимуляции.

### *Выводы*

1. Глаза отклоняются в сторону звука, стараясь найти его источник. При этом при смещении звука как направо, так и налево, в величине пиковой скорости преобладают правые саккады. При любом виде аудиостимуляции наблюдается достоверное увеличение диаметра зрачка, что говорит о некотором рассеивании внимания, отвлечении его на звуковой стимул.

2. Средние значения амплитуды, пиковой скорости и средней мощности саккад зависят от локализации звука: при звуке в центре межушной дуги, как и без звука, они выше для левого глаза, а при иллюзии смещения звука из центра вправо или влево эти показатели для левого глаза оказываются ниже, чем для правого глаза.

3. Как для людей с правым, так и для людей с левым ведущим глазом характерно наличие одного из двух вариантов зависимости длительности фиксации от локализации источника звука. В первом случае длительность фиксаций при звуке по центру или без звука больше, чем при иллюзии смещения звука в ту или иную сторону, а во втором, наоборот, длительность фиксаций при звуке по центру меньше, чем при иллюзии смещения звука. Для достижения большей точности и достоверности данных утверждений нам необходимо набрать большую статистику наблюдений.

### **Литература**

1. Альтман Я.А. Функциональная асимметрия мозга и игнорирование среды // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2003. Т. 39. С. 27 – 32.
2. Боголепов Н.Н., Фокин В.Ф. Функциональная межполушарная асимметрия. – М.: Научный мир, 2004. – 728 с.
3. Полевая С.А. Динамика межполушарных отношений при латерализации дихотического стимула. – Н.Новгород: НижГМА, 2007.
4. Соколов Е.Н. Нейронные механизмы саккадических движений глаз. – М.: Институт психологии АН СССР, 1980.

# **Исследование фотобиологических свойств потенциального препарата для фотодинамической терапии онкологических заболеваний**

**Шестакова Лидия**

**9 класс**

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



*В работе исследованы спектральные свойства потенциальных фотосенсибилизаторов на основе порфиразиновых хромофоров, синтезированных в Институте металлоорганической химии РАН. Произведены оценки влияния концентрации и объема исследуемого препарата (на примере препарата «Фотосенс») на характеристики поглощения и флуоресценции. Зарегистрировано явление ограничения сигнала при высоких концентрациях исследуемого вещества в растворе. Обнаружено влияние параметров среды на величину сигнала флуоресценции исследуемых хромофоров. По полученным данным сделано предположение о возможном связывании хромофора с белками крови. Предположение подтверждено экспериментом с 10%-ным раствором альбумина.*

В настоящее время весьма эффективными и в то же время сравнительно безопасными методами диагностики и лечения поверхностных и неглубоко залегающих злокачественных и доброкачественных новообразований являются флуоресцентная диагностика и фотодинамическая терапия (ФДТ). Метод ФДТ основан на избирательном накоплении в опухолевой ткани фотосенсибилизатора – фотоактивного вещества, способного при локальном воздействии света определенной длины волны генерировать цитотоксические агенты, вызывающие повреждение структурных элементов опухолевой ткани [1, 2]. Фотосенсибилизаторы, которые применяются в настоящее время в клинической практике, характеризуются слабым поглощением в длинноволновой области спектра, поэтому глубина фотоповреждения опухоли оказывается гораздо меньшей, чем могла бы быть при использовании фотосенсибилизаторов с поглощением в более длинноволновой части спектра. Ведется активный поиск новых фотосенсибилизаторов с поглощением в области «терапевтического окна прозрачности» – длинноволновой области оптического спектра (600 – 1000 нм), где поглощение биологической ткани минимально,

что обеспечивает более глубокое проникновение излучения в ткань, а, следовательно, значительное увеличение глубины воздействия на опухоль.

Данная работа посвящена исследованию фотобиологических свойств потенциальных препаратов на основе порфиразиновых хромофоров, синтезированных в Институте металлоорганической химии РАН, для задач фотодинамической терапии и флуоресцентной диагностики.

Для определения допустимых условий эксперимента было необходимо исследовать зависимость поглощения и флуоресценции исследуемых растворов от различных параметров эксперимента. В качестве тестового препарата был использован клинически одобренный препарат «Фотосенс».

Основным параметром исследуемого раствора является его концентрация – величина, определяющая количество вещества исследуемого соединения в определенном объеме раствора. Для исследования использовался стандартный 96-луночный планшет, оптимальный объем лунки которого составляет 200 мкл, поэтому данный объем и был выбран для исследования влияния концентрации вещества в растворе на величину поглощения излучения определенной длины волн.

Исследуемый препарат имеет два пика поглощения, один из которых находится в фиолетовой области спектра, а другой – в красной. Для фотодинамической терапии «фиолетовый» пик интереса не представляет, поскольку свет с этой длиной волны практически не проникает в биологические ткани. Пик поглощения в красной области в полтора раза выше. Было показано, что при уменьшении концентрации вещества в растворе уменьшается и величина поглощения, однако это уменьшение не пропорционально изменению концентрации. Аналогичная зависимость наблюдалась и для интенсивности флуоресценции.

На рисунке 1 представлена зависимость поглощения препарата «Фотосенс» от объема раствора, налитого в экспериментальную лунку. Эксперимент производился для препарата с концентраций  $10^{-4}$  моль/литр. Хорошо видно, что в левой части графика высота пика увеличивается пропорционально увеличению объема (высоты столбика жидкости в лунке). В то же время справа наблюдается ограничение роста кривой. Этот эффект объясняется ограничением диапазона чувствительности используемого прибора: истинный ход кривых поглощения для «красного» пика показан пунктирными ли-

ниями (рис. 1). В дальнейшем при измерении поглощения все сигналы, величина которых превышает 3 условные единицы, отбраковывались, а эксперимент повторялся на тех концентрациях и объемах исследуемых веществ, величина пика поглощения которых не превышала этого значения. Такое же ограничение было установлено и для экспериментов по определению спектров флуоресценции.

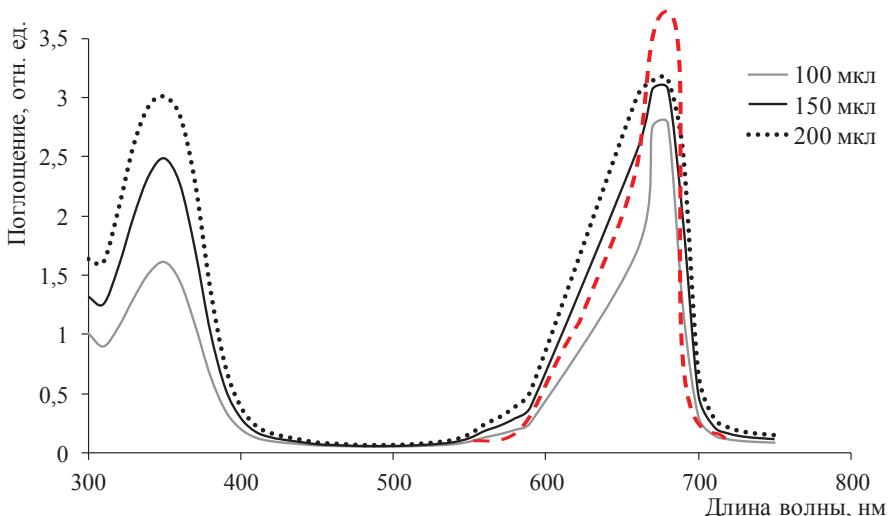
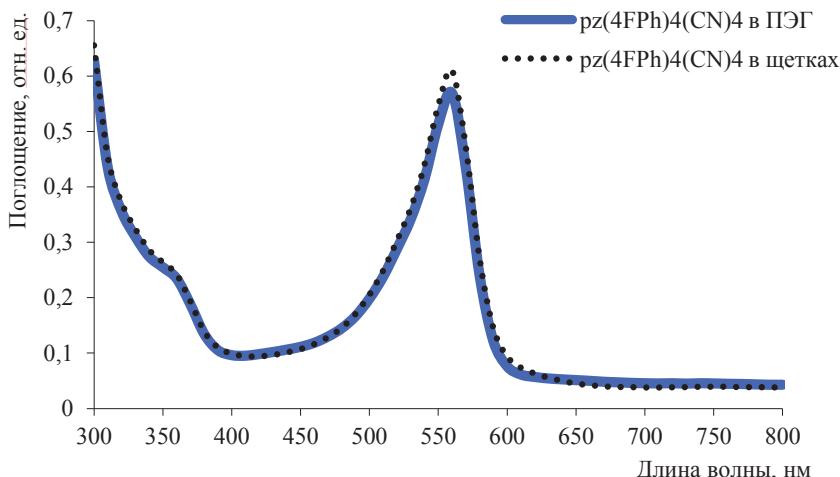


Рис. 1. Зависимость поглощения препарата «Фотосенс» от объема раствора, налитого в экспериментальную лунку

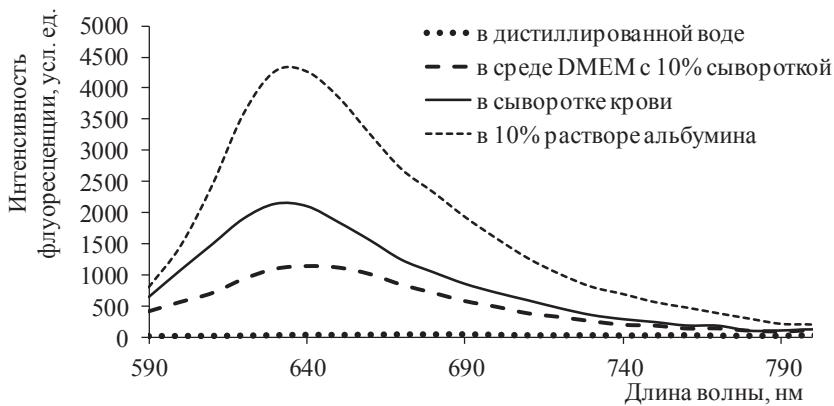
В Институте металлоорганической химии РАН были получены тетра(4-фторфенил)тетрацианопорфиразин и его биосовместимые формы путем заключения этого хромофора в наноразмерную полимерную капсулу на основе полиэтиленгликоля (ПЭГ) или полииimid-графт-поли-t-бутилметакрилата, получившего название «полимерная щетка» благодаря характерному расположению основных и боковых полимерных цепей.

Спектр поглощения порфиразиновых хромофоров в зависимости от полимера, в который они заключены, представлен на рисунке 2. Хорошо видно, что спектры практически не отличаются друг от друга ни по высоте пика, ни по его положению. Максимум поглощения хромофоров обнаружен на длине волны 560 нм.

Максимум флуоресценции для исследуемых хромофоров находится приблизительно на длине волны 635 нм (рис. 3).



**Рис. 2.** Спектры поглощения порфиразиновых хромофоров в составе различных полимеров



**Рис. 3.** Спектры излучения флуоресценции порфиразинового хромофора, заключенного в полимерную капсулу ПЭГ, в различных средах

Отдельно необходимо отметить влияние среды на интенсивность флуоресценции. В ходе экспериментов было обнаружено, что в сыворотке крови соединения (тетра(4-фторфенил)тетрацианопорфиразин, солубилизированный в полиэтиленгликоле (ПЭГ) и в полииimid-графт-поли-t-бутилметакрилате) излучают (флуоресцируют, излучают свет) более интенсивно. Это позволило предположить, что исследуемые соединения связываются с белками, присутствующими в сыво-

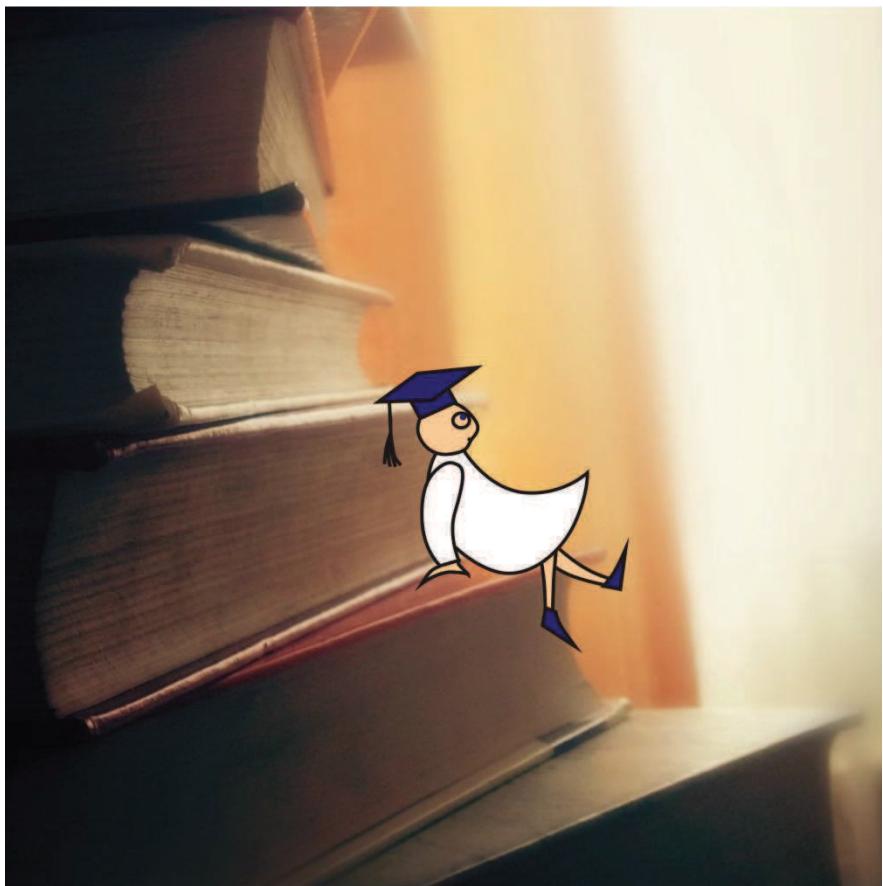
ротке крови. Эффект был подтвержден при экспериментах с культуральной средой, в которую была добавлена бычья эмбриональная сыворотка – в них также наблюдалось существенное усиление интенсивности излучения, хотя и не такое сильное, как в случае сыворотки крови человека. Для проверки предположения о связывании хромофоров с белками крови были произведены эксперименты по наблюдению флуоресценции в присутствии 10%-ного раствора альбумина, что дало самое сильное увеличение флуоресценции для обоих покрытий.

Таким образом, в ходе работы были исследованы фотобиологические характеристики (поглощение, флуоресценция) потенциальных препаратов для ФДТ. Произведены оценки влияния концентрации и объема исследуемого препарата (на примере препарата «Фотосенс») на характеристики поглощения и флуоресценции. Обнаружено явление ограничения сигнала при высоких концентрациях исследуемого вещества в растворе. Обнаружено влияние параметров среды на величину сигнала флуоресценции исследуемых хромофоров. Сделано предположение о возможном связывании хромофора с белками крови. Предположение подтверждено экспериментом с 10%-ным раствором альбумина.

### **Литература**

1. Странадко Е.Ф. Лозовская Е.Л. Исцеляющий свет // Наука и жизнь. 2002, № 3. С. 14 – 19.
2. Узденский А.Б. Клеточно-молекулярные механизмы фотодинамической терапии. – М.: Наука, 2010. – 328 с.

# Наука как призвание и профессия



*Идеалами, освещавшими мой путь и сообщавшими мне смелость и мужество, были доброта, красота и истина.*

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

*Ученый – это не тот, кто дает правильные ответы, а тот, кто ставит правильные вопросы.*

Клод Леви-Стросс (1908 – 2009),  
французский этнограф и социолог

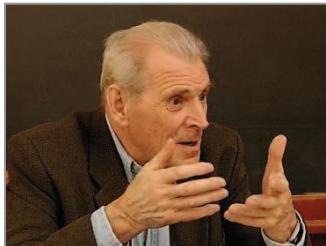
*Науку часто смешивают со знанием. Это грубое недоразумение. Наука есть не только знание, но и сознание, то есть умение пользоваться знанием как следует.*

Василий Осипович Ключевский (1841 – 1911),  
российский историк,  
профессор Московского университета,  
академик Императорской Санкт-Петербургской Академии наук

*Жизнь человека не вечна, но наука и знание переступают пороги столетий.*

Игорь Васильевич Курчатов (1903 – 1960)  
российский физик, академик АН СССР,  
организатор и руководитель работ  
по атомной науке и технике в СССР

**Давайте думать**  
Андрей Викторович Гапонов-Грехов  
научный руководитель Института  
прикладной физики РАН,  
академик Российской академии наук



*В красивом месте, в сосновом бору вблизи Нижнего Новгорода расположился небольшой исследовательский городок – детский образовательно-оздоровительный лагерь им. Н.С. Талалушкина. Здесь в Летние исследовательские смены «Умные каникулы» (ЛИС) собираются увлеченные, талантливые ребята, которых интересует научный поиск, и которые, возможно, посвятят свою жизнь служению науке, совершают новые открытия.*

Учредителем лагеря является Институт прикладной физики Российской академии наук, обладающий огромным научным потенциалом, большим опытом образовательной деятельности и подготовки научных и педагогических кадров. Первый директор, долгое время возглавлявший ИПФ РАН, а ныне научный руководитель института – академик Российской академии наук Андрей Викторович Гапонов-Грехов – в ответ на просьбу об интервью решил сам навестить лагерь и ответить на вопросы, интересующие юных исследователей.



Разговор начался с вопроса директора ДООЛ им. Н.С. Талалушкина Александра Игоревича Ермилина:

– Мы знаем, что такое наука. Это сфера деятельности человека с целью получения новых знаний. Как бы вы выразили свое отношение к данному определению и науке? Как к ней относиться?

– Интересный вопрос. Вообще, что может объединять химию, физику, биологию, информатику? Это их научная составляющая. Несмотря на разные методы реализации и производства даже гуманитарные науки, сильно отличающиеся от точных наук, имеют что-то общее. Наука – это умение думать. Думать, как правило, люди не умеют, так как мысли бывают самые разные; умение думать – это, в первую очередь, некая логика и неизбежный анализ, и так называемые гуманитарные науки становятся науками тогда, когда в них появляется научное мышление. Думать нужно всегда, не только находясь в лаборатории и выполняя исследовательскую работу, ведь умение думать – это и есть наука. Так что давайте думать!

– *Наука и нравственность. Как они соотносятся?*

– Вопрос соотношения нравственности и науки стоял давно. Виталий Лазаревич Гинзбург, сыгравший существенную роль в развитии академической науки в Нижнем Новгороде, в дискуссии о взаимосвязи нравственности и науки придерживался мнения, что они не связаны. Доказательство этого он видел в том факте, что были учёные, не являвшиеся эталоном нравственности. Я придерживаюсь обратного мнения. Считаю, что занятия наукой не гарантируют нравственности, но способствуют тому, чтобы человек соблюдал ее законы. Занятия наукой развиваются в человеке качества, которые мы относим к высотам нравственности. Например, врать нехорошо. Согласен, что есть исключения, но все равно нехорошо. Занятия наукой поощряют вранье? Нет, в науке врать нельзя! Потому что научное сообщество довольно быстро проверит и уличит тебя. В науке есть частица абсолютной истины. Будешь врать, более или менее быстро тебя разоблачат. Ошибки бывают, но сознательного вранья практически нет. Раз наука способствует тому, что люди не врут, значит, наука оказывает влияние на нравственность. Она не гарантирует нравственности, но играет положительную роль в формировании нравственных качеств человека.

– *На ваш взгляд, какая область науки будет быстрее всего развиваться? Вероятно, это произойдет на стыке наук?*

– Вы правильно сказали, что на стыке наук все и будет. Это довольно тривиальное утверждение, поскольку методы одной науки применяются в области другой. Естественно ожидать, что применение методов, которые раньше не использовались, могут дать новый результат. Давайте поразмышляем, что должно развиваться быстрее.

Цель естественных наук – понять, что происходит, как происходит и что будет потом. Было время, когда важные результаты были получены в астрономии, небесной механике. Тогда казалось, что мы выработали универсальные средства. Потом, с моей точки зрения, именно физика наиболее продвинулась в этой цепочке. Физика позволяет смотреть на явления, отделять, что является следствием чего-то, как происходит это явление. Она отвечает на вопрос, что является причиной механизма и следствием этого явления. Это называется построением модели. Здесь первой была физика. Химия, мне кажется, развивалась несколько иначе. Но любая естественная наука – это почти всегда построение модели, достаточной для того, чтобы это явление объяснить и научиться предвидеть, что будет при каких-то изменениях параметров. Именно физика была важной наукой с точки зрения методологии. Но если мы будем говорить о науках, связанных с общественной жизнью, то, я думаю, информационные понятия будут не менее существенны. Нельзя говорить, что одна наука важнее другой.

– *Что такое эффективность науки?*

– Этот вопрос очень важный. Это и есть та драматическая ситуация, которая сложилась у нас в стране. Мы отстали от западных развитых стран в процессе устройства общества. Электромагнетизм открыл Фарадей, который был по своей основной специальности переплетчиком, без образования, но был гениальным физиком. Он открыл, что переменное магнитное поле порождает электрический ток, а электрическое поле порождает магнитное поле. Так как ток порождает магнитное поле, то получается такая замкнутая связь, которая положила начало электромагнетизму. Вся цивилизация XIX и XX веков, все электрические механизмы построены на электромагнетизме, хотя во времена Фарадея электромагнетизм был практически неактуален, эффективность его была равна нулю. А через 100 лет электромагнетизм лег в основу нашей цивилизации. Эффективно ли это? Фарадей умер, не зная о своем открытии. С точки зрения сегодняшних реформаторов, он абсолютно неэффективный. К нему необходимо было бы приставить менеджера, который на следующий день предложил бы передавать радиосигналы. Нет такого менеджера. Мысль, что эффективный менеджер, поставленный во главе научно-исследовательского института, сразу даст доход – ложна и ошибочна. Надо пройти стадию прикладной науки, решить массу

задач, вытекающих из этих фундаментальных принципов открытий. К фундаментальным принципам понятие эффективности можно отнести, но эта эффективность должна содержать временной параметр. Мерка, что она должна дать 10 рублей через 10 дней, не годится. К науке понятие эффективности не применимо в таком примитивном понимании.

– *В настоящее время Российская академия наук подвергается реформированию. Как Вы можете прокомментировать это?*

– По первоначальному замыслу Академия наук была клубом ученых. Это было и во французской академии, и в Германии, и в США. Были также академические сообщества, которые существуют и сейчас. Есть такие сообщества ученых, где, внеся 150 долларов, можно стать членом академии. Мне одна художница рассказывала, что она получила письмо, в котором ей за 150 долларов предложили вступить в члены, по-моему, Нью-Йоркской академии. Когда меня спросили, стоит ли вступать, я ответил: «Абсолютно не стоит». Она спросила об этом другого человека из Нижнего Новгорода, имеющего отношение к науке. Тот ответил: «Конечно, стоит. Вы везде будете писать, что вы член Нью-Йоркской Академии наук, и это оккупится».

Российская академия наук – это действительно клуб ученых, где обсуждение есть один из видов работы. Я могу сказать, что свои существенные личные результаты я получил, рассказывая о явлении аудитории из пяти человек. Во время рассказа осенило. А потом часть института занималась по этой тематике. Это важно проговаривать. Когда ты говоришь, ты думаешь, а это и есть основное занятие научного работника. Итак, Российская академия наук есть клуб ученых, где происходит обсуждение проблем. Кроме того, Российская академия наук постоянно организовывала научные институты, и в этом государство ее поддерживало. Важно, чтобы академики не просто болтали, а около них или в их распоряжении были материальные средства и специально обученные люди, которые могут их идеи реализовать. Поэтому нужны люди, которые идеологически движут науку вперед, а также люди и материальные средства, которые ее реализуют.

Два момента, связанные с этими материальными объектами. Первый. Они стоят денег, и всегда есть денежные потоки, которые туда идут. Второй. Их можно рассматривать как некий источник денежного потока. Заманчиво. Почему это ученые, которые не являются

ся эффективными менеджерами, распоряжаются в какой-то степени денежными потоками и этими источниками? Это первое заблуждение. А второе в том, что эти организации сами могут работать. Зачем им ученые, которые заседают в РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК? Мы (реформаторы) их (институты) заберем, и они будут работать. Деньги-то у нас, мы им их дадим и потребуем, чтобы они выдали результат. Мы сделаем эту науку эффективной. Вот, по моему, на чем основано стремление к реформам. Что сильнее, первое или второе, я не знаю. Но в основе...

Вы сами сталкивались с реформой образования. Эта реформа стоила колоссальных денег. Идею о том, что хорошие вузы есть только в Москве, мне самому «вкручивали» с самого начала. Умные люди рождаются везде. Сибирский школьник не имеет возможности поехать в Москву и поступить в МГУ. Мы сделаем так, что все будут писать ЕГЭ, а принимать будем безадресно. Присытай ЕГЭ, и мы лучших отберем. Это мне проповедовал сам Д.А. Фурсенко. Я пытался возражать. Вы же понимаете, что в этом есть абстрактный смысл. Поставь галочку против нужных ответов, и вся твоя суть будет видна. Ну, во-первых, это не та суть. Хотя действительно, умный человек может поставить галочки, но при известной квалификации опросника, который должен быть составлен очень умно, чтобы выяснить не то, что в тебя «набито», какие ты справочники выучил, а то, как ты думаешь. Умеешь ли ты думать. Надо принимать в вуз по результату общения преподавателя с человеком. Главная цель состоит в том, чтобы выяснить не то, сколько он знает, хотя закон Ньютона знать нужно, а как он умеет думать. Потому что выучить можно, а научиться думать сложнее. Так вот, все реформы, которые предпринимались, к сожалению, были направлены на то, чтобы изменить правила сейчас, для наступления эффективной работы. Это делают люди, которые сами не преподавали, сами не занимаются наукой. Им кажется, что если ужесточить ситуацию, то контроль вести будет легче. Но контролировать науку по количественным показателям нельзя. Контролировать науку могут только ученые.

*Пресс-конференцию с участниками ЛИС записали  
Всеволод Фомин и Яна Надришина  
(июль 2013 года)*

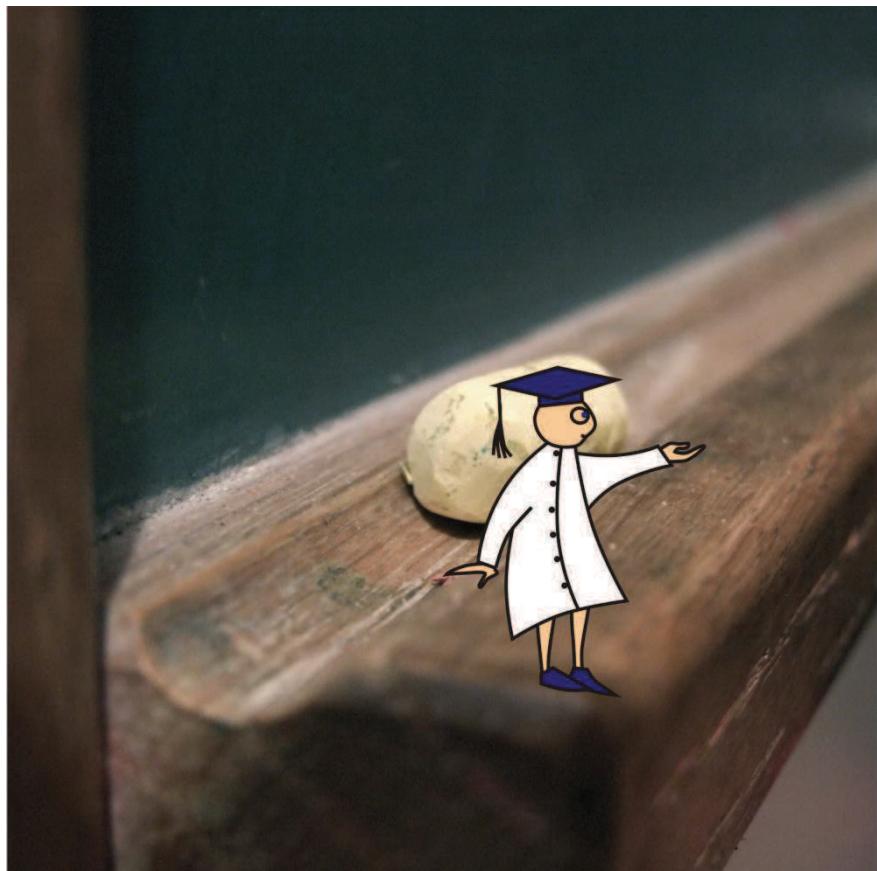
*P.S. Встреча с Андреем Викторовичем продолжалась два часа. В статье отражено то, что услышали наши юные корреспонденты. Это,*

*конечно, не все вопросы, которые задавали участники встречи. Каждый услышал что-то новое, то, что интересно именно ему.*

*Провожая Андрея Викторовича после нашей встречи, мы говорили о том, как здорово, что удалось сохранить этот уникальный лагерь, где собираются умные, заинтересованные люди, живущие наукой, где созданы условия для формирования у школьников научного мировоззрения. И это замечательно, что Институт прикладной физики Российской академии наук с 1986 года делает все возможное для сохранения и развития лагеря. Удалось сохранить его даже в 1990-е годы. Сегодняшнее реформирование Российской академии наук вновь ставит под вопрос его существование, да и всю образовательную деятельность академических институтов.*

*Может, надо подумать?*

# Лекции нижегородских ученых



*Научная истинна не самоцель, а верный путь к подъему культуры.*

Абрам Федорович Иоффе (1880 – 1960),  
академик РАН, один из создателей  
российской школы физиков,  
пионер исследования полупроводников

*Чего не понимают, тем не владеют.*

Иоганн Вольфганг Гете (1749 – 1832),  
немецкий писатель, естествоиспытатель

## **Тепловой эффект излучения мобильных телефонов**

**Вячеслав Федорович Вдовин**

доктор физ.-мат. наук,  
ведущий научный сотрудник ИПФ РАН,  
профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева

**Дмитрий Владимирович Коротаев**  
младший научный сотрудник ИПФ РАН

**Дмитрий Сергеевич Сидоров и Василий Александрович Шампоров,**  
студенты 3-го курса факультета ВШОПФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Работа посвящена исследованию уровней электромагнитного излучения мобильного телефона, гарнитуры Bluetooth и базовых станций мобильной связи, а также технологии работы стандарта GSM. Была проведена серия экспериментов с мобильными телефонами в разных режимах работы, с разными операторами и разными моделями телефонов. Полученные экспериментальные данные сравнивались с санитарными нормами. В результате работы были сформулированы меры предосторожности при пользовании сотовыми телефонами.*

Согласитесь, что мы уже не мыслим себя без мобильного телефона – настолько он органично вписался в нашу повседневную жизнь. Сейчас насчитывается более миллиарда людей, пользующихся мобильными телефонами, в России приходится уже более двух мобильников на душу населения – от мала до велика. Люди пользуются сотовой связью и не задумываются, что за это они платят не только деньгами, но и своим здоровьем.

Мобильный радиотелефон представляет собой малогабаритный приемопередатчик с мощностью излучения в пределах 0,1...1,2 Вт. Мощность излучения является величиной переменной и зависит от состояния канала связи «мобильный радиотелефон – базовая станция», а это значит, что чем сильнее сигнал базовой станции в точке принятия, тем меньше мощность излучения радиотелефона. В среднем она не превышает 0,25 Вт при работе в населенном пункте на открытой местности. В экранированных помещениях или в местностях с плохим покрытием сотовой сетью эта мощность может увеличиться до максимальной.

По международным требованиям мощность излучения сотовых телефонов измеряют в единицах SAR (Specific Adsorption Rate) – это

удельная поглощенная мощность, отнесенная к единице массы тела или ткани. Измерять ее достаточно сложно, так как для этого необходимы специальное оборудование и точные имитаторы тканей человеческого организма. Потому наиболее реальным является результат оценивания плотности потока энергии – вектор Умова-Пойтинга, электромагнитного излучения (ППЭ измеряется в мкВт/см<sup>2</sup>), исходя из его мощности. При этом следует понимать, что доля, поглощенная организмом, очень индивидуальна, она зависит как от стационарных характеристик поглощающего тела (толщины и сухости кожи, наличия подкожного жира, толщины кости...), так и локальных (волниение, потливость и т.п.).

Для исследования электромагнитного излучения мобильного телефона был проведен эксперимент. С помощью серийного измерителя уровней электромагнитных излучений ПЗ-31 (рис. 1), подключенного к компьютеру, измерялись мгновенные значения плотности потока энергии электромагнитного излучения, излучаемого мобильным телефоном каждые 2 секунды в течение 1 минуты. Исследование проводилось для мобильных телефонов трех видов (Siemens A60, Sony Ericsson W300i, Rover PC P6). Поочередно закрепляя телефоны на поролоновой подставке, мы измеряли плотность потока энергии в разных режимах работы сотового телефона (прием вызова, разговор, передача вызова).

В режиме приема вызова на тестируемый мобильный телефон посыпался вызов с городского телефона, причем в течение измерения вызов не принимался. В режиме разговора одновременно в обе стороны создавалась имитация разговора. В режиме передачи вызова с мобильного телефона посыпался вызов на городской телефон, при этом в течение измерения вызов не принимался. Кроме того учитывалась сторона телефона (внутренняя или внешняя), с которой измерялось излучение.

По результатам измерений были составлены графики мгновенной плотности потока энергии (рис. 2 – прием вызова, рис. 3 – передача вызова, рис. 4 – разговор, рис. 5 – передача с внешней стороны). В режиме приема вызова норма превышается в разы, как и в режиме передачи. В режиме разговора плотность потока энергии колеблется в пределах нормы, рекомендованной по СанПиН РФ. При сравнении гра-



Рис. 1.  
Измеритель элек-  
тромагнитных  
излучений ПЗ-31

ников мгновенной плотности потока энергии, исходящей с внутренней и внешней сторон телефона в одном режиме и с одним оператором (рис. 3а и 5), установлено, что с внешней стороны телефона излучение больше, чем с внутренней. Низкая плотность потока энергии у телефонов с оператором МТС обусловлена тем, что базовая станция МТС располагалась ближе к месту проведения измерения, чем базовая станция Beeline (расстояние до БС Beeline – 500 м, до БС МТС – 50 м).

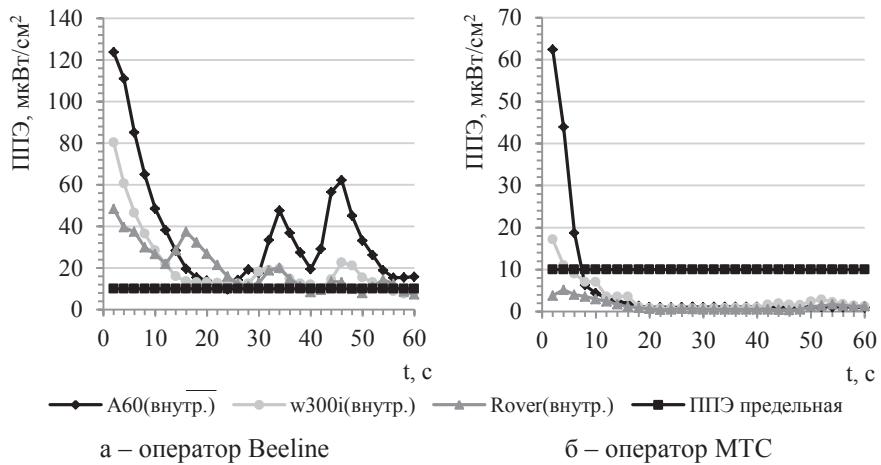


Рис. 2. Зависимость плотности потока энергии от времени – прием вызова

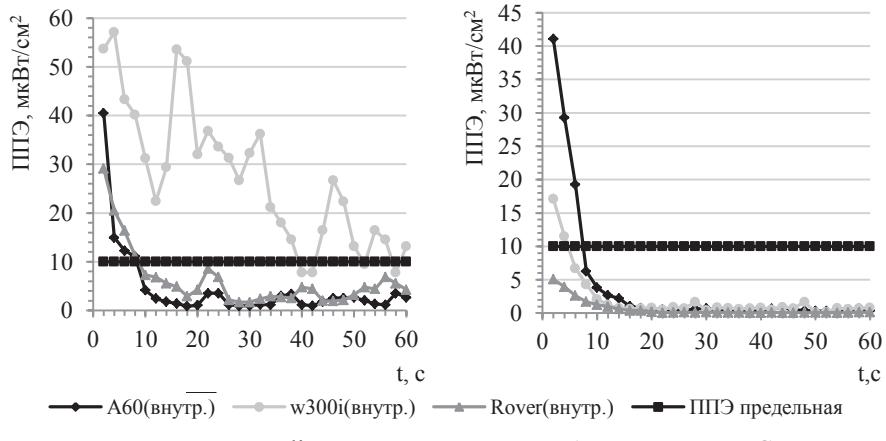
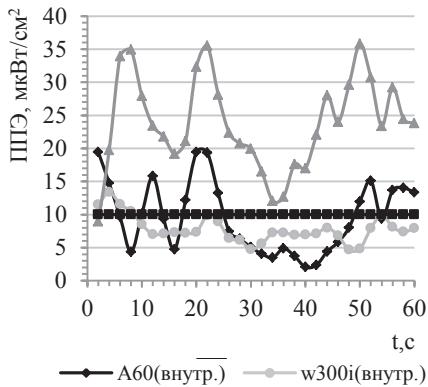
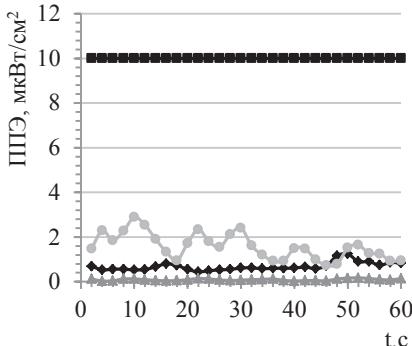


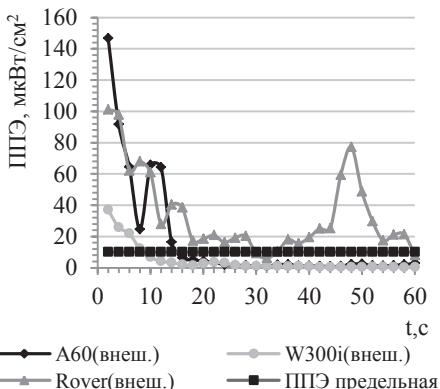
Рис. 3. Зависимость плотности потока энергии от времени – передача вызова



a – оператор Beeline



**Рис. 4.** Зависимость плотности потока энергии от времени – разговор



**Рис. 5.** Зависимость плотности потока энергии от времени – передача вызова, оператор Beeline, внешняя сторона

на телефон Siemens A60 с SIM-картой оператора Beeline со стороны задней крышки (рис. 6) и поместили установку в пенопластовую коробку.

3. Измерили начальное напряжение на выводах источника тока для дальнейшего преобразования в температуру.

4. Установили сеанс связи «стационарный телефон – мобильный телефон» и сымитировали разговор, как по мобильному, так и одновременно по стационарному телефону в течение часа.

5. Измерили конечное напряжение на выводах источника постоянного тока, преобразовали разность напряжений в разность температур.

Мы провели проверку наличия «теплового» эффекта.

1. Присоединили термодатчик LakeShore к источнику постоянного тока. Закрепили термодатчик на образце биоорганики, нагретом до комнатной температуры. Обернули образец органики с датчиком полиэстеровой пленкой для уменьшения рассеивания тепла в пространство и предотвращения нагрева образца органики из-за теплопередачи от задней крышки телефона.

2. Прикрепили конструкцию

Данный эксперимент повторили для второго образца органики.



**Рис. 6.** Эксперимент по проверке наличия «теплового» эффекта:

а – общий вид установки: мультиметр, блок питания, термоизолированная коробка;  
б – используемый термодатчик фирмы LakeShore model: DT-470-DI-13;  
в – полиэстеровая оболочка (не заклеенная) с одним из образцов органической ткани, термодатчик, Siemens A60.

*Таблица 1.* Результаты эксперимента

Размеры образца	Радиационный нагрев образца, С°	Собственный нагрев сотового телефона, С°
5x2x0,3	$1,64 \pm 0,05$	$1,27 \pm 0,1$
3x2x0,3	$2,51 \pm 0,05$	

Полученные данные эксперимента могут подтвердить гипотезу о нагреве органики излучением мобильного телефона. Однако нагрев этот сравнительно мал и достигается только при продолжительном воздействии, поэтому, вопреки распространенному мифу, куриное яйцо сварить единственным мобильным телефоном невозможно. Даже если пытаться это проделать, завернув перепелиное яйцо в герметичную термоизолированную упаковку, то на нагрев уйдет не менее суток.

В результате экспериментов с мобильными телефонами был подтвержден тепловой эффект излучения мобильных телефонов, кото-

рый может быть потенциально опасен для здоровья человека. Как следствие, нужно искать меры предосторожности, например, отдалить телефон от головы говорящего с помощью гарнитуры Bluetooth.

*Bluetooth* – производственная спецификация беспроводных персональных сетей. Bluetooth обеспечивает обмен информацией между такими устройствами, как карманные и обычные персональные компьютеры, мобильные телефоны, ноутбуки, принтеры, цифровые фотоаппараты, мышки, клавиатуры, джойстики, наушники. Bluetooth позволяет этим устройствам сообщаться, когда они находятся в радиусе 1–100 метров друг от друга ( дальность сильно зависит от препятствий и помех), даже в разных помещениях.

Таблица 2. Классификация приборов Bluetooth

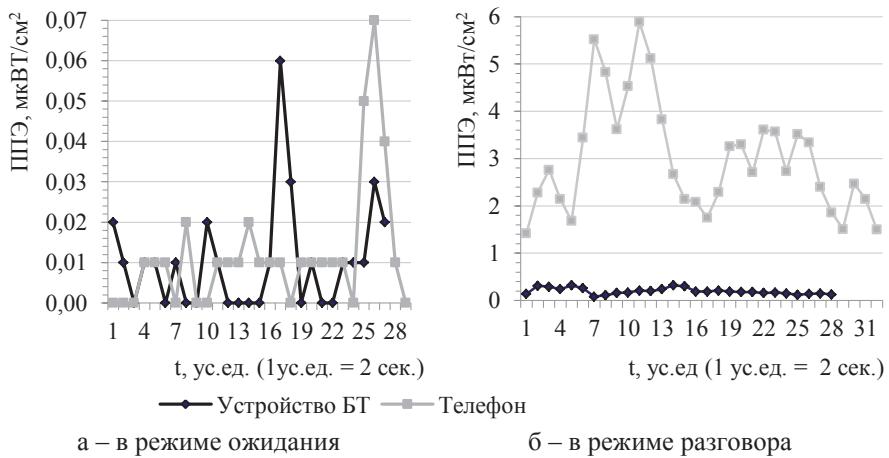
Класс	Максимальная мощность, мкВт	Радиус действия (приблизительно), м
1	100	100
2	2,5	10
3	1	1

Радиосвязь Bluetooth осуществляется в ISM-диапазоне (англ. Industry, Science and Medicine), который используется в различных бытовых приборах и беспроводных сетях (свободный от лицензирования диапазон 2,4 – 2,48 ГГц).

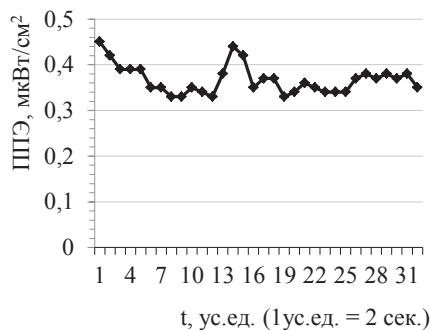
Для определения ППЭ электромагнитного излучения гарнитуры Bluetooth мы решили провести эксперимент. Цель эксперимента: исследовать электромагнитное излучение Bluetooth: на различных расстояниях между телефоном и устройством Bluetooth, в режимах разговора и ожидания. Для проведения эксперимента мы использовали связку «телефон – гарнитура» SonyEricsson W300 I – Jabra BT 125.

Первые два эксперимента были посвящены измерению плотности потока энергии излучения от мобильного телефона, работающего в режиме Bluetooth, чтобы в результат измерений не вошло излучение с мобильного телефона, работающего в данный момент не только в этом режиме, мы настроили прибор на частотную полосу 2,4 – 2,48 ГГц. Расстояние от телефона и гарнитуры было 60 см – это приблизительное расстояние между ухом человека и поясом; учитывать расстояние важно, поскольку, чем больше расстояние, тем хуже связь, а, следовательно, больше выходная мощность. Первые два эксперимента проводились в режиме ожидания, два последующие

были сделаны на расстоянии 60 см от телефона и гарнитуры в режиме разговора, а последний был проведен только с гарнитурой в режиме разговора на расстоянии 6 метров (рис. 7 – 8).



**Рис. 7.** Измерение плотности потока энергии излучения от мобильного телефона, работающего в режиме Bluetooth на расстоянии 60 см от телефона и гарнитуры



**Рис. 8.** Измерение плотности потока энергии излучения от гарнитуры в режиме разговора при расстоянии 6 м.

времени, гарнитура Bluetooth или близкая по технологии WiFi присутствуют в окружающем нас пространстве постоянно. Однако, если делать выбор между пользованием телефоном или гарнитурой, стоит выбрать гарнитуру, она гораздо безопаснее, еще безопаснее проводная

Как видно из графиков, плотность потока энергии, излучаемой гарнитурой, гораздо меньше СанПиНа РФ, но пользоваться Bluetooth нельзя постоянно, поскольку излучение даже в очень небольших дозах небезопасно. Более того, опасен не уровень излучения, а суммарная экспозиция. Мобильник излучает в основном во время разговоров, которые редко превышают единицы процента

гарнитура. К примеру, ППЭ телефона в начальный момент приема вызова в наших экспериментах доходила до 120 мкВт/см<sup>2</sup>.

*Базовые станции.* Как известно, БС является основой мобильной связи. Мощность излучения БС по сравнению с мобильными телефонами велика (5 – 20 Вт). Однако плотность мощности излучения падает пропорционально квадрату расстояния от излучателя. БС часто ставят на крышах зданий, что опасно для обитателей верхних этажей зданий, а, следовательно, проблема излучения БС очень актуальна (рис. 9).



Рис. 9. БС на крыше ИПФ РАН

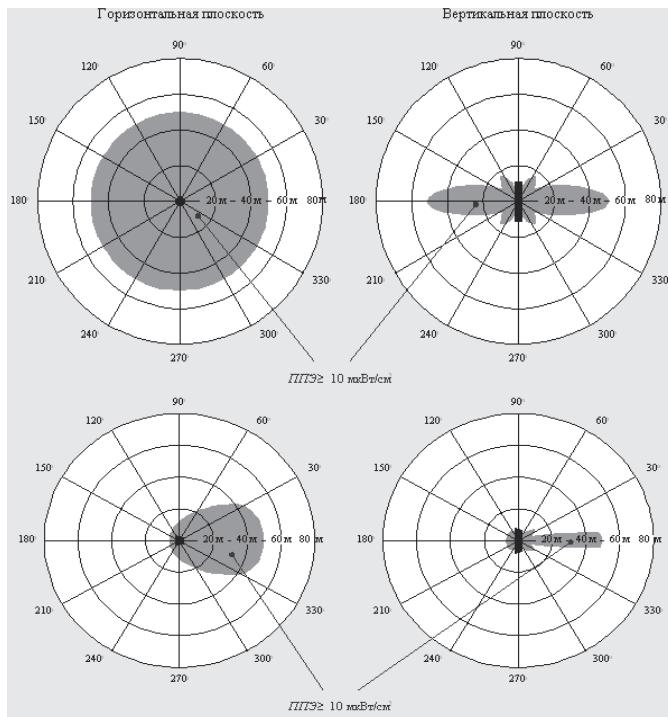


Рис. 10. Диаграммы излучения базовых станций в различных плоскостях

Как видно из рисунка 10, БС в основном излучает в горизонтальном, а не вертикальном направлении. Излучение 25 мкВт/см<sup>2</sup> идет вниз от БС на 0,5 м, то есть излучение антенн базовых станций не оказывает существенного влияния на людей, живущих и работающих в помещениях под ними и рядом с ними, если, конечно, антенны установлены с соблюдением установленных законом правил.

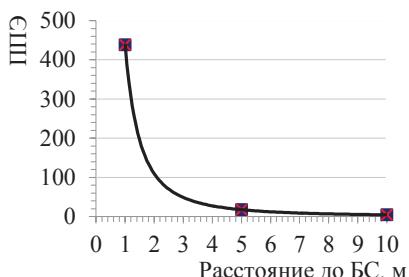


Рис. 11. Зависимость ППЭ от расстояния до базовой станции

По результатам измерений были сделаны следующие выводы:

- в некоторых режимах работы рекомендуемая норма (10 мкВт/см<sup>2</sup>) и предел по СанПиН РФ (25 мкВт/см<sup>2</sup>) превышаются в несколько раз;
- расстояние до ближайшей БС оператора сотового телефона также сильно влияет на производимое им излучение;
- излучение телефона зависит от модели телефона;
- режим передачи вызова опасней, чем режим приема, так как в отличие от режима приема при передаче мы держим телефон близко к голове, поэтому сейчас не используются сотовые телефоны с внешней антенной;
- излучение с внешней стороны телефона больше, чем с внутренней;
- излучение антенн базовых станций не оказывает существенного влияния на людей, живущих и работающих в помещениях под ними и рядом с ними, если, конечно, антенны установлены с соблюдением установленных законом правил;
- во время разговора по «мобильнику» пользуйтесь специальными приспособлениями, в частности Bluetooth, или проводной гарнитурой, позволяющими держать сам телефонный аппарат на расстоянии. Наиболее эффективная удаленность от телефона – 1 метр. Ограничите свое пребывание в помещениях, оборудованных WiFi;
- соблюдайте меры предосторожности при работе на крыше с находящейся на ней антенной базовой станции.

## **Литература**

1. *Баскаков С.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1992. – 421с.
2. *Вдовин В.Ф.* Сказки и правда про пользу и вред мобильных телефонов. Лекция. [Электронный ресурс].  
[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=8YBAZZIYI\\_I](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=8YBAZZIYI_I).
3. *Кочержевский Г.Н.* Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972. – 470 с.
4. *Крушевский Ю.В., Кравцов Ю.И., Бородай Я.А.* Влияние электромагнитного излучения устройств сотовой связи на человека.
5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) [Интернет ресурс].  
[http://www.vashdom.ru/sanpin/224\\_218055-96/](http://www.vashdom.ru/sanpin/224_218055-96/).
6. Сотовые телефоны [Интернет ресурс]. <http://electromag.by.ru/sar.html>.
7. Spb-centr. Интернет-магазин компьютерной техники [Интернет ресурс]. [spb-centr.ru](http://spb-centr.ru).

## **Вопросы для размышления**

1. Что такое наука и как к ней относиться?
2. Как соотносятся наука и нравственность?
3. Какая область науки, на ваш взгляд, в ближайшем будущем будет быстрее всего развиваться?
4. Чем интересна область «на стыке» наук?
5. Что такое эффективность науки?
6. Немецкий писатель и философ XIX века Фридрих Вильгельм Ницше писал: «Где дерево познания, там всегда рай», – так ве-щают и старейшие и новейшие змеи». Польский поэт и писатель XX века Станислав Ежи Лец предостерегал: «Бойтесь тех ботаников, которые утверждают, что древо познания родит корни зла». Как вы понимаете эти высказывания писателей? С какой точкой зрения вы можете согласиться? Аргументируйте свой ответ.
7. Британский физик, лауреат Нобелевской премии по химии 1908 года, Эрнест Резерфорд (1871 – 1937) создал оригинальный способ отбора кадров для научной лаборатории. Каждому новому молодому исследователю он, как и положено руководителю, давал задание. Если выполнив его, сотрудник приходил вновь и спрашивал, что ему дальше делать, то его увольняли. Это позволило Э. Резерфорду создать высокопрофессиональную исследовательскую команду. Чего требовал ученый от научных сотрудников? Какие качества отличают исследователя от других людей?

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
<b>НАУЧНОЕ РУКОВОДСТВО КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b>	
Ермилин А.И., Ермилина Е.В. Тьюторство как новая педагогическая позиция в дополнительном научном образовании школьников .....	11
<b>ФИЗИКА</b>	
Гежес Петр. Изготовление зонной пластинки Френеля и исследование ее свойств.....	26
Горчаков Михаил. Диагностика режимов генерации фемтосекундного лазера .....	32
Демидов Даниил. Разработка оптоакустического генератора ультразвуковых импульсов.....	36
Ермилин Елисей. Исследование процесса формирования резонансных конусов в слабоионизированной магнитоактивной плазме .....	40
Ермолаев Артем. Повышение информативности изображений бумаги, полученных методом оптической когерентной томографии .....	46
Михайлова Ирина. Поведение воды при криогенных температурах. Эффект заостренного купола .....	50
Надришина Яна. Расчет индуктивности внутреннего контура в системе двух коаксиальных катушек .....	55
Николенко Андрей. Исследование эффективного размера молекулы $O_2$ .....	59
Паршина Наталья. Улучшение точности измерения постоянной Планка в школьном демонстрационном эксперименте .....	65
Прокопенко Марина. Определение изменения энтропии при плавлении ..	69
Самсонов Александр. Изучение теплозащитных свойств зимней обуви, так ли хорош русский валенок? .....	72
Силин Денис. Исследование влияния давления света на диэлектрические частицы, оптическая ловушка .....	77
Слиняков Юрий. Создание полупроводникового перестраиваемого лазера с заданной длиной когерентности .....	81
Сухов Илья. Определение периода колебания воды в манометре .....	85
Филимонов Александр. Зависимость величины эффекта Фарадея от длины волны излучения в некоторых магнитооптических средах .....	88
Хазанов Григорий. Применение лазерно-оптической анемометрии для исследования течений в волнах на поверхности воды .....	94
Чижевская Яна. Оптические элементы, позволяющие управлять поляризацией .....	99

## ХИМИЯ

<i>Богатова Софья.</i> Синтез и исследование химической устойчивости гидроксиапатита состава $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ .....	106
<i>Гущин Тимофей.</i> Изучение физико-механических свойств пластизолей ....	112
<i>Демидов Даниил.</i> Исследование диаграммы состояния $\text{Bi}_2\text{Mo}_2\text{O}_9 - \text{Bi}_2\text{W}_2\text{O}_9$	116
<i>Пименов Владимир.</i> Рентгенофлуоресцентное определение селена в растворах, продуктах и пищевых добавках .....	119

## БИОФИЗИКА

<i>Коган Анна.</i> Исследование динамики биомассы <i>Eichornia crassipes</i> и биогенных элементов в накопительной культуре .....	124
<i>Кочаровская Милита.</i> Влияние сложности текста на параметры движений глаз при работе с текстами .....	128
<i>Кравченко Екатерина.</i> Специфические параметры цветового зрения у воспитанников художественной школы .....	134
<i>Кудряшов Андрей.</i> Влияние локализации источника звука на параметры движения глаз с помощью айтреинга .....	138
<i>Шестакова Лидия.</i> Исследование фотобиологических свойств потенциального препарата для фотодинамической терапии онкологических заболеваний .....	144

## НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ

<i>Гапонов-Грехов А.В.</i> Давайте думать (пресс-конференция с участниками летних исследовательских смен – июль 2013 года, ДООЛ им. Н.С. Талашкина ИПФ РАН) .....	151
---	-----

## ЛЕКЦИИ НИЖЕГОРОДСКИХ УЧЕНЫХ

<i>Вдовин В.Ф., Коротаев Д.В., Сидоров Д.С., Шампоров В.А.</i> Тепловой эффект излучения мобильных телефонов .....	159
--	-----

Вопросы для размышления .....	169
-------------------------------	-----