

Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики РАН

Школа юного исследователя



Выпуск 10

Нижний Новгород
2017

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

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

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

Нижегородское региональное отделение Российского общества
«Знание»

Первичная профсоюзная организация Профессионального союза
работников Российской академии наук в ИПФ РАН

Школа юного исследователя

Сборник
исследовательских работ учащихся

Выпуск 10

Нижний Новгород
2017

УДК 371
ББК 74.200я43
Ш 67

III 67 **Школа юного исследователя:** сборник исследовательских работ учащихся – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2017. – ISBN 978-5-93530-289-4.
Вып. 10 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной, ФГБНУ «ФИЦ ИПФ РАН». – 271с.

ISBN 978-5-93530-472-0.

Под общей редакцией
кандидата педагогических наук
A.I. Ермилина,
кандидата педагогических наук
E.B. Ермилиной

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

Р е ц е н з е н т ы :

Вдовин В.Ф., ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доктор физико-математических наук,
Яхно Т.А., ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, доктор биологических наук,
Рейман А.М., старший научный сотрудник ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук,
Елиашев Е.В., старший преподаватель ННГУ им. Н.И. Лобачевского, зам. декана, кандидат химических наук,
Лапин Н.И., доцент НГПУ им. К. Минина, заведующий научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария, кандидат физико-математических наук.

Р и с у н к и *T.A. Новышева*

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся – призеров XII региональной естественнонаучной конференции школьников «Школа юного исследователя», прошедшей в марте 2017 года в ФИЦ ИПФ РАН.

ISBN 978-5-93530-472-0 (Вып.10)
ISBN 978-5-93530-289-4

© ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», 2017

© Оформление. Гладкова О.В., 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

2017 год стал юбилейным для российской науки, для нижегородских ученых и для нас, редакторов данного сборника.

Жизнь человека за последние полвека основательно изменилась благодаря мощному и всеобъемлющему проникновению в нее новых информационных технологий. Особенно это стало заметно в последние 25 лет, когда радиоэлектронные приборы вошли в бытовой обиход. А начался этот период бурного развития радиоэлектроники с запуска искусственного спутника Земли 4 октября 1957 года с космодрома «Байконур». Первый в мире искусственный спутник земли был запущен в СССР, над его созданием во главе с основоположником практической космонавтики С.П. Королевым трудились ученые М.В. Келдыш, М.К. Тихонравов, Н.С. Лидоренко, Г.Ю. Максимов, В.И. Лапко, Б.С. Чекунов, А.В. Бухтияров и многие другие. В России этот день отмечается как памятный день Космических войск. В текущем году мы отмечаем 60-летие с момента запуска первого спутника и начала космической эры человечества. В масштабах истории это нисколько малый отрезок времени, но для человека – это период, приближающийся к средней продолжительности жизни. Ровесники спутника в этом году заканчивают свою трудовую деятельность, а космическая эра человечества еще переживает свое младенчество.

С космосом связано и одно из главных открытий в научном мире, сделанное в последние годы, – открытие гравитационных волн. Непосредственными участниками этого процесса стали сотрудники Федерального научного центра Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород). В проекте по поиску гравитационных волн участвовали научные коллективы, включающие тысячи ученых из университетов пятнадцати стран. Проект уже находился на стадии закрытия, но в прошедшем году, благодаря улучшениям установки, которые предложили сотрудники ИПФ РАН под руководством академика А.М. Сергеева и члена-корреспондента РАН Е.А. Хазанова, впервые в истории были зафиксированы колебания пространства-времени, пришедшие на Землю в результате катастрофы, произошедшей далеко во Вселенной.

Наш институт сегодня – один из наиболее крупных научных центров в системе РАН – ФАНО, занимающий передовые позиции по ряду направлений современной физики. Это работы по созданию источников мощного электромагнитного излучения (микроволнового и оптического диапазонов), физики плазмы и плазменных техно-

логий, низкочастотной акустики, дистанционных методов и средств диагностики природных сред, нелинейной динамики, физики конденсированных сред и физического материаловедения. Большое количество исследований и разработок ИПФ РАН привели не только к достижению прорывных фундаментальных результатов, но и к созданию новых научноемких технологий и приборов.

Институту прикладной физики РАН исполнилось в 2017 году сорок лет. О подготовке молодых научных кадров, грандиозных проектах и о том, чем живет институт сегодня, рассказывает на страницах сборника заместитель директора ИПФ РАН по научной работе, доктор физико-математических наук Михаил Юрьевич Глявин.

Успехи института – это успехи его сотрудников: ученых, инженеров, конструкторов. Они во многом стали возможны благодаря созданию в институте системы подготовки научных кадров, многоуровневого непрерывного образования. Работа по подготовке научных кадров началась одновременно с созданием института. «Я познакомился с С.П. Капицей и убедил его в необходимости создания такого научного института. Это было в 60-е годы XX века, когда я работал в НИРФИ (Научно-исследовательском радиофизическом институте) и занимался научной работой. Я понимал, что школьное и даже университетское образование – это одно, а для того, чтобы усвоить принципы научной работы, нужна другая подготовка. Мы организовали институт, а в нем факультет стажеров-исследователей. Это оказалось не государственным образованием, поскольку было принято наше внутреннее решение. Мы постарались готовить кадры так, как это нужно для науки», – рассказывает о создании института его основатель, академик РАН Андрей Викторович Гапонов-Грехов.

Сегодня система подготовки кадров в ИПФ охватывает не только высшее образование (аспирантуру и базовый факультет ВШОПФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского), но и работу по поиску и подготовке будущих ученых, начинающуюся в школе. На базе научно-образовательного комплекса института учатся школьники профильных старших классов физико-математического лицея № 40. Но еще более разнообразной и обширной представляется работа ИПФ РАН со школьниками в сфере дополнительного образования. Она дает возможность привлекать ребят не только из Нижнего Новгорода и области, но и из других регионов.

Пятнадцать лет на базе детского образовательно-оздоровительного лагеря им. Н.С. Талалушкина проводятся научные смены для школь-

ников. Здесь, как в оранжерее выращивают редкие растения, готовят к научной деятельности будущих физиков, химиков, биологов, астрономов. Идея предложить школьникам на практике почувствовать, как удивительно обретать новые знания не из учебников, а самостоятельно, родилась в Институте прикладной физики РАН давно. Реализация этой идеи была поручена Александру Игоревичу Ермилину, кандидату педагогических наук, директору детского образовательного лагеря им. Н.С. Талалушкина ИПФ РАН. В этом году редакторы данного сборника А.И. Ермилин и Е.В. Ермилина отмечают свой четырехвековой юбилей работы в ИПФ РАН.

Помимо профильных летних смен система работы со школьниками включает научное объединение «Школа юного исследователя» и региональную естественнонаучную конференцию школьников с аналогичным названием. Эта работа объединена единой программой «В мире знаний». О том, с чего началась и как строится работа со школьниками в ИПФ РАН, читайте в статье «ИПФ РАН готовит ученых будущего» зав. отделом ФИЦ ИПФ РАН, кандидата педагогических наук А.И. Ермилина.

Почему-то о каждом новом поколении говорят, что оно хуже предыдущего. А может оно просто другое? В чем особенность современных школьников и что надо делать, чтобы вернуть в процесс образования понимание и развитие критического мышления? Об этом в статье «Время. Что такое время?» размышляет Н.И. Лапин – педагог Школы юного исследователя ИПФ РАН, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий в образовании НГПУ им. К. Минина, заведующий научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария им. Г.М. Гречко, эксперт региональной естественнонаучной конференции «Школа юного исследователя».

Авторами сборника стали школьники – призеры XII региональной естественнонаучной конференции школьников «Школа юного исследователя», состоявшейся в марте 2017 года в ФИЦ ИПФ РАН. Их работы по физике и астрономии, химии и биологии, прикладной информатике и математике представляют собой образцы исследований, выполненных в школах и научных объединениях школьников, в вузах и лабораториях исследовательского института. Работы разные, как и сами их авторы. Одни выполнены на сложном оборудовании исследовательских лабораторий, другие – из подручного материала, из того, что можно найти дома, купить в магазине. Но главным является то, что их авторы – увлеченные люди, а предмет их интереса

лежит в научной области знания. Им интересно узнать, что и как происходит в природе, как работают приборы и механизмы, они не удовлетворяются простыми ответами, а стараются проверить свои предположения, наблюдая и экспериментируя.

Региональная естественнонаучная конференция школьников «Школа юного исследователя» (ШЮИ) в 2017-м году посвящена 40-летию ИПФ РАН. Председателем оргкомитета конференции является директор ИПФ РАН, академик Александр Михайлович Сергеев. В программе конференции были научно-популярные лекции ведущих ученых, экскурсии в исследовательские лаборатории, мастер-классы и семинары. Но главным содержанием был конкурс исследовательских работ учащихся.

В конференции приняли участие школьники и руководители их исследовательских работ из Нижнего Новгорода, Чебоксар, городов Нижегородской области (Арзамас, Балахна, Богородск, Бор, Заволжье, Дзержинск, Кстово, Павлово, Саров, Семенов, Уренъ), рабочих поселков (Сухобезводное Семеновского района, Тумботино Павловского района и Сосновское Сосновского района), сел (Михайловское Воротынского района, Кочкурово Починковского района, Сицкое Чкаловского района, Таремское Павловского района, Шарапово Шатковского района) и деревень (Б. Терсень Уренского района) Нижегородской области. В заочном туре конференции была проведена экспертиза 306 работ. Участниками очного тура стали 151 школьник и 109 руководителей исследовательских работ школьников. В двенадцати секциях (7 устных и 5 стендовых) были представлены 83 устных и 68 стендовых докладов участников конференции.

Экспертное мнение о работах школьников читайте в статье А.М. Реймана. Александр Михайлович – старший научный сотрудник ИПФ РАН. Он пришел в институт почти сорок лет назад, со студенческой скамьи, в его трудовой книжке всего одна запись о месте работы. Уже больше пятнадцати лет он занимается образовательным проектом в специализированных старших классах лицея № 40, преподает физику. Кроме того, он является экспертом жюри региональной естественнонаучной конференции «Школа юного исследователя» и председателем жюри Приволжского научно-технического конкурса работ школьников РОСТ.

Изучение мира требует от исследователей не только времени и сил, трудолюбия и упорства, без которых невозможно достичь результата, но прежде всего наблюдательности, пытливости ума и критичности в

суждениях, способности нестандартно мыслить и творческой фантазии. Ученые – люди одаренные, разносторонние, им свойственно видеть и слышать мир. «Исследовать – значит видеть то, что видели все, и думать так, как не думал никто», – мнение американского биохимика Альберта Сент-Дьерди (1893 – 1986), впервые выделившего витамин С, лауреата Нобелевской премии по физиологии и медицине за цикл работ по биологическому окислению (1937).

Мы предложили участникам конференции в этом году не ограничиваться научными докладами, проявив свои творческие способности в фотоконкурсе. Интересным дополнением к научной программе конференции стала фотовыставка «Очарование науки». Для участия в ней были присланы 138 работ 49 авторов, среди которых были школьники и взрослые. Для фотовыставки в двух номинациях: «Удивительные научные явления вокруг нас» и «Юные исследователи и их наставники» были отобраны 39 фоторабот. Фотовыставка стала наглядной иллюстрацией процесса работы юных исследователей и тех удивительных явлений, которые существуют вокруг и побуждают их к изучению окружающего мира. Работы-победители фотоконкурса «Очарование науки» размещены в нашем сборнике.

Юные исследователи «примеряют на себя» профессию ученого. Они уже сделали первые шаги в этом направлении. Как меняется мир профессий сегодня? Что будет востребовано, когда юные авторы закончат вузы и начнут трудовую деятельность? Об этом рассуждает на страницах сборника молодой ученый, педагог А.С. Седов – преподаватель Школы юного исследователя, научный сотрудник ИПФ РАН, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева, эксперт региональной естественнонаучной конференции «Школа юного исследователя».

Выбрать профессию, которой сможешь посвятить себя, совсем не просто. Как организован труд ученого? Какими способностями надо обладать, чтобы стать исследователем? Ответить на эти вопросы можно, лишь общаясь с людьми, для которых наука стала призванием и профессией, кто посвятил ей жизнь и добился действительно уникальных научных результатов. «Главное – интерес к науке!» – эта фраза стала лейтмотивом разговора о профессии ученого, о пути в науку с научным руководителем ИПФ РАН, академиком Александром Григорьевичем Литvakом. Разговор с ученым затронул и вопрос о применении научных открытий. Придем ли мы к футуристическим картинам Герберта Уэллса, когда человек уже не нужен, кругом одни роботы, в небе летают «беспилотники». Каково соотноше-

ние этих открытий и человека? О путях развития науки и ее роли в нашей жизни читайте в интервью с академиком А.Г. Литваком на страницах нашего сборника.

Длительное время мы фиксировали снижение интереса молодежи к научной деятельности. Что влияло на данный процесс? Прежде всего, изменение в оценке профессий, снижение престижности профессии ученого в обществе, следствием чего стала смена профессиональных ориентаций молодежи. Способствовала этому и недостаточная оплата труда ученого. Другой причиной низкой оценки научной деятельности при построении профессиональной карьеры стал низкий уровень образованности выпускников школ. Подростки выбирают профессии, не требующие «насыщенность» и полноту знаний. Неуверенность в своих знаниях и отсутствие опыта «пробования» себя в науке не позволяют сделать выбор в пользу научной сферы деятельности.

Усиливает ситуацию непривлекательность построения карьеры в пределах страны. В обществе до последнего времени доминировали негативные оценки престижа ученого в России и позитивные – в западных странах. Например, в США, по данным Wall Street Journal, наиболее престижной является профессия ученого. В России профессия ученого занимает только 22-ю позицию.¹

Привлекательность научного труда обеспечивают высокие достижения науки и технологий. Празднование юбилея ИПФ РАН и региональная конференция школьников наглядно показывают, что заниматься наукой и достигать ярких и даже блестящих результатов можно в Нижнем Новгороде, в ИПФ РАН.

Конференция «Школа юного исследователя» традиционно проводится в весенние каникулы, в канун Дня космонавтики, в этом году она посвящена 40-летию Института прикладной физики. Благодарим весь коллектив Школы юного исследователя ИПФ РАН за то, что все эти годы они так много делали для подготовки будущих научных кадров.

*A.I. Ермилин,
E.B. Ермилина*

¹ Ельчина А.С. Перспективы построения карьеры в научно-образовательной сфере // Гуманитарные научные исследования. 2012. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://human.snauka.ru/2012/11/1963>.

ФИЦ ИПФ РАН

сегодня

*10-й выпуск сборника
Школа юного исследователя
посвящен 40-летнему юбилею
Федерального исследовательского
центра Институт прикладной
физики РАН
(Нижний Новгород)*



ИПФ РАН сегодня

Институт прикладной физики РАН был создан на базе нескольких отделов Научно-исследовательского радиофизического института (НИРФИ) Минвуза РСФСР в апреле 1977 года. Основателем и директором института на протяжении первых двадцати пяти лет его работы был академик А.В. Гапонов-Грехов, с 2003-го по 2015-й год институт возглавлял академик А.Г. Литвак, а с 2015-го года директором института стал академик А.М. Сергеев. ИПФ был задуман и создан как институт широкого профиля, сочетающий фундаментальные и прикладные исследования в области физики плазмы, электроники больших мощностей, физики атмосферы, гидрофизики и квантовой электроники. Именно эти направления исследований были предписаны институту решением Президиума АН СССР при создании, они в значительной степени определяют его научный «портрет» и в настоящее время.



академик
А.В. Гапонов-Грехов



академик
А.Г. Литвак



академик
А.М. Сергеев

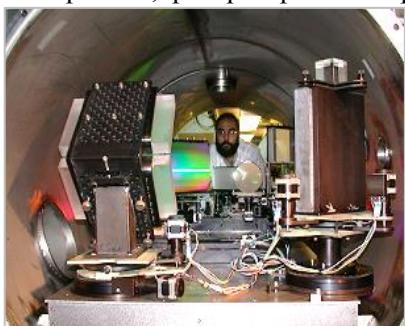
Научным фундаментом ИПФ как широкопрофильного института является радиофизика, которая в нижегородской научной школе, где она и была «изобретена» как междисциплинарная область, традиционно понимается как общая наука о колебательных и волновых процессах в различных средах и в самых разных диапазонах частот и длин волн. Именно общая колебательно-волновая проблематика и культура проведения исследований, обеспеченность прикладных работ собственным фундаментальным научным заделом и современной производственной базой, прочная и постоянно развивающаяся связь с

системой высшего, а в последние годы и среднего образования, высокие критерии подготовки кадров и разносторонняя поддержка научной молодежи – основные принципы построения и развития института, которые выдержали испытания временем и сохраняются по сей день.

И в относительно благополучный для советской науки период (1970 – 1980-е годы), и в трудные 1990-е годы, и в период формирования новой системы государственной поддержки науки в двухтысячные ИПФ оставался динамично развивающимся крупным научным центром. В последнее время тематика института расширяется, появляются новые актуальные направления, в том числе междисциплинарные. Этот процесс ускорился с преобразованием института в Федеральный исследовательский центр и присоединением к нему двух нижегородских академических институтов близкого профиля – Института физики микроструктур РАН и Института проблем машиностроения РАН, которые в 2016 году стали филиалами ИПФ РАН.

Образование ИПФ РАН, открывшее «академическую» страницу в истории нижегородской физики, было естественным продолжением быстрого (еще с 30-х годов XX века) становления и развития в городе Горьком радиофизики и радиоэлектроники. Важными вехами стали создание в Горьковском государственном университете в 1945 году первого в стране радиофизического факультета, а в 1956 году – НИРФИ. Это обеспечило подготовку специалистов-радиофизиков и успешное развитие работ по физической и квантовой электронике, СВЧ-электронике, распространению радиоволн, физике плазмы, акустике,

гидрофизике. Трудами А.А. Андронова, М.Т. Греховой, Г.С. Горелика, В.Л. Гинзбурга, М.Л. Левина, их последователей и учеников радиофизика сформировалась как самостоятельная область знаний, охватывающая весь спектр колебательных и волновых проблем: излучение и распространение волн, взаимодействие волн со средой, реги-



страция и обработка колебательных и волновых сигналов. Многие современные направления радиофизики, активно развивающиеся в ИПФ, связаны с обратными задачами дистанционной диагностики и томографии различных объектов. Среди них практически все природные среды (астрофизическая и геофизическая плазма, гидросфера и атмосфера Земли, земные породы), биологические ткани, искусственные материалы, технические сооружения и системы. При решении этого класса обратных задач сочетаются линейные и нелинейные подходы, общий взгляд на проблему и конкретные проблемно-ориентированные технические разработки. Общность в постановке проблем, методах их теоретического и экспериментального исследования создает уникальные возможности для эффективного сотрудничества специалистов, изучающих электромагнитные и акустические волны различных диапазонов, динамику океана и атмосферы, физику лазеров и генераторов СВЧ-диапазона, динамику сложных, в том числе живых, систем, нанофотонику и квантовую макрофизику, многие другие явления и системы. Соответственно расширяются возможности поиска и решения прикладных задач, ориентированных на создание новых технологий, приборов и аппаратных средств.

Потенциал такого сотрудничества в полной мере реализуется в ИПФ РАН на протяжении всех лет его работы. Так, разрабатываемые в ИПФ мощные генераторы миллиметрового диапазона – гиротроны – и полученные с их использованием результаты по взаимодействию мощного электромагнитного излучения с плазмой и веществом применяются в установках управляемого термоядерного синтеза (УТС), позволяют развивать новые методы спектроскопии и диагностики различных сред,

технологии создания, обработки и модификации материалов, в том числе с уникальными свойствами и параметрами. В кооперации с Научно-производственным предприятием «ГИКОМ» ИПФ РАН стал одним из мировых лидеров в создании гиротронов различного назначения, в том числе сверхмощ-



ных квазинепрерывных гиротронов для разогрева плазмы в строящемся во Франции международном термоядерном реакторе ИТЭР (International Thermonuclear Experimental Reactor).

Теоретические и экспериментальные достижения в нелинейной и адаптивной оптике послужили основой для создания в ИПФ РАН мощных лазерных систем различного назначения, в том числе фемтосекундного лазерного комплекса петаваттного уровня мощности – на момент запуска в 2006 году самого мощного в России. В настоящее время в ИПФ создается новая сверхмощная лазерная установка с проектной мощностью 5 ПВт. Подобные лазерные комплексы позволяют открывать принципиально новые рубежи в экспериментальных исследованиях состояния вещества в условиях взаимодействия с экстремально интенсивным световым излучением, фактически эквивалентные возможностям гигантских ускорителей и даже превосходящие их. На основе достигнутого опыта в ИПФ РАН разработан проект по созданию в Нижнем Новгороде Международного центра исследований экстремального света эксаваттного уровня мощности (Exawatt Center for Extreme Light Studies – XCELS), который должен обеспечить достижение рекордной мощности 200 ПВт (на два порядка превосходящей уровень сегодняшних рекордных мощностей).

Выполненные еще в 1960 – 1970-е годы пионерские исследования в области акустики привели в последующем к разработке новых высокочувствительных методов неразрушающего контроля и дефектоскопии; многолетний опыт работ в области прецизионных оптических измерений – к разработке и внедрению в клиническую практику целого поколения методов и приборов оптической биомедицинской диагностики; масштабные экспедиционные исследования и уникальные разработки в области низкочастотной акустики океана – к созданию и внедрению в промышленность передовых средств гидроакустической метрологии и диагностики сложных вибрационных систем, к реализации когерентных методов сейсмоакустической диагностики высокого разрешения. Достижения в создании мощных гидроакустических излучателей стали основой международного сотрудничества в исследованиях климата Северного Ледовитого океана в проекте АТОС, связанном с томографическими методами контроля температуры среды на трассах длиной в тысячи километров. Проведенные натурные испытания созданных в ИПФ РАН цифровых кабельных антенн в качестве бортовых корабельных приемных систем показали прекрасные перспективы внедрения новых методов

обработки сигналов (адаптивной шумопеленгации, пассивного апертурного синтеза) и возможность управления акустическими полями в условиях неточного знания параметров среды.

Опыт института в области физики твердого тела, физики и технологии наноструктур служит основой для исследований и разработок современной элементной базы, предназначеннной для получения, обработки, передачи и хранения информации, а также для развития передовых информационных технологий.

Эти и другие примеры иллюстрируют высокую эффективность реализуемого в ИПФ РАН подхода к развитию прикладной физики на основе результатов собственных фундаментальных исследований. В последнее время в институте успешно начаты исследования по актуальным проблемам физики конденсированных сред и квантовой физики, аттосекундной физики,nanoфотоники, по моделированию и построению нейроморфных систем, по разработке физических основ и технологий создания наноструктурированных материалов, по изучению катастрофических явлений в природных оболочках Земли (океане, атмосфере), по разработке методов и средств нового поколения для диагностики природных сред и сложных технических систем.

Развитие института сопровождается постоянной корректировкой тематики и организационной структуры. Научную структуру ИПФ РАН составляют Отделение физики плазмы и электроники больших мощностей, Отделение геофизических исследований, Отделение нелинейной динамики и оптики, Центр гидроакустики, два филиала – Институт физики микроструктур РАН и Институт проблем машиностроения РАН. ИПФ РАН имеет мощную экспериментальную базу и большой набор современных диагностических средств, позволяющих проводить как лабораторные, так и натурные эксперименты. Некоторые установки относятся к числу уникальных и либо не имеют аналогов в мире, либо находятся на уровне передовых достижений в своей области. Экспериментальные установки и стенды института широко используются при совместных работах со многими российскими и зарубежными организациями. Институт располагает собственной производственной базой – опытным производством, оснащенным современными станками и оборудованием, системой инженерно-технологических лабораторий.

ИПФ РАН активно сотрудничает с международными научными центрами, участвуя в выполнении таких крупных научно-технических программ, как «Создание международного термоядерного реактора (ITER)», «Создание лазерного интерферометра для

обнаружения гравитационных волн (LIGO)», в договорах о сотрудничестве с рядом зарубежных научных центров, проектах международных научных фондов. Ежегодно более 150 сотрудников выезжают на международные научные конференции, совещания различных комитетов и обществ и примерно столько же иностранных ученых приезжают в институт. ИПФ РАН активно привлекает для работы известных зарубежных ученых в рамках программы мегагрантов Правительства РФ. По этой программе в центре в последние годы работали 5 ведущих ученых из США, Франции, Германии и Японии.

Коллектив Федерального исследовательского центра насчитывает более 1600 человек, среди которых около 700 научных сотрудников, в том числе 6 академиков, 10 членов-корреспондентов РАН, 120 докторов и 320 кандидатов наук. Более 40 % научных сотрудников – молодые люди в возрасте до 39 лет.

Многие годы институт является организатором регулярно проводимых и хорошо известных во всем мире конференций и научных школ, среди которых необходимо назвать такие: международные конференции «Рубежи нелинейной физики» (Frontiers of Nonlinear Physics), «Сильные микроволны: теория и приложения» (Strong Mircowaves and Terahertz Waves: Sources and Applications), «Актуальные проблемы физики нелинейных волн» (Topical Problems of Nonlinear Waves), «Актуальные проблемы биофотоники» (Topical Problems of Biophotonics), «Лазерная физика сверхсильных полей», «Нелинейные параметрические явления в окружающей среде», ежегодное (начиная с 1989 года) российско-германское совещание по электронно-циклотронному нагреву и гиротронам, Всероссийская научная школа по нелинейным волнам (в 2016 году прошла уже 17-я школа, первая состоялась в 1972 году в НИРФИ, еще до создания ИПФ РАН), всероссийская конференция «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях», ежегодная региональная конференция молодых ученых в области естественных и технических наук. ИФМ РАН проводит ежегодный международный симпозиум «Нанофизика и наноэлектроника», тематика которого охватывает широкий круг вопросов физики конденсированных сред.

При ИПФ РАН создан «пояс» малых научоемких предприятий, организованных сотрудниками института или при их непосредственном участии. Основная задача этих предприятий – доведение результатов научных исследований до действующих образцов и прототипов и коммерческая реализация научоемкой продукции. Малые предприятия выпускают высокотехнологичную продукцию, предназначенную для раз-

личных научных исследований, медицины, транспорта и энергетики, комплексы управления технологическими процессами, создают новые материалы, технологии и уникальные программные продукты.

В ИПФ РАН (или под его патронажем) действует система подготовки научных кадров по физике многоуровневого непрерывного образования: физические и биофизические специальные старшие классы в физико-математическом лицее, базовый факультет «Высшая школа общей и прикладной физики», базовая специализация «Фундаментальная радиофизика» и филиалы кафедр радиофизического факультета Нижегородского государственного исследовательского университета, аспирантура. Ежегодно в аспирантуре ИПФ обучаются не менее 65 человек. Для координации деятельности института в области образования постановлением президиума РАН в 2001 году создан Научно-образовательный центр ИПФ РАН (с 2009 года – Научно-образовательный комплекс). В подготовке молодых ученых участвуют ведущие научные школы. Функционируют два докторских диссертационных совета. На базе Детского образовательно-оздоровительного лагеря им. Н.С. Талалушкина, принадлежащего ИПФ РАН, ежегодно проводятся летние исследовательские и физико-математические школы для старшеклассников города и области (в 2017 году состоялись уже 30-я ЛИС и 30-я ЛФМШ), реализуются новаторские научно-образовательные программы для ребят. С 2005 года в ИПФ РАН работает научное объединение школьников «Школа юного исследователя», с 2006 года проводится региональная естественнонаучная конференция школьников с аналогичным названием. Все это обеспечивает продуктивную смену поколений в институте.

О новых поколениях и преемственности кадров и идей

Глявин Михаил Юрьевич

заместитель директора ИПФ РАН по научной работе, доктор физико-математических наук



Институт за годы своего существования создал собственную, во многом уникальную, систему подготовки кадров. В 1984 году в политехническом институте была организована кафедра «Инженерная электрофизика», которая впоследствии превратилась в факультет «Высшая школа прикладной физики» ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Уже тридцать лет на загородной базе института мы проводим летние физико-математические школы для старшеклассников, много лет сотрудничаем с лицеем № 40, в котором созданы профильные классы.

Благодаря такой системе институт за все годы существования никогда не испытывал дефицита молодых ученых. Я и сам принадлежу к первому набору кафедры политехнического института. Когда А.В. Гапонов-Грехов и А.Г. Литvak принимали решение о создании базовой кафедры, они, по-видимому, исходили из потребности в специалистах, имеющих не только хорошую фундаментальную подготовку, но и способных работать с крупными экспериментальными установками института. Среди выпускников кафедры сейчас трое члены-корреспонденты РАН, то есть ориентированность на эксперимент отнюдь не помешала им (и многим другим) получить уникальные научные результаты.

Созданная система подготовки кадров обеспечивает непрерывность поступления в институт молодых ученых, но, к сожалению, только в том количестве, которое позволяют наши финансовые возможности, а они порой ограничены. Для реализации всех наших проектов хотелось бы иметь больше молодых сотрудников и выбор имеется. В последние годы в связи с реформой Академии наук проблемы сохранения и воспроизводства кадров встают все острее. В настоящее время для молодых ученых нет барьеров, можно работать в Европе, Азии, Америке, поэтому нам приходится конкурировать за кадры с ведущими мировыми научными центрами. И мы с этой задачей справляемся довольно успешно, например указы президента об уровне зарплаты ученых в ИПФ уже выполнены. Наши сотрудники публикуются в ведущих мировых научных изданиях, а институт поощряет сотрудников за публикации – выплаты за публикации по итогам года могут составлять десятки, а в исключительных случаях и сотни тысяч рублей.

ИПФ РАН отмечает свое сорокалетие. Для человека сорок лет – это довольно много, а для фундаментальной области знаний это не слишком большой срок. Но за этот период сменилось несколько поколений ученых. Все они довольно успешно поддерживали рейтинг и имидж института на всероссийском и международном уровне. А ученики, которые участвуют сегодня в научной конференции школьников, придут к нам через некоторое время. Крайне важно их не потерять, заинтересовать, чтобы они видели возможность приложения своих знаний, чтобы это было им интересно и чтобы они стремились не только выступить на конференции, но и продолжить движение в науку.

Научные школы дают возможность ребятам понять, готовы ли они посвятить себя науке, поскольку жизнь ученого нелегка. Можно долго работать, но не получать результата. Рабочий день ученого не нормирован, а материальное положение – не блестяще. И ко всему этому надо быть готовым. Но если человек верен своей идее, то рано или поздно достигается значимый результат.

Например, ученые всего мира пытались поймать гравитационные волны, существование которых А. Эйнштейн предсказал много лет назад. Проект уже находился на стадии закрытия, а в прошлом году, благодаря улучшениям установки, предложенным сотрудниками ИПФ РАН (в первую очередь А.М. Сергеевым и Е.А. Хазановым), гравитационные волны были экспериментально зафиксированы. Налицо связь прошлого с будущим.

Будущее института мы связываем с масштабными задачами. Хочется реализовать такие проекты, чтобы не наши ученые уезжали за рубеж, а мировое научное сообщество приезжало к нам. Обсуждается создание лазерного центра с рекордными параметрами, что может открыть принципиально новые возможности для изучения окружающего мира. Это один из проектов мегасайнс, одобренных правительством, строиться этот комплекс лазеров будет на территории Нижегородской области. В 2016 году принято решение о создании на базе ИПФ РАН центра биофотоники. Считается, что если XX век был веком электроники, то XXI век будет веком фотоники. Когда центр начнет реально функционировать, это будет объединение науки, практикующих медиков, разработчиков и производителей аппаратуры для диагностики и лечения различных заболеваний.

Наш институт был, остается и будет крупнейшим радиофизическим центром страны, лидером во многих научных направлениях. Я уверен, что молодые ученые имеют все возможности, чтобы реализовать себя в стенах института.

ИПФ РАН готовит ученых будущего

Ермилин Александр Игоревич
зав. отделом, руководитель ШЮИ ИПФ РАН,
кандидат педагогических наук



Решая задачу привлечения молодежи в науку, мы разработали программу, которая получила название «В мире знаний». Ее цель – популяризация науки в подростковой среде. Есть профессии – повар, водитель, учитель и другие, когда понятно, чем люди занимаются. А что делают ученые, какие специалисты работают за стенами исследовательского института, часто не понимают не только дети, но и их родители. Поэтому мы рассказываем, что такое поиск истины, зачем нужны исследования, как возникают новые знания. И не только рассказываем, но и знакомим с самим процессом исследования, показываем дорогу, которая ведет в мир науки, осваиваем с ребятами методы самостоятельного поиска новых знаний. Мы отбираем школьников, которым интересна наука, и мотивируем их к выполнению исследовательских работ и дальнейшему профильному обучению.

Для этого были организованы исследовательские смены на базе детского лагеря им. Н.С. Талалушкина в курортном поселке Зеленый город Нижнего Новгорода. Здесь школьники под руководством ученых за короткий период летней смены не просто выполняют учебные исследования, чтобы представить их на конференции, а погружаются в увлекательную исследовательскую деятельность, в научное путешествие.

Очень скоро мы столкнулись со следующей проблемой: выявив талантливых детей, нужно было определить, что делать с ними дальше. У ребят появилась потребность в общении с заинтересованными наукой людьми, интерес к занятиям исследовательской работой. Но продолжать занятия было негде. В этот момент стало понятно, что работа со школьниками должна строиться по принципу круглогодичного цикла – так родилось научное объединение «Школа юного исследователя». Оно работает круглый год, начинаясь от летних исследовательских смен «ЛИС» и заканчиваясь одноименной региональной конференцией «Школа юного исследователя». Двенадцать лет назад у нас было 33 школьника, но ежегодно их количество росло, и в 2016/2017 учебном году у нас уже было 74 ученика. К сожалению, увеличивать состав ШЮИ мы не можем в силу ограниченности наших возможностей. К

работе со школьниками мы привлекаем научных сотрудников ИПФ РАН, это для них является дополнительным большим трудом. Требуется наличие материально-технической базы, оборудования, учебных классов и лабораторий для обучения и выполнения школьниками исследовательских работ. Кроме того, это не «поточный метод». Это работа индивидуальная, и ребенок, который к нам приходит, должен проявлять желание заниматься, организованность и самостоятельность.

Работа со школьниками в научном объединении начинается с 7 – 8-го класса. На начальном этапе мы привлекаем учителей школ, наших выпускников – студентов профильных специальностей, которые занимаются со школьниками на базе учебной лаборатории ШЮИ. Ребята постарше уже погружаются в научную среду института под руководством ученых. В институте аспиранты, кандидаты, доктора наук готовы заниматься с детьми и понимают необходимость этой работы для будущего.

Ярким этапом работы научного объединения школьников ИПФ РАН является региональная естественнонаучная конференция. В этом году она проводилась в течение двух дней. В первый день прошла стендовая сессия, а на следующий день были заслушаны устные доклады по секциям «Физика», «Химия», «Биофизика и биология», «Астрофизика и астрономия», «Прикладная информатика и математика».

Заметим, что оценки докладов всегда субъективны, они зависят от состава жюри, направления работы научного учреждения, где школьники выступают с докладами. Наши ученики, например, не плохо выступают и занимают призовые места на Харитоновских чтениях в Федеральном ядерном центре в Сарове, на Сахаровских чтениях в Санкт-Петербурге. По результатам Приволжского конкурса научно-технических работ школьников РОСТ (он имеет статус регионального тура международного конкурса ISEF) несколько наших ребят успешно выступали в США.

Мы, безусловно, отслеживаем пути развития наших выпускников. Некоторые работают у нас в институте – это те, кто пришел к нам в самых первых потоках, остальные пока еще студенты. Некоторые ребята работают в других научных учреждениях. Среди наших выпускников много тех, кто выбрал не только физику, но и химию, информатику. Сегодня многие школьники активно интересуются исследованиями в области биофизики. Конечно, не все выпускники ШЮИ идут в науку. Но я надеюсь, что те знания, которые они получили у нас, помогают им в жизни, и они сохранили уважение к науке.

Экспертное мнение: наши дети делают работы на международном уровне

Рейман Александр Михайлович
старший научный сотрудник ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Кто-то из исследователей истории науки подметил: все великие научные открытия делаются до тридцати лет, а дальше ученые только дорабатывают то, что открыли в молодости. Вот почему организация учебно-исследовательской работы школьников – очень важная составная часть воспитания учащихся. Эта задача в разных странах решается по-разному, но в большинстве стран – путем организации конференций учащихся, где они представляют свои проекты и исследования, иногда с добавлением соревновательного элемента. На настоящих научных конференциях конкурсная составляющая чаще всего отсутствует или добавляется только для молодых участников.

Уже много лет подряд Школа юного исследователя (ШЮИ) приглашает меня на роль эксперта по физике при рассмотрении заявок на весеннюю итоговую конференцию. Помимо собственно экспертизы меня интересует оценка присылаемых заявок с точки зрения возможного участия лучших проектов в осеннем конкурсе школьных научно-технических работ РОСТ-ISEF, который организуется под эгидой ИПФ РАН. В этом году заявок на конференцию было очень много, на отборочном этапе я просмотрел около тридцати работ старшеклассников из разных школ Нижегородской области. Есть известные школы, где активно занимаются с детьми наукой, мы их все знаем и с ними активно работаем, но иногда попадаются достаточно интересные работы школьников из дальних районов области. География конференции постоянно расширяется. В чем же состоит работа эксперта?

Тематика конференции ШЮИ относится к точным и естественным наукам, поэтому именно на нее ориентируются школьники. Но бывают и курьезные случаи – однажды нам прислали бизнес-план, бывают работы по социологии, краеведению, географии, которые не имеют отношения к тематике конференции. Если работы хорошие, мы в таком случае рекомендуем авторам другие площадки для выступления и представления своих идей. Почему к нам приходят такие работы? В школах очень по-разному относятся к «проектной» деятельности, это новое и непривычное направление для школьного обучения. Зачастую, чтобы

обеспечить явку на конференцию и отчитаться перед вышестоящими организациями, учителя не особо задумываются о тематике. В свое время была по всей стране создана пирамидальная система Научных обществ учащихся (НОУ) – школьные, районные, городские конференции. Потом участие в конференциях НОУ стало давать бонусы при поступлении в ВУЗы, и тут же началась профанация. Сейчас за участие в подобных конференциях можно получить несколько дополнительных баллов к результатам ЕГЭ, но они не определяющие. Поэтому есть надежда, что научной работой будут заниматься не «для галочки», а те, кому это действительно интересно. Но готовится введение новых ФГОС для старших классов, где выполнение проектной работы рассматривается как обязательное для всех старшеклассников. Эта ситуация обострит проблемы, связанные с выбором тематики.

К сожалению, существует дефицит тем для исследований, которые школьники могут выполнить в школе или дома. Существует недопонимание самой сути исследовательской работы. В этих условиях приходится сталкиваться с работами, выполненными «под копирку». Иногда это выглядит довольно смешно. Например, в прошлом году на конкурс прислали работу о разработке солнечных батарей в «турецком» варианте, когда от солнца нагревается бак с водой. Причем работа была прислана из одного из северных районов области, где солнышко не очень жаркое. И я понял, что уже видел подобную работу у других авторов, она была опубликована в методическом журнале. Это совсем не означает, что автор списал работу, он просто сделал такую же, не думая о том, что условия могут оказаться иными.

В январе этого года я был членом жюри на юбилейном конкурсе «Юниор» в МИФИ, оценивал там работы. И вдруг на весеннюю конференцию ШЮИ пришла заявка из другого региона, которая один в один повторяет работу, представленную в МИФИ. Это означает, что, скорее всего, ее скачали из Интернета, чуть разбавили и выдали за авторскую работу. Такие заявки мы, конечно, отклоняем, объясняем, что так поступать нельзя. Мы надеемся, что часть ребят, которые начинают свой путь исследователя с таких мероприятий, придут потом в большую науку, и хочется, чтобы нормы научной этики оставались на высоте и у новых поколений.

Вероятно, что в связи с введением новых образовательных стандартов, когда все старшеклассники должны будут выполнять проектную работу, число таких случаев профанации будет возрастать. Проектная деятельность бывает различной, но иногда она бывает «прожектной». Когда я вижу такие работы, мне сразу хочется их вы-

бросить в корзину, а их сейчас становится все больше. Иногда такие работы появляются по вине авторов, иногда – руководителей, а иногда их появление связано с неточным пониманием требований наших конкурсов. Именно поэтому мне очень нравятся работы, которые делаются в научном объединении школьников «Школа юного исследователя» – это работы, выполненные в конкретных лабораториях, под руководством ученых, ребята занимаются серьезными реальными исследованиями и воспринимают наши лаборатории, как свои. И если такой молодой человек пойдет учиться в базовый вуз, на базовый факультет нашего института, он не станет дожидаться третьего курса, когда обычно начинаются научные работы, а будет естественным образом продолжать свою научную деятельность.

Наши школьники, конечно, участвуют не только в конференции ШЮИ или конкурсе РОСТ-ISEF, но и во многих других научных конкурсах. Большая часть таких мероприятий проводится в столицах, или под эгидой столичных ВУЗов. Почему наши ребята становятся победителями в таких конкурсах реже, чем того бы нам хотелось? Во-первых, из-за определенной конкуренции между нашими конкурсами; во-вторых, из-за определенной ориентации на учебу в будущем. Практически все такие конкурсы и конференции проводятся ВУЗами, основная задача которых – заманить к себе хороших абитуриентов. Организаторы понимают, что если человек приехал из Нижнего Новгорода, где можно получить хорошее высшее образование, он не собирается бросать папу с мамой и ехать в Москву в общежитие, то ему эта победа не очень нужна. Там нацелены на тех детей, которых они завлекут к себе – есть интерес поощрить тех детей, которые будут у них учиться. Так бывает не только в Москве, но и в Петербурге, и в Сарове. Одно время члены жюри даже прямо спрашивали, куда дети собираются поступать, и надо было дать «правильные» ответы, чтобы получить диплом высокой степени. Сейчас это стало не столь открыто, но «рекрутинг» все же имеет место.

Даже если наши школьники не возвращаются с таких мероприятий с победой, работы, представляемые на них от ШЮИ, очень сильные. Многие из этих работ представляются на конкурс РОСТ-ISEF, который работает в международной системе, включающей более сорока стран, и работы на конкурс отбираются, в том числе, и на соответствие международным правилам и стандартам выполнения исследований.¹ Поэтому я могу точно сказать, что уровень работ

¹ Приволжский конкурс научно-технических работ школьников РОСТ-ISEF: сайт [Интернет ресурс]. URL: <https://www.rost-isef.ru>

наших школьников соответствует самым высоким требованиям. Например, на прошедшей конференции ШЮИ пленарный доклад делала одиннадцатиклассница лицея № 40 Аня Коган по своей работе на стыке оптики и биологии, на очень модную тему, по которой в прошлом году дали Нобелевскую премию по химии. Она исследовала некоторые типы молекулярных роторов. Эти работы имеют прикладное значение для ранней диагностики опухолей. Ее руководитель мне говорила, что потрясена работоспособностью этой девочки. Затем эта работа была представлена в мае 2017 года в Лос-Анджелесе на международном финале Intel ISEF. У Ани в ИПФ РАН работает мама, и папа тоже здесь работал раньше. А сейчас и ее младший брат стал участником конференции и представил свой доклад. А когда-то и их мама была слушателем летней физико-математической школы ИПФ РАН в ДООЛ им. Талалушкина. Видим, что в нашем институте сформирована такая среда общения, в которой появляются научные династии.

Не стоит думать, что к нам приходят дети только из специализированных школ. В прошлом году первое место на конференции РОСТ-ISEF занял старшеклассник из Щербинок, из обычной общеобразовательной школы, который пришел заниматься в ШЮИ. Кроме первого места, он получил еще специальный диплом Йельского университета (мы, как сертифицированное жюри Intel ISEF, имеем право такие дипломы вручать). Сейчас он учится на нашем базовом факультете – ВШОПФ. Была также девочка, которая жила и училась за городом, потом перевелась в школу в Щербинках и занималась в ШЮИ. Ей от дома до школы был час езды, а после учебы она еще ехала к нам в институт, занималась экспериментальной работой в ШЮИ. Сейчас она учится на радиофизическом факультете Нижегородского университета. Такая нагрузка воспитывает характер, ведь преодоление сложностей – неотъемлемая часть научной работы.

Я очень надеюсь, что наука в Нижнем Новгороде будет развиваться, и нам на смену придет талантливая молодежь. Конечно, для нашего города очень остро стоит проблема «утечки мозгов», у нас под боком находится гигантский «пылесос» – Москва. Если раньше школьники не рвались за столичным образованием, то с развитием скоростных коммуникаций и упрощения формальностей для поступления в большинство столичных вузов (прием по баллам ЕГЭ) мы своих выпускников можем и не увидеть. Самые лучшие школьники стремятся в столицу, наивно полагая, что именно там и делается «большая наука». Но я искренне надеюсь, что уедут не все, и наши дети все-таки останутся здесь. И что они будут заниматься созидательной наукой, той, с которой они познакомились в Школе юного исследователя.

Научное руководство как исследовательская деятельность



Исследовать – значит видеть то, что видели все, и думать так, как не думал никто.

Альберт Сент-Дьердьи (1893 – 1986),
американский биохимик, впервые выделивший витамин С,
лауреат Нобелевской премии по физиологии или медицине
за цикл работ по биологическому окислению (1937)

Гораздо труднее увидеть проблему, чем найти ее решение. Для первого требуется воображение, а для второго только умение.

Джон Бернал (1901 – 1971),
английский физик и социолог науки, общественный деятель,
автор научных работ по кристаллографии и биохимии

Плохой учитель преподносит истину, хороший учит ее находить.

Адольф Дистервег (1790 – 1866),
немецкий педагог, создатель дидактики развивающего обучения

Терехина Александра Владимировна

студентка химического факультета

ИНГУ им. Н.И. Лобачевского,

ШЮИ ИПФ РАН



Моим ученикам

Вы умнее меня, это главное,
Больше знаете – в этом суть,
Лучше помните и исправно вы
Совершенствуете свой путь.

Будьте счастливы, мои милые,
Несмотря на авралы дел.
Пусть же хватит ума и силы вам
Сделать каждому, что хотел.

Я бы очень хотела каждому
На секунду быть маяком
И успеть что-то сделать важное,
И быть рядом, недалеко.

Маяком – нет, я слишком слабая,
Я себя исчерпала, и я пуста.
Хоть фонариком стать для вас бы,
На мгновенье, пожалуйста.

А вы – вы светите, радуйтесь слушаю,
Любите науку, друг друга, жизнь!
Пусть станет наука чудесным ключиком
В ваш необъятный ума механизм!

Время. Что такое время?

Лапин Николай Иванович

доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий в образовании

НГПУ им. К. Минина, зав. научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария им. Г.М. Гречко,
кандидат физико-математических наук



Мы знаем, что время бежит в одном направлении, именно время несет изменения. Меняется мода, люди, в том числе дети. Обычно это звучит в негативном смысле. Не будем обсуждать детей младшего возраста, нам интересен возраст, когда в школьной программе начинается цикл естественнонаучных дисциплин: физика, химия, биология.

Существует мнение, что ученики стали совершенно другими: им не интересны фундаментальные знания, они стали не мотивированными, общий уровень знаний низкий, с ними не о чем поговорить... Данный ряд высказываний можно продолжать и дальше. В настоящее время доступны информация и способы ее получения, однако обучающимся сложно ориентироваться в ней. Двадцать лет назад для того чтобы узнать новое, необходимо было прочитать статью в журнале, за журналом сходить в библиотеку или на почту. В журнале обычно есть рецензент, который не пропускал сомнительные вещи в печать. В настоящее время достаточно открыть Интернет, прочитать чье-то мнение или краткое содержание в блоге или на форуме, и это считается достаточным. Притом мнение автора короткой заметки считается истиной. Сегодня нет ориентиров, подобных тому, что должно быть так, а не иначе, потому что так написано в «Теоретической физике» у Л.Д. Ландау.

Учащиеся привыкли к очень простому и быстрому доступу к информации и не важно, какого она сорта. У детей нет времени разбираться в истинности информации, на длительное изучение и сравнение разных точек зрения у них не хватает времени.

Часто мы сами не успеваем проверить информацию, которую предлагают ученики. Они считают, что знают о многих событиях, просмотрев ютуб, научные новости, но не поняв сути. Критерием истинности становится востребованность информации, а не ее критическое осмысление: если информация прочитана многими и размещена на первой странице поисковика, значит она правдива.

А как формировать у учеников «критичность»? Как формировать понимание, что источников информации должно быть несколько и необходимо не только прочитать текст, но и сопоставить его с личным опытом, с мнением других авторов?

Несколько лет назад во многих классах появились интерактивные доски, проекторы, документ-камеры. А наглядный эксперимент ушел, осталась только картинка, а картинка перестала быть интересной для учеников, так как она у них всегда есть в гаджете. Проведем аналогию с киноиндустрией. Нам теперь недостаточно смотреть на плоскую картинку, лучше 3D или же стать участником процесса: упасть с горы или оказаться в автомобиле, чувствуя брызги воды, когда он проносится по луже, улавливая запахи – так нас пытаются втянуть в самую гущу событий. Так почему же «гуща событий» ушла с обычного урока, почему живой эксперимент превратился в картинку?

При подготовке учителей мы допускаем большую ошибку, когда перестаем проводить демонстрационные эксперименты во время лекций, заменяем их показом фильма или схемой на доске. В настоящее время популярны мастер-классы, потому что их участники становятся участниками деятельности. А на уроке получается так: я посмотрел, послушал, а где тот момент, когда я стал участником?

Необходимо добавить эксперимент в образовательную деятельность, тогда это потянет клубок интереса, понимания и развития критического мышления.

Цели и ценности учебно-исследовательской деятельности школьников



**Ермилин
Александр Игоревич**
зав. отделом ИПФ РАН,
кандидат педагогических наук

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



Поиск истины важнее, чем обладание истиной.
Альберт Эйнштейн
Наука выигрывает, когда ее крылья раскованы фантазией.
Майкл Фарадей

Отношение подростков к науке в целом и к научной деятельности как к возможной сфере профессиональной самореализации выступает психологическим основанием выбора научной карьеры. В познавательной деятельности можно выделить два вектора познания – первый направлен на внешний мир, второй – на познание самого себя. Соответственно готовность к научной деятельности означает освоение школьником знаний о научной работе (логике, стратегиях, процедурах и т.д.) и приобретение исследовательских умений, а также рефлексивную деятельность (понимание своего пути в мир науки). Воздействие на один из компонентов готовности определяет изменение общей готовности к исследовательской деятельности. Важным элементом обучения в этих условиях выступает привитие учащимся навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

Факторы выбора профессии

Когда и как происходит выбор профессии ученого? Какие факторы влияют на этот процесс? В поисках ответа на эти вопросы мы обратились к молодым людям, определившим свое будущее как занятие наукой – аспирантам Федерального исследовательского центра Институт прикладной физики РАН. В исследовании, проведенном в 2016 году, приняли участие 31 учащийся 1 – 4-х курсов аспирантуры.

Было выявлено, что решающим фактором при выборе профессии ученого является привлекательность науки как сферы деятельности.

Немаловажную роль в этом процессе играют семейные ценности и родительский пример. Заинтересованное отношение старших коллег к молодежи повышает привлекательность выбора данной профессии, а способствуют выбору профессионального пути личные переживания, возникшие в результате встречи с реальными учеными (научно-популярные лекции ученых, экскурсии в научные учреждения, обаяние конкретной личности ученого). На данный процесс оказывает влияние место и уровень школьного образования, а также осознание своих способностей.

Чтобы понять, как меняется оценка факторов выбора профессии с возрастом, мы сравнили ответы людей, определившихся со своим профессиональным будущим и находящихся в процессе самоопределения. В исследовании приняли участие 22 студента бакалавриата факультета «Высшая школа общей и прикладной физики» (ВШОПФ) ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Их ответы подтвердили фактор привлекательности науки как сферы деятельности в качестве определяющего при решении вопроса выбора профессии ученого. Значимыми факторами являются собирательный образ ученого и обучение в профильных классах, также были отмечены факторы личностного эмоционального переживания, возникающие под влиянием экскурсий в научные учреждения, популярных лекций ученых, встреч и общения с конкретными учеными, примеры построения жизненного пути родителями. Среди значимых людей, которые могут оказывать влияние на выбор профессии, студенты-физики назвали педагогов и друзей, а среди профориентационных мероприятий для старшеклассников, способствовавших выбору профессии ученого, – выполнение самостоятельных исследовательских работ в научных объединениях школьников, участие в летних профильных сменах, олимпиадах, профориентационных тестах.

Главным периодом самоопределения в выборе профессии являются старшие классы школы. Именно в это время решение о выборе профессии ученого принимают более 50% молодых людей (по мнению аспирантов) и более 70% молодых людей (по мнению студентов). Представляется важным изучение влияния опыта исследовательской деятельности на формирование личностной готовности современных школьников к выбору профессионального пути.

Цели исследовательской деятельности

Учебно-исследовательская деятельность школьника – творческий процесс совместной деятельности преподавателя и ученика, связанный с решением исследовательской задачи и предполагающий нали-

чие основных этапов, характерных для научного исследования (постановку проблемы, ознакомление с литературой по данной тематике, овладение методикой исследования, сбор собственного материала, его анализ и обобщение, выводы). В ходе решения исследовательской задачи осуществляется трансляция между преподавателем и учеником культурных ценностей, а результатом данного процесса является формирование мировоззрения.

В исследовательской деятельности определяющей для подростков является возможность построения личностно значимого образования. Для школьников, независимо от уровня образования и места выполнения исследовательской работы наиболее значимыми являются когнитивно-личностные цели, стремление более глубоко изучить и понять интересующую тему. Исследовательская деятельность для школьников – это источник новых интересных знаний, которые учащиеся добывают самостоятельно и получают в ходе необычной захватывающей деятельности. Общеобразовательные цели (лучше освоить, повторить школьную программу) и цели опережающего развития (познакомиться с новой областью знаний, узнать материал следующего класса) не играют значимой роли при выборе исследовательской деятельности.

Исследовательская деятельность позволяет школьникам реализовать практические цели образования, применить имеющиеся знания на практике. Еще одной значимой целью исследовательской деятельности является общение со значимым человеком – педагогом, научным руководителем.

Оценка школьниками значимости целей исследовательской деятельности динамична. Несмотря на то, что обозначенные цели являются определяющими в подростковом возрасте, в процессе взросления меняются приоритеты в их оценке. Постепенно снижается значимость когнитивно-личностных целей и возрастает стремление к практикоориентированному знанию.

Мотивы выбора исследовательской деятельности

Определяющим мотивом исследовательской деятельности школьников является внутренний познавательный мотив: стремление познать окружающий мир, узнать, как и почему что-то происходит в мире. Для детей важной является проверка имеющихся знаний. Подростки стремятся в практической деятельности найти подтверждение полученной информации, самостоятельно убедиться в ее правдивости и обоснованности. При этом они практически безоговорочно доверяют известным научным фактам и признанным методам, не ставят их под

сомнение, а в исследовательской деятельности стремятся приобрести собственный личный опыт познания действительности.

Еще одним мотивом исследовательской деятельности школьников служит мотив общественной значимости. Подростки хотят, чтобы их работа была не просто повторением уже известных фактов, а позволила получить новые результаты, полезные для других людей. Важность данного мотива возрастает с осознанием школьником своих научных интересов: чем более школьник увлекается исследовательской деятельностью, чем больше осознает себя членом юношеского научного сообщества, тем более познавательные мотивы (для себя) перерастают в мотивы общественной значимости работы (для других). Значимым становится стремление получить результаты, значимые для других, то есть стремление быть эффективным, востребованным в выбранной области деятельности. Данные тенденции не зависят от возраста детей и прослеживаются во всех возрастных группах.

Если на начальной стадии освоения научного метода у школьников мотивация отношения преобладает над мотивацией достижения, то с появлением опыта учебно-исследовательской деятельности, осознания своих научных интересов и способностей происходят изменения в структуре мотивации исследовательской деятельности, и мотивация достижения начинает доминировать. Юные исследователи стремятся заявить о себе, стать полноправными участниками научного сообщества.

Мы проанализировали данные исследования 2014 – 2016 гг., сравнили их с данными, полученными в 2008 году, и обнаружили стабильность в мотивации исследовательской деятельности школьников. Ярко выраженным мотивом исследовательской деятельности являются познавательный и внутренний, мотив самовыражения через успех; среди мотивов отношения – мотив мобилизации на волевое усилие. Мотивы исследовательской деятельности можно сгруппировать и ранжировать следующим образом. Во-первых, внутренний мотив, мотив личностного осмысления работы и познавательный мотив. Следующий мотив – самомобилизация на волевое усилие. За ним – самовыдвижение через успех, означение результатов и позитивное личностное ожидание. Далее следуют инициация и мотивы самооценки (самооценка личностного потенциала и волевого усилия). Завершают иерархию мотив сложности заданий и состязательный мотив.

Существует возрастная динамика мотивации исследовательской деятельности. Было замечено, что в процессе взросления усиливается значение познавательного мотива, растет стремление подростков вы-

полнять более сложные задания и личностного осмыслиения работы. Вместе с этим более ощутимо становится позитивное личностное ожидание подростков. Рост стремления к успеху объясняется накоплением опыта работы, глубоким освоением темы исследования, накоплением научных результатов в процессе работы над проблемой в течение нескольких лет. Вместе с этим, подкрепленный опытом презентации работы, публичных выступлений и участием в научных мероприятиях различного уровня, возрастает состязательный мотив деятельности. При этом мотив инициативности наиболее высок в младшем возрасте, учащиеся 5 – 6-х классов – самые инициативные юные исследователи.

Виды деятельности, осваиваемые школьниками в процессе выполнения учебного исследования

Проводя региональную конференцию школьников, мы сталкиваемся с работами, выполненными в разных условиях. Условия организации исследовательской работы определяют как виды деятельности, осваиваемые школьником, так и научно-исследовательскую культуру подростка, которая отражается в работе, докладе и мировоззрении юного исследователя.

В научные объединения приходят школьники, уже имеющие определенные научные интересы, поэтому на данном образовательном маршруте подростки значительно реже меняют научные направления, по сравнению со школьниками на начальной ознакомительно-ориентационной ступени научного образования.

Школьные исследовательские работы, как правило, выполняются на учебном оборудовании или из подручных средств. Поэтому со сборкой экспериментальной установки может справиться сам ученик или создать ее под контролем со стороны педагога. В работах, выполненных в исследовательской школе, эксперименты часто проводятся с использованием оборудования научной лаборатории, установки весьма сложны и многоступенчаты, поэтому сборка экспериментальной установки и проведение экспериментов – это совместный труд команды «школьник – руководитель».

В работах, выполняемых в школах, больше наблюдений, не сопровождающихся математическим анализом полученных результатов. В научном объединении подобный подход считается слабым, возможным только на начальной стадии исследования. Поэтому юные исследователи осваивают помимо навыков наблюдения и экспериментирования аналитические методы математического анализа данных, в программу обучения школьников введен курс «Основы теории вероятности и ма-

тематической статистики». Обучение основам исследовательской деятельности ведется целенаправленно и последовательно, учащиеся осваивают научный метод изучения действительности сознательно и полно, познают основные этапы, характерные для научного исследования, и строят в соответствии с ними свою работу, включая постановку проблемы, ознакомление с литературой по данной проблематике, овладение методикой исследования, сбор собственного материала, его анализ и обобщение, выводы. Общаясь в процессе исследования со своим научным руководителем, школьник соприкасается и осваивает культурные ценности, в результате формируется его научное мировоззрение.

Обучение исследовательской деятельности в школах оторвано от культурной научной среды, имеет спонтанный и фрагментарный характер. Школьники в данной ситуации не только не проходят последовательно основные этапы научного исследования, но и не понимают их смысл и необходимость. Об этом свидетельствует оценка школьниками видов деятельности, которые они выполняют в ходе учебно-исследовательской работы. В результате школьная исследовательская работа становится часто формальной, не отвечает требованиям учебно-исследовательской работы, и не влияет или оказывает отрицательное воздействие на отношение школьника к научной деятельности.

Существует возрастная динамика в освоении характерных видов исследовательской деятельности учащимися. В процессе накопления подростками опыта исследовательской деятельности возрастает сложность выполняемых работ, а вместе с ней возрастает роль научного руководителя при формулировке гипотезы, разработке плана и выборе методов исследования. В результате в научном объединении наблюдается зависимость между возрастом исследователя и ролью научного руководителя в работе: чем старше становится школьник и увеличивается сложность выполняемой им работы, накапливается опыт исследовательской деятельности, тем больше работа становится совместным исследованием команды «школьник – научный руководитель», руководитель становится соратником учащегося, возрастает роль совместной деятельности на ключевых моментах исследования. В работах, выполняемых в школах, роль учителя как научного руководителя существенно не изменяется, так как большинство выполняемых исследований рассчитаны на один учебный год. Выбирая тему исследования, школьные педагоги больше ориентируются на имеющиеся у учащихся знания, а не на их опережающее развитие. При выполнении школьных учебных исследований выше самостоя-

тельность учащихся, но научный руководитель остается для школьника педагогом и реже – соратником в исследовании. Таким образом, в научном объединении и школе между учащимся и научным руководителем выстраиваются принципиально разные взаимоотношения.

Изменяется и характер выполняемых работ. Учебные исследования школьников могут быть как экспериментальными, так и теоретическими. Соотношение теоретических и экспериментальных работ в научном объединении школьников практически не изменяется: одна теоретическая работа приходится на восемь экспериментальных работ. В школьных учебно-исследовательских работах с взрослением юных исследователей растет количество теоретических работ (количество экспериментальных работ сокращается в среднем с 0,93 в 7 – 8-х классах до 0,69 в 11-м классе). Это объясняется, на наш взгляд, слабостью лабораторной базы в школах.

Спецификой реализации учебной программы в условиях летнего исследовательского лагеря является ограниченность информационных источников (отсутствие интернета, небольшой объем научной библиотеки), нацеленность на формирование общего представления об исследовательской работе. Анализ особенностей исследовательской деятельности, выполняемой детьми самостоятельно на данной ступени научного образования, показал, что чем старше ребенок вовлекается в исследовательскую деятельность, тем выше его самостоятельность в выполнении экспериментального исследования и проведении математических расчетов, разработке наглядных материалов, подготовке доклада и презентации. Учащиеся 5 – 6-х классов успешно справляются со всеми этапами учебно-исследовательской деятельности при контроле педагога и помощи куратора из старших детей, обладающих знаниями и опытом исследовательской работы. При этом их фантазия более раскована при поиске темы исследования, они более активны и креативны.

Результаты исследовательской деятельности

Результатами исследовательской деятельности для школьников выступают, прежде всего, новые знания, практические умения и интерес к предмету. Исследовательская деятельность – это источник нового практического опыта: навыков экспериментирования, обработки и представления результатов, умений писать научные тексты, участия в конференциях. Подростки отмечают, что благодаря проведению исследовательской работы они получили возможность заниматься любимым делом, проявить свои способности, приобрели новых друзей, интересно провели время. Исследовательская деятельность помогает в определении дальнейшего пути образования и выборе профессии.

Все юные исследователи отмечают влияние данной деятельности на личностное развитие. Самостоятельный поиск стимулирует любознательность детей: чем больше ребенок находит ответов на интересующие его вопросы, тем больше становится самих вопросов и тем сильнее стремление ребенка найти ответы на них. Таким образом, в учебно-исследовательской деятельности детей ярко проявляется принцип развития науки: каждое новое знание порождает новые вопросы, которые становятся основой нового исследования – в этом вечный внутренний источник развития науки.

Выполнение самостоятельного исследования дает школьникам уверенность в своих силах и возможностях. Учебно-исследовательская деятельность требует от юных исследователей проявления волевых качеств и формирует собранность, дисциплинированность, без которых невозможно корректно провести исследование и получить научные результаты. В ходе исследовательской работы школьники общаются с референтными заинтересованными людьми (учеными, педагогами, экспертами, членами жюри), участвуют в научных мероприятиях – выступают с докладами, участвуют в стендовых конференциях. Это развивает социальные навыки подростков, умение формулировать и отстаивать свое мнение. Подростки становятся более общительными, раскованными и свободными. Опосредованно учебно-исследовательская работа влияет на успешное обучение в школе, способствует улучшению успеваемости учащихся.

Выводы

Основными признаками успешной исследовательской деятельности школьника являются: позитивное отношение ребенка к современным задачам научной деятельности; увлеченность предметом, поглощенность деятельностью; свободный выбор содержания и способов научного творчества; развитие деятельности по инициативе самого школьника, способность мотивировать себя к усердной работе над различными задачами в течение длительного времени, способность формировать эффективное взаимодействие с другими людьми и управлять собственными эмоциями; получение творческого продукта.

«Самому заурядному школьнику теперь знакомы истины, ради которых Архимед пожертвовал жизнью», – утверждал французский философ XIX века Жозеф Ренан. Время глобальной информатизации и технического переоснащения всей жизни человека дало возможность каждому школьнику иметь в руках небольшую компьютерную лабораторию, о которой ученые еще полвека назад могли только мечтать.

Сейчас каждый школьник владеет ноутбуком, смартфоном, постоянным выходом в Интернет с его доступностью информации и скоростями ее получения. Такие нововведения дают школьнику возможность пользоваться современными, если не профессиональными, то вполне хорошего качества, программами виртуального эксперимента и обработки результатов, построения схем, визуализации процессов, работать с массивами данных. Эти возможности только усиливают стремление подростков к поиску и общению с референтными взрослыми, обладающими яркими личными качествами и знаниями в интересующей области. Для детей с выраженной исследовательской склонностью ученый – именно такой человек.

Научное творчество – не просто интересное занятие, а возможность понять, как устроен мир вокруг нас, как работают приборы, что именно и каким образом влияет на природу и человека. Поэтому особенно важным сегодня становится воспитание научной и технической культуры подрастающего поколения. Современному российскому обществу, где научный метод не является общепризнанным, часто уступая место верованиям и интуитивным догадкам, нужны молодые люди, владеющие научным методом, воспитанные на идеалах научности, отстаивающие в любой сфере деятельности научную картину мира. Дополнительное научное образование школьников предполагает воспитание наукой в условиях открытого обучения. Интеллектуальное воспитание при этом осуществляется на основе развития научных интересов и благодаря поддержке внутренней активности и самостоятельности детей. Каждый ребенок потенциально талантлив, и занимаясь учебно-исследовательской деятельностью, он расширяет свое «Я» не через простое созерцание самопознания, а через императив «испытай себя».

Особая среда научного объединения создается благодаря приоритету ценностей сообщества взрослых и детей: подбору педагогических кадров (привлечению к работе со школьниками ученых, творческой интеллигенции, аспирантов научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, то есть людей, наделенных сознанием собственного присутствия в науке), самим сообществом детей, объединенных научными интересами и стремлением к самореализации в интеллектуальной сфере деятельности. Пример увлеченности научным творчеством взрослых и общение с «подобными себе», обретение друзей по научным интересам являются мощнейшими воспитательными факторами дополнительного научного образования школьников.

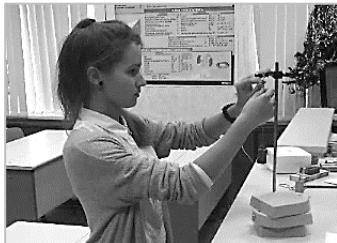
Физика



Исследование колебаний маятника в магнитном поле

Баранова Вера Николаевна
10 класс, МАОУ Лицей № 28

Научный руководитель О.Ю. Кузнецов,
учитель физики МАОУ Лицей № 28



В работе исследовано влияние магнитного поля постоянного магнита на колебания пружинного и нитяного физического маятника, для чего была создана экспериментальная установка для изучения нелинейных колебаний. В ходе эксперимента была найдена зависимость основных характеристик колебаний (период, частота) от амплитуды колебаний. Установлены характер колебаний и время затуханий пружинного и нитяного маятников при использовании грузов из разных магнитных материалов. Построены теоретические модели, объясняющие наблюдаемые закономерности, которые удовлетворительно согласовывались с экспериментом.

Колебательные процессы наблюдаются во многих физических объектах и системах, теория колебаний широко применяется и используется в науке и технике. В данной работе описывается простая экспериментальная установка для изучения нелинейных колебаний, которую можно использовать в школах и вузах. Моделирование различных зависимостей возвращающей силы от отклонения (координаты) из положения равновесия при разных конфигурациях внешнего магнитного поля представляет научный интерес.

Целью работы являлось исследование колебаний пружинного и нитяного маятника с цилиндрическим телом в виде грузика в магнитном поле сильного постоянного неодимового магнита, то есть выяснялось, как поле изменяет период колебаний, скорость затухания, амплитуду и многое другое.

Экспериментальная установка, на которой проводились наблюдения и измерения, следующая (рис. 1). На лапку штатива прикреплялась пружина или нить с грузом, под которым располагался неодимовый магнит. Период колебаний измерялся косвенно делением общего времени колебаний на количество колебаний. Также использовалась видеосъемка, покадровое разбиение видеофрагментов для построения графиков зависимостей координаты груза от времени.

Была произведена серия экспериментов с пружинным маятником. Экспериментально было установлено, что наличие магнитного поля

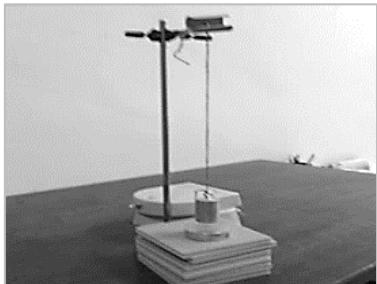


Рис. 1. Экспериментальная установка

увеличивает период колебаний пружинного маятника, чем ближе груз находился к магниту, тем большим было увеличение периода (рис. 2). Объяснение может быть таким. Уравнение второго закона Ньютона для смещения груза запишем в виде:

$$m\ddot{x} + kx - F(x) = 0, \quad (1)$$

где $F(x) = -k_0 + \alpha x^2 + \beta x^3$ – сила притяжения груза к магниту, разложенная в ряд Тейлора. Уравнение (1) описывает колебания нелинейного осциллятора [3].

неизохронными, частота и период колебаний зависят от амплитуды. В работе [2] рассмотрены одномерные модели нелинейного осциллятора при функции $F(x) = -k_0x + \beta x^3$ (уравнение Дуффинга). Показано, что с ростом амплитуды колебаний увеличивается период. Используя график зависимости силы притяжения груза к магниту (рис. 3), была получена функция путем аппроксимации в программе Excel: $F(x) = -k_0 + \alpha x^2 + \beta x^3$ с конкретными коэффициентами в уравнении (1) и рассчитан период колебаний [1, 3, 4]. Если смещение x мало, то $F(x) \approx -k_0x$, то есть сила притяжения действует так, как если бы уменьшалась жесткость пружины k . В результате период колебаний станет примерно равным $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k-k_0}}$. Далее были проведены эксперименты с нитяным маятником.

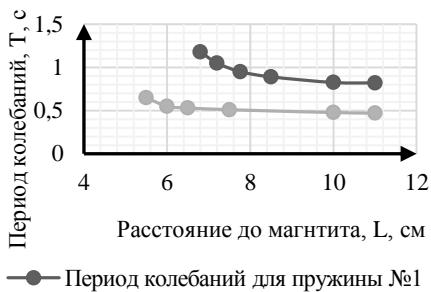


Рис. 2. Зависимость периода колебаний пружинного маятника со стальным грузом (ферромагнетик) от расстояния до магнита для пружин разной жесткости

Колебания при этом являются неизохронными, частота и период колебаний зависят от амплитуды. В работе [2] рассмотрены одномерные модели нелинейного осциллятора при функции $F(x) = -k_0x + \beta x^3$ (уравнение Дуффинга). Показано, что с ростом амплитуды колебаний увеличивается период. Используя график зависимости силы притяжения груза к магниту (рис. 3), была получена функция путем аппроксимации в программе Excel: $F(x) = -k_0 + \alpha x^2 + \beta x^3$ с конкретными коэффициентами в уравнении (1) и рассчитан период колебаний [1, 3, 4]. Если смещение x мало, то $F(x) \approx -k_0x$, то есть сила притяжения действует так, как если бы уменьшалась жесткость пружины k . В результате период колебаний станет примерно равным $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k-k_0}}$. Далее были проведены эксперименты с нитяным маятником.

Рассмотрим эффект уменьшения периода колебаний нитяного маятника в магнитном поле при уменьшении расстояния от груза до магнита. В том случае, когда груз стальной (из ферромагнетика), сила притяжения груза к магниту направлена в ту же сторону, что и сила тяжести, действующая на груз. Она действует так, как если бы увеличивалось ускорение свободного падения g . Период малых колебаний $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ соответственно уменьшался.

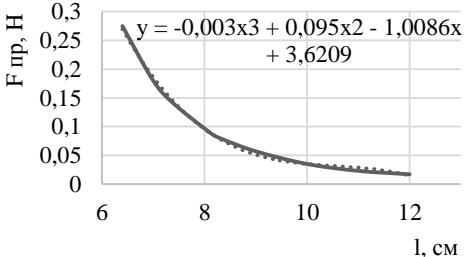


Рис. 3. Зависимость силы притяжения самого сильного магнита от расстояния до него

Опыты по исследованию действия магнитного поля на период колебаний нитяного маятника, когда груз из парамагнетика (алюминий) и диамагнетика (латунь) свидетельствуют о том, что колебания сильно затухали, а период колебаний, хоть и уменьшался, но незначительно (примерно на 5%). Причем затухание наиболее сильно наблюдалось с алюминиевым грузом. Характер колебаний при этом был таков, как будто бы на груз со стороны магнитного поля действовала сила вязкого трения. Это, по-видимому, объясняется тем, что внутри алюминиевого груза возникают индукционные токи Фуко, которые и приводят к демпфированию колебаний.

Как известно [1, 4], в этом случае сила сопротивления пропорциональна скорости движения колеблющегося тела и второй закон Ньютона для смещения груза x в горизонтальном направлении запишем следующим образом:

$$\ddot{x} + \frac{g}{l}x + 2\gamma\dot{x} + \alpha x - \beta x^2 = 0,$$

где $\frac{g}{l} = \omega^2$, ω – собственная частота колебаний нитяного математического маятника (в наших экспериментах это с довольно большой точностью выполнялось), g – ускорение свободного падения, l – длина нити, α, β – коэффициенты нелинейности; γ – коэффициент затухания. Если осциллятор линейный, то можно оценить γ , используя формулу:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \gamma^2}} \quad [3]. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что период должен увеличиваться, если учитывать затухание. Но вследствие нелинейности период колебаний с

ростом амплитуды возрастал, а с уменьшением амплитуды уменьшался. Таким образом, «эффективное» g за счет действия магнитного поля увеличивалось и это приводило к большему уменьшению периода колебаний, чем увеличение его за счет затухания.

В результате экспериментально было установлено следующее. Период вертикальных колебаний пружинного маятника увеличивается в вертикальном магнитном поле постоянного неодимового магнита, так как сила притяжения груза к магниту уменьшала эффективную жесткость пружины: до 45%, если груз стальной (ферромагнетик), до 6%, если груз из латуни или алюминия. Характер колебаний пружинного маятника в магнитном поле – слабозатухающий, если груз стальной, умеренно затухающий, если груз латунный, и сильно затухающий, если груз из алюминия. Период колебаний нитяного маятника сильно уменьшался в вертикальном магнитном поле вследствие возрастания величины эффективного ускорения свободного падения (до 30% – 40%, если груз стальной и до 5%, если груз алюминиевый или латунный). Характер колебаний нитяного маятника слабозатухающий (груз стальной), умеренно затухающий (груз латунный), сильно затухающий (груз алюминиевый). Предпринята попытка качественно объяснить наблюдаемые в экспериментах эффекты изменения периодов колебаний во внешнем магнитном поле.

Проведенный авторами работы анализ литературы по нелинейным процессам показал, что в предлагаемой постановке задачи исследование изменений характеристик колебаний маятников ранее не проводилось в полном объеме, поэтому такое исследование весьма ново и значимо. Также можно утверждать, что применение неодимового магнита (или других способов создания внешнего магнитного поля) позволяет получать хорошие модели нелинейных колебательных систем для изучения характера колебаний, влияния нелинейностей на период и частоту колебаний традиционных колебательных систем (типа пружинного и нитяного маятника).

Литература

1. Козлов С.Н., Зотеев А.В. Колебания и волны. Волновая оптика. – М.: Физический факультет МГУ, 2006. – 211 с.
2. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. – М.: Физматлит, 2005. – 292 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.1. Механика. – М.: Наука, 1988. – 736 с.
4. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика. 2000. – 560 с.

Исследование механизмов рассеяния радиоволн взволнованной водной поверхностью в лабораторных условиях

Бесчастнов Михаил Павлович
9 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Г.А. Байдаков,
научный сотрудник ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Работа посвящена экспериментальному исследованию механизмов рассеяния СВЧ радиоволн взволнованной водной поверхностью. С использованием доплеровского скаттерометра были получены спектры рассеянного назад радиолокационного сигнала. Анализ полученных данных показал наличие двух механизмов рассеяния, пропорциональный вклад в сигнал которых зависит от скорости ветра. Дальнейшее исследование позволит учесть и исключить влияние установки на результаты эксперимента.

Зачастую из-за большого количества океанских природных аномалий невозможно получить данные достаточного качества, что играет отрицательную роль в итоговых результатах. На данный момент существующие алгоритмы измерения скорости и направления ветра имеют значительные погрешности при оценке параметров атмосферы океана в условиях интенсивных штормов [1, 5, 6].



Рис. 1. Бассейн

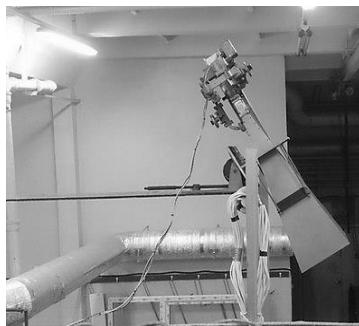


Рис. 2. Радиоскаттерометр

Целью работы являлось исследование зависимости рассеяния радиолокационного сигнала от скорости ветра с учетом мелкомасштабных волнений на водяной поверхности. Работа проводилась на базе

высокоскоростного ветро-волнового канала ИПФ РАН с использованием радиоскаттерометра с длиной волны, равной 3.2 см (рис. 1, 2).

Теоретическая часть работы заключалась в исследовании принципа рассеяния сигнала, в изучении способов расчета площади рассеяния водной поверхности, а также в проверке доплеровских принципов. Радиоскаттерометр – прибор, позволяющий измерять эффективную площадь рассеяния (далее – ЭПР) и радиальную скорость [4]. Эффективная площадь рассеяния – это площадь, перехватывающая такое количество энергии, которое при рассеянии создает у радиолокатора сигнал, равный отраженному от цели. Формула для расчета:

$$\sigma = \frac{(\text{Мощность, отраженная к источнику}) / (\text{Единичный телесный угол})}{(\text{Плотность приходящего потока мощности}) / 4\pi} = \\ = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2.$$

Численно рассчитать ЭПР для сложных, неровных поверхностей не представляется возможным. По этой причине во время выполнения работы использовалась ЭПР идеального металлического шара [3], с помощью которой можно было найти ЭПР предложенной поверхности.

Хорошо известно, что если источник и наблюдатель находятся в относительном движении, то происходит кажущийся сдвиг частоты. Такой сдвиг называется доплеровским. Формула сдвига:

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2v_r f_0}{c}.$$

Доплеровскую частоту можно вычислить по формуле:

$$\omega_d = 2\pi f_d = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{4\pi dR}{\lambda dt} = \frac{4\pi v \cos \theta}{\lambda},$$

где f_d – доплеровский сдвиг частоты, $v \cos \theta$ – радиальная скорость цели относительно радиолокатора.

Из данной формулы можно выразить скорость рассеивателей:

$$v = \frac{\lambda \omega_d}{4\pi \cos \theta}.$$

Для измерения формы водной поверхности использовалась система из трех струнных волнографов, расположенных в углах равностороннего треугольника со стороной 2,5 см [2].

Практическая часть состояла из нескольких этапов. В первую очередь было необходимо настроить оборудование. Мы настроили радиоскаттерометр, установили его на неподвижную платформу таким образом, чтобы линия визирования составляла с водной поверхностью определенный угол (30° , 40° и 50° от надира). Далее мы включили турбину, которая предназначалась для генерации ветра,

установили частоту от 20 до 50 оборотов в секунду. Следующим этапом была запись сигнала. Сигнал записывался в течение трех минут для нескольких видов поляризаций (VV, HH, VH, HV) и для трех углов (30° , 40° и 50° соответственно), а также для различной концентрации пены в воде для выяснения ее влияния на рассеяние радиосигнала. В заключении записанный нами сигнал преобразовывался в спектральный и модифицировался для исследования скорости рассеивателей и получения УЭПР. Полученные результаты отображены на графиках.

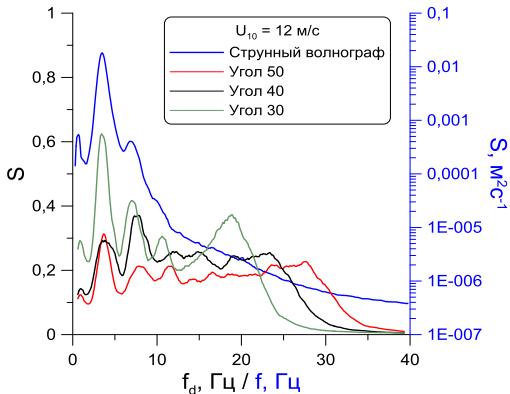


Рис. 3. Зависимость спектральной плотности от частоты сигнала

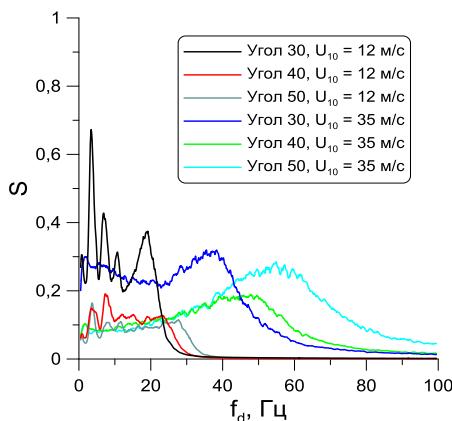


Рис. 4. Зависимость спектральной плотности от частоты

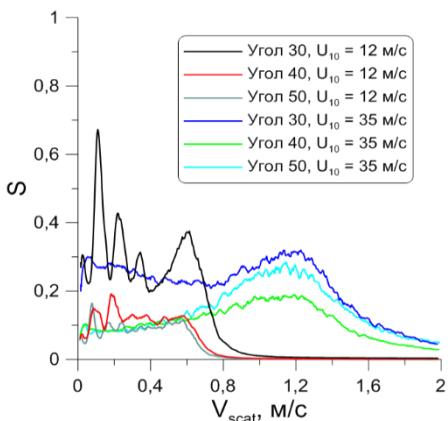


Рис. 5. Зависимость спектральной плотности от скорости рассеивателей

На первом графике изображена зависимость спектральной плотности от частоты сигнала (рис. 3). Синей линией выделен спектр волнения (ему соответствует правая шкала). По графику видно, что пикам спектра волнения соответствуют пики доплеровских спектров. Самый большой пик на спектре волнения – пик энергонесущей волны.

Второй и третий графики иллюстрируют аналогичные спектры. На рисунке 4 изображена зависимость спектральной плотности от частоты, на рисунке 5 – от скорости рассеивателей. На высоких скоростях ветра (~35 м/с) низкие частоты (до 20 Гц) сильно зашумлены, по этой причине на синем, фиолетовом и зеленом спектрах практически не видны пики волнения.

При переходе от второго графика к третьему в правой части пики сходятся, а в левой расходятся. На третьем рисунке заметно, что при одинаковых значениях скоростей рассеивателей значения частот примерно одинаковые.

В результате можно сделать вывод о том, что наблюдаются два механизма рассеяния. Первый механизм рассеяния существенно влияет на сигнал при малых скоростях ветра. Второй – при более высоких. Дальнейшее изучение характеристик отраженного сигнала позволит учесть и исключить влияние установки на результаты эксперимента.

Литература

1. *Баскаков А.И., Исаков М.В., Егоров В.В., Махайлов А.М., Михайлов М.С., Пермяков В.А.* Проблемы радиолокации морских льдов с буровых платформ в Арктике // Журнал радиоэлектроники, 2014, № 7.
2. *Кандауров А.А.* Лабораторное исследование взаимодействия ветра и волн в штормовых условиях. – Н.Новгород, 2014. – 154 с.
3. *Кобак В.О.* Радиолокационные отражатели. – М.: Сов. радио, 1975. – 248 с.
4. *Скольник М.* Введение в технику радиолокационных систем. – М.: Мир, 1965. – 748 с.
5. *Троицкая Ю.И., Абрамов В.И., Ермошкин А.В., Зуйкова Э.М., Казаков В.И., Сергеев Д.А., Кандауров А.А., Ермакова О.С.* Лабораторное моделирование рассеяния СВЧ радиоволн поверхностью моря в условиях сильных и ураганных ветров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 45 – 59.
6. *Троицкая Ю.И., Абрамов В.И., Ермошкин А.В., Зуйкова Э.М., Казаков В.И., Сергеев Д.А., Кандауров А.А., Ермакова О.С.* О восстановлении турбулентного потока импульса в пограничном слое атмосферы при сильном и ураганном ветре по измерениям сечения рассеяния СВЧ радиоволн поверхностью моря на ортогональной поляризации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 63 – 74.

О некоторых решениях нелинейного уравнения Шредингера типа уединенных волн

Грауман Владислав Александрович
10 класс, МАОУ Лицей № 28 им. Б.А. Королева

Научный руководитель О.Ю. Кузнецов,
учитель физики МАОУ Лицей № 28 им. Б.А. Королева

В работе приведены результаты теоретического исследования нелинейного уравнения Шредингера (НУШ). Поставлена задача нахождения точных решений типа уединенных волн для НУШ в модификации с квадратичным и линейным слагаемыми. Использована подстановка искомой функции с целью преобразования задачи к нахождению функций, удовлетворяющих уравнению нелинейного осциллятора. В результате получены точные решения НУШ типа солитона, подобных которым в научной литературе не найдено.

Для исследования было избрано уравнение следующего вида:

$$i \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (A|u|^2 + B|u| + C)u = 0,$$

или НУШ с квадратичной нелинейностью. Это классическое полевое уравнение, основными приложениями которого являются распространение света в нелинейных оптических волокнах, плоских волноводах, изучение гравитационных волн низких амплитуд на поверхности невязкой жидкости, распространение волн в плазме и многие другие. Оно описывает огибающую волнового пакета в среде с эффектами дисперсии и нелинейности.

Актуальность работы определяется широким применением НУШ в современной физике при описании нелинейных волновых процессов, интересом к нему в научных кругах.

Новизна заключается в том, что были получены точные решения $u(x, t)$ в виде огибающей солитонного типа, которые не представлены в других исследованиях этого уравнения. В ходе поиска решений с помощью подстановки для искомой функции:

$$u(x, t) = \exp(irx - ist)v(x - Ut).$$

Из исходного было получено уравнение нелинейного ангармонического осциллятора:

$$v'' + (s - r^2 + C)v + Bv^2 + Av^3 = 0,$$

при этом $U = 2r$ – скорость волны, s – свободный параметр. Задача была сведена к нахождению решений v в виде солитонов при разных соотношениях между коэффициентами $A, B, \alpha = r^2 - s - C$. Как из-

вестно, данное уравнение имеет первый интеграл, по смыслу представляющий собой постоянство суммы кинетической и потенциальной энергий:

$$\frac{(v')^2}{2} + \frac{\alpha v^2}{2} + \frac{Bv^3}{3} + \frac{Cv^4}{4} = E,$$

$E = E_k + U_p = \text{const}$ – полная энергия, где потенциальная составляющая имеет вид:

$$U_p(v) = \frac{\alpha v^2}{2} + \frac{Bv^3}{3} + \frac{Cv^4}{4}.$$

Была построена соответствующая потенциальному фазовая плоскость – зависимость v' от v . Линии плоскости, проходящие через особые точки типа «седло», при наличии последних, (сепаратрисы) показывали наличие решений искомого типа: если сепаратрисная кривая выходит из седла и заканчивается на нем же – решение солитонного типа, если кривая выходит из одного седла, а входит в другое – решений типа кинк, или ударной волны. Был проведен анализ на наличие решений этих типов при различных частных видах потенциала, а именно соотношениях между коэффициентами A, B, α , рассматривались случаи как фокусирующего НУШ ($A > 0$), так и с дефокусировкой ($A < 0$). Для некоторых из таких соотношений найдены точные солитоноподобные решения v :

$v(z) = \frac{C_1 \pm C_2 \operatorname{ch} \omega z}{1 \pm C_3 \operatorname{ch} \omega z}$, $\alpha > 0, A > 0, B < 0$; $C_1, C_2, C_3, \omega, \alpha, A, B$ связаны особой системой уравнений, описанной в работе, знаки \pm выбираются одинаковыми в числителе и знаменателе;

$$v(z) = \frac{3\alpha}{B \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{9A|\alpha|}{2B^2}} \operatorname{ch} \sqrt{|\alpha|} z \right)}, \quad \alpha < 0, A > 0;$$

$$v(z) = \frac{3\alpha}{2B} + \frac{3\alpha}{\sqrt{2}B} \operatorname{ch}^{-1} \frac{\sqrt{\alpha}z}{2}, \quad \alpha > 0, A > 0, B < 0;$$

$$v(z) = \pm \sqrt{\frac{\alpha}{2A}} \pm \sqrt{\frac{\alpha}{2A}} \operatorname{th} \frac{\sqrt{|\alpha|}z}{2}, \quad \alpha < 0, A < 0, \text{ при этом } |B| = 3\sqrt{\alpha A / 2},$$

знаки \pm выбираются одинаковыми при первом и втором слагаемом.

Как отмечалось, эти выражения задают только огибающую волнового пакета. Затем, переходом от $v(z)$ к изначальной $u(x, t)$ получены искомые решения НУШ. В качестве примера можно привести функцию, полученную из второго решения выше. При $U=3, s=1$ график действительной части представлен на рисунке.

$$u(x, t) = \frac{\exp\left(i \frac{U}{2} x - ist\right) \cdot \frac{3}{B} \left|\frac{U^2}{4} - s - C\right|}{1 \pm \sqrt{1 + \frac{9A\left|\frac{U^2}{4} - s - C\right|}{2B^2}} \operatorname{ch}\left(\sqrt{\left|\frac{U^2}{4} - s - C\right|}(x - Ut)\right)}.$$

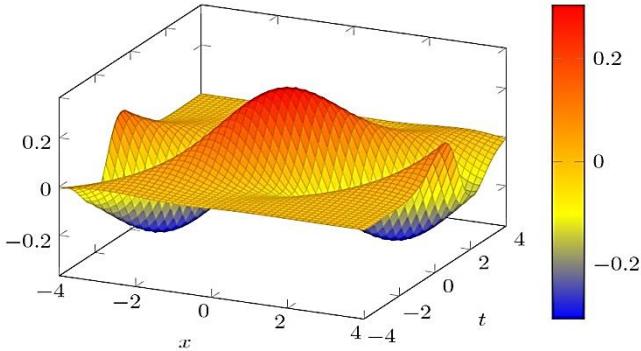


Рис. График действительной части решения НУШ $\operatorname{Re}(u(x, t))$

Таким образом, в настоящей работе было изучено НУШ в модификации с квадратичной нелинейностью, использованы методы его преобразования, поиска функций требуемого типа, получен ряд точных решений вида солитона (в том числе кинка). Данные решения отличаются новизной, в справочнике по нелинейным уравнениям математической физики [8] решений, подобных найденным в данной работе, нет. Возможно, что в разделах физики, где имеет место НУШ с квадратичным слагаемым, эти результаты будут полезны.

Литература

1. Алименков И.В. Точные решения нелинейного уравнения Шредингера и комплексного уравнения Гинзбурга – Ландау на \mathbb{R}^{3+1} // Вестник СамГУ – естественнонаучная серия. 2006. № 3 (43). С. 5 – 14.
2. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Л.И. Мандельштам и современная теория нелинейных колебаний и волн // УФН, Т. 128, вып. 4, 1979. С. 579 – 624.
3. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф. Справочник по нелинейным уравнениям математической физики: точные решения. – М.: Физматлит, 2002. – 432 с.
4. Смирнов А.О. Решения нелинейного уравнения Шредингера в виде двухфазных странных волн // Теоретическая и математическая физика. Т. 173, № 1, 2012. С. 89 – 103.
5. Френкин А.Р. О зависимости особых решений одномерных нелинейных уравнений типа Шредингера от параметров задачи // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 1999, № 2. С. 9 – 12.

Исследование проявления морских течений в сигнале радиолокатора

Дмитричева Анастасия Алексеевна

9 класс, МАОУ школа 149, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель М.А. Панфилова,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Рассмотрены данные дождевого локатора со спутника миссии GPM в районе течения мыса Игольного. В некоторые дни течение оказывает заметное влияние на сигнал локатора. Задачей работы было объяснить данное явление. Был проведен расчет трансформации спектра волнения вдоль заданного направления при остром угле между направлением течения и направлением распространения волнения. Показано, что при увеличении скорости ветра снижается влияние скорости течения на форму спектра. Чем сильнее изменение формы спектра, тем сильнее изменение наклонов. Показано, что величина наклонов влияет на сигнал локатора, следовательно, при увеличении скорости ветра изменения в сигнале ослабевают. Утверждение было проверено при помощи анализа реальных данных.

В настоящее время на орбите находятся десятки спутников, предназначенных для сбора данных о поверхности Земли. На них размещены приборы, которые получают информацию о поверхности Земли, зондируя ее электромагнитными волнами. Обычно на таких спутниках используют волны длиной от 8 мм до 20 см. Зондирование происходит следующим образом. Антенна, установленная на спутнике, излучает электромагнитную волну. После отражения от поверхности Земли волна принимается антенной, и по характеристикам принятого сигнала судят о характере неровностей на поверхности Земли. Преимущества такого метода зондирования заключаются в том, что радиоволны сантиметровой длины способны проходить сквозь облака, поэтому данные о поверхности Земли можно получать в облачную погоду, в темное время суток и любое время года.

В 2014 году был выведен на орбиту спутник GPM (Global Precipitation Measurement). Основная задача этого проекта состоит в определении пространственного распределения осадков по измерениям двух сканирующих радиолокаторов, установленных на борту спутника. У одного локатора длина волны 8 мм и ширина полосы засветки 125 км. У другого локатора длина волны 21 мм, ширина полосы засветки 245 км. В нашей работе рассматривались данные со второго локатора. Сканирующий луч этого локатора максимально отклоняется

от вертикали на 17^0 . Размер пятна засветки составляет 5 км, расстояние между соседними пятнами засветки также 5 км. Данные со спутника находятся в интернете в свободном доступе [4].

Сигнал, принимаемый над морской поверхностью.

Зависимость величины принимаемого сигнала от угла падения

Для описания рассеяния сигнала морской поверхностью при зондировании под малыми углами падения (углы от 0 до 18 градусов считаются малыми) применяют квазизеркальную модель. Разобьем поверхность волны на маленькие плоские площадки. Каждая из площадок отклонена относительно невозмущенной поверхности на некоторый угол α . Падающее излучение представим в виде множества практически параллельных лучей.

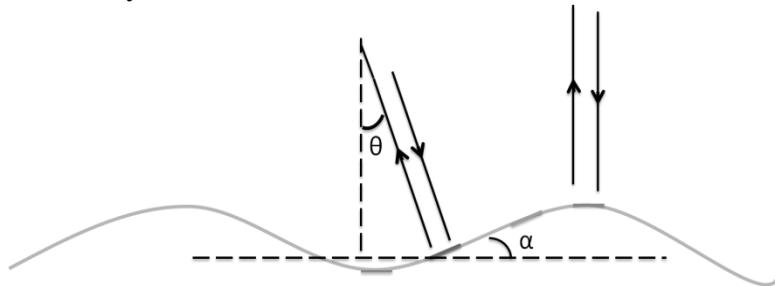
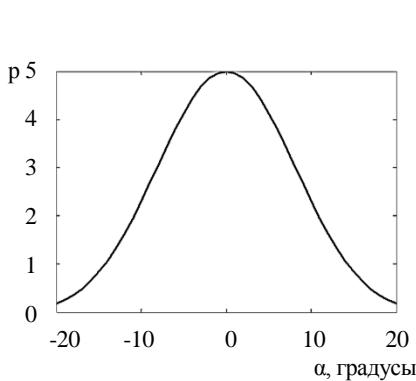
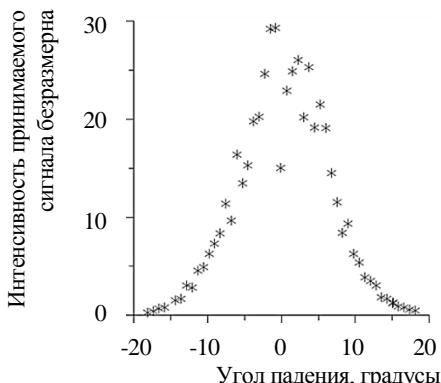


Рис. 1. Схема отражения электромагнитной волны от морской поверхности при малых углах падения



а – плотность распределения наклонов водной поверхности



б – зависимость сигнала локатора от угла падения

Рис. 2. Данные радиолокатора

Пусть угол падения электромагнитной волны на поверхность воды равен θ . Согласно закону отражения, в локатор придут лучи от тех площадок, для которых значение угла α близко к θ (рис. 1). Следовательно, величина сигнала, принятого локатором, зависит от площади, занимаемой площадками, наклоненными относительно гладкой поверхности на угол, равный углу падения.

Количество площадок уменьшается с увеличением угла наклона, то есть плотность распределения уклонов водной поверхности имеет вид (рис. 2а) [1]. Следовательно, принимаемый локатором сигнал с увеличением угла падения уменьшается. Эту зависимость мы подтвердили по данным радиолокатора (рис. 2б).

Гипотеза об изменении сигнала на течении

В ходе предыдущих работ была предложена гипотеза, которая объясняет изменения в сигнале радиолокатора на спутнике GPM в районе морских течений. Гипотеза заключается в том, что на течении меняются наклоны волн и это влияет на сигнал, принимаемый локатором. Если волна набегает на попутное течение, то наклоны волн уменьшаются. Поэтому сигнал при малых углах падения растет, а при больших углах падения уменьшается по сравнению с областями, где течения нет.

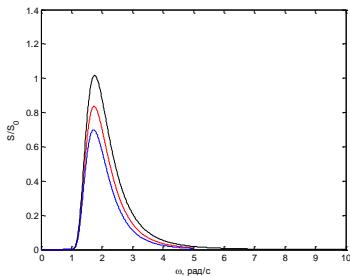
Неявное проявление морских течений в сигнале локатора

Рассматривая треки спутника в районе течения мыса Игольного, мы обнаружили, что в некоторые дни течение в сигнале проявляется неявно. Мы предположили, что это может быть связано с соотношениями величин скоростей ветра и течения, а также с направлением ветра и течения.

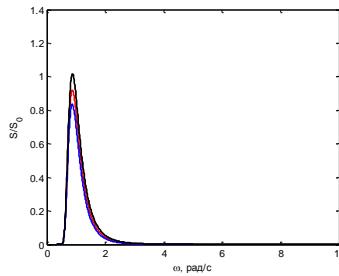
Трансформация спектра волнения на течении

Наклоны волн определяются спектром волнения. Был проведен расчет трансформации спектра волнения согласно модели, изложенной в книге [2], для скоростей течения 0,5 м/с и 1 м/с при скоростях ветра 10 м/с (рис. 3а) и 15 м/с (рис. 3б). Построена зависимость отношения спектральной плотности S к значению спектральной плотности в максимуме спектра в отсутствие течения S_0 .

При увеличении скорости течения уменьшается спектральная плотность мощности для всех длин волн; при увеличении скорости ветра частота максимума спектра становится меньше, при увеличении скорости ветра снижается влияние скорости течения на форму спектра. Спектр связан с наклонами и чем сильнее изменения спектра, тем сильнее изменение наклонов.



а – при скорости ветра 5 м/с



б – при скорости ветра 10 м/с

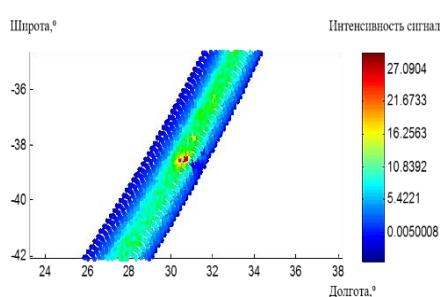
Рис. 3. Изменение спектра при начальном угле между направлением распространения спектральной компоненты волнения и течением 60^0 .

Черная линия – спектр при нулевой скорости течения.

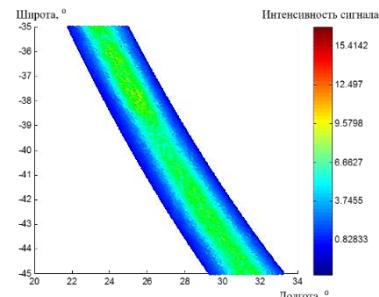
Красная – при скорости течения 0,5 м/с. Синяя – при скорости течения 1 м/с.

Анализ изменения в сигнале локатора в районе течения мыса Игольного

Для анализа были выбраны два дня: 7 марта 2015 года и 10 сентября 2015 года. Скорости течения в эти дни были определены по данным альтиметра – космического радиолокатора, данные которого применяются для определения высот волнения и уровня моря; в результате обработки по этим данным определяются скорости и направления течений. Данные представляют собой массив, куда входят широта, долгота, зональная компонента скорости U_z и меридиональная компонента скорости U_m . Модуль скорости течения определялся по формуле: $U = \sqrt{U_z^2 + U_m^2}$. В выбранные для анализа дни максимальные скорости течения были порядка 0,8 м/с.



а – 10 сентября 2015 г.



б – 7 марта 2015 г.

Рис. 4. Участок трека в районе мыса Игольного

Наклоны определяются короткими волнами, а те в свою очередь скоростью ветра, поэтому будем учитывать только ветровое волнение. Данные о скоростях ветра были получены по изменениям скаттерометра ASCAT (космический радиолокатор, который сканирует поверхность таким образом, что каждая ячейка наблюдается под несколькими азимутальными углами; существуют специальные алгоритмы, позволяющие определять по этим данным скорость и направление ветра). Данные доступны на сайте [3]. По данным скаттерометра 7 марта 2015 скорость ветра составляла примерно 5 м/с, а 10 сентября – 10 – 15 м/с.

На рисунке 4а представлен участок трека в районе мыса Игольного 10 сентября, на нем видны изменения в сигнале в районе, где проходит течение. На треке же за 7 марта заметных изменений нет. Мы предполагаем, что это связано с тем, что при большей скорости ветра снижается влияние течения на спектр волнения. Наклоны морской поверхности на течении меняются слабо, в результате чего изменений в интенсивности сигнала локатора не наблюдается.

Заключение

Был предложен вариант объяснения эффекта отсутствия или наличия изменений в сигнале радиолокатора со спутника GPM в районе течений. Расчет спектров волнения показал, что при увеличении скорости ветра снижается влияние течения на форму спектра. Так как спектр волнения связан с наклонами, то чем меньше изменения спектра, тем меньше изменения наклонов и, следовательно, сигнала локатора; и наоборот, при меньшей скорости ветра проявление течения в сигнале радиолокатора заметнее. Таким образом, предложен новый способ обнаружения течений по данным радиолокатора, работающего при малых углах падения, и выявлены оптимальные условия для этого.

Литература

1. *Басс Ф.Г., Фукс И.М.* Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука, 1972. – 424 с.
2. Практикум по динамике океана / Под ред. А.В. Некрасова, Е.Н. Пелиновского. – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – 317 с.
3. Data from Satellite/Instruments: Advanced Scatterometer (ASCAT METOP-A) [Электронный ресурс]. Star Center for Satellite Application and Research: сайт. <https://manati.star.nesdis.noaa.gov/datasets/ASCATData.php>
4. National aeronautics and space administration: сайт [Электронный ресурс]. <http://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/gpm>

Определение трехмерной структуры лазерного импульса, отражаемого объемным профилированным брэгговским зеркалом

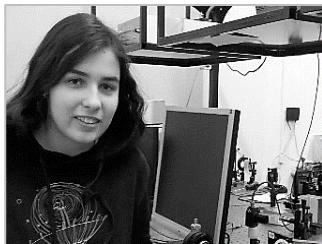
Ерухимова Наталья Викторовна

11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Е.И. Гачева,

научный сотрудник ИПФ РАН,

кандидат физико-математических наук



Получение лазерных импульсов трехмерной эллипсоидальной формы с резкой пространственно-временной границей является актуальной задачей в приложении к лазерным драйверам для фотоинжекторов электронов. Предложенный ИПФ РАН подход к трехмерному профилированию лазерных импульсов заключается в отражении пучка света от профилированного брэгговского зеркала. Лабораторией OptiGrate (США) были впервые изготовлены несколько тестовых образцов таких зеркал. В данной работе предложена схема для осуществления трехмерной диагностики распределения интенсивности лазерного импульса до и после отражения от профилированного брэгговского зеркала. Сделаны выводы о внутренней структуре одного из образцов и возможности его использования для решения поставленной задачи.

В настоящее время наиболее перспективным направлением развития ускорителей с ультрамалым эмиттансом электронного пучка является использование фотоинжекторов, в которых фотокатод облучается профилированным в трех измерениях лазерным импульсом. Теоретически доказано, что минимально возможный эмиттанс (физическая величина, характеризующая разброс ансамбля частиц по координатам и скоростям) достигается на электронном импульсе эллипсоидальной формы [2]. Получить его можно путем отражения света от соответствующим образом профилированной брэгговской решетки.

Объемная брэгговская решетка (распределенный брэгговский отражатель – РБО) представляет собой слоистую структуру, в которой показатель преломления материала периодически изменяется в пространственном направлении, перпендикулярном слоям.

РБО с постоянным периодом модуляции (рис. 1) позволяет отражать световые волны в очень узком спектре с достаточно высокой эффективностью, что влияет на их широкое применение в лазерной технике. Наибольшая отражательная способность достигается в некотором диапазоне длин волн около определенной длины волны, для которой выполняется условие Вульфа-Брэгга [4]:

$$m\lambda = 2nL \sin \alpha,$$

где m – целочисленный коэффициент, λ – длина волны света в вакууме, n – средний показатель преломления решетки, L – период решетки, α – угол между направлением распространения пучка и плоскостью падения.

В РБО с периодом, линейно изменяющимся вдоль оси X , для каждой длины волны широкополосного излучения найдется участок решетки с периодом, соответствующим условию отражения. То есть каждая длина волны отразится от эффективного зеркала, координата которого вдоль оси X пропорциональна λ , и из-за разности хода вдоль X мы получим на выходе растянутый во времени импульс, в котором частота пропорциональна времени (рис. 2) [1].

Модуляцию показателя преломления можно стереть в заданной трехмерной области внутри решетки, тогда каждой длине волны (а значит и каждому моменту времени) в импульсе будет соответствовать зеркало определенной формы. Такие брэгговские решетки называются профилированными, а отраженные от них лазерные импульсы будут повторять структуру решетки с точностью до исходного распределения интенсивности в области отражения. Стирание модуляции происходит посредством облучения решетки ультрафиолетом [1].

Так как импульсы, которые мы хотим получить, должны быть эллипсоидами, структура профилированной РБО должна представлять собой эллипсоид (рис. 3) [3]. За последний год были сделаны 2 первых тестовых образца таких РБО. И чтобы проверить соответствие образца нашим целям, мы должны были осуществить трехмерную диагностику распределения интенсивности лазерного импульса до и после отражения от профилированного РБО и сделать выводы о внутренней структуре образца.

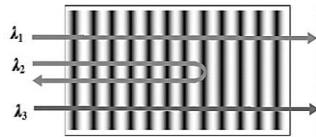


Рис. 1. РБО с постоянным периодом модуляции показателя преломления.

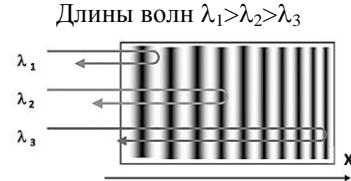


Рис. 2. Отражение широкополосного излучения от объемной брэгговской решетки с линейно изменяющимся по оси X периодом



Рис. 3. Профилированная брэгговская решетка

В установке, приведенной на схеме (рис. 4), пучок с горизонтальной поляризацией, генерируемый импульсным лазером, падает на круглую диафрагму (1), отражается от брэгговской решетки (7), системы зеркал (6,8) и попадает на пластинку с вертикальной щелью (13). Дальнейшая часть установки, называемая сканирующим спектрографом с переносом изображения, была спроектирована и реализована автором.

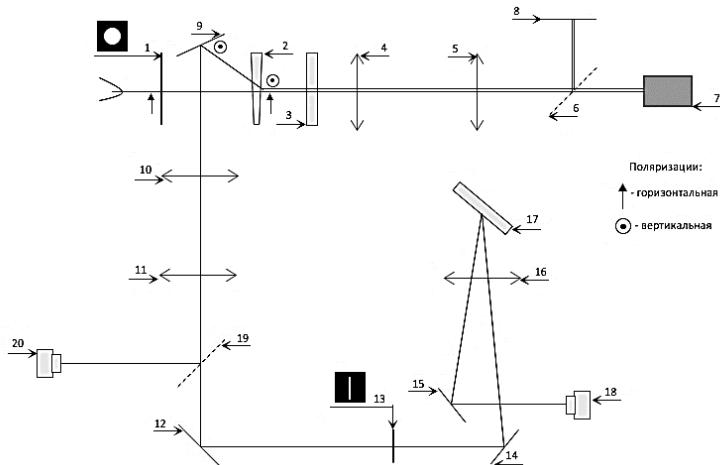


Рис. 4. Установка (вид сверху)

- 1 – круглая диафрагма, $d = 4$ мм;
- 2 – двулучепреломляющий клин;
- 3 – четвертьволновая пластина;
- 4,5 – собирающие линзы, образующие Кеплеров телескоп;
- 6,19 – вбрасываемое плоское зеркало;
- 7 – профилированная брэгговская решетка с линейно изменяющимся по оси периодом;
- 8,9,12,14,15 – плоские зеркала;
- 10,11 – собирающие линзы, образующие Кеплеров телескоп;
- 13 – оптически непрозрачная пластина с вертикальной щелью;
- 16 – собирающая линза, $F = 563,6$ мм;
- 17 – дифракционная решетка;
- 18 – камера;
- 20 – одномерный калибранный спектрограф SOLAR

Пластинка с вертикальной щелью вырезает из импульса сечение в плоскости «временная (продольная) координата – вертикальная поперечная координата». Отразившись от зеркала (14), луч падает на дифракционную решетку (17), которая раскладывает импульс в спектр. Так как импульс линейно чирпован, то временная координата преобразуется в горизонтальную поперечную. Отразившись от зеркала (15), пучок падает на матрицу камеры (18).

Линза (16) служит для переноса изображения и фактически, образует Кеплеров телескоп (луч проходит через нее два раза).

В результате мы получаем на камере сечение импульса в плоскости «временная (продольная) координата – вертикальная попечная координата».

Смещающая зеркало (12) по горизонтальной оси (на схеме – вверх-вниз), мы будем получать различные сечения. В ходе эксперимента было снято 40 сечений импульса с интервалом в 0,1 мм. Для сканирования пучка, отраженного от РБО, из предложенной схемы нужно убрать зеркало (6); чтобы просканировать исходный пучок, нужно зеркало вставить.

Мы собрали из полученных двумерных сечений трехмерное изображение и визуализировали его при помощи математического пакета MATLAB [5, 6]. Карта коэффициента отражения от профилированного брэгговского зеркала, определяющая структуру отраженного импульса, приведена на рисунке 5.

Если обозначить за границу область, в которой значения коэффициентов отражения возрастают с 0 до 80% от максимума, то резкость границы, равная отношению ширины границы к ширине пучка, будет равна 20%.

В ходе данной работы были определены основные параметры предложенного объемного чирпирующего профилированного брэгговского зеркала. Разработанная и реализованная схема позволила определить 3D структуру имеющегося РБО (рис. 5). Она не является эллипсоидальной, хотя изначально была таковой запланирована. Мы можем наблюдать лишь переднюю часть эллипсоида, тогда как по краям модуляция показателя преломления стерта очень плохо. Граница, вырезаемая решеткой из пучка по длине волны, также не обладает достаточной резкостью (20% вместо требуемых 10 %). Таким образом, данная решетка не может быть использована как средство

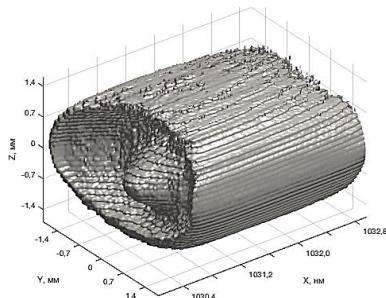


Рис. 5. Карта коэффициентов отражения от профилированного брэгговского зеркала
По осям: X – продольная координата пучка (λ , нм), линия распространения пучка; Y – горизонтальная попечная координата пучка; Z – вертикальная попечная координата пучка

для получения эллипсоидального лазерного импульса с резкой пространственно-временной границей. Разработанный метод диагностики трехмерной структуры отражаемого от РБО излучения может в дальнейшем служить для отладки технологии производства профилированных брэгговских зеркал.

Литература

1. Glebov L. et al. Volume-chirped Bragg gratings: monolithic components for stretching and compression of ultrashort laser pulses // Optical Engineering. 2014. Т. 53. №. 5. С. 051514.
2. Kapchinskij I.M., Vladimirovskij V.V. Limitations of proton beam current in a strong focusing linear accelerator associated with the beam space charge // Proceedings of the International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation. – 1959. – С. 274.
3. Mironov S.Y. et al. Generation of 3D ellipsoidal laser beams by means of a profiled volume chirped Bragg grating // Laser Physics Letters. 2016. Т. 13. №. 5. С. 055003.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
5. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. Matlab 5.0/5.3. Система символьной математики. – М.: Нолидж, 1999. – 640 с.
6. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] // Matlab and Toolboxes: сайт. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/70.php>.

Исследование динамики уединенной волны (солитона) в экспериментальном канале

Ефремова Виктория Александровна
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Е.К. Шургалина,
младший научный сотрудник ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



В работе проведен ряд экспериментов по генерации солитонов в лотке ИПФ РАН с помощью подвижной заслонки. Найдены зависимости амплитуд генерируемых солитонов от значения их наката на вертикальную стенку. Исследован накат солитона на вертикальную стенку. Рассмотрены случаи эволюции групп солитонов и изучены особенности их взаимодействия с вертикальной преградой.

Солитоны – неотъемлемая часть волновой динамики прибрежной зоны. Поверхностные солитоны могут иметь значительные амплитуды и при взаимодействии с вертикальными преградами значительно усиливаться, что может быть опасно для людей и технических сооружений. Солитоны поверхностных волн могут образоваться при обрушении плотин водохранилищ или при прорыве естественных заторов в случае паводка.

Статья посвящена экспериментальному исследованию солитонов в малом лотке ИПФ РАН. Экспериментальная установка состояла из бассейна длиной $a=3,5$ м, шириной $c=0,2$ м и высотой $h=0,4$ м; заслонки (выполняющей роль волнопродуктора), с помощью которой устанавливалось начальное возмущение разных длин и высот; двух датчиков; волнодетектора, записывающего устройства. Схема и фотография установки представлены на рисунках 1 и 2.

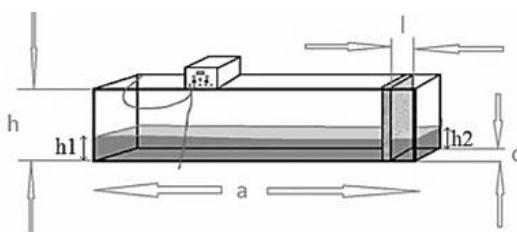


Рис. 1. Схема установки

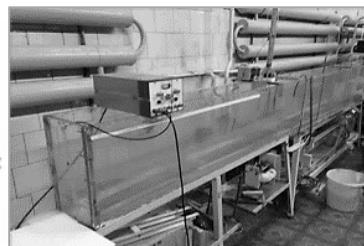


Рис. 2. Фотография установки

Для генерации солитона в отсек справа, образованный пластиковой пластиной, наливалась вода так, чтобы уровень в отсеке стал выше, чем в основном пространстве бассейна. После этого пластина вынималась. При заданных (необходимых для генерации) параметрах возникал солитон. Для наблюдения нескольких отражений пластина ставилась в исходное положение.

Регистрация волнения производилась с помощью двух струнных волнографов. Один из них был установлен на середине канала (на расстоянии 1м от дальней стенки). Он показывал амплитуду волны, другой – на дальней стенке, фиксировал накат волны. Приведем пример одного из экспериментов по генерации одиночного солитона.

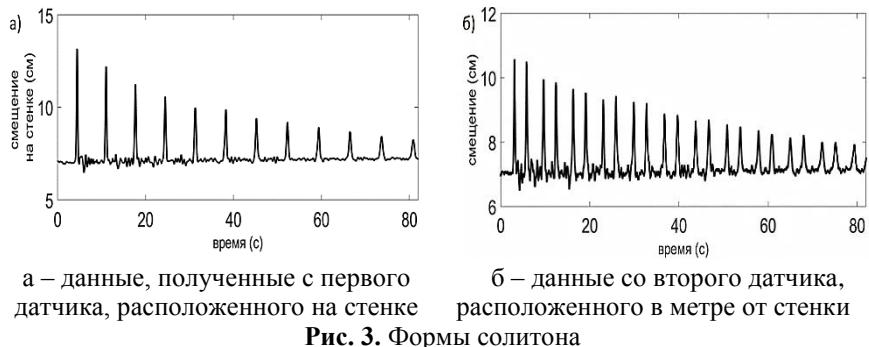


Рис. 3. Формы солитона

Рисунок 3б демонстрирует формы сгенерированного солитона при следующих параметрах: $l=12,5$ см, $h_1=7$ см, $h_2=14$ см, где h_1 – высота уровня воды в канале слева от заслонки, h_2 – высота уровня воды в канале справа от заслонки (рис. 2). Соседние импульсы (на рисунке хорошо видны «пары» солитонов) соответствуют солитону до и после взаимодействия со стенкой, в момент регистрации датчиком, затем эти «парные» импульсы продолжают движение после отражения от заслонки. Видно, что солитон достаточно хорошо сохраняется до подхода к стенке и после отражения от нее, однако при последующих прохождениях через датчик амплитуда волны падает. Это объясняется погрешностью эксперимента, так как поток достаточно мал и всегда присутствует отражение от стенок. Также генерация солитона происходит не автоматизированным способом. Наличие небольших хвостов за солитоном можно объяснить аналогичными причинами.

Рисунок 3а демонстрирует форму солитона в момент его прохождения через второй датчик. Наблюдаются уменьшение амплитуды солитона при последующих взаимодействиях солитона со стенкой.

Динамика одиночного солитона

Форма экспериментального солитона была наложена на «эталонный солитон», описание которого соответствует точному волновому решению – солитон уравнения Кортевега-де Вриза. Полученный в ходе эксперимента солитон уже теоретического, и за ним наблюдаются небольшие «хвосты» (рис. 4), что объясняется погрешностью эксперимента и малым временем распространения солитона.

Была проведена серия экспериментов по генерации солитонов, в которых менялся параметр h_2 от 11 до 14 см при постоянных значе-

ниях параметров ($l=12.5$ см и $h_1=7$ см). В результате получена зависимость амплитуды солитона (смещения водной поверхности (глубина воды + амплитуда солитона)), зарегистрированной на первом датчике, от смещения водной поверхности при взаимодействии солитона с вертикальной поверхностью, зарегистрированной на втором датчике (рис. 5).

Зависимость данных характеристик близка к линейной ($y \approx 1.6x - 3.7$), что подтверждает график, изображен-

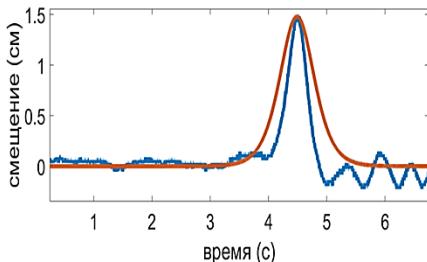


Рис. 4. Сравнение теоретического (красный цвет) и экспериментального (синий цвет) солитонов

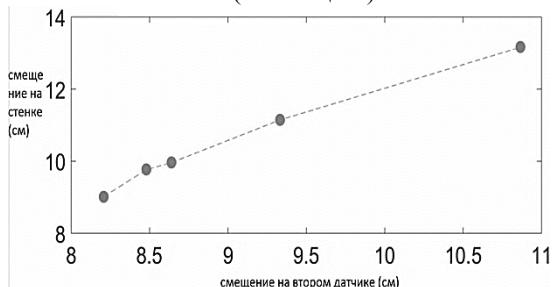


Рис. 5. Зависимость амплитуды генерируемых солитонов (с учетом глубины) от смещения водной поверхности в момент взаимодействия солитона со стенкой

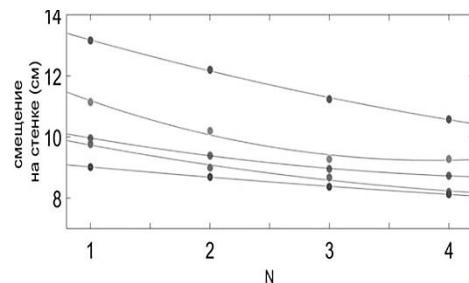


Рис. 6. Зависимость смещений водной поверхности на стенке от количества взаимодействий со стенкой (N) в различных экспериментах (сверху вниз: $h_2 = 14$ см, 12.5 см, 12 см, 11.5 см, 11 см)

ный на рисунке 5. Отношение амплитуды волны на стенке к амплитуде «свободно двигающегося» солитона во всех случаях было близко к 1.7 (в идеальных условиях должно наблюдаться удвоение амплитуды за счет закона сохранения энергии).

Рисунок 6 демонстрирует зависимость максимального наката (наката лидирующего солитона) на стенку от количества взаимодействий со стенкой для разных экспериментов.

Динамика группы солитонов

При некоторых условиях, когда воды за заслонкой было значительно больше, чем в предыдущих описанных случаях, образовывалась не один, а несколько солитонов. Вторичные солитоны значительно влияли друг на друга, что можно проследить на рисунке 7.

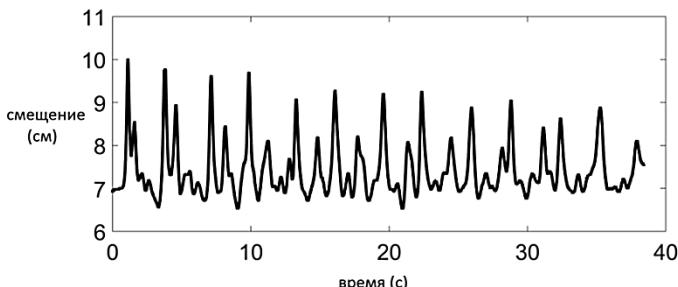


Рис. 7. Зарегистрированные группы солитонов ($l=30\text{ см}$, $h_1=7\text{ см}$, $h_2=12\text{ см}$)

Изменение максимального смещения на стенке в момент взаимодействия группы солитонов со стенкой представлено на рисунке 8 (для двух экспериментов). Эти значения, как и в предыдущем параграфе, хорошо аппроксимируются квадратичными зависимостями. Уравнения этих парабол представлены на рисунке.

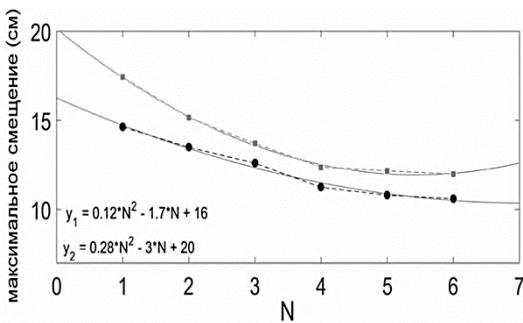


Рис. 8. Зависимость смещений водной поверхности при взаимодействии группы солитонов со стенкой от количества взаимодействий со стенкой (N) в разных экспериментах (сверху вниз: $h_2 = 14, 12$)

Заключение

В ходе работы был проведен ряд экспериментов по генерации солитонов в лотке ИПФ РАН с помощью подвижной заслонки. Найдены зависимости амплитуд генерируемых солитонов от значения их наката на вертикальную стенку. Получены зависимости значений накатов солитонов на вертикальную стенку от количества взаимодействий солитонов со стенкой. Рассмотрены случаи эволюции групп солитонов и изучены особенности их взаимодействия с вертикальной преградой. В дальнейшем планируется исследование процессов эволюции солитонов с возможностью измерения большего количества их характеристик (длины волны, периода и т.д.).

Литература

1. *Воскобойникова А.А.* Изучение солитонов волн на поверхности жидкости. Лабораторное моделирование разрушения плотин ГЭС на равнинных участках рек // Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; Нижегородский научный центр РАН. – Выпуск 7. – Н. Новгород, 2014. – 204 с. – С. 39 – 42.
2. *Голубев А.* Солитоны // Наука и жизнь. 2001, № 11. С. 24 – 28.
3. *Кудряшов Н.А.* Нелинейные волны и солитоны // Соросовский образовательный журнал, 1997, № 2. С. 85 – 91.
4. *Филиппов А.Т.* Многоголикый солитон. – М.: Наука, 1990. – 288 с.

Портативный электрокардиограф на базе операционных усилителей AD620ARZ

Золотых Андрей Николаевич
9 класс, МБОУ школа № 45

Научный руководитель В.Е. Турлапов,
профессор кафедры МОСТ ИИТММ ННГУ
им. Н.И. Лобачевского, доктор технических наук



Описан разработанный и реализованный автором портативный электрокардиограф, позволяющий снимать электрокардиограмму с одного отведения (I, II, III). Электрокардиограф прост в управлении, портативен, безопасен. Устройство способно отображать данные в реальном времени на встроенным экране или на экране компьютера. Электрокардиограф имеет два режима фильтрации сигнала. С его помощью можно диагностировать многие сердечно-сосудистые заболевания и острые состояния.

Электрокардиограф – электронное устройство, предназначенное для снятия электрокардиограммы (ЭКГ) у человека. ЭКГ представляет собой осциллограмму усиленных электрических сигналов, измеренных в различных точках тела человека. Таких осциллограмм в стандартной ЭКГ 12, но часто достаточно и одного отведения. ЭКГ необходима для диагностики различных сердечно-сосудистых заболеваний [1].

Перед автором стояла задача разработки безопасного портативного электрокардиографа, способного измерять ЭКГ с одного отведения, причем иметь достаточный уровень фильтрации. Такие кардиографы могут использоваться спортсменами или людьми с сердечно-сосудистыми заболеваниями в нестационарных условиях: дома, на спортивной площадке, на отдыхе. Заметим, что фотоплетизмографы, использующиеся обычно в таких условиях, могут диагностировать только аритмии. Кроме того, эти устройства достаточно дороги (от 2000 до 7000 рублей). Разработанное устройство дешево и измеряет настоящую электрическую активность сердца. Его внешний вид показан на рисунке 1, принципиальная схема электрокардиографа на рисунке 2. При разработке схемы использовалась монография [2].

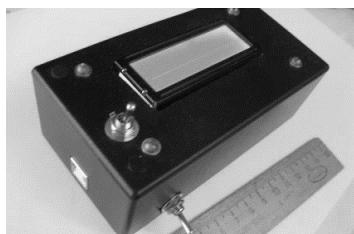


Рис. 1. Внешний вид электрокардиографа

Электрокардиограф состоит из двух операционных усилителей AD620ARZ, операционных усилителей OP97FPZ и lm358, микроконтроллера ATmega8, LCD экрана, стабилизатора питания TL431, микросхемы передачи данных CH340G, оптопары 4n35, нескольких аналоговых фильтров и других элементов.

Основные каскады усиления состоят из микросхем – высокопрекциональных операционных усилителей AD620ARZ, которые выполняют усиление в семь раз. На выходе стоит фильтр высоких частот, настроенный на обрезание сигналов с частотой ниже 0.53 Hz. Далее осуществляется усиление в 568 раз. Коэффициент суммарного усиления теоретически равен $7 \times 568 = 3976$. С помощью регулировки (подстройки с помощью подстроечных резисторов) коэффициент усиления доведен до 4000, что в четыре раза превышает усиление стандартных электрокардиографов. Поскольку устройство снимает одновременно только одно отведение, оно должно иметь большее усиление для большей диагностической ценности (с большим усилием лучше видны зубцы ЭКГ и изменения в них). Учитывая разрядность АЦП ATMega8 в 10 бит (1024 уровня напряжений) и напряжение питания усилителей в 5V, получаем, что расчетная входная чувствительность прибора равна 1.25mV на 1024 бита и 1.22 μ V на 1 бит АЦП. Средняя амплитуда R пика сигнала ЭКГ отведения I составляет 0.7 милливольта. Это дает запас регистрации примерно в два раза, то есть прибор позволяет регистрировать сигнал ЭКГ с усилением еще в два раза, или ЭКГ, по каким-либо причинам имеющую повышенные амплитуды сигнала.

Температурный и влажностный дрейф всей схемы представляет синфазное отклонение ноля на значение около 0.1 милливольта на каждые 20 градусов температуры. После второго усилителя находится защита от превышения уровня напряжения. Второй фильтр находится после второго усилителя и системы защиты, представляя собой аналоговый фильтр низких частот, настроенный на частоту среза (обрезание сигнала с частотой выше 33.86 Hz – постоянно включен) и переключаемый (дополнительная емкость) на частоту среза 10.8 Hz. ЭКГ с фильтрацией и без нее можно видеть на рисунке 3.

Средняя точка (референтный ноль и опорное напряжение усилителей) генерируется повторителем на микросхеме – операционном усилителе OP97FPZ (может использоваться SMD вариант OP97FSZ), которая повторяет напряжение равное половине питающего (это происходит с помощью равного резистивного делителя). Делитель был впоследствии

отрегулирован для выравнивания уровня сигнала. К этому же референтному проводу подключен черный электрод пациента.

После фильтра находится повторитель сигнала на микросхеме LM358. Это уменьшает последовательное эквивалентное выходное сопротивление, являющееся большим после фильтра низких частот. Далее через ограничительный защитный резистор в 330 Ом сигнал поступает на АЦП микроконтроллера ATMega8.

Микроконтроллер ATMega8 производит оцифровку сигнала, а затем передает его в цифровом виде по двухканальному протоколу uart в одностороннем порядке на следующую часть схемы. Далее идет гальваническая развязка по сигнальной цепи на микросхеме 4N35. Микросхема CH340G передает сигнал с гальванической развязки в USB порт. Сама микросхема питается от USB порта компьютера. Далее сигнал по кабелю передается в компьютер, который отображает данные на большом экране. Также микроконтроллер atmega8 производит вывод данных в виде графика ЭКГ на встроенный экран WG12232E-TML-NA. Таким образом, использование ПК не обязательно. Схема питания представляет собой систему на микросхеме TL431, которая преобразует напряжение с батареек до 5-ти вольт.

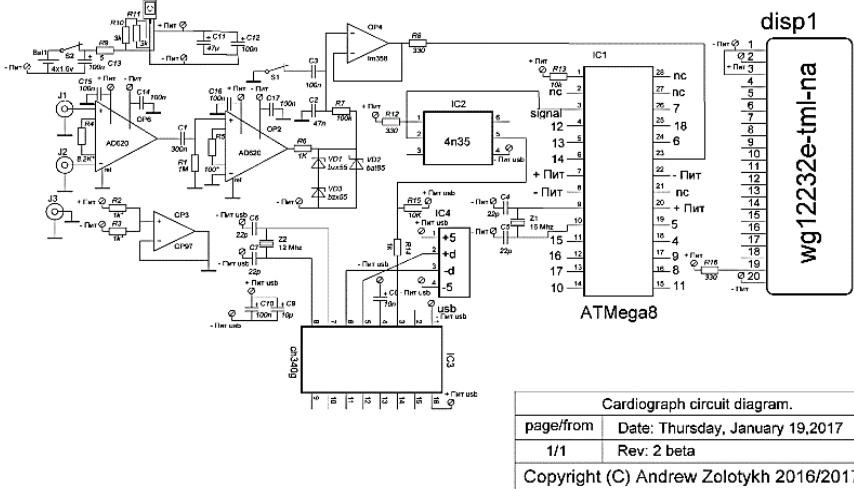


Рис. 2. Принципиальная схема электрокардиографа

Конструктивно элементы электрической схемы размещены на двух печатных платах, одна из которых отвечает за питание электро-

кардиографа, гальваническую развязку и связь с ПК, а вторая осуществляет усиление сигнала, генерацию опорного ноля, оцифровку и отображение сигнала.

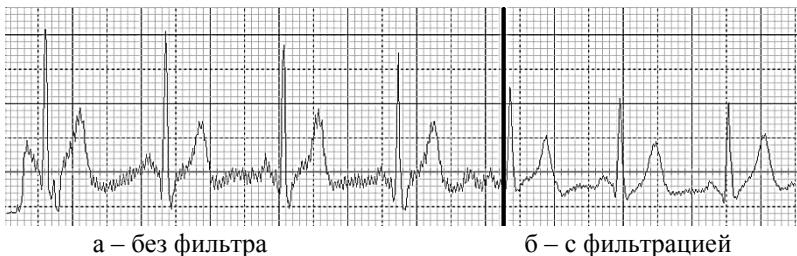


Рис 3. Пример ЭКГ (линия – момент включения фильтра)

Устройство многократно проверено в работе, подтвердило способность снимать ЭКГ и пригодность к использованию. Показания электрокардиографа проверялись на осциллографе Hantek DSO 6022BE, измеренный пульс сравнивался с пульсом, показываемым на тонометрах. Проводились сравнения показаний ЭКГ с созданного устройства с показаниями лицензированных кардиографов.

Заключение

Разработан и собран электрокардиограф, способный снимать ЭКГ с одного отведения, отображать данные в реальном времени на встроенным экране и ПК. Устройство имеет два режима фильтрации и пригодно к использованию.

Литература

1. Хан М. Габриэль. Быстрый анализ ЭКГ. – М.: БИНОМ, 2015. – 416 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: БИНОМ, 2015. – 704 с.

Исследование газовыделения материала Eccosorb для задач вакуумной криогенной техники

Казанцев Георгий Викторович
8 класс, МАОУ Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Л.С. Ревин,
электроник ИФМ РАН



В работе исследовался процесс газовыделения современных материалов, используемых в криогенной технике. Рассмотрены особенности вакуумных насосов различных типов, а также методы измерения вакуума. Изучены основные параметры и свойства газов при низких давлениях (плотность, давление и концентрация). Проведено исследование скорости откачки вакуумного резервуара, выполнена оценка быстроты действия насоса. Экспериментально исследован процесс газовыделения материала Eccosorb при различной длительности откачки, размере рабочего объема и рассмотрены способы уменьшения газовыделения.

Получение высокого вакуума актуально для металлургии и химической промышленности, атомной энергетики, медицины и биологии. Вакуумная техника необходима для криогенных исследований, требующих теплоизоляции криостатов. С каждым годом появляются новые материалы, используемые в криостатах: чернотельные покрытия, проводящие и изолирующие материалы, фильтры низких и высоких частот и т.д. Таким образом, влияние того или иного вещества на вакуумные свойства является актуальным и требует постоянного уточнения.

Для криогенных задач необходима хорошая термоизоляция, достигаемая откачкой газа из исследуемого объема. Но поскольку в криостате присутствуют провода, разъемы, держатели образцов из различных материалов, избежать газовыделения не удается. Любой материал выделяет со своей поверхности газ, создавая дополнительное давление насыщенных паров, что ухудшает вакуум. Целью работы было исследование процесса газовыделения материала Eccosorb в условиях среднего вакуума и рассмотрение путей уменьшения данного негативного явления.

Представлена схема установки и проведения экспериментов (рис. 1). Вакуумный насос 1 (турбомолекулярная откачная станция Pfeiffer Vacuum HiCube) соединяется с откачиваемым объемом 6 (рабочим объемом) через трубопровод 2 с вакуумным краном 5. Вакуумная

система снабжена измерителем давления 7 (вакуумметром Thygacont VD83), подключенным к компьютеру для передачи показания давления во времени.

В качестве исследуемого образца был рассмотрен поглощающий материал Eccosorb, используемый в криогенной вакуумной технике в качестве фильтров-поглотителей, препятствующих распространению излучения внутри криостата и нагреву системы. На рисунке 1 справа представлена фотография образца.

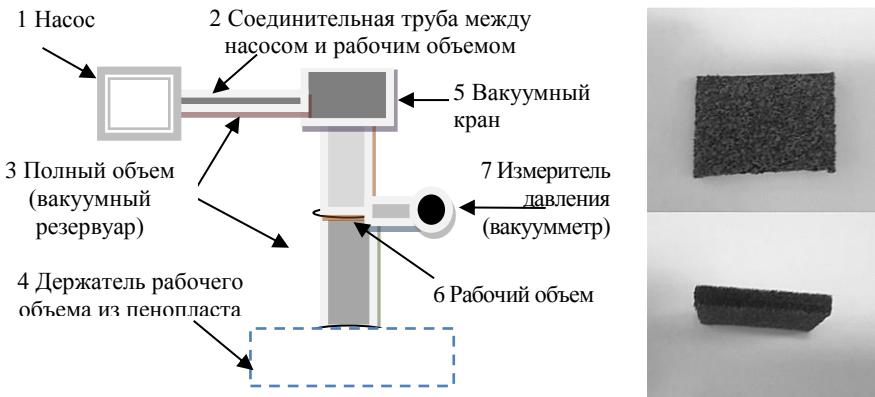


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и фотография исследуемого образца

Эксперимент был проведен следующим образом: исследуемый образец помещался в рабочий объем 6 (рис. 1), после чего осуществлялась откачка воздуха насосом до стационарного давления. Устанавливаемое в рабочем резервуаре давление составляло $1.5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}$ мбар. Затем вакуумный кран 5 закрывался и постоянная откачка рабочего объема прекращалась. Из-за процесса газовыделения давление в рабочем объеме увеличивалось на протяжении времени. Основную роль в этом процессе играет газовыделение исследуемого образца – газ с поверхности или изнутри вещества выделяется в рабочий резервуар.

На рисунке 2 представлена зависимость скорости газовыделения образца от времени для двух конфигураций рабочего резервуара различного объема: $V_1 = 22,46 \text{ см}^3$ и $V_2 = 11,69 \text{ см}^3$. В большем объеме газовыделение происходит медленнее, чем в меньшем. Для интересующей нас области среднего вакуума (давление от 10^{-3} до 10^{-2} мбар, момент времени от 0 до 15 сек) скорость газовыделения можно считать постоянной: примерно $4 \cdot 10^{-4}$ мбар/сек для объема V_1 и $8.5 \cdot 10^{-4}$ мбар/сек для

объема V_2 . При дальнейшем увеличении давления скорость газовыделения падает.

Рассмотрим уравнение Менделеева-Клапейрона для рабочих объемов V_1 и V_2 в момент времени t :

$$P_1 = n_1 kT; \quad n_1 = \frac{N_1}{V_1},$$

$$P_2 = n_2 kT; \quad n_2 = \frac{N_2}{V_2},$$

где $n_{1,2} = N_{1,2} / V_{1,2}$ – концентрация атомов (N – число молекул в объеме, V – давление в объеме), $k = \frac{R}{N_a}$ – постоянная Больцмана, $P_{1,2}$ – давление в объеме. Для обоих случаев процесс газовыделения образца одинаковый, то есть в каждый момент времени количество молекул газа, выделяемых с поверхности образца, одинаково и $N_1 = N_2 = N$. Кроме того, известно, что объем V_1 в два раза больше объема V_2 : $V_1 = V_2 \cdot 2$. В результате мы получаем:

$$P_1 = n_1 kT; \quad n_1 = \frac{N}{2V_2}, \quad P_2 = n_2 kT; \quad n_2 = \frac{N}{V_2}, \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{2}, \quad P_1 = \frac{P_2}{2}.$$

В каждый момент времени давление в объеме V_1 в два раза меньше, чем в объеме V_2 . Это означает, что скорость газовыделения также отличается в два раза для двух экспериментов. Мы можем сделать вывод: чем больше рабочий резервуар, тем медленнее увеличивается давление при газовыделении. При этом скорость газовыделения пропорциональна объему.

Представлена зависимость скорости газовыделения образца при различной длительности предварительной откачки (рис. 3). В данном эксперименте осуществлялась

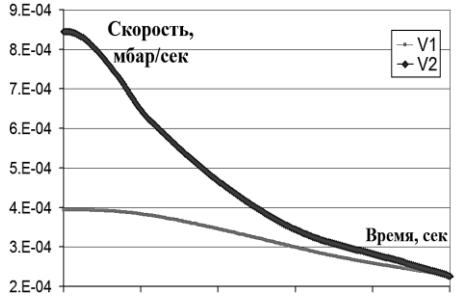


Рис. 2. Скорость газовыделения вещества для двух конфигураций рабочего резервуара V_1 и V_2

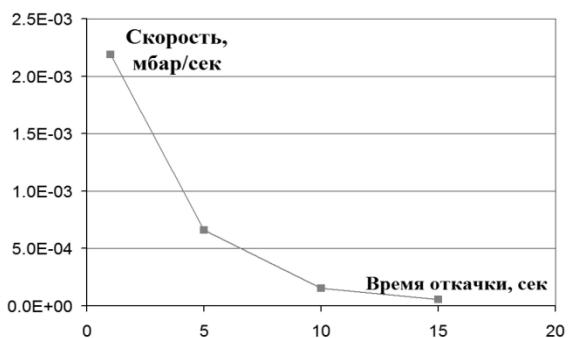


Рис. 3. Скорость газовыделения при различной длительности откачки

откачка воздуха из рабочего объема с образцом до предельно низкого значения, после чего насос работал дополнительное время. При дополнительной откачке объема в течение одной минуты скорость газовыделения была самой высокой по сравнению с пятью и десятью минутами откачки. Со временем откачки в образце остается все меньше молекул воздуха, поэтому скорость газовыделения уменьшается.

Заключение

В ходе исследовательской работы были рассмотрены особенности вакуумных насосов различных типов и методы измерения вакуума; для исследования процессов газовыделения собрана экспериментальная установка на основе турбомолекулярного насоса, вакуумметра и вакуумных резервуаров; исследована зависимость скорости откачки вакуумного резервуара от его объема; исследован процесс газовыделения образца поглотителя Eccosorb в зависимости от объема рабочего резервуара и длительности предварительной откачки.

Дальнейшее исследование будет направлено на поиск аналитической зависимости скорости газовыделения в зависимости от объема рабочего резервуара, длительности предварительной откачки, размера исследуемого образца. На основе полученной зависимости можно будет делать предсказания и давать рекомендации экспериментаторам для уменьшения влияния газовыделения на уровень вакуума в криогенных установках.

Литература

1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 320 с.
2. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов / Под ред. А.Г. Стромберга. – М.: Высш. шк., 2009. – 527 с.
3. Шеинин Е.П. Вакуумные технологии: учебное пособие. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2009. – 504 с
4. Laird: сайт [Электронный ресурс]. <http://www.eccosorb.com/products-eccosorb-hr.htm>

Создание установки для генерации капель дождя, расчет ее характеристик и предполагаемое применение

Ковалдов Дмитрий Алексеевич
11 класс, МБОУ СОШ 101, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Ю.А. Титченко,
младший научный сотрудник ИПФ РАН,



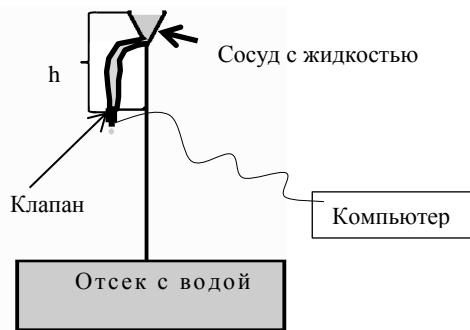
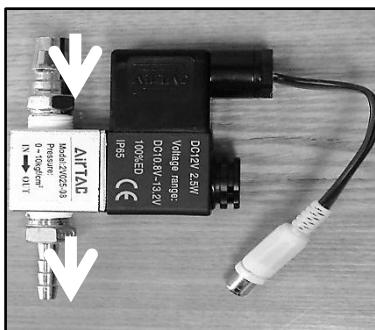
В работе предложен новый метод генерации капель для моделирования дождя в лабораторных условиях. Рассмотрена работа одного клапана и собраны статистические данные зависимости объема капли от параметров эксперимента. На основе полученных результатов будет создана установка, включающая несколько таких клапанов. Преимуществами предложенного метода является повторяемость эксперимента, контроль распределения объемов и скоростей выпадения капли, что позволяет значительно продвинуться в изучении влияния капель дождя на поверхностное волнение и рассеяние акустического и радиолокационного сигналов. Также в работе приведен способ использования данной установки для определения наличия пленок ПАВ на поверхности воды.

Одним из главных источников информации о поверхностном волнении в Мировом океане является спутниковая радиолокация. Информация о поле приповерхностного ветра и высоте волн по данным спутниковой радиолокации активно используется для составления прогнозов погоды и волнового климата. Однако спутниковые алгоритмы восстановления параметров поверхностного волнения и скорости ветра не «работают» во время дождя.

Дождь оказывает влияние на рассеяние СВЧ излучения за счет двух эффектов: рассеяния электромагнитных волн на падающих каплях в атмосфере и модификации отражающей водной поверхности упавшими каплями. В настоящее время не удалось количественно оценить влияние этих эффектов на характеристики отраженного излучения, что приводит к ошибкам традиционных спутниковых алгоритмов. В общепринятых подходах сложно задавать и контролировать распределение капель дождя по размеру и скоростям, сложно обеспечить повторяемость эксперимента.

В работе предложен новый способ генерации капель дождя с помощью установки, состоящей из клапана, контролируемого с компьютера, что позволяет повысить контролируемость и повторяемость экспериментов.

Для эксперимента был выбран клапан Airtac 2v025-08 [5]. Установка представляла собой отсек с водой, над которым расположен клапан, к которому сверху была подведена трубка. Над трубкой установлен сосуд с жидкостью, из которого вода поступала в клапан.



а – используемый клапан

б – рисунок экспериментальной установки

Рис. 1. Фотография используемого клапана и модель экспериментальной установки

Для исследования экспериментальной зависимости объема капель от задаваемых параметров на клапане, мы капали по 100 капель при определенных условиях. Опыты были проведены на шести высотах от 26 до 108,1 см и при шести временах открытия клапана от 10 до 35 мс. Результаты эксперимента представлены на графике (рис. 2).

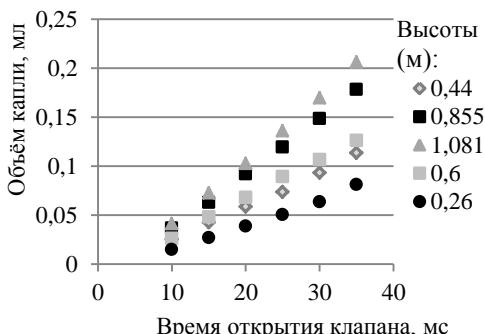


Рис. 2. Экспериментальная зависимость объема капли от времени открытия клапана при разных высотах столба жидкости над ним

Вычислив скорость вытекания капли из клапана: $v \cdot t \cdot \frac{\pi * d^2}{4} \Rightarrow v = \frac{4V_{\text{капли}}}{t * \pi * d^2}$, построили график (рис. 3), где d – диаметр отверстия, равный 2,5 мм, $V_{\text{капли}}$ – объем капли (м^3), $S_{\text{сечения}}$ – площадь отверстия клапана (м^2), v – скорость, с которой столб воды движется в трубке, а значит и скорость вытекания капли ($\text{м}/\text{с}$), t – время открытия клапана (с).

Мы сравнили полученные скорости с теоретической моделью, основанной на формуле Торричелли [4]: $v = \sqrt{2gh}$. Данная зависимость представлена на графике (рис. 4). Видно, что экспериментально посчитанная скорость всегда меньше теоретически предполагаемой. Объяснить это можно несколькими факторами, и прежде всего характером потока. Мы посчитали число Рейнольдса для исследуемых высот и сравнили его с критическим значением (значением, при котором ламинарный поток переходит в турбулентный) из таблицы.

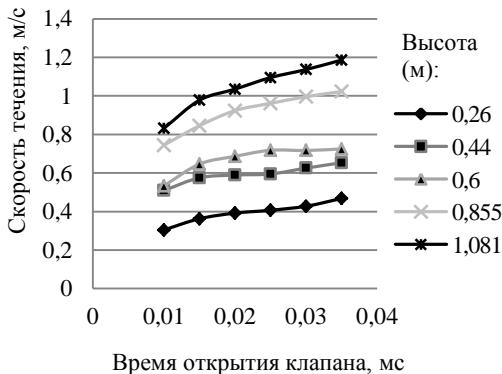


Рис. 3. Зависимость скорости вытекания капли от времени открытия клапана при разных экспериментальных высотах (26 – 108,1 см)

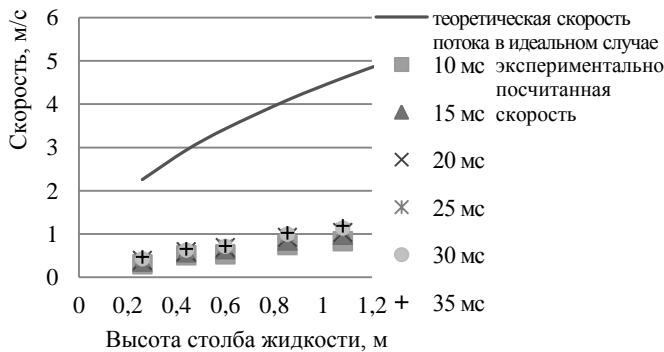


Рис. 4. Интерпретация теоретических и экспериментальных скоростей при различных параметрах эксперимента

Рассчитали критерий Рейнольдса: $Re = \frac{v*d}{\nu}$, где d – гидравлический диаметр, ν – кинематическая вязкость среды $\text{м}^2/\text{с}$, v – ранее посчитанная скорость по формуле Торричелли ($\text{м}/\text{с}$)).

Рассчитав все критерии для каждой из высот, визуализировали их на графике (рис. 5) вместе с критическим числом. Критерий Рейнольдса при использованных для опыта высотах значительно пре-

вышает критическое число, следовательно, поток турбулентный и его скорость заметно уменьшается. Наряду с этим, капля движется в клапане малого диаметра и, таким образом, можно выделить два главных фактора замедления потока: турбулентность и вязкость при столь малом диаметре клапана. Зная экспериментальную и теоретическую скорости, вычислили отношение этих величин (рис. 6). Очевидно, что чем больше время открытия клапана, тем меньше отношение, так как поток успевает разогнаться до большей скорости. А чем больше высота столба жидкости, тем быстрее разгон.

Следующим этапом работы стало использование установки для генерации волн ряби и детектирования наличия пленок ПАВ. В процессе загрязнения мирового океана вследствие антропогенных факторов или жизнедеятельности некоторых микроорганизмов на поверхности акваторий образуется пленка поверхностно-активных веществ. В работе предложен метод детектирования пленок ПАВ с использованием разработанной установки, основанный на свойстве пленок уменьшать амплитуду поверхностного волнения.



Рис. 5. Сравнение критического числа критерия Рейнольдса с экспериментальным критерием

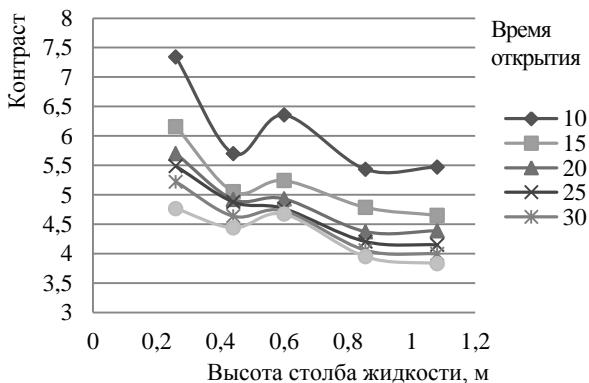


Рис. 6. Зависимость отношения теоретически посчитанной скорости к экспериментально измеренной при разных параметрах эксперимента

Для измерения поверхностного волнения был выбран струнный волнограф. Принцип его работы основан на зависимости легко измеряемого параметра, например, сопротивления, от длины надводной части. При прохождении волны меняется уровень воды в точке измерения, приводя к изменению сопротивления. Проводя измерения, получаем временную зависимость высоты волнения в точке измерения. При последующей обработке можно определить различные статистические характеристики поверхности и вычислить частотный спектр волнового процесса.

Для проверки экспериментальной установки мы рассмотрели спектры гравитационно-капиллярных волн от капель, выпавших из клапана при высоте столба жидкости 39 см и времени открытия 10 – 30 мс (рис. 7). Спектр высот у капель при большем времени открытия выше, чем у капель при меньшем времени открытия. Объясняется это тем, что по мере возрастания времени открытия клапана, капли становятся больше и несут в себе большую энергию.

В отсек с водой добавили растительное масло. По нашему предположению пленка должна была уменьшать спектр высот. Эксперимент проводился

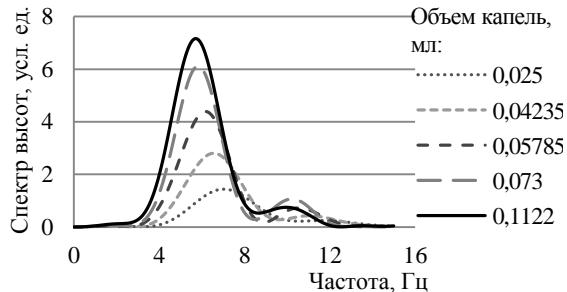


Рис. 7. Зависимость спектра высот от частот при высоте столба жидкости 39 см и времени открытия клапана 10 – 30 мс

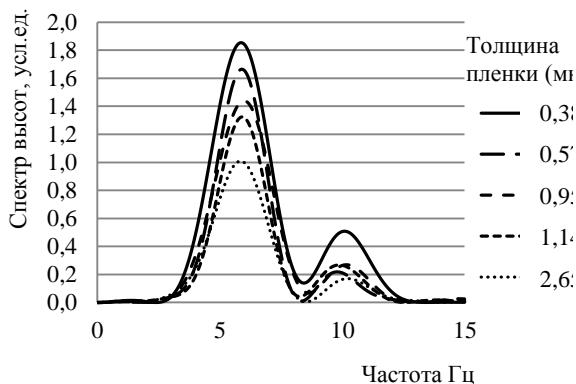


Рис. 8. Зависимость спектра высот от частоты при высоте столба жидкости 39 см и пленках различной толщины

при высоте столба жидкости 39 см и времени открытия клапана 20 мс (рис. 8). Как видно из графика, спектр высот становится меньше при увеличении толщины пленки. Это доказывает, что установку можно использовать для оперативного детектирования наличия разливов пленок на поверхности жидкостей.

Заключение

Использование управляемых с компьютера клапанов позволит в лабораторных условиях генерировать дождь с распределением размеров и скоростей, соответствующих естественному дождю, а кроме того обеспечит высокую повторяемость генерируемого дождя.

В результате проведенного исследования получены экспериментальная и теоретическая зависимости объема генерируемой капли от времени открытия клапана и высоты столба жидкости над клапаном. Набор статистических данных позволит нам в дальнейшем контролировать характеристики выпадающих капель дождя (интенсивность дождя и место падения капель), что значительно облегчит изучение изменения водной поверхности в условиях дождя.

Так же мы способны детектировать наличие пленок ПАВ на поверхности воды и в дальнейшем планируем создать прибор для оперативного мониторинга разливов пленок на поверхности водоемов, а также расчета их характеристик (толщины, качественного состава).

Литература

1. *Bliven L., Elfouhaily T.* Rain-Sea Interaction Facility description, Geoscience and Remote Sensing Symposium // IGARSS '95. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications, International, Firenze, 1995, V.1. P. 827 – 828.
2. *Braun N., Gade M., Lange P.A.* 1999b: Radar backscattering measurements of artificial rain impinging on a water surface at different wind speeds, Proceed. Intern. Geosci. Remote Sens. Sympos // (IGARSS) '99, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 200 – 202.
3. *Villermaux E., Bossa B.* Single-drop fragmentation determines size distribution of raindrops // Nature Physics. 2009, v. 5. P. 697 – 702.
4. *Неймарк Ю.И.* Математические модели в естествознании и технике: учебник. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И Лобачевского, 2004. – 401 с.
5. Fluid control valve (2/2way) [Интернет ресурс]. Airtac: сайт. <http://airtac.su/assets/2v.pdf>

Исследование процессов наномодификации материалов

Кочаровский Денис Владимирович
9 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.В. Афанасьев,
научный сотрудник ИПФ РАН



В работе двумя независимыми методами измерен показатель преломления материала с нановключениями. Указаны особенности экспериментальных методов определения показателя преломления, последовательный учет которых позволит сделать дальнейшие измерения более точными.

Материалы с включениями наночастиц проявляют уникальные физические свойства и оказываются полезными для многих практических приложений [1 – 3]. Такие материалы уже применяются в наисовременнейших бытовых устройствах (мониторы на квантовых точках), и данная область науки и техники стремительно развивается. Для создания более совершенных устройств электроники, фотоники и медицины необходима разработка новых материалов, содержащих различные наночастицы, например, наночастицы благородных металлов. Для некоторых устройств полезно иметь возможность размещать такие частицы в определенной области из исходно однородного материала.

Но на стадии изготовленияnanostructured materials необходимо быстрая диагностика среды путем измерения макроскопических параметров, поскольку проведение тонких исследований среды (электронная микроскопия или рассеяние рентгеновских лучей) является весьма затратным и долгим. Вместе с тем взаимосвязь микропараметров и макропараметров среды для таких материалов является еще не до конца изученной и представляет самостоятельный интерес.

Целью работы является применение разных методов определения показателя преломления среды и сравнение их.

Метод определения показателя преломления по отклонению луча лазера в призме

Исходя из [5], рассмотрим призму (клин) с двугранным углом при вершине 2ϕ . Пусть на нее слева падает узкий лазерный луч под углом α_1 (здесь и далее углы отмеряются от перпендикуляра, восстановленного в точке падения (рис. 1). Тогда, преломившись, луч войдет в призму под углом β_1 . Достигнув второй грани, луч упадет на границу

раздела сред под углом β_2 (эти углы могут быть и неравными), и далее, преломившись, покинет призму под углом α_2 .

Полный угол поворота луча от начального направления (угол отклонения) составит $\theta = \alpha_1 - \beta_1 + \alpha_2 - \beta_2$. Этот же угол поворота равен $\theta = \alpha_1 + \alpha_2 - 2\phi$. Отсюда имеем $2\phi = \beta_1 + \beta_2$. Углы падения и преломления связаны законом Снеллиуса: $\sin \alpha_1 = n \cdot \sin \beta_1$, $\sin \alpha_2 = n \cdot \sin \beta_2$.

Пусть нам известен угол x , который составляет луч внутри призмы с «горизонтальной» осью, перпендикулярной «вертикальной» оси симметрии призмы; тогда $\beta_1 = \phi - x$, $\beta_2 = \phi + x$, $\alpha_1 = \arcsin(n \cdot \sin(\phi - x))$, $\alpha_2 = \arcsin(n \cdot \sin(\phi + x))$. $\theta = \arcsin(n \cdot \sin(\phi - x)) + \arcsin(n \cdot \sin(\phi + x)) - 2\phi$. Функция четная по x , достигает наименьшего значения при $x=0$, что позволяет в экспериментах однозначно устанавливать призму.

Измерить показатель преломления в клине, содержащем наночастицы, можно с использованием геометрии минимального отклонения лазерного луча путем нахождения угла этого отклонения и угла клина.

Для этого нужно поворачивать призму и найти минимальный угол отклонения луча θ_0 , который, очевидно, соответствует значению $x=0$, когда входящий и выходящий лучи расположены симметрично относительно «вертикальной» оси симметрии призмы и $\beta_1 = \beta_2 = \phi$, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, так что $\theta = 2\alpha - 2\phi$. Выражая угол $\alpha = \theta_0 / 2 + \phi$, из закона Снеллиуса $\sin(\theta_0 / 2 + \phi) = n \cdot \sin \phi$, находим показатель преломления: $n = \sin(\theta_0 / 2 + \phi) / \sin \phi$.

Измерить двугранный угол призмы 2ϕ можно как полусумму углов отклонения двух частей пучка излучения лазера, направленного на вершину призмы (рис. 2). Используя полученные знания в эксперименте, измерив значения угла при вершине призмы $\phi = 10,5^\circ$ и минимального угла отклонения этой призмой: $\theta_0 = 10,8^\circ$, мы нашли показатель преломления исследуемой среды $n=1,51$ с погрешностью 1%. Указанная погрешность обусловлена погрешностью измерения углов ~1% путем измерения длин сторон соответствующих прямоугольных треугольников (включая расстояние от вершины призмы до экрана и

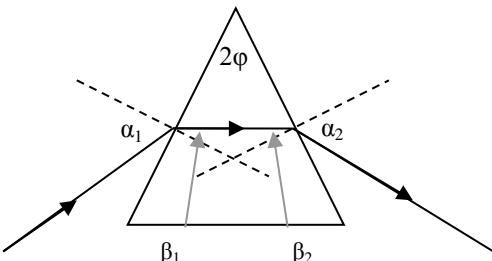


Рис. 1. Отклонение луча лазера в призме

длину смещения луча лазера по экрану, расположенному между лазером и призмой); она была найдена с использованием численных расчетов на основе указанной формулы для показателя преломления.

Метод определения показателя преломления по отражению от плоской границы двух сред

Измерения с помощью определителя мощности Thorlabs S302C (термодатчик) позволили найти мощность излучения для пучка лазера $P_0=186$ мВт и мощность излучения для пучка, отраженного от отполированной поверхности образца при почти нормальном падении: $P_1=8,6$ мВт. Коэффициент отражения R равен отношению мощности излучения отраженного пучка к мощности излучения пучка лазера: $R=(P_1/P_0) * 100\% = 4,6\%$.

Согласно формуле Френеля для нормального падения света [4, 5],

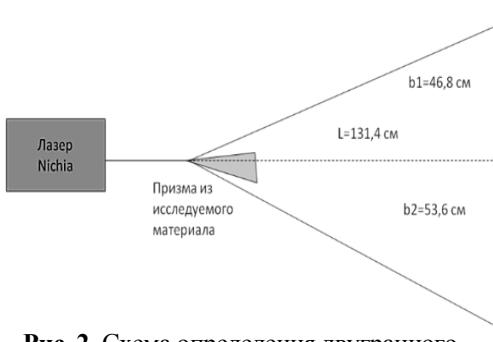


Рис. 2. Схема определения двугранного угла призмы как полусуммы углов отражения лазерного пучка от двух ее граней

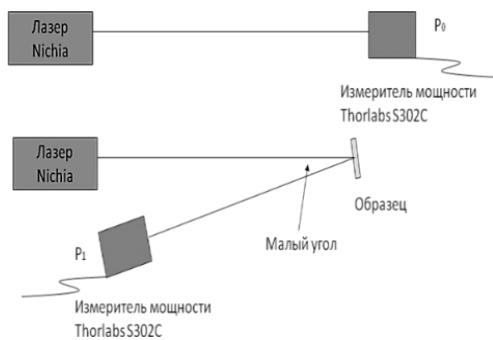


Рис. 3. Схема измерения мощности излучения лазера и мощности излучения, отраженного от поверхности образца

$R = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$ показатель преломления воздуха приближенно взят равным единице. $n = (1 + \sqrt{R}) / (1 - \sqrt{R})$. Подставив измеренный коэффициент отражения, получили значение $n=1,55$ с погрешностью $\sim 2\%$. Такая погрешность при отсутствии заметного поглощения излучения в образце определяется погрешностью изме-

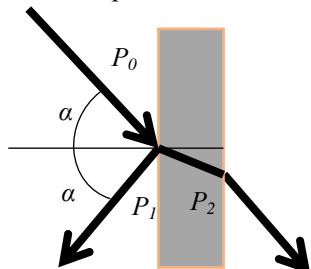


Рис. 4. Схема прохождения пучка излучения лазера через пластину исследуемой среды; P_0 , P_1 и P_2 – падающий, отраженный и прошедший пучки, α – угол падения, угол отражения

рения коэффициента отражения R и равна удвоенной погрешности измерения мощности ($\sim 1\%$ для каждой из величин P_0 и P_1).

Таблица. Сравнение методов определения показателя преломления

| По преломлению луча лазера в призме | По отражению от плоской границы двух сред |
|--|--|
| + не требуется очень качественная поверхность, допускается рассеяние | + образец может быть любой, была только плоская граница |
| + не требуются сложные измерительные приборы, достаточно линейки | + компактная установка |
| - большие габариты установки | - требуется точный измеритель мощности лазерного излучения |
| - требуется образец специальной формы (клип) | - нужна гладкая поверхность, зеркально отражающая |
| - требуется, чтобы поглощение в среде было небольшим | |

Выводы

Два использованных метода дали близкие значения показателя преломления исследованных образцов: первый – $n = 1,51 \pm 0,02$ и второй – $n = 1,55 \pm 0,03$.

В методе с преломлением луча лазера в клине нет необходимости в сложных измерительных приборах достаточно иметь линейку, а поверхность может быть, не очень гладкой; однако образец должен быть выточен точно в форме клина. Поглощение и рассеяние света в клине должны быть достаточно малыми, так как они не влияют на результат.

Для определения показателя преломления методом отражения образец может быть любой формы, но хотя бы с одной гладкой поверхностью высокого качества. Главное неудобство этого метода заключается в необходимости иметь точный измеритель мощности, обеспечивающий погрешность менее 1%. Рассеяние из-за некачественной поверхности приводит к завышению результата.

Применение использованных в работе методов и их совершенствование путем более точного учета особенностей отражения, поглощения (рассеяния) лазерного излучения в исследуемых образцах позволит улучшить определение оптических свойств материалов, содержащих наночастицы.

Литература

1. *Bityurin N., Alexandrov A., Afanasyev A., Agareva N., Pikanlin A., Sapogova N., Soustov L., Salomatina E., Gorshkova E., Tsverova N., Smirnova L.* Photo-

- toinduced nanocomposites – creation, modification, linear and nonlinear optical properties // Appl. Phys. 2013. A 112. P. 135 – 138.
2. Novotny L., Hetet B. Principles of Nano-Optics. – Cambridge. Cambridge University Press. 2008.
 3. Афанасьев А.В., Александров А.П., Мочалова А.Е., Агарева Н.А., Сапогова Н.В., Смирнова Л.А., Битюрин Н.М. Индуцированное ультрафиолетовым излучением изменение оптических свойств диэлектриков в инфракрасном диапазоне // Оптический журнал. 2011. № 8. С. 90 – 99.
 4. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
 5. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Наука. 1980. – 752 с.

Разработка чувствительного элемента детектора наличия флуорофора в биоткани

Краснокутский Артем Иванович
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель П.А. Шилягин,
старший научный сотрудник ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Разработано и создано устройство, позволяющее осуществлять визуализацию наличия излучения флуоресценции в определенном спектральном диапазоне и производить оценку интенсивности этого излучения по сравнению с опорным уровнем, определяемым для здоровой биологической ткани. Разработан алгоритм для выделения сигнала в условиях исследования реальной биологической ткани, характеризующейся высоким уровнем автофлуоресценции. Продемонстрирована функциональность устройства и программного комплекса в модельных экспериментах с использованием биологических и биоподобных сред, показана возможность обнаружения концентраций фотодитазина до 1/300 по отношению к начальной (5 мг/мл).

В современной медицине используются фотосенсибилизаторы – химические вещества, обладающие способностью поглощать излучение определенного спектра и преобразовывать это излучение в энергию химических реакций (терапия), либо переизлучать в виде света пониженной частоты (диагностика). Одним из наиболее востребованных применений фотосенсибилизаторов являются диагностика и терапия злокачественных новообразований, что обусловлено способностью тканей опухоли к накоплению красителя из-за особенностей обмена веществ. Частным случаем такого применения является использование фотосенсибилизаторов при проведении операций по удалению опухолей мозга. В этом случае фотосенсибилизатор выполняет преимущественно терапевтическую роль, позволяя хирургу уничтожать микроскопические фрагменты опухоли, неразличимые глазом. При этом возможность использования красителя в качестве вспомогательного контрастирующего агента, как правило, не рассматривается ввиду трудности обнаружения слабой флуоресценции красителя на фоне сильной автофлуоресценции тканей организма и общей засветки операционного поля, хотя это потенциально является источником важной информации. В операционных условиях затруднительно определить статус ткани, что критично для фраг-

ментов опухоли с размером около 1 мм. Для распознавания таких фрагментов удобно использовать флуоресцентные свойства фотосенсибилизаторов. Возникает необходимость осуществления аппаратного контроля уровня флуоресценции в исследуемой ткани.

Целью работы является разработка и создание устройства, позволяющего осуществлять визуализацию наличия излучения флуоресценции в определенном спектральном диапазоне и производить оценку интенсивности этого излучения по сравнению с опорным уровнем, определяемым для здоровой биологической ткани.

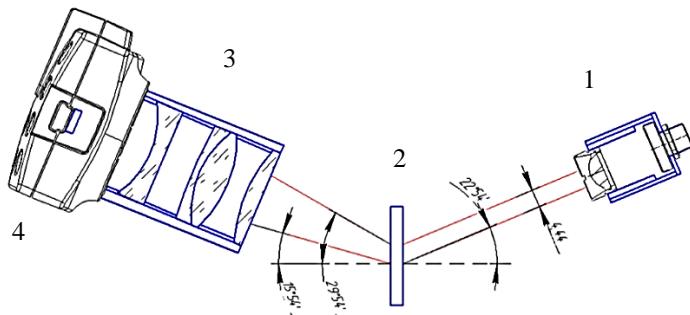


Рис. 1. Чертеж установки

1 – коллиматор состоит из втулки, линзы в корпусе, волоконного адаптора и «гильзы», 2 – дифракционная решетка, 3 – объектив состоит из корпуса, линз и втулок между ними, 4 – камера

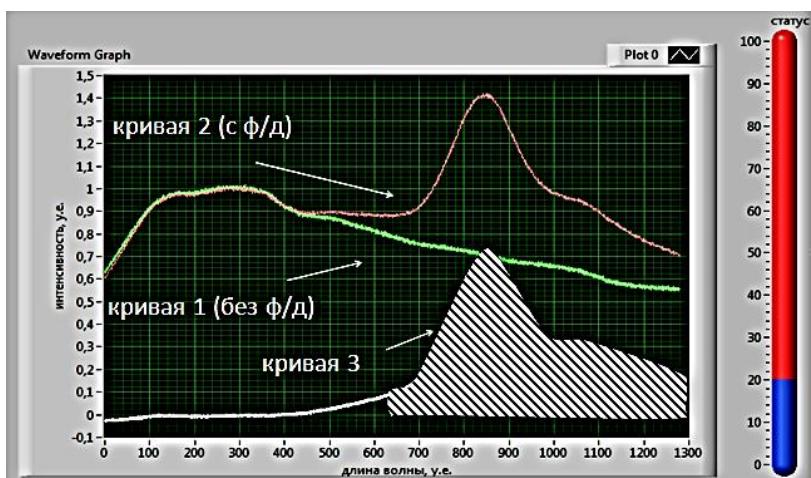


Рис. 2. Рабочее окно программы

Выделение сигнала флуоресценции осуществляется с использованием разработанного для этой цели спектрометра, спроектированного и изготовленного на базе дифракционной решетки (GT25-12) и камеры (DCC1545M). Анализируемое излучение подается в спектрометр через гибкий оптоволоконный зонд и коллиматор. Ширина полосы регистрации излучения спектрометра (определяется фокусным расстоянием объектива спектрометра и частотой штрихов дифракционной решетки) подобрана таким образом, чтобы полоса флуоресценции фотодитазина (препарата для ФДТ) занимала половину регистрируемого диапазона, что позволяет осуществлять автоматическую калибровку регистрируемых спектров и подавление автофлуоресценции биотканей.

Для выделения сигнала в условиях исследования реальной биологической ткани, характеризующейся высоким уровнем автофлуоресценции, был разработан алгоритм, предусматривающий полуавтоматическую калибровку устройства, заключающуюся в предварительной записи формы сигнала автофлуоресценции от образца ткани или среды, не содержащей фотосенсибилизатор. Далее проводилась нормализация полученных опорного и регистрируемого распределений на усредненное значение интенсивности света в каждом измерении, регистрируемого в области спектра, заведомо свободной от влияния фотосенсибилизатора. Опорное распределение (кривая 1) вычиталось из регистрируемого (кривая 2), в результате чего получалось распределение фотодитазина без примесей (кривая 3). Затем проводилась оценка общей интенсивности разностного распределения путем суммирования всех компонент разностного распределения, что эквивалентно нахождению площади под распределением фотодитазина без примесей.

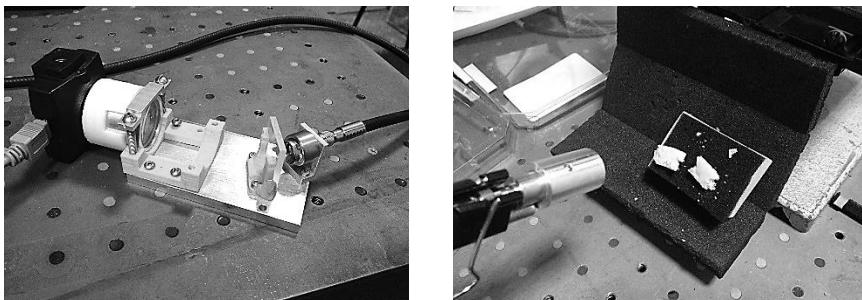


Рис. 3. Фотография устройства. Спектрометр, зонд и объект исследования

В результате работы алгоритма, реализованного в среде лабораторного программирования LabVIEW, пользователь имеет возмож-

ность оценить относительную величину интенсивности излучения флуоресценции, регистрируемого от того или иного образца ткани. Наличие полуавтоматической калибровки устройства позволяет учитывать возможное накопление фотосенсибилизатора здоровыми тканями и исключать его при последующем анализе.

Пригодность устройства и программного комплекса продемонстрирована в модельных экспериментах с использованием биологических и биоподобных сред, показана возможность обнаружения концентраций фотодитазина до 1/300 по отношению к начальной (5 мг/мл).

Основными преимуществами данного устройства перед имеющимися детекторами заключается в высокой скорости ответа – десять кадров в секунду, по сравнению с частотой «кадр в несколько секунд» у предыдущих разработок, что имеет огромное значение в условиях нейрохирургических операций, поскольку операционное поле остается чистым очень короткое время. Разработанное устройство также позволяет заглянуть за границу, которую видит операционный микроскоп, в складки и другие труднодоступные места, поскольку есть возможность изогнуть зонд. Это является важной особенностью, так как остальные устройства работают только в зоне прямой видимости. Также при необходимости прибор возможно перенастроить на другое флуоресцирующее вещество.

Литература

1. Булгакова Н.Н., Ягудаев Д.М., Сорокатый А.Е., Гейниц А.В. Маркова М.В. Изучение накопления фотосенсибилизатора Фотодитазин в гиперплазированной ткани предстательной железы человека // Физическая медицина. Т 15. № 2. 2005. С. 15 – 21.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Физматлит, 2005. – 792 с.
3. Характеристики дифракционной решетки GT25-12 [Электронный ресурс] <http://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=GT25-12>.
4. Характеристики камеры DCC1545M [Электронный ресурс] // https://www.thorlabs.com/newgroupage9.cfm?objectgroup_id=4024&pn=DCC1545M#5316.

Создание трехмерной модели захвата робототехнического комплекса и демонстрация его работы

Марьевичев Николай Евгеньевич,
8 класс, МБОУШ № 49

Научный руководитель И.Е. Вязанкина,
учитель физики МБОУШ № 49

В работе исследованы проблемы современных промышленных роботов, решение которых позволило бы значительно расширить сферу применения роботов-манипуляторов. Собрана модель фаланги схваты манипулятора с датчиками, решающими проблему выскальзывания предмета из захвата. Использована технология очувствления захвата посредством внедрения в конструкцию датчиков касания.



Подготовка к созданию модели манипулятора

Манипуляторы используют в довольно узких сферах, несмотря на то, что их удобно было бы применить, например, в супермаркетах для быстрого раскладывания товара по полкам. Но создать такой же совершенный механизм для манипуляций предметами, как человеческая рука, не так просто. Первое поколение промышленных роботов не способно было регистрировать взятие предмета, так как для этого нужны были специальные датчики. После появления второго поколения роботов-манипуляторов, которые обладали такими датчиками, появилась проблема выскальзывания, которую не решило и третье поколение промышленных роботов.

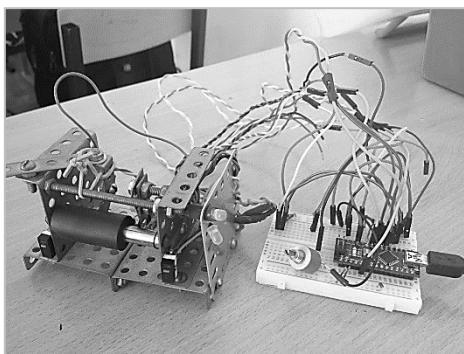


Рис. 1. Получившаяся модель

Почему так происходит? Когда предмет выскальзывает, он трется о схват, возникает вибрация, а в это время встроенный в корпус робота микрофон ловит звуки из окружающей среды. Контроллер манипулятора тщательно отсеивает все шумы от вибрации, что позволяет регистрировать выскальзывание предмета. Но такой вариант реше-

ния требует соблюдения тишины, что невозможно обеспечить на предприятиях. В итоге получается, что до сих пор одна из самых важных проблем в роботостроении не решена.

Цель работы – создание трехмерной модели фаланги захвата робототехнического комплекса с решением проблемы выскальзывания, а также демонстрация его работы. В работе были поставлены задачи: проектирование захвата, создание трехмерной модели фаланги захвата робототехнического комплекса, демонстрация работы модели манипулятора.

Как определяет человек выскальзывание из руки? Если потереть ладонь о стену, то можно построить примерно такую схему происходящего: верхние слои кожи тррутся о стену, немного отставая вследствие трения от более глубоких слоев, так как между ними имеется некое расстояние. Происходит растяжение тканей и связок, соеди-

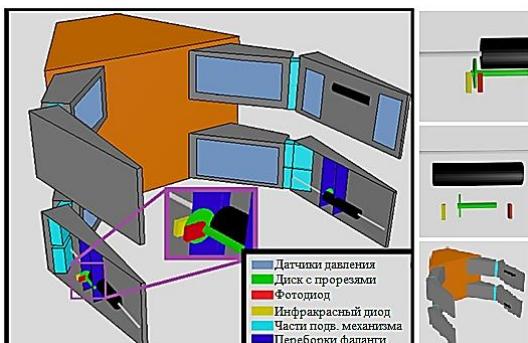


Рис. 2. 3D модель задуманной целой кисти манипулятора

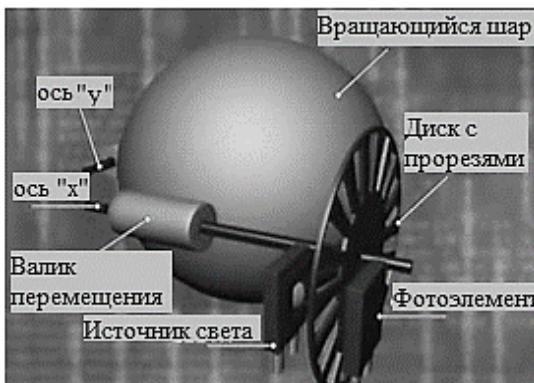


Рис. 3. 3D модель фотоворота компьютерной фаланги механической мышки

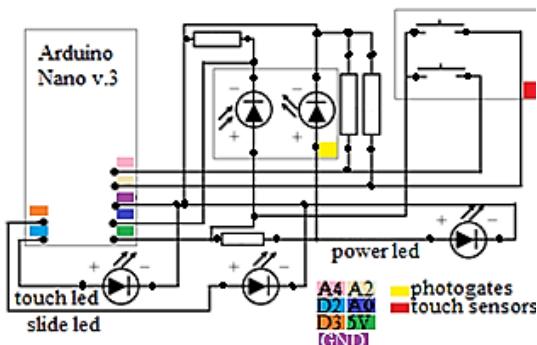


Рис. 4. Электрическая схема модели фаланги кисти манипулятора

няющих верхние и глубокие слои кожи, что приводит к возбуждению нервных окончаний. Так человек узнает, в какую сторону из его руки стремится двигаться предмет. Затем возникает вибрация из-за трения, так как связки и ткани не могут растягиваться вечно. Предмет трется о руку, организм это чувствует, а человек может определить, падает ли предмет. Подобной конструкцией должна обладать и кисть манипулятора. На руке кожа не может растягиваться бесконечно, а на манипуляторе такой процесс мы можем смоделировать, поставив валик (рис. 2).

Выпадая, предмет будет вращать валик, а он, в свою очередь, передаст эстафету незамысловатому датчику – фотовороту. Фотоворот раньше играл важную роль в компьютерных механических мышках. Устройство его несложное: это источник света, который светит в сторону фотоэлемента (приемника), а между ними стоит диск с прорезями. Когда стержень, на котором закреплен диск, вращается, свет светит то на фотоэлемент через прорезь, то на сам диск (рис. 3).

Приемник, реагируя на свет, изменяет сопротивление. Таким образом, можно определить по изменению количества света, попадающего на приемник, вращается ли валик. Чтобы модель могла понять, когда произошел условный захват предмета, в конструкцию были добавлены датчики касания. В качестве контроллера использовалась плата Arduino Nano v.3, поскольку она занимает мало места, подходит для решения логических задач и является одной из самых доступных плат. Электрическая схема, по которой собрана модель фаланги захватывающего устройства, представлена на рисунке 4.

Сборка модели и демонстрация работы

Для сборки модели использовались фотодиод, инфракрасный диод, кнопки, диск с прорезями, резисторы, железный конструктор. Все детали были частью старой механической компьютерной мыши, а резисторы – из старого магнитофона. В качестве корпуса был использован железный конструктор. Собранный модель представлен на рисунке 1.

Для демонстрации работы созданной модели необходимо было подключить через совместимый USB-mini USB кабель плату к компьютеру, так как мы использовали обратную связь платы с компьютером для осуществления замеров. Так как Arduino Nano v.3 использует в качестве источника питания напряжение в 5V, то питать ее можно от кабеля зарядки сотового телефона, при загрузке на плату необходимой программы. Через несколько секунд после включения, отведенных для загрузки, в обоих вариантах программа начнет работу. Написанная нами программа действует следующим образом (рис. 5).

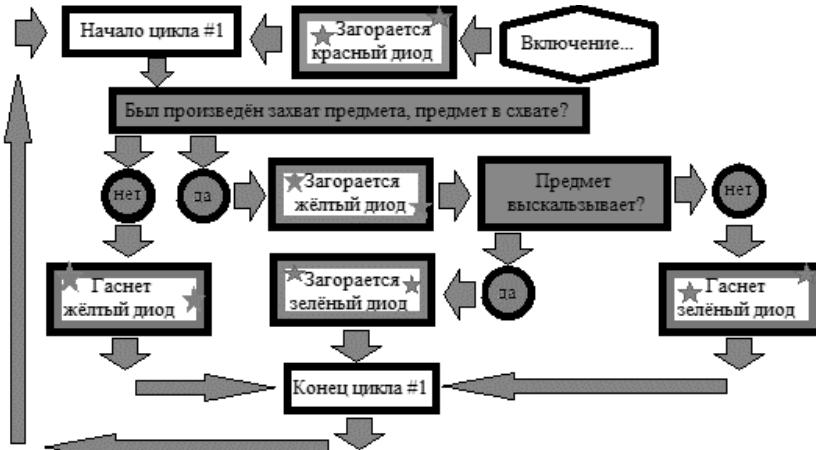


Рис. 5. Алгоритм, по которому действует модель фаланги манипулятора

Нам удалось решить проблему выскользывания предмета из захвата уструйства, хотя предложенная технология еще недостаточно совершенна. Усовершенствовать созданную модель планируется посредством добавления в конструкцию рельс, на которые будут помещены валик и фотоворот, что даст возможность активно передвигаться валику, выходя из фаланги или погружаясь в нее. Так же валик с фотоворотом могут быть заменены на металлический намагниченный шарик и датчик, улавливающий магнитные поля.

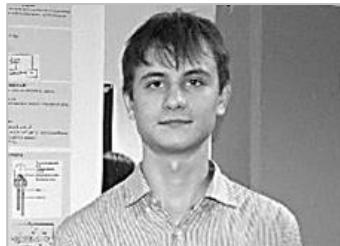
Литература

1. Пашенко В.Н., Романов А.В., Артемьев А.В., Орехов С.Ю. Решение прямой задачи кинематики для трехступенчатого манипулятора параллельной структуры на базе кривошипно-шатунного механизма // Наука и образование. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана [Электронный ресурс]. <http://technomag.bmstu.ru/doc/818639.html>
2. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. <http://www.ngpedia.ru/id153645p1.html>
3. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. <http://mash-xxl.info>

Исследование электролюминесценции гибридных лазерных структур на кремнии

Морозов Святослав Сергеевич
11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

**Научный руководитель К.Е. Кудрявцев,
научный сотрудник ИФМ РАН**



Интеграция оптических каналов передачи данных в современную кремниевую микроэлектронику позволит существенно увеличить скорость вычислительных устройств. Приборная база, необходимая для решения данной задачи, достаточно хорошо развита за одним, решающим, исключением. В настоящее время не существует источников излучения, совместимых с кремниевой технологией, излучающих в области прозрачности кремния и обладающих достаточной эффективностью, и реализуемых в рамках промышленного производства. В данной работе изучены излучательные свойства лазерных диодов, сформированных на основе гибридных лазерных структур InGaAs/AlGaAs/GaAs/Ge/Si, получена лазерная генерация в непрерывном режиме при температуре 77 К и в импульсном режиме при температуре 300 К. Результат показывает перспективность структур данного типа для интегральной кремниевой оптоэлектроники.

Современная микроэлектроника построена преимущественно на базе кремния и совместимых с ним материалов. Кремний является непрямозонным полупроводником, что определяет малый темп излучательной рекомбинации носителей заряда и, соответственно, низкую интенсивность люминесценции кремниевых структур по сравнению с прямозонными. Одним из самых перспективных подходов к созданию «кремниевой» оптоэлектроники является создание гибридных структур; при этом на кремнии эпитаксиально выращиваются прямозонные светоизлучающие структуры, например, на основе соединений A3B5.

В нашей работе были получены и проанализированы спектры электролюминесценции (ЭЛ) гибридных структур InGaAs/AlGaAs/GaAs/Ge/Si (A3B5/Si). Схема исследуемого образца приведена на рисунке 1. На предварительно подготовленную Ge/Si подложку последовательно меетodom газофазной эпитаксии осаждались буферный слой GaAs, волноводные (и одновременно контактные) слои AlGaAs, и заключенный между ними активный слой GaAs с квантовыми ямами (КЯ) InGaAs.

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 2. В ходе эксперимента через структуру Al₃B₅/Si, закрепленную на штативе, пропускался ток. Измерения проводились при импульсной накачке с целью избежать перегрева образца. Для формирования импульсов накачки применялся генератор импульсов ГЗ-112. Частота следования импульсов тока составила 400 Гц, а длительность импульсов варьировалась в диапазоне 1 – 100 мкс. Излучение исследуемого образца анализировалось с помощью решеточного монохроматора МДР-23 и регистрировалось фотоприемником на основе InGaAs. Сигнал с приемника подавался на синхронный детектор (Unipan-232), что позволило улучшить отношение «сигнал/шум» в получаемых спектрах.

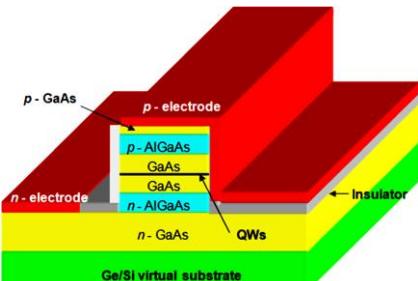


Рис. 1. Схема исследуемой гибридной структуры

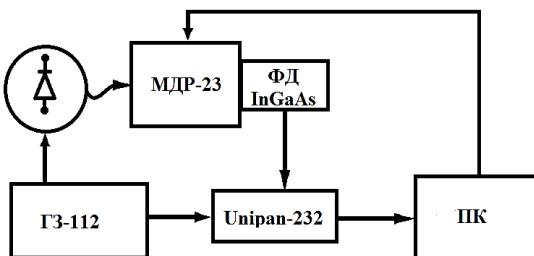


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

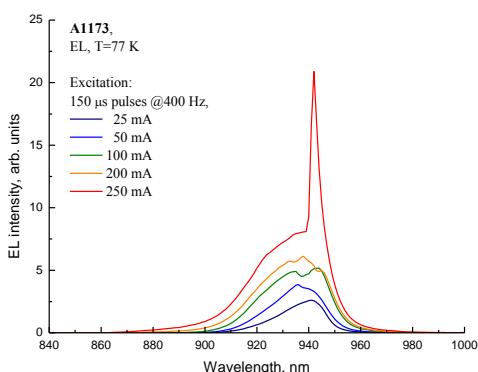


Рис. 3. Спектры ЭЛ гибридной структуры /InGaAs/AlGaAs/GaAs/Ge/Si, измеренные при температуре 77 К при импульсной накачке

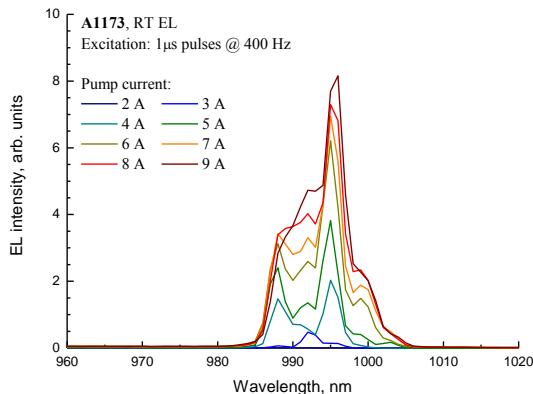


Рис. 4. Спектры ЭЛ гибридной структуры InGaAs/AlGaAs/GaAs/Ge/Si, измеренные при температуре 300К при импульсной накачке

Спектры ЭЛ исследуемого образца, измеренные при температуре жидкого азота, приведены на рисунке 3. При увеличении тока накачки на фоне относительно широкой линии спонтанного излучения наблюдается, по достижении некой пороговой плотности тока, возникновение узкого пика стимулированного излучения. Аналогичные спектры, измеренные при комнатной температуре, приведены на рисунке 4. В этом случае лазерная генерация также достигается, однако при значительно (на порядок) большей величине тока накачки.

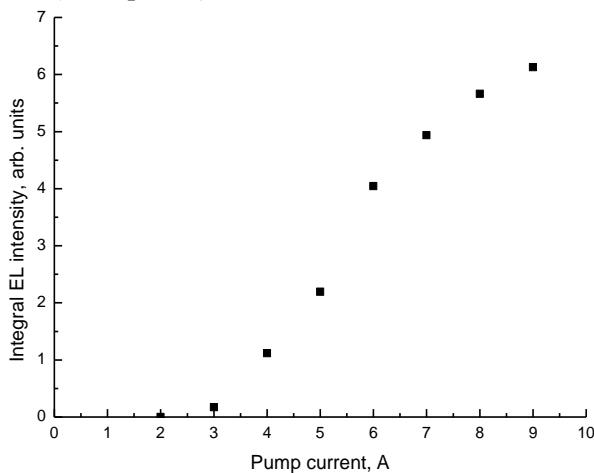


Рис. 5. Зависимость интегральной интенсивности ЭЛ от тока накачки, измеренная при температуре 300К

При температуре жидкого азота лазерная генерация достигается на длине волны $\lambda \sim 945$ нм, а при комнатной температуре на длине волны $\lambda \sim 995$ нм. При этом пороговая плотность тока, необходимая для возникновения стимулированного излучения, составила, в пересчете на площадь образца, величину ~ 450 А/см² при T= 77К и ~ 5.5 кА/см² при T=300 К. Зависимость интегральной интенсивности ЭЛ от тока накачки (измерена при температуре 300 К) приведена на рисунке 5. Величина порогового тока, при которой возникает стимулированное излучение при комнатной температуре, достаточно велика. Это затрудняет возможность практического применения подобных лазерных структур.

При температуре жидкого азота пороговая плотность тока невелика. Это позволило в следующем эксперименте реализовать лазерную генерацию при непрерывной накачке и измерить реальную ширину линии лазерной генерации с помощью фурье-спектрометра высокого разрешения, работающего в режиме непрерывного сканирования. Приведены спектры ЭЛ, измеренные при различных токах накачки до начала лазерной генерации (20 mA), и после достижения порога, составляющего ~ 240 mA (рис. 6). Ширина линии стимулированного излучения составила ~ 0.32 см⁻¹, что соответствует ~ 0.04 мэВ.

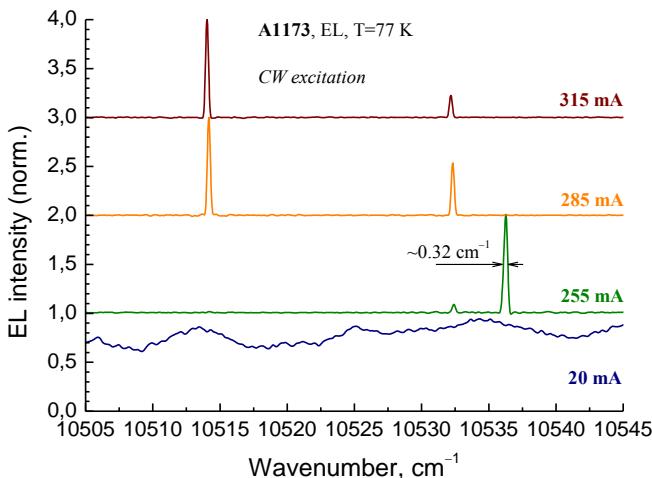


Рис. 6. Спектры люминесценции и лазерной генерации гибридной структуры AlGaAs/InGaAs/GaAs/AlGaAs/Ge/Si при постоянной накачке

Отметим следующее обстоятельство. В исследуемом образце были выращены 3 КЯ, обеспечивающие оптическое усиление. Эти КЯ несколько различны по составу и ширине, а значит и оптическим свойствам. При незначительном превышении порога генерации (спектр, измеренный при токе 255 мА) вклад в оптическое усиление дает фактически только одна КЯ, при этом наблюдается наиболее длинноволновая линия генерации. По мере увеличения тока накачки «включаются» и остальные, более коротковолновые КЯ. Это приводит к смещению «суммарного» спектра усиления в коротковолновую область и выражается в виде соответствующих «перескоков» основной линии генерации.

Рассмотренные в ходе работы гибридные структуры Al₃B₅/Si имели намного большую интенсивность излучения по сравнению с ранее исследованными светоизлучающими структурами с нанострочками Ge/Si, реализующими непрямые оптические переходы. В исследованных гибридных структурах удалось реализовать лазерную генерацию в непрерывном режиме при температуре жидкого азота. Большая величина порогового тока не позволяет реализовать лазерную генерацию в непрерывном режиме при комнатной температуре, а получаемое лазерное излучение является слишком коротковолновым, не попадая в область прозрачности кремния. Для устранения этих недостатков требуется совершенствование технологии роста гибридных структур InGaAs/AlGaAs/GaAs/Ge/Si с тем, чтобы добиться меньшего количества дефектов и реализовать структуры с большей долей In в составе квантовых ям. Также в перспективе возможно применение структур с квантовыми точками InGaAs, что позволяет добиться больших длин волн излучения за счет понижения уровня размерного квантования.

Литература

1. Aleshkin V.Ya., Baidus N.V., Dubinov A.A., Fefelov A.G., Krasilnik Z.F., Kudryavtsev K.E., Nekorkin S.M., Novikov A.V., Pavlov D.A., Samartsev I.V., Skorokhodov E.V., Shaleev M.V., Sushkov A.A., Yablonskiy A.N., Yunin P.A., Yurasov D.V. Monolithically integrated InGaAs/GaAs/AlGaAs quantum well laser grown by MOCVD on exact Ge/Si (001) substrate. – Applied Physics Letters 109, 061111 (2016).

Исследование временного сжатия лазерных импульсов при вынужденном рассеянии Мандельштама – Бриллюэна

Розенталь Сусанна Романовна
8 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель: А.А. Кузьмин,
научный сотрудник ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Создана установка для исследования временного сжатия лазерных импульсов при вынужденном рассеянии Мандельштама – Бриллюэна (ВРМБ) в жидком перфтороктане. Исследована компрессия импульсов длительностью 16 нс при диаметре пучка 30 мм. Максимальный коэффициент сжатия составил 28 в оптимальном интервале энергии лазерного импульса от 2 до 4 Дж. Мощность стоксовых импульсов примерно в 10 раз превысила мощность исходных лазерных импульсов. Исследован джиттер – уровень флуктуаций времени выхода стоксова импульса из компрессора. Среднеквадратичное отклонение этих флуктуаций составило 855 пс.

Основой работы является проблема увеличения мощности импульсов на выходе лазерных систем, работающих вблизи порога оптического пробоя элементов. Решение данной проблемы крайне актуально для большинства существующих лазерных комплексов и, в частности, имеет большое значение для лазера накачки петаваттного параметрического комплекса PEARL, созданного в ИПФ РАН [2]. Лазер накачки состоит из Nd:YLF задающего генератора и много-каскадного усилителя на неодимовом стекле с апертурой стержневых активных элементов до 100 мм на последних каскадах усиления [4]. Энергия импульсов на выходе лазера накачки достигает 300 Дж при их длительности в 1 нс (длина волны 1054 нм). Именно такая длительность необходима для использования данных импульсов после удвоения их частоты при накачке параметрических усилителей чирпированных импульсов. Поскольку усиливаемые фемтосекундные импульсы перед попаданием в параметрический усилитель могут быть растянуты во времени за счет линейной модуляции частоты (чирпирования) до уровня порядка 1 нс (определяется размерами дифракционных решеток стретчера и компрессора). Длительность импульса накачки, энергия которого передается усиливаемому импульсу, должна составлять также порядка 1 нс. Перекачка энергии

происходит в нелинейном кристалле DKDP только при пересечении импульса накачки и chirпированного фемтосекундного импульса во времени. Таким образом, необходимость работы с короткими (1 нс) импульсами накладывает ограничение на энергию импульсов лазера накачки – она не может превышать 300 Дж при апертуре 100 мм, иначе начнется оптический пробой элементов лазера. Порог пробоя по энергии определяется длительностью импульса, поэтому, например, для 16 нс импульсов энергия, при которой лазер накачки может безопасно работать, составляет 1200 Дж. Для решения обозначенной выше проблемы мы предложили усиливать в лазере накачки импульсы большей длительности (16 нс), а затем на выходе сжимать их в специальном компрессоре, основанном на эффекте вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) [3].

Цель работы – создание ВРМБ-компрессора и осуществление на нем эффективного сжатия импульсов лазера на неодимовом стекле с уровня в несколько десятков наносекунд до одной наносекунды.

Экспериментальная установка

Для экспериментов по сжатию импульсов нами была создана установка, схема которой изображена на рисунке 1. Она включала в себя лазер на неодимовом стекле (1), ВРМБ-компрессор (8) – кювету длиной 3 м и диаметром 35 мм, заполненную специальной нели-

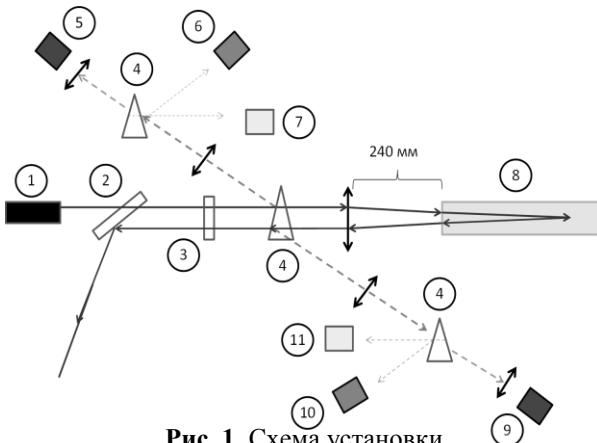


Рис. 1. Схема установки

нейной жидкостью (перфтороктаном [1]), поляризатор (2) и четвертьволновую пластинку (3) для оптической развязки излучения на входе и выходе компрессора, линзу для фокусировки лазерного пучка в кювету и систему диагностики для лазерного и стоксова импульсов: стеклянные клинья (4) по 4% отражения от каждой грани, CCD камеры для измерения распределения интенсивности в лазерном и стоксовом пучках (5 и 9 соответственно), фотодиоды для измерения энергии

лазерного и стоксова импульсов (6 и 10), быстрые диоды с временным откликом около 100 пс для измерения формы лазерного и стоксова импульсов (7 и 11). Диаметр пучка на выходе лазера составлял 33.5 мм по уровню интенсивности $1/e^2$ от максимума, линза перед кюветой имела фокусное расстояние в воздухе 2318 мм и была установлена на расстоянии 240 мм от входа в кювету. Таким образом, диаметр лазерного пучка на входном окне кюветы составлял 30 мм, а фокальная перетяжка находилась на расстоянии $Z_\phi = 2635$ мм от этого окна (показатель преломления перфтороктана $n = 1.268$). Лазерные импульсы на входе в кювету имели длительность $t_\text{r} = 16$ нс по полувысоте. Необходимое для осуществления ВРМБ-компрессии условие $Z_\phi > c \cdot t_\text{r} / (2n)$ [3], где c – скорость света в вакууме, было выполнено.

Результаты экспериментов

В ходе наших экспериментов энергия лазерных импульсов находилась в диапазоне от 0 до 8.5 Дж. Процесс ВРМБ – нелинейный и носит пороговый характер. При энергии лазерного импульса порядка 17 мДж коэффициент отражения ВРМБ-кюветы составлял 4.2%, при увеличении энергии наблюдался рост коэффициента отражения и насыщение, приближаясь к уровню 95% при энергиях больше 1 Дж. Процесс рассеяния начинается в области наибольшей интенсивности лазерного излучения, то есть вблизи фокальной перетяжки. Именно там зарождается стоксов импульс и, распространяясь навстречу лазерному импульсу, отбирает в себя энергию последнего.

Представлена зависимость длительности стоксова импульса по полувысоте от энергии лазерного импульса (рис. 2). На пороге ВРМБ (коэффициент отражения равен 5%) она составляла около 5 нс. При

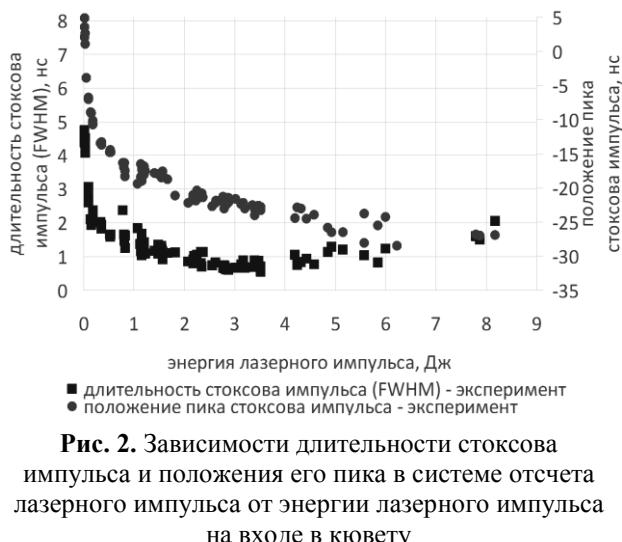


Рис. 2. Зависимости длительности стоксова импульса и положения его пика в системе отсчета лазерного импульса от энергии лазерного импульса на входе в кювету

росте энергии лазерного импульса длительность стоксова импульса уменьшалась. Наибольший коэффициент компрессии, равный 27.7, был достигнут в интервале энергий от 2 до 4 Дж. Минимальная измеренная длительность стоксова импульса составила 0.56 нс.

Представлены осциллограммы лазерного и стоксова импульсов при энергии лазерного импульса 3.5 Дж, когда была измерена наименьшая длительность стоксова импульса (рис. 3). Отметим,

что в основном пике стоксова излучения находилось примерно 50% энергии. Остальная энергия была сосредоточена в постимпульсах на хвосте. От данных постимпульсов можно избавиться, увеличив длину ВРМБ-куветы, что приведет к увеличению длины взаимодействия лазерного и стоксова импульсов и улучшит перекачку энергии в основной стоксов пик.

При увеличении энергии лазерного импульса от 4 Дж и выше наблюдалось уменьшение степени сжатия. Нарастающий эффект экранировки фокальной перетяжки объемной гиперзвуковой решеткой приводил к уменьшению длины взаимодействия лазерного и стоксова импульсов. Область эффективного рассеяния сдвигалась к входному окну кюветы. Это приводило не только к увеличению длительности основного стоксова импульса, но и к росту хвоста, который при энергии около 8 Дж напоминал по форме падающий лазерный импульс, и содержал в себе практически всю энергию рассеянного излучения.

Важным аспектом исследуемого процесса ВРМБ-компрессии является случайность времени выхода стоксова импульса из кюветы при одинаковых параметрах лазерного импульса. Для использования скомпрессированного импульса в качестве накачки параметрического усилителя фемтосекундных импульсов

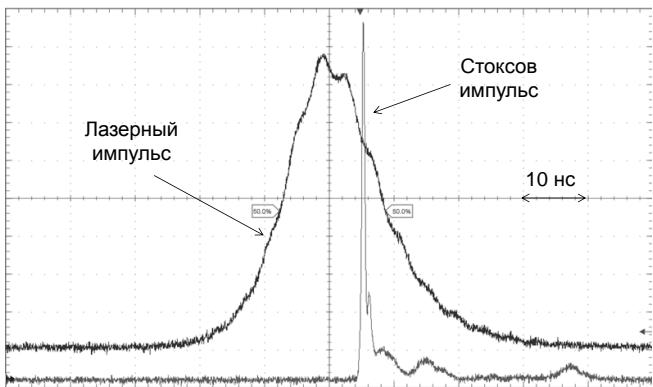


Рис. 3. Осциллограмма лазерного и стоксова импульсов в режиме наилучшей компрессии

необходимо обеспечить стабильную синхронизацию данного импульса с фемтосекундным в параметрическом кристалле. Мы исследовали джиттер – случайное отклонение от среднего значения времени выхода стоксова импульса из компрессора, вызванное шумовой природой начала развития процесса ВРМБ. О величине таких отклонений можно судить по изображенной зависимости положения пика стоксова импульса в системе отсчета лазерного импульса (рис. 2), где за «ноль» принят момент времени, который делит лазерный импульс по энергии на две равные части.

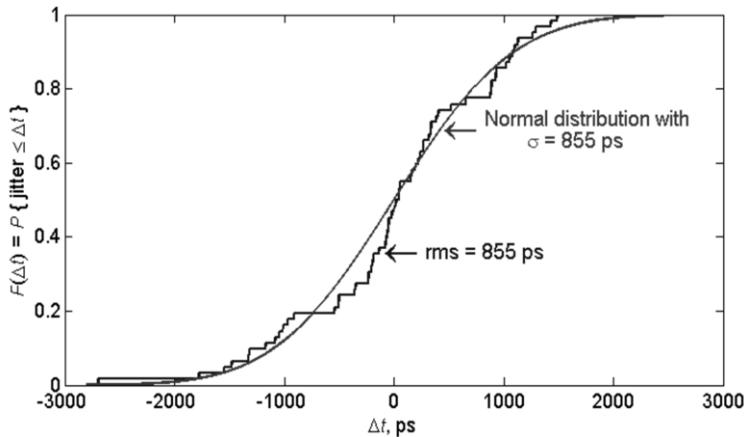


Рис. 4. Функция распределения для джиттера

По результатам наших экспериментов была найдена функция распределения для джиттера (рис. 4). Ступенчатая линия построена по результатам эксперимента, гладкая линия – аппроксимация экспериментальных данных нормальным распределением. Мы утверждаем, что наиболее вероятными являются флуктуации времени выхода стоксова импульса из кюветы величиной до 855 пикосекунд.

Выводы

Создан экспериментальный стенд для осуществления ВРМБ-компрессии лазерных импульсов в жидком перфтороктане. Длина ВРМБ-куветы составила 3 м при диаметре 35 мм.

Определен оптимальный диапазон энергий лазерного импульса, в котором достигаются наибольшая степень сжатия (27.7 раз) и наилучшая эффективность перекачки энергии в короткий стоксов импульс (~50%). При длительности лазерного импульса 16 нс по по-

лувысоте минимальная длительность стоксова импульса составила 0.56 нс. Пиковая мощность стоксова импульса примерно в 15 раз превысила мощность лазерного импульса.

Обусловленное шумовой природой ВРМБ среднеквадратичное отклонение времени выхода стоксова импульса из кюветы составило 855 пс. Данный уровень флуктуаций неприемлем при использовании коротких стоксовых импульсов в качестве накачки параметрических усилителей чирпированных импульсов, поскольку импульс накачки и усиливающий чирпированный фемтосекундный импульс должны полностью перекрываться во времени в параметрическом кристалле, так как длительности этих импульсов составляют примерно 1 нс, то точность синхронизации должна быть не хуже 100 пс. Для достижения такой точности требуется модернизировать созданный стенд, перейдя к многокюветной схеме компрессии импульсов.

Литература

1. *Hidetsugu Yoshida*. Heavy fluorocarbon liquids for a phase-conjugated stimulated Brillouin scattering mirror // Applied optics. 1997. V.36. Is.16. P. 3739 – 3744.
2. *Lozhkarev V.V.* Compact 0.56 petawatt laser system based on optical parametric chirped pulse amplification in KD*P crystals // Laser physics letters. 2007. V.4. P.421 – 427.
3. *Горбунов В.А.* Моделирование ВРМБ-усилителя в режиме компрессии импульсов // Известия АН СССР. 1991. Т.55. № 2. С. 212 – 218.
4. *Шайкин А.А., Кузьмин А.А., Шайкин И.А., Бурдонов К.Ф., Хазанов Е.А.* Лазер на стержнях из неодимового стекла с выходной энергией 500 Дж // Квантовая электроника. 2016. Т.46. № 4. С. 371 – 374.

Исследование зависимости эффективности электрических водонагревателей от их конструктивных характеристик

Санина Анастасия Анатольевна
7 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.А. Смирнов,
учитель физики МБОУ Лицей № 40



Экспериментально исследована эффективность электрической водонагревательной системы в зависимости от ее конструктивных параметров, даны количественные оценки степени влияния конструкции системы на ее эффективность, обоснованы и сформулированы требования к оптимальной конструкции нагревателя.

В современных устройствах для нагрева воды используется электроэнергия или сжигание природного газа. Нагревание с помощью магистрального газа дешевле, чем с помощью электроэнергии [5]. Однако во всех странах имеются регионы, не покрываемые газопроводами [4]. Это значит, что многие регионы до сих пор не имеют надежных альтернатив электрическим водонагревателям для базовых нужд.

Цель работы – исследование эффективности электрического водонагревателя в зависимости от его конструктивных особенностей.

В ходе выполнения работы предполагалось экспериментальное измерение эффективности различных нагревателей; по результатам измерений получение количественной оценки степени влияния конструкции нагревателя на его эффективность; выявление и формулировка требования к оптимальной конструкции нагревателя.

Отметим, что некоторые конструктивные требования (например, наличие крышки или теплоизоляция стенок сосуда) являются «почти очевидными» или широко известны из житейской практики. Однако они «очевидны» или «известны» лишь качественно, тогда как нашей задачей было получение количественной оценки влияния различных факторов на потери энергии.

Эффективность различных нагревателей оценивалась по экспериментальному измерению коэффициента полезного действия (КПД). Работа проводилась по следующей методике: были изготовлены алюминиевые сосуды одинаковой массы (около 200 г) и различной конструкции. В каждом сосуде нагревался фиксированный объем воды (500 мл) от температуры 29°C (комнатная) до 70°C. В

качестве нагревательного элемента использовали электрокипятильник с известной потребляемой от сети мощностью 700 Вт. Измерялось время нагрева в каждом из сосудов.

КПД нагревательной установки вычислялся следующим образом:

$$\eta = \left(\frac{Q_{\text{нол}}}{Q_{\text{запр}}} \right) \cdot 100\% ; \text{ где } Q_{\text{нол}} = m \cdot (T_1 - T_2) \cdot c; \quad (1)$$

$Q_{\text{запр}} = P \cdot \tau; Q_{\text{нол}}$ – количество теплоты, которое получает вода при нагревании от температуры T_1 до температуры T_2 , c – удельная теплоемкость воды, $c = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \times ^\circ\text{C})$; m – масса воды, кг; $Q_{\text{запр}}$ – тепловая энергия, которая выделяется нагревателем за время τ (с); P – электрическая мощность (Вт), потребляемая нагревателем от сети [1].

В ходе работы были измерены КПД девяти различных нагревательных установок, по четыре повторных измерения с каждой. Установки отличались наличием-отсутствием крышки и теплоизоляции, расположением нагревателя по высоте сосуда, диаметром сосуда относительно размера нагревательного элемента.

Дополнительно был опробован способ получения нагретой воды путем смешивания горячей воды с водой комнатной температуры.

Методика нагрева способом смешивания заключалась в следующем. Заранее отмеренные 500 мл воды при температуре 29°C разделили на две части (400 мл и 100 мл), одну из которых оставили при комнатной температуре, а другую нагревали. Для нагревания использовали нагревательную систему с самым высоким КПД. Измеряли время нагрева τ , затем обе части воды смешивали и измеряли температуру смеси $T_{\text{смеси}}$.

Из уравнения теплового баланса можно вычислить температуру смеси $T_{\text{смеси}}$ [3]:

$$T_{\text{смеси}} = \frac{m_{\text{гор}} \cdot T_{\text{гор}} + m_{\text{хол}} \cdot T_{\text{хол}}}{m_{\text{гор}} + m_{\text{хол}}}, \quad (2)$$

где $m_{\text{гор}}$ – масса горячей воды, имеющей температуру $T_{\text{гор}}$; $m_{\text{хол}}$ – масса холодной воды, имеющей температуру $T_{\text{хол}}$.

Совместное решение уравнений (1) и (2) позволяет выразить величину КПД (η) через измеряемые в эксперименте параметры $T_{\text{смеси}}$ и τ ($m_{\text{гор}}$, $m_{\text{хол}}$ и $T_{\text{хол}}$ известны):

$$\eta = \left(\frac{Q_{\text{нол}}}{Q_{\text{запр}}} \right) \cdot 100\%, \text{ где } Q_{\text{нол}} = c \cdot (m_{\text{гор}} + m_{\text{хол}}) \cdot (T_{\text{смеси}} - T_{\text{хол}}); Q_{\text{запр}} = P \cdot \tau.$$

Результаты экспериментов приведены в таблице 1. Термин «широкий сосуд» означает, что диаметр сосуда приблизительно в 5 раз больше размера нагревательного элемента. Для «среднего сосуда» это соотношение около 3, для «узкого сосуда» – около 1,5.

Таблица 1. Сравнение эффективностей моделей

| № | Описание модели нагревательной установки | КПД, % |
|----|---|--------|
| 1 | Широкий сосуд без крышки, нагреватель внизу | 59,4 |
| 2 | Широкий сосуд с крышкой, нагреватель внизу | 63,7 |
| 3 | Средний сосуд без крышки, нагреватель внизу | 66,6 |
| 4 | Средний сосуд с крышкой, нагреватель внизу | 68,6 |
| 5 | Узкий сосуд без крышки, нагреватель внизу | 72,0 |
| 6 | Узкий сосуд с крышкой, нагреватель внизу | 77,4 |
| 7 | Узкий сосуд с крышкой, с теплоизоляцией, нагреватель внизу | 79,8 |
| 8 | Узкий сосуд с крышкой, нагреватель вверху | 43,4 |
| 9 | Узкий сосуд с крышкой, нагреватель внизу, с теплоизоляцией, с удвоенной удельной мощностью электронагревателя | 80,9 |
| 10 | Смешивание воды разной температуры | 69,3 |

В девятой модели (таблица 1) был использован нагреватель с удвоенной удельной мощностью. Двойное значение удельной мощности на практике было обеспечено тем же нагревателем (кипятильником) за счет двукратного уменьшения массы нагреваемой воды.

Небольшое повышение КПД при наличии крышки (модели № 1, № 2 и № 5, № 6) и при теплоизоляции стенок (модели № 6, № 7) было предсказуемым в силу снижения влияния испарения на потери тепла.

При сужении сосуда (модели № 1, № 3, № 5 или № 2, № 4, № 6) КПД повышается. Это объясняется тем, что чем больше диаметр сосуда по сравнению с размером нагревательного элемента, тем хуже условия для пристеночной конвекции. В широком сосуде конвекция неэффективна, то есть влияние конвекции на КПД очень значительно. Это подтверждается наименьшим КПД восьмой модели, в которой нагревательный элемент поднят над дном сосуда. В этой модели практически отсутствует процесс конвекции в слоях воды, находящихся ниже нагревательного элемента.

Наивысший КПД имеет девятая модель, в которой присутствуют все перечисленные конструктивные энергосберегающие факторы, а нагреватель имеет удвоенную удельную мощность.

Значительный рост КПД при повышении удельной мощности нагревательного элемента, по-видимому, объясняется тем, что процес-

сы потерь – медленные, инерционные. При мощном нагревателе нагрев происходит быстро и процессы потерь за время нагрева не успевают отобрать много энергии и снизить КПД.

Отдельно следует сказать про результат нагревания путем смешивания нагретой воды с холодной (модель № 10). Такой способ дает КПД (69%) примерно такой же, как «стандартный» нагрев (68,6% четвертая модель или 72% пятая модель). То есть КПД значительно ниже достигнутого максимального значения 80,9%.

Причина, по-видимому, в следующем: горячую часть смеси готовили в нагревательной установке с наивысшим КПД (80,9% девятая модель), а смесь делали в отдельной чашке. С момента выключения нагревателя в нагревшейся воде происходили только процессы потерь энергии. Стенки чашки для смеси были из пластика, то есть из материала с малой теплопроводностью и малой удельной теплоемкостью. Тем не менее, часть тепла от нагретой воды использовалась на нагрев чашки. Кроме того, при переливании в чашку поверхность горячей воды интенсивно отдавала тепло воздуху, появились потери, которых не было при «стандартном» нагревании. Их влияние проявилось в том, что КПД за счет смешивания получился значительно ниже, чем у девятой модели.

Выводы

Оптимальный по КПД нагреватель должен иметь конструктивные параметры: нагревательный элемент расположен у дна сосуда; сосуд узкий (чуть шире размера нагревательного элемента); сосуд имеет крышку; стенки сосуда имеют хорошую теплоизоляцию; мощный нагревательный элемент.

Последний пункт может быть заменен условием экономичной эксплуатации: не следует нагревать «слишком большой» объем воды.

Выводы можно дополнить житейскими соображениями.

В настоящее время в продаже имеется множество моделей электрических водонагревателей (в качестве примеров рассматриваются электрочайники и бытовые бойлеры), конструкции которых можно оценить с точки зрения их КПД.

Значительное число моделей имеет конструкцию, близкую к оптимальной: закрытый дисковый нагреватель, расположенный в дне сосуда, почти равен диаметру сосуда. В некоторых моделях электрочайников величину КПД снижают металлические стенки, которые за счет своей высокой теплопроводности приводят к утечке тепла в воздух [2].

Некоторые из предлагаемых на рынке моделей имеют так называемый открытый нагреватель в виде спирали, расположенной над дном сосуда. Кроме того, эти модели имеют диаметр, значительно превышающий размер нагревательного элемента. Как следует из приведенных выше результатов, КПД такого водонагревателя заведомо ниже, чем у моделей с закрытым дисковым нагревателем. Тем не менее, покупатели, выбирая электрический водонагреватель, зачастую руководствуются только внешними параметрами (шумностью, размером, внешним видом, ценой), не думая о том, что, купив неэффективную модель, они будут вынуждены переплачивать за электроэнергию.

Литература

1. Элементарный учебник физики / Под. ред. Г.С. Ландсберга. Т. 1. – М.: Наука, 1975. – 442 с.
2. Как выбрать электрочайник [Электронный ресурс]. <http://nakuhne.guru/tehnika/kak-vybrat-horoshiy-elektricheskiy-chaynik.html>.
3. Простая физика. Тепловое равновесие [Электронный ресурс]. <https://easy-physic.ru/teplovoe-ravnoesie/>.
4. Центр ситуационного анализа и прогнозирования ЦЭМИ РАН [Электронный ресурс]. <http://data.cemi.rssi.ru/GRAF/center/analytics/6.htm>
5. Электричество или газ – что выгоднее? [Электронный ресурс]. <https://gizmod.ru/2015/06/20/yelektrichestvo-ili-gaz-chto-vygodnee/>.

Эффективная молниезащита сооружений башенного типа

Соколов Илья Сергеевич

9 класс, МАОУ лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

**Научный руководитель С.О. Дементьева,
младший научный сотрудник ИПФ РАН**



Работа посвящена определению параметров молниеотводов, необходимых для надежной защиты наземных объектов башенного типа от молниевых разрядов типа «облако-земля». Проведены расчеты эффективности молниезащиты для стержневого и кольцевого молниеотводов различной длины, расположенных на разной высоте относительно крыши здания. Определены оптимальные параметры и вид молниеотводов, необходимых для эффективной молниезащиты сооружений башенного типа.

Можно с уверенностью заявить о том, что молния чаще всего поражает самые высокие объекты, поэтому для защиты от удара молнии необходимо установить вблизи объекта возвышающийся над ним заземленный стержень – молниеотвод. Данная концепция применяется для молниезащиты сооружений примерно с середины XVIII века. Однако данное правило выполняется не всегда. Цена ошибки в случае попадания молнии в объект велика, поэтому требования к эффективности молниезащиты становятся все более жесткими. Изучение процесса ориентировки молнии требует больших затрат времени и средств, поэтому уже много лет большое внимание уделяется теоретическим исследованиям данного процесса. Для множества объектов надежность защиты от попадания молнии является чрезвычайно важным параметром, тем не менее не существует универсальных средств молниезащиты, подходящих для любого объекта. Достичь 100% надежности защиты высоких объектов от попадания молнии невозможно, однако можно минимизировать вероятность поражения объекта ударом молнии. Вероятность попадания молнии в объект можно определить по формуле: $\Phi_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{N_m} = \frac{\int_0^{\infty} P_{\text{оп}}(r)P_B(r)rdr}{\int_0^{\infty} P_{\text{оп}}(r)rdr}$,

где $N_{\text{пр}}$ – число пробоев в объект, N_m – ожидаемое число ударов молнии, $P_{\text{оп}}$ – вероятность ориентировки¹, P_B – вероятность выбора² для

¹ Ориентировкой молнии называется выбор молнией направления дальнейшего распространения, совпадающего с направлением на рассматриваемый объект.

молнии, опустившейся до высоты ориентировки H_0 и удаленной от центра защищаемого объекта на расстояние r в горизонтальной проекции [1].

Вероятность ориентировки P_{op} определяется следующим образом:

$$P_{op} = 0,5 \left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{A_{op}} e^{-x^2/2} dx \right) = 0,5 (1 - erf(A_{op})).$$

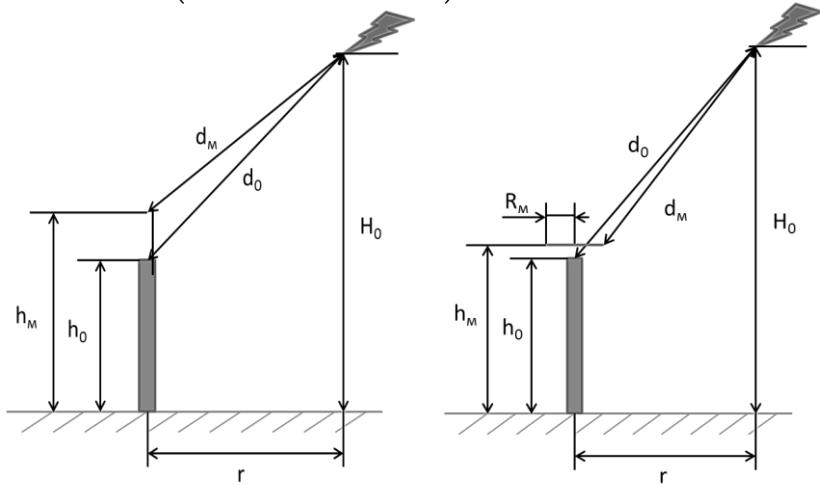
Верхний предел интеграла вероятности ориентировки A_{op} определяется по формуле:

$$A_{op} = \frac{d_0 - d_3}{\sigma_{op}(d_0^2 + d_3^2)^{1/2}},$$

где $\sigma_{op} \approx 10$ – стандарт ориентировки [1], d_0 – расстояние от опустившейся молнии до вершины объекта, d_3 – минимальное расстояние от опустившейся молнии до поверхности Земли.

Вероятность выбора P_B определяется:

$$P_B = 0,5 \left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{A_B} e^{-x^2/2} dx \right) = 0,5 (1 - erf(A_B)).$$



а – стержневой

б – кольцевой

Рис. 1. Конфигурация системы молниевыводов

Верхний предел интеграла вероятности выбора A_B определяется по формуле:

² Выбором молнии называется попадание молнии в рассматриваемый объект, а не в другие объекты, находящиеся в направлении ориентировки молнии.

$$A_B = \frac{d_0 - d_M}{\sigma_B (d_0^2 + d_M^2)^{1/2}},$$

где $\sigma_B = 7 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-5} \cdot D$ [м] – стандарт выбора, D – расстояние между вершинами объекта и молниеотвода (в метрах), d_M – минимальное расстояние от опустившейся молнии до молниеотвода.

В данной работе рассматривается задача о молниезащите здание башенного типа (здание настолько высоко, что его поперечными размерами можно пренебречь). Конфигурация системы для стержневого и кольцевого тросового молниеотводов изображена схематически на рисунке 1.

В постановке задачи формулы для расчета вероятности попадания молнии в объект могут быть упрощены.

1) Стержневой молниеотвод:

$$A_{op} = \frac{\sqrt{r^2 + (H_0 - h_0)^2} - H_0}{\sigma_{op} \sqrt{H_0^2 + r^2 + (H_0 - h_0)^2}},$$

$$A_B = \frac{\sqrt{r^2 + (H_0 - h_0)^2} - \sqrt{r^2 + (H_0 - h_M)^2}}{\sigma_B \sqrt{2r^2 + (H_0 - h_0)^2 + (H_0 - h_M)^2}},$$

$$\sigma_B = 7 \cdot 10^{-3}.$$

2) Кольцевой молниеотвод радиуса R_M :

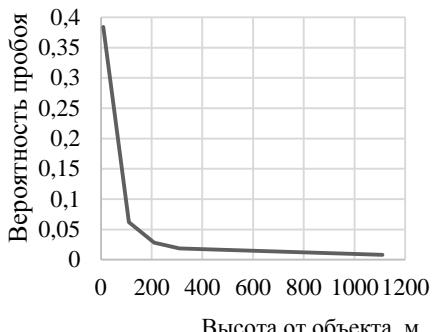
$$A_{op} = \frac{\sqrt{r^2 + (H_0 - h_0)^2} - H_0}{\sigma_{op} \sqrt{H_0^2 + r^2 + (H_0 - h_0)^2}},$$

$$A_B = \frac{\sqrt{r^2 + (H_0 - h_0)^2} - \sqrt{(r - R_M)^2 + (H_0 - h_M)^2}}{\sigma_B \sqrt{r^2 + (H_0 - h_0)^2 + (r - R_M)^2 + (H_0 - h_M)^2}},$$

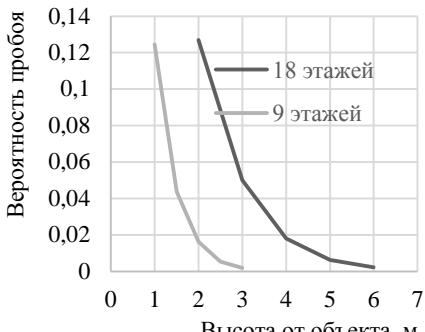
$$\sigma_B = 7 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-5} \sqrt{R_M^2 + (H_0 - h_M)^2}.$$

Для дальнейших расчетов использовалась программа MatLab, позволяющая рассчитать сложные функции. Была произведена подстановка характерных параметров зданий, чтобы провести анализ полученных данных и выделить оптимальные параметры и вид молниеотвода. В данном исследовании рассмотрены небоскреб Бурдж-Халифа (высота 818 м), восемнадцатиэтажное здание (высота 45 м) и девятиэтажное здание (высота 22,5 м).

Полученные в ходе исследования зависимости вероятности попадания молнии в объект от высоты стержневого молниеотвода над объектом показаны на рисунке 2. Аналогичные зависимости для кольцевого тросового молниеотвода показаны на рисунке 3.

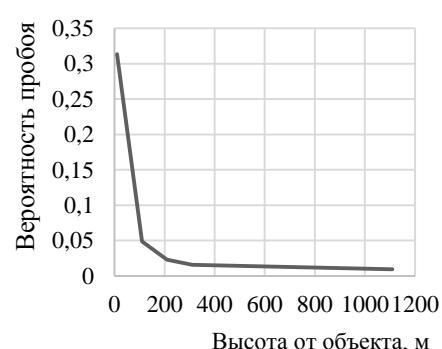


а – для небоскреба Бурдж-Халифа

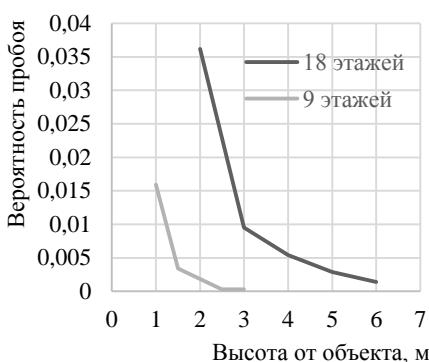


б – для 9-ти и 18-ти этажных зданий

Рис. 2. Зависимость вероятности попадания молнии в объект от высоты стержневого молниеприемника над объектом



а – для небоскреба Бурдж-Халифа



б – для 9-ти и 18-ти этажных зданий

Рис. 3. Зависимость вероятности попадания молнии в объект от высоты кольцевого молниеприемника над объектом

Для одиночного стержневого молниеприемника, установленного на вершине башни, были получены зависимости необходимой высоты молниеприемника от высоты башни для заданного значения эффективности молниезащиты; эффективности молниезащиты от высоты молниеприемника при заданной высоте башни; эффективности молниезащиты от высоты башни при заданной высоте молниеприемника. Аналогичные зависимости были получены для кольцевого тросового молниеприемника, размещенного вокруг башни.

Полученные результаты позволили представить следующие оптимальные молниеприемники:

1) для эффективной молниезащиты небоскреба Бурдж-Халифа (вероятность попадания молнии в небоскреб 1%) необходимо использовать стержневой молниеотвод высотой 818 м, установленный на крыше здания, либо кольцевой тросовый молниеотвод радиусом 15 или 20 м, установленный на высоте 618 м над крышей здания;

2) для эффективной молниезащиты девятиэтажного здания (вероятность попадания в молнии в здание 0,2%) необходимо использовать стержневой молниеотвод высотой 3 м, установленный на крыше здания, либо кольцевой тросовый молниеотвод радиусом 15 или 20 м, установленный на высоте 1,5 м над крышей здания;

3) для эффективной молниезащиты восемнадцатиэтажного здания (вероятность попадания в молнии в здание 0,2%) необходимо использовать стержневой молниеотвод высотой 6 м, установленный на крыше здания, либо кольцевой тросовый молниеотвод радиусом 15 или 20 м, установленный на высоте 2 м над крышей здания.

Литература

1. *Базелян.Э.М., Райзер Ю.П.* Физика молний и молниезащита. – М.: Физматлит, 2001. – 308 с.

Исследование возможности оценки глубины опухолевой инвазии при мультиспектральной терапии для контроля фотодинамической терапии (ФДТ)

Сорокина Полина Александровна
10 класс, Школа № 119, ШЮИ ИПФ РАН



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

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – развивающийся метод лечения опухолевых заболеваний, основанный на возбуждении фоточувствительного препарата, избирательно накопившегося в инородной ткани. Для ряда задач ФДТ необходимо оценивать глубину опухолевой инвазии в биоткань. В работе предложена возможность оперативно определить глубину инвазии путем мультиспектральных измерений с использованием диффузионного приближения уравнения переноса излучения (УПИ) и аппарата численного моделирования методом Монте-Карло.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – развивающийся метод лечения опухолевых заболеваний, основанный на возбуждении фоточувствительного препарата, избирательно накопившегося в инородной ткани. Терапия имеет большой спектр преимуществ, однако обладает и недостатками. Один из них – экспериментальный метод подбора лазерного воздействия для возбуждения фотосенсибилизатора в опухоли. Мы предлагаем способ решения данной проблемы, позволяющий оперативно определить глубину инвазии путем мультиспектральных измерений с использованием диффузионного приближения уравнения переноса излучения (УПИ) и аппарата численного моделирования.

Фотодинамическая терапия (ФДТ) – относительно новый метод лечения рака различных стадий и локализаций, заболеваний кожи, глаз и ревматоидного артрита. ФДТ основана на ограниченной активации накопившегося в опухоли фоточувствительного вещества (фотосенсибилизатора) видимым светом, которая в присутствии кислорода опухолевых тканей приводит к развитию фотохимической реакции и разрушению опухолевых клеток.

Фотосенсибилизатор – вещество, способное к увеличению чувствительности биологических тканей к воздействию света (их фотосенсибилизации). Препарат обладает тремя интересующими нас свойствами: накоплением злокачественной опухолью, высокой абсорбцией

(поглощением) в диапазоне полезных длин волн для оптимального проникновения в биоткань и флуоресценцией (излучением света на длине волны, отличной от длины волны поглощаемого света), что позволяет проводить как терапию, так и диагностику. Фотосенсибилизаторы хлоринового ряда, в частности «Фотодитазин», обладают двумя пиками поглощения, что дает возможность реализовать мультиспектральные измерения (мы светим на ткань с препаратом двумя длинами волн и на основе откликов можем определить глубину опухолевой ткани).

Распространение оптического излучения в большинстве биологических тканей, являющихся мутными средами, описывается уравнением переноса излучения (УПИ), в котором участвует лучевая интенсивность светового поля $I(\vec{r}, \vec{s}, t)$, зависящая от трех переменных. УПИ для лучевой интенсивности $I(\vec{r}, \vec{s}, t)$ в данной точке \vec{r} и направлении \vec{s} в момент времени t имеет следующий вид:

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s}, t)}{ds} + \frac{1}{\nu} \frac{\partial I(\vec{r}, \vec{s}, t)}{\partial t} + (\mu_a + \mu_s)I(\vec{r}, \vec{s}, t) = \mu_s \int_{4\pi} \varphi(\vec{s}, \vec{s}') I(\vec{r}, \vec{s}', t) d\vec{s}' + \varepsilon(\vec{r}, \vec{s}, t), \quad (1)$$

где μ_a – коэффициент поглощения среды, μ_s – коэффициент рассеяния среды, ν – скорость света в среде, $\varphi(\vec{s}, \vec{s}')$ – индикатриса рассеяния – безразмерная величина, описывающая вероятность смены направления распространения фотона из направления \vec{s} в направление \vec{s}' в результате акта единичного рассеяния, $\varepsilon(\vec{r}, \vec{s}, t)$ – пространственно-временное распределение яркости источников. Отметим, что при использовании теории переноса излучения получается система, состоящая из двух уравнений (описание поглощаемого сигнала и сигнала флуоресценции), не имеющая решения в общем случае, поэтому нами было использовано диффузионное приближение УПИ, позволяющее убрать зависимость от угла и вместо интенсивности использовать плотность диффузационного потока для глубин, больших 1–2 транспортного пробега, $l_{tr} = \frac{1}{\mu_s}$.

Для определения глубины опухолевой ткани с помощью мультиспектральных измерений, необходимо рассчитать отклик фотосенсибилизатора при погружении света в биоподобную среду. Для этого мы выбрали модель опухоли в виде цилиндра, параметры которого мы знаем, заполненного веществом, оптические свойства которого идентичны опухоли. Пусть флуоресценция возбуждается плоской

световой волной. Разобъем объем этого цилиндра на бесконечное количество бесконечно малых объемов, чтобы менее приближенно отследить поведение света в биоподобной среде. Для нахождения флуоресцентного отклика каждого элемента объема используем формулу для точечного источника. При описании измеренного флуоресцентного сигнала от опухоли, накопившей фотосенсибилизатор, необходимо вычислить интеграл по ее объему, считая источником возбуждения плоскую волну, а сигнал флуоресценции – по формуле для точечного источника. При интегрировании в предположении, что радиус опухоли значительно превышает глубину, было получено выражение:

$$S = \frac{\eta \mu_a^{ps}(\lambda) E_0 k(\lambda)}{2D\tilde{\mu}(\tilde{\mu} + \mu(\lambda))} (1 - e^{-(\tilde{\mu} + \mu(\lambda))d}), \quad (2)$$

где $\tilde{\mu} = \sqrt{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)}$ и коэффициент диффузии D соответствуют длине волны эмиссии фотосенсибилизатора, d – глубина опухоли.

В качестве модельной среды мы использовали спектр поглощения и рассеивания крысиного мозга. Экспериментально на спектрофотометре (Ocean Optics) нами был получен спектр поглощения фотодитазина для определения его пиков поглощения, которые необходимы при вычислении глубины инвазии. Пики поглощения соответствуют длинам волн 405 нм и 660 нм (рис. 1).

На рисунке 2, полученном в результате моделирования по формуле (2), представлена зависимость отношения нормированных сигналов флуоресценции при мультиспектральных измерениях для различных концентраций фотодитазина.

При увеличении глубины опухоли отношение сигналов стремится к единице. Это связано с тем, что глубина проникновения света в биоткань ограничена, накопившийся на больших глубинах фотосенсибилизатор не будет возбуждаться.

Для подтверждения аналитических результатов было проведено численное моделирование с УПИ без приближения (1) методом Монте-Карло. Модельная среда с размерами $20*20*5$ мм^3 облучалась 10^9 фотонами. При сравнении (рис. 3) видно, что различие существенно лишь для глубин менее 0,5 мм, где диффузионное приближение не работает.

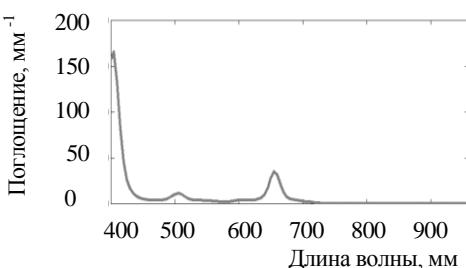


Рис. 1. Спектр поглощения фотодитазина

В ходе работы было проведено численное моделирование, подтверждающее применимость аналитической модели (2) для описания флуоресцентных сигналов при мультиспектральных измерениях. Была исследована возможность оценки глубины опухолевой ткани при мультиспектральных измерениях. Результаты аналитического исследования были подтверждены результатами моделирования методом Монте-Карло. Аналитическую модель можно использовать для оперативной оценки глубины опухолевой инвазии. Для более точных расчетов на малых глубинах необходимо пользоваться точными численными методами. При этом результаты показывают, что для глубин больше двух мм невозможно оценивать глубину опухолевой инвазии. Данное ограничение связано с глубиной проникновения светового излучения в биоткань.

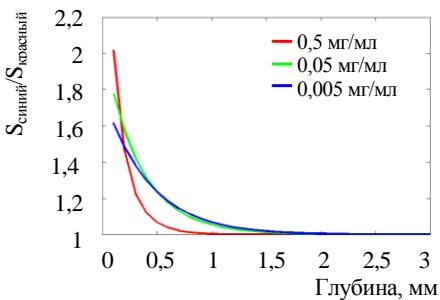


Рис. 2. Зависимость отношения нормированных сигналов флуоресценции при разных длинах волн возбуждения (405 нм и 660 нм) от глубины опухоли для различных концентраций фотодитазина

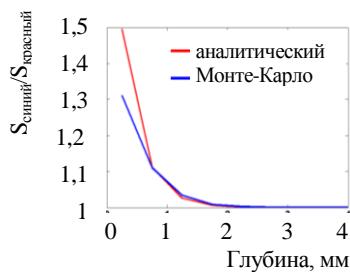


Рис. 3. Сравнение результатов, полученных аналитически, и результатов моделирования методом Монте-Карло

Литература

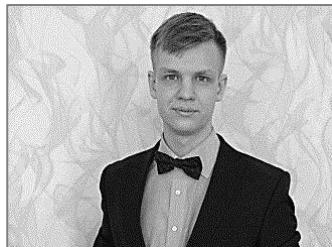
1. *Celli P., Bryan Q. Spring, Imran Rizvi, Conor L. Evans, Kimberley S. Samkoe, Sarika Verma, Brian W. Pogue, Tayyaba Hasan. Imaging and Photodynamic Therapy: Mechanisms, Monitoring, and Optimization. Chem. Rev./ Jonathan – Wellman Center for Photomedicine, Massachusetts General Hospital and Harvard Medical School, Boston, Massachusetts 02114, and Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire. 2010, 110. P. 2795 – 2838.*
2. *Fang Q., Boas D.A. Monte Carlo Simulation of Photon Migration in 3D Turbid Media Accelerated by Graphics Processing Units // Optics Express 17(22).*
3. *Steven L. Jacques. How tissue optics affect dosimetry of photodynamic therapy// Journal of Biomedical Optics 155, 051608, September/October 2010.*

Определение подъемной силы крыла различных профилей

Тихонов Максим Евгеньевич

10 класс, МАОУ Лицей № 38

Научный руководитель М.А. Балакин,
учитель физики и астрономии МАОУ Лицей 38



Для практического ознакомления с основами аэродинамики необходимо лабораторное оборудование (макет аэродинамической трубы) и фрагменты крыла различных профилей, которые были созданы в результате данной работы. Полученные экспериментальные данные на созданной установке для комплекта фрагментов крыла различных профилей с известными характеристиками близки к теоретическим и практическим результатам, приведенным в литературе для данных типов профилей крыла, что позволяет сделать заключение о пригодности созданного оборудования для начального обучения основам аэродинамики.

Одним из главных элементов самолета является крыло. От него в значительной мере зависят аэродинамические характеристики летательного аппарата. На начальном этапе практического ознакомления с основами аэродинамики и типами крыла самолетов необходимо лабораторное оборудование (макет аэродинамической трубы) и фрагменты крыла различных профилей.

Цель работы – изучение основных аэродинамических свойств крыла и практическое определение подъемной силы различных профилей на созданной в ходе данной работы установке, сравнение полученных результатов с табличными данными, приведенными в литературе.

Описание и основные свойства крыла

Крыло самолета предназначено для создания подъемной силы, необходимой для поддержания самолета в воздухе. Подъемная сила и лобовое сопротивление крыла зависят от геометрических характеристик крыла, которые в основном сводятся к характеристикам крыла в плане и характеристикам профиля крыла.

Профилем крыла называется форма его поперечного сечения. Профили могут быть симметричными и несимметричными. Несимметричные в свою очередь могут быть двояковыпуклыми,

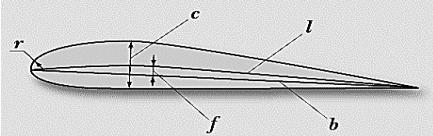


Рис. 1. Геометрические характеристики профиля

плосковыпуклыми, вогнутовыпуклыми и S-образными. Максимальное расстояние между крайними точками профиля – хорда (b) (рис. 1).

Подъемная сила – составляющая полной аэродинамической силы, перпендикулярная вектору скорости движения тела в потоке жидкости или газа, возникающая в результате несимметричности обтекания тела потоком. Полная аэродинамическая сила – интеграл от давления вокруг контура профиля крыла. Сумма векторов сил, действующих на крыло, дает вектор аэродинамической силы R (рис. 2). Он раскладывается на составляющие Y и X , подъемную силу и силу лобового сопротивления. Точка приложения силы R зависит от характера распределения давления по поверхности профиля.

При изменении угла атаки распределение давления будет изменяться, а вместе с ним изменится и векторная сумма всех сил по абсолютной величине, направлению и точке приложения, которую называют центром давления.

Описание установки

Установка представляла собой настольную аэродинамическую трубу (рис. 3). На основании закреплены вентилятор; воздуховод, имеющий в месте расположения крыла прямоугольное сечение, по направлению к вентилятору переходящее в круг; выключатель; конденсатор; площадка. На площадке установлены весы с закрепленной на них подставкой для крыльев. Весы использовались для замера изменения массы крыла во время его продувки.

В качестве движителя был использован осевой вентилятор ТИП 125ЭВ-28-6-3270Т4 с диаметром крыльчатки 125 мм, имеющий спрямляющий аппарат. Такие вентиляторы используются для охлаждения электронных приборов военного назначения. Данный вентилятор гораздо лучше подходит для использования в установке, чем вентиляторы для вентиляционных систем схожего диаметра, так как имеет больший расход воздуха и создает большее статическое давление. Двигатель вентилятора при работе от однофазной сети подключается через фазосдвигающий конденсатор. Вентилятор включается посредством выключателя. На основании вентилятор закрепляется с помощью уголков.

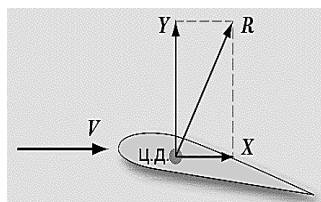


Рис. 2. Векторы аэродинамических сил



Рис. 3. Внешний вид установки

В качестве воздуховода использовалась пластиковая труба прямоугольного сечения 60×120 мм, предназначенная для систем вентиляции. С вентилятором она была состыкована через фланец для систем вентиляции. Диаметр фланца 125 мм. Симметричный переход с прямоугольного на круглое сечение выполнен методом горячей формовки. На подставке труба закреплена с помощью уголков.

Площадка для весов выполнена из пластика и имеет Г-образную отбортовку для упора в нее весов. Таким образом, весы все время устанавливаются в одно и то же место. Использовались ювелирные весы с пределом измерения 300 граммов и разрешающей способностью 0,01 граммов. Весы имели автокалибровку 0, то есть при включении они принимли массу на них за 0, далее показывали отклонение от 0 в граммах как в большую, так и в меньшую сторону.

Подставка под крылья закреплялась на весах с помощью двухстороннего скотча. 3D модель подставки построена в программе GoogleSketchUp 2016 и распечатана на 3D принтере. Подставка в верхней части имела транспортиры с шагом по 5° для измерения угла атаки крыла.

Установка откалибрована с помощью крыла симметричного профиля, которое (согласно с теорией) при нулевом угле атаки не создает подъемной силы. Через вырезы для подставки снизу трубы установка «подсасывала» воздух, что влияло на подъемную силу. Поэтому в верхней части трубы были сделаны симметричные вырезы, которые увеличивались до того момента, пока весы не перестали показывать отклонение от 0, то есть подъемная сила у симметричного крыла на нулевом угле атаки не перестала возникать.

Результаты эксперимента

Для эксперимента были выбраны два профиля крыла: симметричный Су-26-18% (рис. 4) и несимметричный двояковыпуклый Р-И-14% (рис. 5). На основе их изображений, построенных по координатам (в долях хорды), были построены 3D модели крыльев в программе GoogleSketchUp 2016. Модели были распечатаны на 3D принтере. Размеры крыла 100×50 мм.

Крылья продувались на установке при углах от -15° до $+35^{\circ}$. Для каждого угла записывалось отклонение массы (в граммах) (табл. 1). Из полученных значений путем домножения на $-9,8 \text{ м/с}^2$ была полу-



Рис. 4. Симметричный профиль

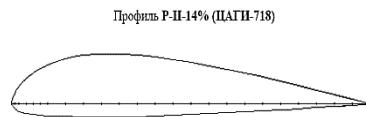


Рис. 5. Несимметричный профиль

чена подъемная сила (на $-9,8$ потому, что уменьшение массы на ве- сах является увеличением подъемной силы). Далее по формуле для расчета подъемной силы был рассчитан коэффициент C_y :

$$Y = C_y \frac{pV^2}{2} S,$$

где Y – подъемная сила, p – плотность воздуха (табличное значение, равное $1,225$ кг/м 3), V – скорость набегающего потока, рассчитанная из сечения трубы и расхода воздуха, равная $9,9$ м/ c^2 , S – площадь крыла, равная $0,005$ м 2 .

Таблица 1. Изменения массы

| Угол | Изменение массы, г | |
|------|--------------------|--------|
| | P-II | Cy-26 |
| -15 | 20,0 | 28,7 |
| -10 | 10,2 | 19,3 |
| -5 | 2,6 | 9,6 |
| 0 | - 6,2 | 0 |
| 5 | - 17,0 | - 9,9 |
| 10 | - 28,3 | - 20,8 |
| 15 | - 37,7 | - 32,6 |
| 20 | - 46,4 | - 41,9 |
| 25 | - 50,7 | - 46,0 |
| 30 | - 50,0 | 46,5 |
| 35 | - 46,2 | 45,0 |

Таблица 2. Полученные коэффициенты

| Угол | Коэффициент C_y | |
|------|-------------------|---------|
| | P-II | Cy-26 |
| -15 | - 0,653 | - 0,937 |
| -10 | - 0,333 | - 0,630 |
| -5 | - 0,085 | - 0,313 |
| 0 | 0,203 | 0 |
| 5 | 0,555 | 0,323 |
| 10 | 0,924 | 0,679 |
| 15 | 1, 231 | 1,064 |
| 20 | 1,515 | 1,368 |
| 25 | 1,655 | 1,502 |
| 30 | 1,632 | 1,518 |
| 35 | 1,508 | 1,469 |

Полученные коэффициенты приведены в таблице 2. Профиль Р-II про- дувался в ЦАГИ и для него также получены коэффициенты (табл. 3).

Полученные в ходе ра- боты коэффициенты близ- ки к данным ЦАГИ, ма-ксимальное отклонение ре- зультата составляет 36% , причем на угле -5^0 , где силы, а следственно и ко-эффициенты очень малы, поэтому маленькая по-

Таблица 3. Коэффициенты ЦАГИ для Р-II

| Аэродинамические характеристики | | | |
|---------------------------------|---------|--------|--------|
| α^0 | C_v | C_x | C_m |
| - 4 | - 0,065 | 0,0138 | 0,0324 |
| - 2 | 0,071 | 0,0126 | 0,0624 |
| 0 | 0,218 | 0,0156 | 0,0965 |
| 2 | 0,359 | 0,0206 | 0,13 |
| 4 | 0,50 | 0,0278 | 0,166 |
| 6 | 0,64 | 0,0382 | 0,201 |
| 8 | 0,78 | 0,052 | 0,2356 |
| 10 | 0,92 | 0,0686 | 0,27 |
| 12 | 1,064 | 0,0884 | 0,2975 |
| 14 | 1,206 | 0,111 | 0,3415 |
| 16 | 1,339 | 0,1334 | 0,369 |
| 18 | 1,436 | 0,16 | 0,3950 |

грешность в числах (0,048) дает большую в процентах. Следующее несоответствие составляет всего 3,4% на 15°. Графики коэффициентов почти совпадают (рис. 6). Мы сравнили графики профилей (рис. 7): у Су-26 угол, до которого подъемная сила растет больше из-за более острого носка, обтекаемость лучше, но он снижает несущие свойства.

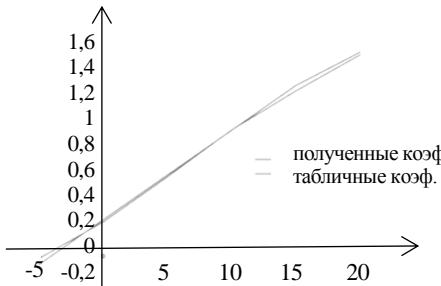


Рис. 6. Графики коэффициентов для Р-II

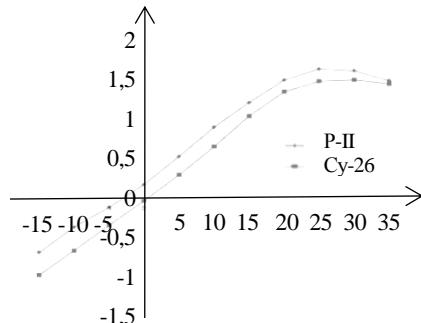


Рис. 7. Графики сравнения коэффициентов для Р-II и Су-26

Заключение

В результате проделанной работы была создана настольная установка для практического определения подъемной силы крыльев различных профилей. Были проведены практические измерения двух типов профилей крыла. Полученные экспериментальные данные на созданной установке близки к теоретическим данным и практическим результатам, приведенным в литературе для данных типов профилей крыла, что позволяет рекомендовать использовать данную установку для практического ознакомления на начальном этапе обучения.

Литература

- 1 *Кравец А.С. Характеристики авиационных профилей.* – Государственное издание оборонной промышленности, 1939.
- 2 *Игнаткин Ю.М., Константинов С.Г. Исследование аэродинамических характеристик профиля и законцовок лопасти несущего винта вертолета методами CFD* [Электронный ресурс]. <http://www.mai.ru/upload.iblock/8be/issledovanie-aerodinamicheskikh-kharakteristik-profilya-i-zakontsovok-lopasti-nesushchego-vinta-vertolyeta-metodami-cfd.pdf>
- 3 *Мхитарян А.М. Аэродинамика. Учебник.* 1976. [Электронный ресурс]. <http://airspot.ru/library/book/mhitaryan-a-m-aerodinamika>
- 4 Практическая аэродинамика [Электронный ресурс]. http://www.reaa.ru/yabbfilesB/Attachments/Prakticheskaja_ajerodinamika_Aist.pdf
- 5 Справочник Авиационных Профилей [Электронный ресурс]. http://kipla.kai.ru/liter/Spravochnic_avia_profiley.pdf

Исследование эффекта полного внутреннего отражения в жидкостях

Хамылова Анна Дмитриевна

7 класс, МОУ СОШ № 187, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Д.А. Силин,
студент ВШОПФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



В ходе работы было доказано практическим путем существование эффекта полного внутреннего отражения. Определен коэффициент преломления нескольких жидкостей. Но из-за наличия погрешностей не удалось найти точное числовое значение коэффициента преломления.

Полное внутреннее отражение (ПВО) – эффект, возникающий при попытке выхода луча из более плотной среды в менее плотную под некоторым углом. В геометрической оптике явление объясняется в рамках закона Снеллиуса. Учитывая, что угол преломления не может превышать 90° , получаем, что при угле падения, синус которого больше отношения меньшего показателя преломления к большему показателю, электромагнитная волна должна полностью отражаться в первую среду. Явление полного внутреннего отражения используется в волоконной оптике для передачи световых сигналов на большие расстояния. Использование обычного зеркального отражения не дает желаемого результата, так как даже зеркало самого высокого качества (посеребренное) поглощает до 3% световой энергии. При передаче света на большие расстояния энергия света приближается к нулю. При входе в световод падающий луч направляется под углом заведомо больше предельного, что обеспечивает отражение луча без потери энергии.

Проблема данной работы: если мы хотим измерить коэффициент преломления жидкости, то нам необходимо измерить угол выхождения луча лазера из жидкости, но если коэффициент преломления жидкости будет больше коэффициента преломления воздуха, тогда луч не выйдет из жидкости. Проблемно определить коэффициент преломления у бесцветных жидкостей.

Цель работы – экспериментально доказать существование полного внутреннего отражения и определить коэффициент преломления жидкости. Для достижения цели был выбран экспериментальный способ.

Предварительно были проведены следующие расчеты:

n_1 – показатель преломления в воздухе, n_2 – показатель преломления в воде, α_1 – угол, под которым светим на границу раздела двух сред, α_2 – угол, под которым идет преломленный свет, H – высота от пола до оптического стола, V_0 – начальная скорость, g – ускорение свободного падения, t – время с начала вытекания воды, x – расстояние, которое пройдет вода за время t .

1. Найдем предельный угол, при котором наблюдается эффект ПВО. По закону Снеллиуса: $n_1 \cdot \sin(\alpha_1) = n_2 \cdot \sin(\alpha_2)$,
 $\sin(\alpha_1) \cdot 1.33 = \sin(\alpha_2) \cdot 1$,
 $\alpha_2 = 90^\circ$, значит $\sin(\alpha_2) = 1$ (предельный случай),
 $\sin(\alpha_1) \cdot 1 = \frac{1}{1.33}$, $\alpha_1 = 48.6^\circ$.

2. Найдем координаты точки (x_0, y_0) , в которую должен попасть луч, чтобы мы могли наблюдать эффект ПВО.

В данном случае траектория вытекающей воды описывается так:

если $t = \frac{x}{V_0}$, то $y = H - \frac{gt^2}{2}$, где H – высота от пола до оптического стола. Если $y = x^\alpha$, то $y = \alpha \cdot x^{\alpha-1}$, значит в нашем случае $y' = \frac{gx^2}{V_0^2}$, но $y' = \tan(\alpha_0)$. Приравняв производные, находим

x_0 . Подставив x_0 в уравнение траектории y , найдем y_0 .

Было проведено три эксперимента: с пресной водой, с предельно соленой водой и со спиртом. Вся оптика стояла на одной высоте, таким образом образовался уровень, по которому шел луч параллельно оптическому столу. Использовали диафрагму, чтобы диаметр пятна был не больше диаметра отверстия, из которого вытекает вода.

Взяли бутылку, залепили кран пластилином, налили в бутылку жидкость и направили луч так, чтобы он попадал прямо в отверстие. Открыли кран и поднесли бумагу к струе, после проведения нескольких неудачных опытов с экраном поняли, что подносить лист бумаги намного удобнее, так как луч не успевал выходить высоко вверх.

Эффект ПВО наблюдался с самого начала, а со временем мы увидели его предельный случай, когда луч начал выходить. Опыт был записан на видеокамеру и впоследствии был определен момент,

в который луч начал одновременно отражаться и преломляться. Но несколько раз луч нельзя было наблюдать на листе бумаги. Дело в том, что иногда кран мог сдвигаться, что происходило из-за недостаточно жесткого его закрепления герметиком.

Далее мы нашли коэффициенты преломления для каждого случая. Применяя закон Снеллиуса: $\sin(90^\circ) \cdot n_2 = \sin\alpha \cdot n_1$, нашли α .

Воспользовавшись видеоматериалами экспериментов, вычислили углы: построили треугольник так, чтобы гипотенуза совпадала с касательной к траектории воды, и из него нашли тангенс по пикселям измеряя стороны. Затем при помощи калькулятора высчитали арктангенс этих углов и получили значение углов (табл. 1). Сопоставили полученные данные с табличными (табл. 2).

Таблица 1. Тангенсы, полученные углы и показатели преломления

| Параметр | Эксперимент № 1 | Эксперимент № 2 | Эксперимент № 3 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $\text{tg} \ell$ | 2.12 | 1.18 | 1.16 |
| ℓ (градусы) | 64.75 | 48.89 | 49.40 |
| n | 1.11 | 1.31 | 1.33 |

Таблица 2 . Сопоставление табличных и полученных результатов

| n | Эксперимент № 1 | Эксперимент № 2 | Эксперимент № 3 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| полученный | 1.11 | 1.31 | 1.33 |
| табличный | 1.33 | 1.35 | 1.36 |

В полученных результатах имеется погрешность, связанная с отсутствием жесткого закрепления крана на бутылке, с разрешением камеры, с неточностью вычислений. Поэтому табличные и полученные данные различаются. При усовершенствовании условий проведения эксперимента можно будет определить показатель преломления точнее, а при идеальных условиях определить

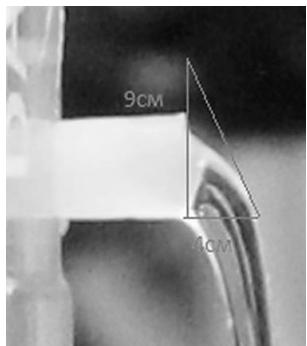


Рис. Обработка результатов
(нахождение тангенса)

жидкость. Жесткость можно обеспечить, взяв стеклянную бутылку со стеклянным краником. Использование точной камеры поможет сделать погрешности измерений минимальными.

Литература

1. *Делоне Н.Б.* Что такое свет? – М.: Физматлит, 2006. – 54 с.
2. *Иванов Б.Н.* Мир физической гидродинамики: От проблем турбулентности до физики космоса. – М.: Едиториал УРСС, 2010. – 240 с.
3. *Ландсберг Г.С.* Элементарный учебник физики. Т.1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1985. – 606 с.

Создание модели ветрогенератора и применение ее в быту

Шагалов Никита Алексеевич

7 класс, МАОУ СШ №102, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель И.Е. Вязанкина,

учитель МБОУ СШ № 49



В работе исследованы виды, характеристики и принципы работы ветрогенератора. Создана модель ветрогенератора, произведен расчет вырабатываемой энергии. Выявлены преимущества и недостатки данного оборудования.

В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию в экономике нетрадиционных возобновляемых источников энергии. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична. Проблема исчерпаемости природных ресурсов с каждым годом приобретает все большую актуальность. Это связано как с осознанием факта ограниченности ресурсов, так и с интенсивно увеличивающимся потреблением. Технологии будущего ученые связывают с экологически чистыми источниками энергии.

Ветрогенератор – один из самых доступных и бюджетных источников выработки энергии. Проблема заключается в том, что создаваемый ветрогенератор должен быть эффективным и вырабатывать электроэнергию в достаточном количестве для применения в быту, но при этом быть компактным и недорогим. Цель – создание модели ветрогенератора для использования в домашних условиях.

В наши дни двигатели, использующие ветер, составляют всего одну тысячную мировых потребностей в энергии. Техника XX века открыла новые возможности для ветроэнергетики [5]. В начале века Н.Е. Жуковский разработал теорию ветродвигателя, на основе которой могли быть созданы мощные установки, способные получать энергию от самого слабого ветерка. Появилось множество проектов ветрогенераторов, более совершенных, чем старые ветряные мельницы. Усилиями ученых и инженеров созданы самые разнообразные конструкции современных ветровых установок [1, 2].

В любой ветроустановке обязательно должны быть [3, 4] лопасти, которые врачаются под действием ветра и приводят в движение ротор; генератор, вырабатывающий переменный ток; контроллер, управляющий лопастями и преобразующий электричество, идущее от генератора,

в постоянный ток, необходимый для зарядки аккумулятора; аккумуляторные батареи, способные накапливать электроэнергию и выравнивать ее; инвертор – устройство, превращающее постоянный ток, идущий из аккумулятора, в переменный, от которого светятся лампочки, работают холодильники, телевизоры и другие электроприборы; мачта, поднимающая лопасти как можно выше над поверхностью земли.

Принцип действия всех ветродвигателей одинаковый: под напором ветра вращается ветроколесо с лопастями, передавая крутящий момент через систему передач валу генератора, вырабатывающего электроэнергию. Чем больше диаметр ветроколеса, тем больший воздушный поток оно захватывает, и тем больше энергии вырабатывает агрегат. Принципиальная простота дает простор для конструкторского творчества.

Мы решили создать модель ветрогенератора, который впоследствии будет использован в бытовых целях, для преобразования энергии ветра в электрическую. В работе были использованы следующие комплектующие: куллер (вентилятор охлаждения) блока питания компьютера; мультиметр; светодиоды; монтажная панель; монтажные клеммы; зажимы (крокодилы); провода. Для эксперимента нам также понадобились инструменты и приборы: фен, кусачки, монтажный нож, паяльник, отвертки.

Ход работы

В созданной конструкции (рис. 1) использовались лопасти крыльчатого типа с горизонтальной осью вращения. Такой тип ветряного двигателя имеет максимальный коэффициент использования ветра при минимальном расходе материалов, поэтому такая конструкция используется в большинстве промышленных ветровых электростанций.

Мы использовали стандартный вентилятор охлаждения блока питания стационарного компьютера. Он требует минимальной переделки, так как построен на основе электродвигателя коллекторного типа с постоянным магнитом. Мы отсоединили вентилятор от блока управления, откусили клеммы, зачистили и облучили провода. Проверили сбалансированность крыльчатки (не задевает корпус, вращается без помех и посторонних шумов).

К монтажной панели припаяли светодиод красного цвета с учетом его полярности. Также использовался излучающий белый светодиод для сравнения технических характеристик и визуального эффекта. Соединение светодиодов с вентилятором осуществлялось с помощью зажимов и монтажных клемм. Источником ветра в работе являлся фен с регулировкой мощности.

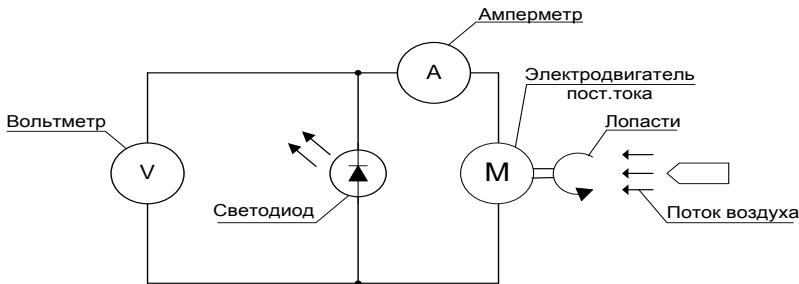


Рис. 1. Схема ветрогенератора

С помощью мультиметра были проведены измерения напряжения, силы тока и их зависимость от частоты вращения генератора.

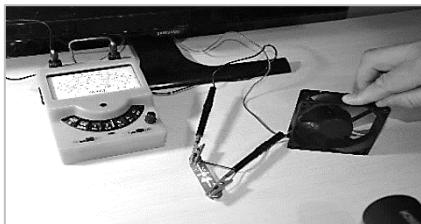


Рис. 2. Измерение напряжения
в режиме мощности 1



Рис. 3. Измерение напряжения
в режиме мощности 2

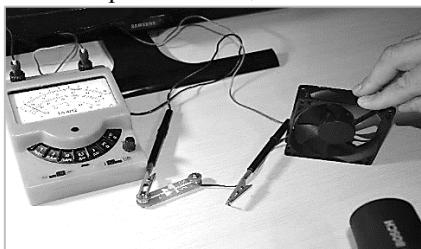


Рис. 4. – Измерение силы тока
в режиме мощности 1

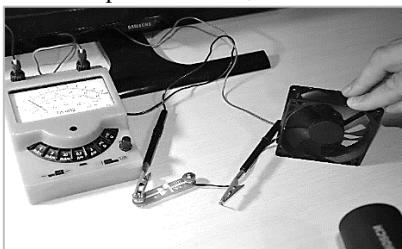


Рис. 5. – Измерение силы тока
в режиме мощности 2

На фотографиях (рис. 2, 3) отражена зависимость напряжения, вырабатываемого генератором от мощности ветра. В режиме мощности 1 напряжение составляет 2,1 В, в режиме 2 – 3 В. Зависимость силы тока в цепи от мощности ветра приведена на фотографиях (рис. 4, 5). В режиме мощ-

Таблица. Расчет зависимостей

| Режимы | Напряжение | Сила тока |
|---------|------------|-----------|
| Режим 1 | 2,1 В | 0,03 А |
| Режим 2 | 3 В | 0,05 А |

ности 1 сила тока равна примерно 0,03 А, в режиме 2 – 0,05 А. В таблице приведены результаты расчета зависимостей.

Светодиод в цепи служил индикатором наличия тока и напряжения и подтверждением положительного результата эксперимента. Визуально было заметно, что в режиме 2 свечение светодиода было ярче.

Расчет вырабатываемой электроэнергии

$$P_1 = I_1 \cdot U_1 = 0,03 \cdot 2,1 = 0,063 \text{ Вт},$$

$$P_2 = I_2 \cdot U_2 = 0,05 \cdot 3 = 0,15 \text{ Вт}.$$

Вывод: Расчеты подтверждают большую мощность ветрогенератора при режиме 2.

Заключение

Применение ветрогенератора как источника альтернативной энергии оправдано. Созданная модель вырабатывает напряжение до трех вольт, а мощность нашей станции составляет до 0,15 Вт. Эти значения малы для применения в быту, но параметры модели можно увеличить.

Выявлены преимущества и недостатки данного оборудования. Преимущества следующие: эффективный способ резервирования энергии на случай кратковременных отключений; бесшумный, экологически чистый, безопасный способ; не требует топлива. Недостатки: зависимость от скорости ветра; необходимость большой свободной площади.

Способы увеличения количества вырабатываемой ветрогенератором электроэнергии: удлинение мачты установки; использование ветрогенераторов более высокой мощности; введение в схему системы дополнительных ветрогенераторов и фотоэлектрических датчиков. Повышает надежность системы работа автоматики. Электроснабжение не прервется, даже если произойдет аварийный отказ или будет производиться текущее обслуживание одного из ветрогенераторов. Установку можно модернизировать и использовать совместно с солнечной батареей, что и предполагается в дальнейшем.

Литература

1. Ветроэнергетика / Под ред. Д. де Рензо. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
2. Каикаров А.П. Секреты радиомастеров. – М.: ИП Радио Софт, 2010. – 320 с.
3. Фатеев Е.М. Как сделать самому ветроэлектрический агрегат // Массовая Радио-библиотека. – М.: Госэнергоиздат, 1949.
4. Шмаков С.Б. Как создать источник питания своими руками. – СПб.: Наука и техника, 2013. – 288 с.
5. Будущее за энергией, взятой из воздуха // Научно-технический и методический журнал [Электронный ресурс] // Рациональное освоение недр: сайт: <http://www.roninfo.ru/news/budushhee-za-energij,-vzyatoj-iz-vozduxa>.

Исследование зависимости характеристик рассеяния радиолокационного сигнала взволнованной водной поверхностью от скорости ветра в рамках лабораторного эксперимента

Шилова Ксения Алексеевна
9 класс, МАОУ Лицей 180, ШЮИ ИПФ РАН



Научный руководитель Г.А. Байдаков,
научный сотрудник ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук

Исследована зависимость эффективной площади рассеяния радиоволн взволнованной водной поверхностью от скорости ветра в рамках лабораторного моделирования. С использованием скаттерометра были проведены измерения мощности рассеянного сигнала на параллельных (HH и VV) и ортогональных (VH и HV) поляризациях. Выявлено наличие насыщения зависимости мощности от скорости ветра для параллельных поляризаций и монотонный рост – для ортогональных. Отмечена зависимость ЭПР от угла зондирования, при этом при больших углах зондирования ЭПР для сигнала, принимаемого на вертикальной поляризации (VV и VH), больше, чем для горизонтальной (HH и HV), а для углов, близких к надиру, соотношение меняется на противоположное. Полученные результаты необходимы для построения геофизической модельной функции.

В силу экстремальности погодных условий при ураганных ветрах наибольший интерес представляют лабораторные исследования водной поверхности. Актуальность работы заключается в следующем: с помощью дистанционных методов исследования рассеивания волн взволнованной водной поверхностью можно оперативно получать информацию, необходимую для прогноза погоды и предупреждения об опасных явлениях в океане.

Цель работы: исследовать зависимость характеристик рассеяния радиолокационного сигнала взволнованной водной поверхностью от скорости ветра в рамках эксперимента на высокоскоростном ветроволновом канале (ВСВК) ИПФ РАН.

Для моделирования в лабораторных условиях процесса взаимодействия ветра с волнами на базе Большого термостратифицированного бассейна (БТСБ) ИПФ РАН (рис. 1) был построен прямоточный высокоскоростной ветро-волновой канал. Тракт канала состоит из воздухозаборной части, нагнетательного насоса, воздухопроводной системы, рабочей части ветрового канала, установленной непосредственно в бассейне, и системы отвода воздуха.

В качестве радиолокационного измерителя в использовался скаттерометр (рис. 2), излучающий непрерывный частотно-модулированный сигнал, модуляция частоты синусоидальная. Из принятого сигнала, имеющего частоту $f = f_{изл} + f_{доп}$, вычитался излученный сигнал, запись велась на доплеровских частотах. Скаттерометр излучает электромагнитную волну фиксированной линейной поляризации. Направление поляризации (горизонтальная Н или вертикальная V) определяется ориентацией антенны скаттерометра относительно горизонтальной плоскости и может быть изменено в ходе эксперимента. Прием может вестись как на параллельной, так и на ортогональной поляризации, переключение производится путем направления принятого сигнала в соответствующий волноводный тракт.

Скаттерометр устанавливался на неподвижную платформу так, чтобы линия визирования образовывала с водной поверхностью определенный угол, необходимый для исследования ($30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ от надира). Эксперимент повторялся для различных комбинаций излученных и принятых поляризаций: VV, HH, HV, VH.



Рис. 1. Большой термостратифицированный бассейн

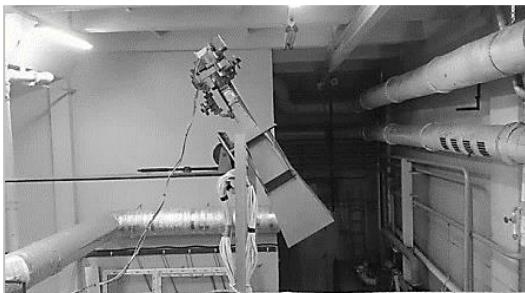


Рис.2. Общий вид скаттерометра

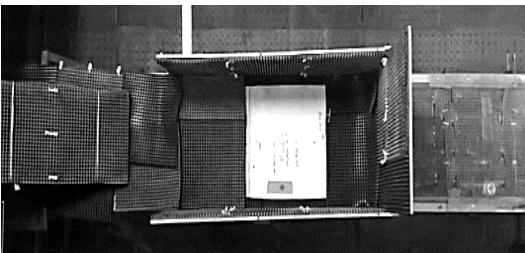


Рис. 3. Область зондирования, вид сверху

Во избежание влияния боковых лепестков диаграммы направленности над поверхностью воды, параллельно ей были установлены радиопоглощающие пластины, это позволяло контролировать площадь облучаемой поверхности (рис. 3).

Скаттерометр расположен слева за кадром. Целью исследования было изучение зависимости эффективной площади рассеяния (ЭПР) взволнованной водной поверхности от скорости ветра в канале. ЭПР – это площадь, перехватывающая такое количество энергии, которое, будучи рассеянным равномерно во всех направлениях, создает у радиолокатора сигнал, равный отраженному от цели. В ходе эксперимента была получена интенсивность сигнала, рассеянного назад водной поверхностью, для различных условий (скорость ветра, угол зондирования, поляризация излучения и прием). Для определения ЭПР водной поверхности была выполнена калибровка полученных данных, для чего интенсивность сигнала сравнивалась с эталонной – интенсивностью излучения, рассеянного металлическим шаром. В результате были получены зависимости ЭПР от частоты вращения вентилятора F на четырех поляризациях для трех углов зондирования.

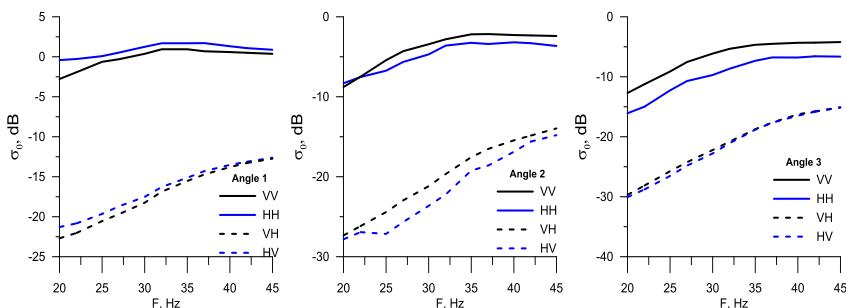


Рис. 4. Зависимость ЭПР от частоты вращения нагнетающего вентилятора (для разных углов облучения – 30°, 40°, 50° от надира)

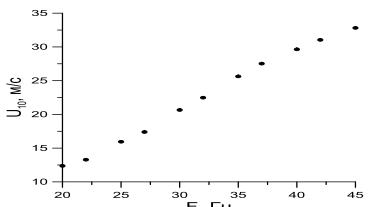


Рис. 5. Зависимость скорости, приведенной к стандартной метеорологической высоте 10 м, от частоты вращения вентилятора

133

Затем с использованием трубки Пито были измерены профили скорости ветра для различных частот вращения вентилятора. По профилям были восстановлены значения U_{10} .

В результате сопоставления данных двух этапов эксперимента были получены зависимости ЭПР взволнованной водной поверхности от скорости ветра (рис. 6).

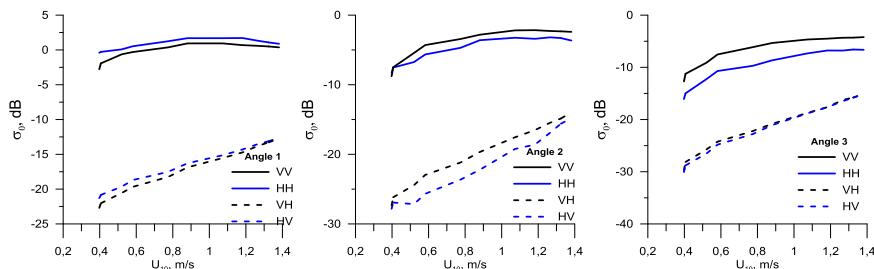


Рис. 6. Зависимость ЭПР от скорости, приведенной к стандартной метеорологической высоте 10 м (для разных углов – 30°, 40°, 50° от надира)

При больших углах зондирования ЭПР для сигнала, принимаемого на вертикальной поляризации (VV и VH), больше, чем для горизонтальной (HH и HV), а для углов, близких к надиру, соотношение меняется на противоположное.

В процессе эксперимента было подтверждено, что в отличие от параллельных поляризаций (VV и HH), для которых зависимость ЭПР от скорости ветра имеет насыщение, для ортогональных поляризаций (HV и VH) зависимость ЭПР от скорости ветра монотонна. Это позволяет однозначно восстановить скорость приводного ветра по данным радиолокационного зондирования.

На основе полученных зависимостей в дальнейшем будет предложена геофизическая модельная функция, позволяющая определить скорость приводного ветра по данным спутниковой радиолокации.

Литература

1. Браво-Животовский Д.М., Долин Л.С. Дистанционные методы исследования океана. – Горький: ИПФ РАН, 1987. – 194 с.
2. Доржсэв Б.Ч., Очиров О.Н., Климов А.И. Метод оценки УЭПР природных объектов // Ползуновский вестник. 2012, № 2. С. 200 – 203.
3. Кандауров А.А. Лабораторное исследование взаимодействия ветра и волн в штормовых условиях. Диссертация канд. физико-математических наук: 25.00.29. – Н.Новгород, 2014.
4. Пелиновский Е.Н. Практикум по динамике океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 320 с.
5. Скольник М. Введение в технику радиолокационных систем. – М.: Мир, 1965. – 748 с.

Пушка Гаусса

Янников Егор Ильич
8 класс, МАОУ Лицей № 38
Научный руководитель А.Ю. Еделев,
учитель физики МАОУ Лицей № 38



Создание и использование электромагнитного ускорителя масс, накопителя энергии и образования импульсов станет сильным толчком технологического прогресса. Нами представлена разработка схемы индукционной пушки Гаусса, создан действующий образец устройства, проведен комплекс испытаний, включая экспериментальную проверку дальности полета, кинетической энергии снаряда, исследована эффективность модели, вычислен КПД.

Пушка Гаусса – одна из разновидностей электромагнитного ускорителя масс – названа по имени немецкого ученого Карла Гаусса, заложившего основы математической теории электромагнетизма. Подобные ускорители давно используют в промышленности и на транспорте. В более узком понимании это устройство известно как соленоид и линейный двигатель. Такие двигатели широко применяются в высокоскоростных поездах. Еще более распространено применение линейных двигателей в высокоточных манипуляторах в станках, современных автоматических дверях и других схожих устройствах, – везде, где есть необходимость преобразования электроэнергии в прямолинейное движение определенных объектов.

Более перспективным считается строительство космических ускорителей на нашем естественном спутнике – Луне. Практическое отсутствие атмосферы, низкая гравитация и окружающая температура открывают фантастические перспективы для сверхпроводящих магнитов. Монорельсовый ускоритель на основе линейного мотора, либо тоннель из соленоидов планируется размещать горизонтально на поверхности Луны под небольшим углом. Питаться установка может либо от солнечных батарей, либо от привезенных на Луну ядерных реакторов. Таким образом, космическому аппарату сообщалась бы высокая начальная скорость, а дальше в дело вступают ионные двигатели. Луна в таком виде превратилась бы в перевалочную базу для дальнейшего освоения Солнечной системы или даже в первый земной космопорт. Несложно представить, что гигантские ускорители, питаемые термоядерными реакторами, будут способны разго-

нять космические аппараты до скоростей, при которых путешествие к отдаленным планетам будет занимать месяцы, а не годы.

Из всего выше сказанного следует, что рассмотрение данного вопроса является весьма актуальным. Цель работы – создание опытного действующего образца индукционной пушки Гаусса и проведение экспериментов для исследования эффективности модели.

Пушка Гаусса состоит из соленоида, внутри которого находится ствол из диэлектрика. В один из концов ствола вставляется снаряд, сделанный из ферромагнетика. При протекании электрического тока в соленоиде возникает электромагнитное поле, которое разгоняет снаряд, «втягивая» его внутрь соленоида. Для наибольшего эффекта импульс тока в соленоиде должен быть кратковременным и мощным. Для получения такого импульса используются электролитические конденсаторы с высоким рабочим напряжением. На концах снаряда при этом образуются полюса, ориентированные согласно полюсам катушки, из-за чего после прохода центра соленоида снаряд притягивается в обратном направлении, то есть тормозится за счет возникающей ЭДС индукции.

Параметры ускоряющей катушки, снаряда и конденсаторов должны быть согласованы таким образом, чтобы при выстреле к моменту подлета снаряда к соленоиду индукция магнитного поля в соленоиде была максимальна, но при дальнейшем приближении снаряда резко падала.

Сборка модели была произведена по следующей схеме (рис. 1).

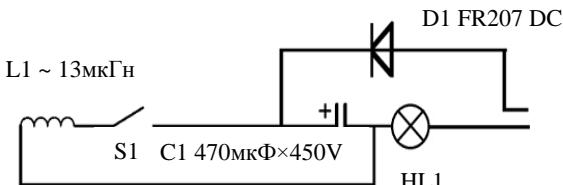


Рис. 1. Схема электромагнитного ускорителя масс

Для наматывания катушки использовался одножильный жесткий медный эмалированный провод диаметром 0.65 мм с клеем. Намотка производилась следующим образом: наматывался слой за слоем провод, причем каждый слой проклеивался. Далее расположили все компоненты и произвели разметку отверстий, необходимых для крепления деталей. Затем диод, конденсатор, тумблер и ствол с катушкой были установлены на каркасе. Затем была произведена пайка деталей (рис. 2).

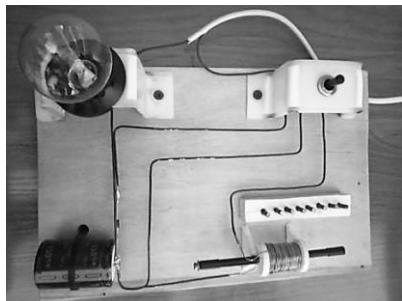


Рис. 2. Экспериментальная модель

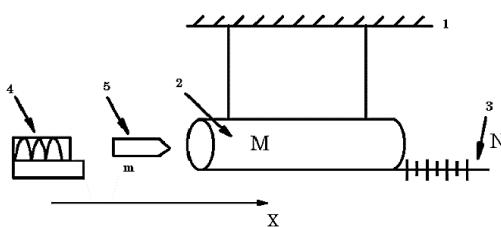


Рис. 3. Баллистический маятник

ступательное движение. Максимальное отклонение маятника от положения равновесия фиксируется механизмом 3.

Таблица. Расчет скорости пули

| № п/п | m, кг | x, м | $\langle x \rangle, м$ | M, кг | C, 1/с | $\langle v \rangle, м/с$ |
|-------|--------|-------|------------------------|--------|--------|--------------------------|
| 1 | 0,0021 | 0,205 | 0,215 | 0,0662 | 83,13 | 17,87 |
| 2 | | 0,21 | | | | |
| 3 | | 0,221 | | | | |
| 4 | | 0,209 | | | | |
| 5 | | 0,215 | | | | |
| 6 | | 0,22 | | | | |
| 7 | | 0,216 | | | | |
| 8 | | 0,214 | | | | |
| 9 | | 0,208 | | | | |
| 10 | | 0,222 | | | | |

Используя закон сохранения импульса и механической энергии, получим выражение для определения скорости v пули перед ударом:

$$v = \frac{(M+m)}{m} x \sqrt{\frac{g}{l}} . \quad (1)$$

Для определения скорости снаряда использовался баллистический маятник (рис. 3), который представляет собой массивный, заполненный пластилином цилиндр M , прикрепленный к подвесу 1. В цилиндр в горизонтальном направлении производят выстрел снарядом из пушки 4, неподвижно закрепленной вблизи маятника. Пуля попадает в пластилин, застревает в нем и дальше продолжает двигаться вдоль оси X вместе с маятником, так как возникает неупругий удар. Маятник закреплен так, чтобы в процессе отклонения он совершал по-

$$\text{Введем обозначение } C = \frac{(M+m)}{m} \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (2)$$

Рассчитав значение C и измерив смещение x , определяем скорость пули v . Результаты представлены в таблице.

Так как $m \ll M$, то скорость пули можно определить по формуле

$v = \frac{M}{m} x \sqrt{\frac{g}{l}}$. Была рассчитана относительная погрешность косвенного измерения скорости v :

$$\xi = \frac{\Delta v}{\langle v \rangle} = \sqrt{\frac{\Delta m^2}{m^2} + \frac{\Delta M^2}{M^2} + \frac{1}{4} \frac{\Delta l^2}{l^2} + \frac{\Delta x^2}{x^2}}, \xi = 0,06453,$$

а затем и граница доверительного интервала (абсолютная погрешность) косвенного измерения скорости полета пули:

$$\Delta v = \xi = \langle v \rangle; \Delta v = 1,15315 \text{ м/с}; v = (17,87 \pm 1,15) \text{ м/с}.$$

В ходе работы был произведен расчет КПД установки.

Энергия электрического поля конденсатора: $W_e = \frac{CU^2}{2}$. Кинетическая

энергия вылета снаряда: $W_k = \frac{mv^2}{2}$. Тогда КПД равен: $\eta = \frac{mv^2}{CU^2}$.

При $m = 0,0021$ кг, $v = 17,87$ м/с, $C = 470 \cdot 10^{-6}$ Ф, $U = 22$ В, $\eta \approx 3\%$.

Электромагнитные ускорители – перспективное устройство, которое, несомненно, будет применяться в промышленности, науке, в быту и военном деле. Однако главным препятствием в их использовании является низкий КПД, для увеличения которого лучше использовать не однокатушечную, а многоступенчатую модель ЭМ ускорителя, а также можно менять виды снарядов (электромагниты, постоянные магниты), материалы изготовления и длину ствола, однако КПД все равно остается довольно низким и не превышает 17 %.

Литература

1. Бут Д.А. Основы электромеханики. – М.: МАИ, 1996. – 363 с.
2. Замятин В.Я., Кондратьев В., Петухов В.М. Мощные полупроводниковые приборы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1988. – 336 с.

Астрономия



Обнаружение внесолнечных планет методом лучевых скоростей

Андриянычева Ксения Дмитриевна,
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.В. Лапинов,
заведующий лабораторией ИПФ РАН,
доктор физико-математических наук



Рассмотрен метод обнаружения экзопланет по лучевой скорости звезды, основанный на эффекте Доплера. Первая задача заключалась в определении расстояний, на которых возможно обнаружение планет земной массы. Вторая задача – определить потенциальную обитаемость планеты в зависимости от расстояния, на котором она находится от Земли (через определение примерной температуры планеты). Итоговая цель – нахождение области пересечения зон обнаружимости и зон обитаемости для четырех классов звезд.

Астрономам с древних времен были известны шесть планет Солнечной системы – Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн. Но в 1781 году английский ученый Уильям Гершель с помощью своего телескопа обнаружил седьмую планету – Уран, в 1846 году по расчетам Леверье и Галле был открыт Нептун, а в 1930 году американский астроном Клайд Томбо, продолжая дело своего учителя Персивала Лоуэлла, из анализа фотографий ночного неба на длинной выдержке открыл девятую планету – Плутон, ныне считающуюся карликовой.

С середины XIX века ученые предполагали существование планет вне Солнечной системы, и в 1988 году была открыта первая такая планета. Подобные объекты за пределами Солнечной системы называются экзопланетами (от греч. ἔξω, εχō – снаружи, извне). На данный момент открыто 3563 экзопланеты в 2674 планетных системах, из которых в 601 имеется более одной планеты. Абсолютное большинство открытых экзопланет обнаружено с использованием различных непрямых методов детектирования, а не визуального наблюдения. Сейчас наиболее распространены шесть методов обнаружения экзопланет [1, 2, 4]: прямое наблюдение, транзит (считывание изменений блеска звезды при прохождении по ее диску планеты), микролинзирование (искажение света далекой звезды под влиянием гравитации более близкой системы), астрометрия (измерение отклонений от прямого движения звезды по

небесной сфере), тайминг пульсаров (изменение периода импульсов пульсара под влиянием компаньонов) и метод Доплера (считывание изменений радиальной скорости звезды).

В данной работе подробно рассмотрен метод Доплера и проанализирована возможность определения у звезды землеподобных спутников. В качестве спутника приводится планета, равная по массе Земле, в качестве центрального объекта – звезды с массами и радиусами, типичными для звезд классов F (желто-белые), G (желтые карлики), K (оранжевые карлики), M (красные карлики). Показано, что для более ярких звезд классов W, O, A, B подобные поиски практической пользы не имеют [2]. Работа носит сугубо теоретический характер, все результаты получены методом математических расчетов.

Метод Доплера, иначе называемый методом лучевых скоростей, основывается на измерении смещений спектральных линий излучения звезды, по которым можно определить наличие у нее массивного спутника. Поскольку звезда состоит из определенных химических элементов и соединений, которые излучают электромагнитные волны с известными частотами в оптическом спектре, излучение этих соединений можно зафиксировать с помощью спектрографа и измерить положения соответствующих спектральных линий.

Эффект Доплера заключается в том, что при движении звезды по направлению к нам спектральные линии смещаются в синюю сторону, при отдалении – в красную. На основании смещения этих линий, которые зачастую намного меньше толщины самой линии, можно получить кривую движения звезды (в случае с одной планетой и круговой орбитой это будет правильная синусоида).

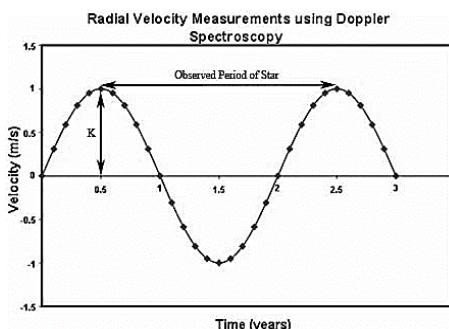


Рис. 1. Кривая движения звезды. Расстояние между пиками по оси времени – орбитальный период вращения системы, расстояние от нуля до пика на оси скоростей – предполагаемая лучевая скорость вращения звезды вокруг центра масс (изображение из Википедии).

Зная массу звезды и массу планеты, мы можем вычислить радиус орбиты вращения звезды вокруг общего центра масс:

$$r = \frac{RM}{M + M_{\odot}}.$$

Далее через запись третьего закона Кеплера можно вычислить период обращения системы, а скорость, соответственно, высчитывается по формуле линейной скорости для движения по окружности:

$$T = T_0 \sqrt{\frac{r^3}{R^3}}; \quad v = \frac{2\pi r}{T}.$$

Приведен график зависимости скорости звезды от расстояния до планеты (рис. 2): чем светлее линия, тем массивнее звезда.

Для звезд, с отличной от солнечной массой, также встает проблема вычисления одного стандартного года для данной планетной системы.

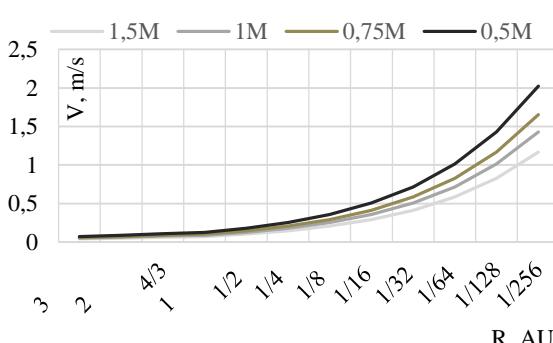


Рис. 2. График зависимости лучевой скорости звезды от расстояния до планеты

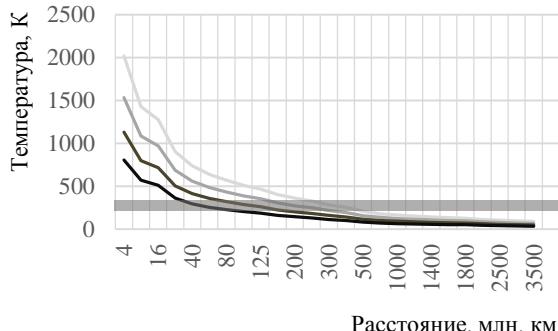


Рис. 3. График зависимости температуры планеты от расстояния до звезды. Темный прямоугольник – потенциально обитаемая зона (значения от 273 до 373 К)

Стандартный год – период обращения планеты вокруг звезды на расстоянии одной астрономической единицы. Высчитать значение можно через второй закон Ньютона, всемирный закон тяготения и формулу центростремительного ускорения вращения тела. Для звезд массой в 1,5 солнечной мы получили значение в 298 дней, для 1.0, 0.75 и 0.5 массы Солнца – 1, 1.6 и 1.42 земных года соответственно.

Второй задачей нашей работы было определение границ зоны обитаемости для различных классов звезд. Вычисления проводились по закону Стефана-Больцмана с

учетом поправки на сферическое альбедо Земли (альбедо – способность тела отражать свет). Таким образом, была определена предполагаемая температура поверхности планеты на различных расстояниях, по этим данным был построен график (рис. 3).

Итогом работы является сравнительная диаграмма зон обнаружимости методом Доплера и зон обитаемости для землеподобных планет вокруг звезд классов F, G, K и M. По данной диаграмме можно судить о том, около каких звезд возможно обнаружение потенциально обитаемых планет-двойников Земли. Мы выяснили, что с уменьшением спектрального класса звезды зона обитания не просто приближается к центральной звезде, но пропорционально радиусу уменьшается и ширина самой зоны. При этом, если предельная считываемая скорость звезды на данный момент составляет 0,1 м/с, то для получения надежного результата следует брать значения от 0,3 – 0,4 м/с, поскольку оборудование и оператор имеют некоторую погрешность.

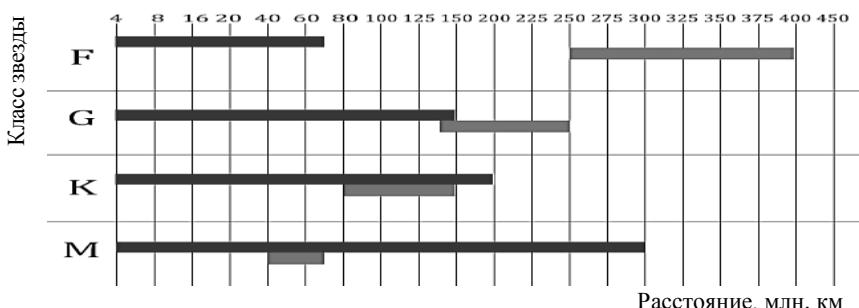


Рис. 4. Диаграмма сравнения зон обнаружимости (черный) и обитаемости (серый). Видно, что потенциальные двойники Земли могут быть обнаружимы только у звезд класса G и ниже

Литература

1. *Erskine D.J., Edelstein J., Harbeck D., Lloyd J.* Externally Dispersed Interferometry for Planetary Studies // Proceedings of SPIE: Techniques and Instrumentation for Detection of Exoplanets II / Daniel R. Coulter. 2005. Vol. 5905. P. 249 – 260.
2. Гийем Англада-Эскудэ. Планета ближайшей звезды // Вселенная, пространство, время. 2017, № 3 (152). С. 6 – 13.
3. Ксанфомалити Л. Поиск систем внесолнечных планет с помощью спектрального метода лучевых скоростей и астрометрии // Астроном. вестник. 1999. Т. 33. № 6. С. 547 – 552.
4. Рисс А. Взрывы звезд и расширение Вселенной // Вселенная, пространство, время. 2016, № 9 (146). С. 4 – 8.

Расчет параметров звезды, имеющей систему землеподобных планет

Базанов Дмитрий Александрович,
8 класс, МБОУ СОШ №7, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Р.В. Троицкий,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат физико-математических наук



В работе по известным орбитальным данным планетной системы рассчитываются параметры звезды, а по результатам оценивается возможность углеродной жизни на них. Из аналого третьего закона Кеплера в приближении круговых орбит получена масса звезды. Далее, по зависимости масса-светимость для звезд малой массы получена ее светимость. Отсюда выражено расстояние, на котором освещенность от нее близка к земной, это расстояние оказалось близким к радиусам орбит двух планет. Затем, из светимости и радиуса звезды найдены средняя температура ее фотосферы и время жизни на главной последовательности – порядка 10^{13} лет. Показано, что приливное ускорение на ближайших к звезде планетах на 4 – 5 порядков больше солнечного на Земле; обсуждается устойчивость атмосферы и возможность жизни на них.

В начале 2017 года в интернете появилась обширная информация [6] об обнаружении группы землеподобных планет в системе красного карлика TRAPPIST-1, с расстоянием от Солнца около 40 световых лет. В ней приводились параметры планет и предположения о возможном существовании жизни в системе; но, как и в статье [1], почти не было данных о самой звезде, только лишь то, что она – красный карлик и ее масса равна 8% массы Солнца. Поэтому нами были поставлены задачи: получить параметры звезды по данным о ее планетной системе; независимо оценить их сочетания с возможностью углеродной жизни в ней [3] и правдоподобность обсуждений этих вопросов в интернете.

Масса M звезды оценивается из известного периода обращения планеты вокруг звезды и расстояния r между их центрами в предположении, что все орбиты – окружности. Тогда из закона всемирного тяготения и второго закона Ньютона следует, что сила гравитационного взаимодействия F_r между звездой и любой ее планетой:

$$F_r = ma = \frac{GMm}{r^2}, \quad (1)$$

где m – масса планеты, a – ее центростремительное ускорение и G – постоянная всемирного тяготения. В свою очередь, из соотношений $a=v^2/r$, $v=2\pi r/T$, следует: $a=4\pi^2 r/T^2$, где v – линейная скорость планеты на орбите, а T – период обращения (длительность года). Сокращая m в правой части равенств (1), и подставляя в него « a », получим: $4\pi^2 r/T^2 = G \cdot M/r^2$. Тогда:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi}. \quad (2)$$

Поскольку (2) верно для любой планетной системы, для Солнечной получим:

$$\frac{r_3^3}{T_3^2} = \frac{GM_c}{4\pi}, \quad (3)$$

где значок z придает расстоянию и периоду значения 1а.е. и 1 года соответственно, а c превращает M в массу Солнца. Находя (2): (3), то есть разделив эти уравнения почленно друг на друга и меняя в итоговом уравнении местами правую и левую части, получаем:

$$\frac{M}{M_c} = \frac{\left(\frac{r}{r_3}\right)^3}{\left(\frac{T^2}{T_3^2}\right)}. \quad (4)$$

Далее, используя таблицу данных $\frac{r}{r_3}$ и T , пересчитываем $\frac{T}{T_3}$ для планет TRAPPIST-1 ($T_3 = 365,25$ дня) в результате из (4) получаем таблицу исходных и рассчитанных данных оценки массы TRAPPIST-1a (звезды) по орбитальным параметрам каждой из планет от b до g в массах Солнца. Планету h не учитываем – ее r и T могут содержать большие погрешности [5].

Таблица. Параметры планет (исходные данные) и результаты оценки по ним массы звезды

| | b | c | d | e | f | g |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| r/r_3 | 0,011 | 0,015 | 0,021 | 0,028 | 0,037 | 0,045 |
| T , дни | 1,51 | 2,42 | 4,05 | 6,10 | 9,21 | 12,35 |
| $10^4 T/T_3$ | 41,34 | 66,26 | 110,9 | 167,0 | 252,2 | 338,1 |
| M/M_c | 0,0779 | 0,0769 | 0,0753 | 0,0787 | 0,0797 | 0,0797 |

Значительный разброс полученных масс (до 6%), по-видимому связан с отличием орбит некоторых планет от круговых. При эллиптических орбитах период T в (2) определяется большой полуосью эллипса, на деле же в качестве r приведено его среднее значение. Тогда, если эллиптичность орбиты планеты больше земной (последняя весьма мала) из (4) и среднего r в нем получаем заведомо заниженные M . Таким образом, в таблице необходимо ориентироваться на большие значения M/M_c . Значит, M близка к $0,08 M_c$, что соответствует [5]. Отметим, что полученная масса лежит практически на нижней границе значений для звезды, обладающей устойчивой светимостью (современные оценки – до $0,075 M_c$ [1]; в зависимости от металличности). При массе заведомо меньшей граничной, звезда становится «коричневым карликом», у которого не всегда хватает массы для регулирования температуры своей фотосферы – видимой поверхности звезды, а значит и светимости – L . Последняя пропорциональна четвертой степени температуры и площади фотосферы (квадрату видимого радиуса звезды). У коричневых карликов периоды повышенной светимости при температуре поверхности около 2000 К и более могут перемежаться периодами ее заметного охлаждения.

Светимость в период «спокойной жизни» звезд на главной последовательности связана с их массой, причем различным образом для разных диапазонов масс. Светимости, как и массы звезд, принято выражать в светимостях Солнца. Для звезд с массой $M \leq 0,43 M_c$:

$$\frac{L}{L_c} = 0,23 \left(\frac{M}{M_c} \right)^{2,3}; \quad [4]$$

откуда

$$L = 6,85 \cdot 10^{-4} \cdot L_c. \quad (5)$$

Оценим, при каком расстоянии звезды освещенность (E) ее планеты на круговой орбите будет равна освещенности Земли Солнцем (E_3). По

определению $E = \frac{L}{4\pi r^2}$ в знаменателе площадь сферы радиусом r , r – расстояние до источника света. Тогда $E = E_3$, если $\frac{r}{r_3} = \sqrt{6,85 \cdot 10^{-4}} = 2,61 \cdot 10^{-2}$, что близко к значениям для планет d и e .

Вращение большинства планет TRAPPIST-1 вокруг собственной оси происходит в режиме так называемого приливного резонанса

(периоды вращения небесного тела вокруг собственной оси и вокруг более массивного небесного тела совпадают). В таком случае планеты всегда повернуты одной и той же стороной к нему, как Луна к Земле, Плутон и Харон – друг к другу. Если это действительно так для большинства планет TRAPPIST-1, то они представляются весьма уютными для относительно стабильного существования жизни углеродного типа, но по-видимому менее пригодными для ее зарождения и быстрой эволюции. Последние суждения связаны с тем, что для зарождения и быстрой эволюции жизни нужна изменчивость внешних условий: она стимулирует эволюцию и «перебирает» параметры, некоторый набор которых и приводит к появлению жизни [2], а приливной резонанс вызывает отсутствие на планете не только времен года, но и перемен дня и ночи.

Неполная перемена последних все же возможна вблизи линии среднего терминатора: в основном из-за эллиптичности орбиты планета может слегка «покачиваться». Например, Луна относительно Земли поворачивается на величину до 11 угловых градусов.

Перебор параметров во времени отчасти заменяется перебором в пространстве: очевидно, что при не такой плотной как у Венеры, и не такой подвижной как у Юпитера атмосфере, разница температур в подсолнечной и противосолнечной точках планеты велика. Например, для Меркурия, правда при отсутствии атмосферы – до 600 К. Благодаря приливному резонансу «зоны жизни» могут находиться на поверхности устойчиво комфортных по температуре шаровых слоев планет. Например, на планете d такой зоной может быть часть поверхности планеты с высотой центра «Солнца» над горизонтом, например, от 15 до 25 угловых градусов; а на e – от 20 до 35. Понятно, что эти числа взяты с «потолка»: в них не учтены неизвестные альбедо планет, распределение по поверхности и даже наличие океанов. Очевидно, что влияние приливных сил на ближайших к звезде планетах будет огромно: ведь их величина прямо пропорциональна массе звезды и обратно пропорциональна третьей степени расстояния между центрами звезды и планеты. При радиусе планет близком к земному это означает, что приливные силы на ближайшей к звезде планете по порядку величины в сто тысяч раз больше, чем солнечные – на Земле! Последнее гарантирует значительную утечку атмосферы, особенно у близких к звезде планет.

Оценим теперь, считая радиус звезды $R=7\cdot10^4$ километров, температуру ее поверхности. Последнюю снова удобно вычислить в

долях Солнечной, поскольку $\frac{L}{L_c} = \left(\frac{T}{T_c}\right)^4 \cdot \left(\frac{R}{R_c}\right)^2$. Отсюда легко

получить, что $T = 0,511 T_c$, то есть около 2950 К, что соответствует классу светимости звезды $M6,5$ (как и в [1]); оценка времени жизни такой звезды на главной последовательности с относительно устойчивой светимостью [4] дает порядка 10 триллионов лет! Интересно также, что видимый диаметр звезды с ближайшей планеты будет примерно в 10 раз больше Солнца, с Земли около 5° – что сравнимо с размерами небольших созвездий с Земли.

Большинство найденных в интернете обсуждений параметров планет и факторах их пригодности для жизни верны; однако в них не учитываются приливные силы звезды, влиянием которых нельзя пренебрегать. Однако мы не нашли ни оценки температуры поверхности звезды, ни времени ее жизни ни в одном из источников. Кроме того, открытие землеподобных планет с приливным резонансом несколько изменяет понятие «зон (возможной) жизни» [3], отчасти перенося его с планеты в целом на ее климатические зоны, выраженные гораздо ярче, чем на Земле. Работа может быть рекомендована как разработка модельных задач-оценок по астрономии для старшеклассников в связи с восстановлением в следующем учебном году предмета «астрономия» в школе.

Литература

1. Duric N. Advanced astrophysics. – Cambridge University Press, 2004. – 20 p.
2. Докинз Р. Слепой часовщик: как эволюция доказывает отсутствие замысла во Вселенной. – М., АСТ, 2015. – 493 с.
3. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. – М., Наука, 1987. – 320 с.
4. Fred C. Adams & Gregory Laughlin. A Dying Universe: The Long-Term Fate and Evolution of Astrophysical Objects. – U. Michigan1997 [Электронный ресурс]. *arXiv:astro-ph/9701131 [astro-ph]*. P. 4 – 5.
5. Gillion M. Temperate Earth-sized planets transiting a nearby ultracool dwarf star// Nature, 2016, 533. P. 221 – 224; вариант под названием «Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1» [Электронный ресурс]. <http://www.eso.org/public/archives/releases/sciencepapers/eso1706/eso1706a.pdf>
6. Возле ультрахолодного красного карлика нашли 3 землеподобные планеты с океанами. 22.02.2017 [Электронный ресурс] // Life наука: сайт. https://life.ru/t/%D0%BD%D0%BD%D0%BD%D1%83%D0%BA%D0%B0/977404/vozli_e_ultrakholodnogho_krasnogho_karlika_nashli_3_ziemliepodobnyie_planety_s_okieanami

Исследование загрязнения атмосферы с помощью отраженного света Луны

Коган Сергей Александрович
7 класс, МБОУ Лицей № 40, ШНОИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин,
доцент НГПУ им. К. Минина,
кандидат физико-математических наук



В работе предпринята попытка исследования загрязненности атмосферы с помощью отраженного света Луны. Проведен модельный эксперимент, в результате которого получена зависимость освещенности от пути, пройденного светом в среде. В натурном эксперименте получена зависимость светимости Луны от пути, пройденного светом в атмосфере Земли.

Земная атмосфера представляет смесь газов и твердых включений различного размера (пыль, сажа, лед), это хорошо заметно в атмосфере больших городов. Такие включения затрудняют проведение наблюдений в черте города. Поэтому необходимо учитывать при анализе изображений, полученных в городе, вклад, вносимый в рассеяние света мелкими твердыми частицами.

Цель работы – исследование возможности оценки загрязненности атмосферы по измерению яркости Луны на небе. Когда Луна поднимается над горизонтом, уменьшается толщина слоя атмосферы, через который проходит отраженный свет, следовательно, если твердые частицы отсутствуют, то теоретическая кривая изменения интенсивности света будет совпадать с экспериментальной кривой. По отклонениям экспериментальных от теоретических данных можно судить о концентрации твердых частиц в атмосфере города.

Поглощение света – это явление уменьшения интенсивности света при прохождении его через вещество. Уменьшение интенсивности света происходит в результате того, что энергия света переходит в другие виды энергии.

В работе предпринята попытка оценить загрязненность атмосферы по разнице светимости небесных тел (Луны) за пределами атмосферы и на поверхности Земли. Известно, что поглощение света подчиняется закону Бугера-Ламберта-Бера, согласно которому, интенсивность света при прохождении через среду экспоненциально уменьшается в зависимости от расстояния, которое свет прошел в среде (L): $I = I_0 \cdot e^{-\alpha L}$, где α – коэффициент поглощения, завися-

щий от длины волны. При расчетах имеет смысл использовать длину волны $\lambda=555\text{нм}$, что соответствует цвету, наиболее хорошо воспринимаемому человеческим глазом.

Соответственно, зная светимость Луны за пределами атмосферы и расстояние, которое свет проходит в атмосфере, можно оценить коэффициент затухания α и, соответственно, качественно оценить степень загрязненности атмосферы.

Положение Луны на небе меняется в зависимости от времени и, зная точное время измерений, можно рассчитать высоту (угол над горизонтом) Луны. Для пересчета высоты над горизонтом в путь, который

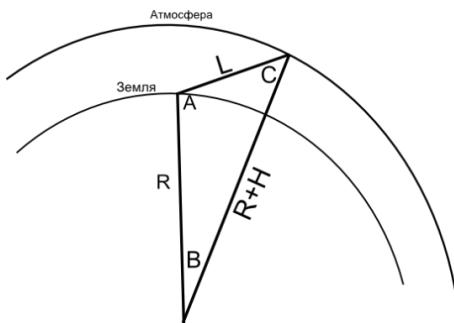


Рис. 1. Постановка задачи

свет проходит через атмосферу, необходимо найти L в задаче (рис. 1), где R – радиус Земли, H – толщина атмосферы, луч AC – направление от наблюдателя до Луны, L – расстояние, которое свет проходит в атмосфере.

Применим к треугольнику (рис. 1) теорему синусов и, учитывая, что угол $A=90^\circ+h$, где угол h – высота Луны над горизонтом, получаем:

$$L = \sqrt{R^2 \cdot \sin^2(h) + 2RH + H^2} - R \cdot \sin(h). \quad (1)$$

Таким образом, зная радиус Земли, толщину атмосферы и высоту светила, мы можем рассчитать расстояние, которое свет проходит в атмосфере. Для реального определения коэффициента поглощения света атмосферой нам не хватает данных о светимости Луны за пределами атмосферы. Поэтому в работе предпринята попытка сравнить формы кривых реально наблюдаемой светимости Луны с поверхности Земли в зависимости от пути света в атмосфере с модельным экспериментом, в котором регистрировалась светимость фонарика в зависимости от толщины слоя воды, через который проходил свет. Сопоставляя данные кривые и зная коэффициент поглощения воды, можно качественно характеризовать коэффициент поглощения света в атмосфере.

Модельный эксперимент

Целью модельного эксперимента была демонстрация того, что свет будет поглощаться при прохождении через среду, и это поглощение будет соответствовать закону Бугера-Ламберта-Бера.

В эксперименте использовалась установка, состоящая из вертикально стоящего цилиндрического непрозрачного кожуха, защищающего от внешней засветки, фонаря с одной стороны и люксметра с другой стороны цилиндра. В середине цилиндра размещался прозрачный стеклянный стакан, который был заполнен водой, выполняющей роль светопоглощающей среды, через который проходил свет от фонаря к люксметру. Схема установки представлена на рисунке 2.

Предполагалось, что при изменении уровня воды в стакане регистрируемая люксметром освещенность будет экспоненциально падать при увеличении толщины слоя воды. Для исключения влияния стекла стакана были проведены измерения освещенности без воды. Вычисляя средние значения для каждого эксперимента, построили зависимость освещенности от толщины слоя воды в стакане (рис. 3). По результатам эксперимента мы не получили соответствия экспоненциальному закону уменьшения светимости в зависимости от толщины поглощающей свет среды, мы получили большее поглощение света пустым стаканом. Неудачу эксперимента можно объяснить тем, что химический стакан не является идеальным цилиндром, дно его слегка изогнуто, что могло привести к образованию линзы.

Натурный эксперимент

В натурном эксперименте мы измеряли светимость Луны с помощью люксметра. Экспериментальная установка представляла собой телескоп с люксметром, прикрепленным к окуляру таким образом, чтобы не было внешней засветки, и весь световой поток из окуляра попадал на люксметр.

Было проведено два эксперимента по пять измерений (9 и 10 марта 2017 года). Используя лунный календарь [1] и соотношение (1), а также принимая радиус Земли равным

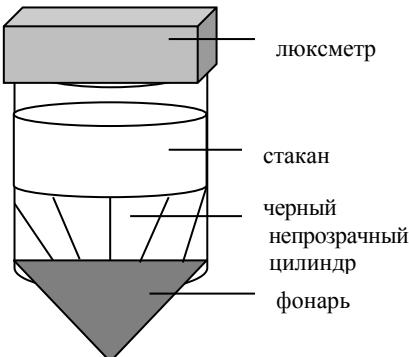


Рис. 2. Схема установки

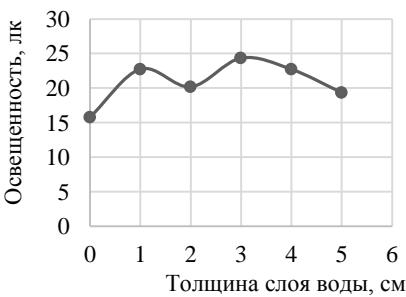


Рис. 3. Зависимость средней освещенности от толщины слоя воды в стакане

6371 км, толщину плотного слоя атмосферы 10 км, получаем зависимость светимости от длины пути света в атмосфере (рис. 3).

Таким образом, полученные экспериментальные результаты близки к теоретическим. Основная проблема в измерении, возможно, была в том, что 9 и 10 марта различались погодные условия, что не позволило сравнивать измерения. На графиках заметно, что в рамках одного дня есть тенденция к снижению светимости в зависимости от длины пути света в атмосфере.

Заключение

Для правильного построения модельного эксперимента необходимо выбрать такой способ изменения толщины среды, проходимой светом, чтобы избежать получения линзы. При модельном эксперименте имеет смысл увеличить длину непрозрачного цилиндра для того, чтобы лучше смоделировать параллельность светового пучка. Для точного натурного эксперимента необходимо проводить его во время устойчивых погодных условий, желательно на протяжении всего интервала от начала подъема до заката светила.

Литература

1. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т. 3. – М.: Наука, 1966. – 531 с.
2. Сивухин Д.В. Оптика. Т.4. – М.: Физматлит, 2013. – 791с.
3. Лунный календарь [Электронный ресурс].
<https://www.timeanddate.com/moon/russia/nizhny-novgorod>

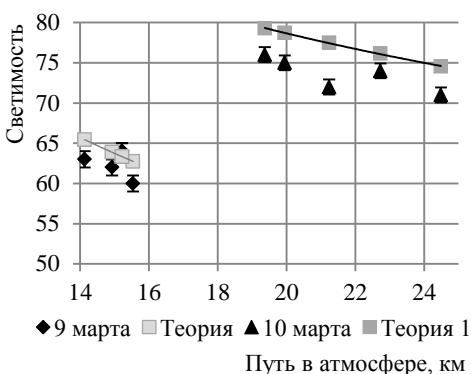


Рис. 4. Зависимость светимости от пути, пройденного светом в атмосфере (черным отмечены экспериментальные данные 9 и 10 марта, серым – теоретическая кривая на 9 и 10 марта соответственно)

Измерение лучевой скорости темного облака L1544 через частоту энергетических переходов молекул метанола

Штурмина Марина Сергеевна,
9 класс, МАОУ Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель С.А. Шарабакина,
лаборант-исследователь ИПФ РАН



В результате лабораторных измерений на созданном в ИПФ РАН спектрометре на основе провала Лэмба измерены с высокой точностью частоты переходов в основном и однократно дейтерированном метаноле. Это позволило существенно уточнить значения доплеровских сдвигов в темном молекулярном облаке L1544. Показано, что в пределах погрешностей лучевые скорости источника в линиях дейтерированного метанола согласуются не только друг с другом, но и со скоростью источника в линиях основного метанола. Знание точных лабораторных частот позволило показать, что отношение массы электрона к массе протона на Земле и в облаке одинаковы с точностью до восьми знаков после запятой, что является одной из наиболее точных оценок в сравнении с измерениями по линиям других молекул.

Благодаря астрономическим измерениям изучаются расположение, движение, строение, происхождение и развитие небесных тел, а также образованных ими систем. Одним из источников информации о Вселенной являются радиоастрономические наблюдения, основанные на детектировании электромагнитных волн в радиодиапазоне. В данной работе рассматривается радиоизлучение молекул, благодаря которым можно исследовать области, непрозрачные в оптике из-за поглощения пылью. На данный момент в космосе открыто около двухсот молекул, не считая изотопозамещенных. Главный недостаток существующих каталогов заключается в том, что частоты подавляющего большинства энергетических переходов межзвездных молекул получены методом традиционной спектроскопии, характерная точность которого не превышает 30 – 100 кГц, что сравнимо с шириной самой линии. Современная точность радиоастрономических измерений может достигать 1 кГц [1]. Для получения более точных лабораторных частот в ИПФ РАН был создан спектрометр на основе провала Лэмба, работающий в диапазоне частот 36 – 1200 ГГц. Исхо-

дя из знания точных значений частот переходов, возможно получить следующую информацию:

- скорости молекулярных облаков и возможные относительные движения областей, излучающих в линиях разных молекул;
- температуру реликтового фона при больших красных смещениях [3];
- возможные вариации фундаментальных физических констант, например, отношение массы электрона к массе протона на Земле, в разреженных областях звездообразования или на далеких космологических расстояниях [5].

Целью данной работы было точное измерение частот энергетических переходов молекул обычного и однократно дейтерированного метанола CH_3DOH . В задачи входило уточнение лучевой скорости в линиях разных молекул в темном облаке L1544 и проверка гипотезы о возможном отличии отношения массы электрона к массе протона на Земле и в разреженных условиях в космосе. Если немного изменить значение отношения массы электрона к массе протона, то частоты переходов у разных молекул будет сдвигаться различно, например, в молекуле аммиака частоты определяются туннельными переходами, в молекуле метанола имеются туннельные и вращательные переходы, то есть одни частоты изменяются сильно, а другие слабо. Поэтому для измерений были выбраны именно молекулы метанола. Актуальность работы заключается в том, что в опубликованных данных по L1544 использовались неточные значения лабораторных частот [2, 4, 6], что приводило к ряду ошибочных выводов. Пример измеренных нами линий для двух вращательных переходов однократно дейтерированного метанола приведен на рисунке 1. На рисунке 2 приведены результаты определения центров линий в зависимости от давления газа в ячейке спектрометра.

Из рисунка 2 видно, что характерная погрешность измерения частот переходов меньше или порядка 1 кГц, а сами значения частот сдвинуты относительно приведенных в Jet Propulsion Laboratory [6]. Зная сдвиг частоты линий, можно скорректировать скорость движений.

В результате выполненных исследований было найдено, что скорость для однократно дейтерированного метанола в облаке L1544 с высокой точностью совпадает с лучевой скоростью источника в основном метаноле. Сдвиги в доплеровской шкале скоростей для измеренных линий относительно значений частот из JPL-каталога со-

ставили 0.297(2) и 0.254(2) км/с, что более чем на порядок превышает точность астрономических измерений. В результате вычислений найденные скорости источника в линиях дейтерированного метанола на длине волны 3 и 2 мм составили 7.186(24) и 7.193(22) км/с, что в пределах погрешностей согласуется не только друг с другом, но и со скоростью источника в линиях основного метанола. Знание точных лабораторных частот позволило нам показать, что отношение массы электрона к массе протона на Земле и в облаке одинаковы с точностью до 8 знаков после запятой, что на сегодня является одной из наиболее точных оценок в сравнении с измерениями по линиям других молекул [5].

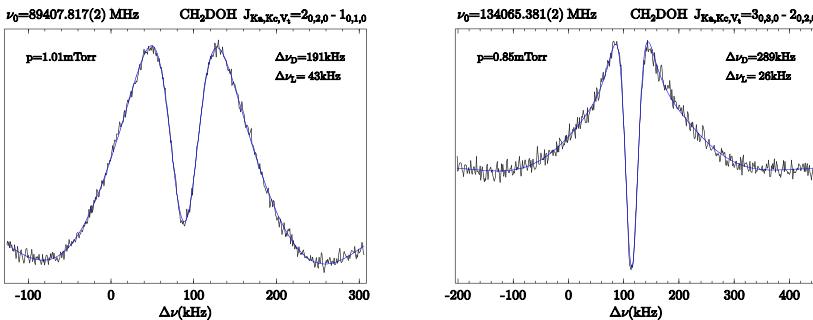


Рис. 1. Формы линий вращательных переходов CH₂DOH с провалом Лэмба, измеренных на спектрометре ИПФ РАН (черным) и их аппроксимация (синим)

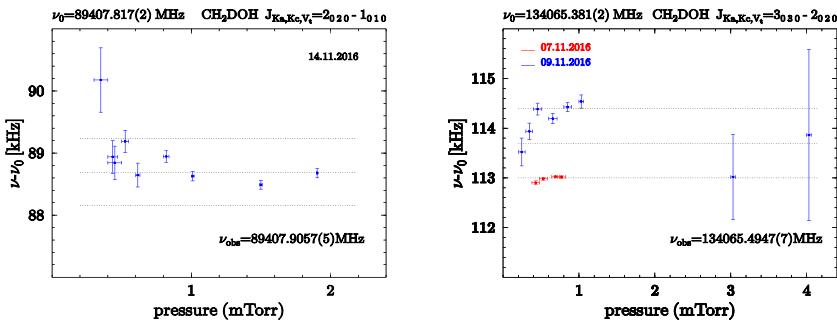


Рис. 2. Результат определения центров линий в зависимости от давления

Литература

1. Cazzoli G., Puzzarini C., Lapinov A.V. *Astrophys J.*, 2013, 529, L95 – L98.

2. *Hilali A.E., Coudert L.H., Konov I., Klee S.* Analysis of the torsional spectrum of monodeuterated methanol CH₂DOH // J. Chem. Phys., 2011, 135, 194309.
3. *Srianand R., Noterdaeme P., Ledoux C., Petitjean P.* First detection of CO in a high-redshift damped Lyman- α system // Astronomy and Astrophysics, 2008, v. 482. P. L39 – L42.
4. *Xu L.H., Fisher J., Lees R.M.* Torsion–rotation global analysis of the first three torsional states ($v \neq 0, 1, 2$) and terahertz database for methanol // Journal of Molecular Spectroscopy 251 (1), 2008. P. 305 – 313.
5. *Лапинов А.В., Левшаков С.А., Козлов М.Г., Голубятников Г.Ю., Белов С.П., Андриянов А.Ф., Шкаев А.П., Агафонова И.И., Зинченко И.И.* Исследование фундаментальных свойств вселенной на основе прецизионной спектроскопии молекул // Вестник РФФИ, 2012. С. 111 – 118.
6. Molecular Spectroscopy [Электронный ресурс] // NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology: сайт. <https://spec.jpl.nasa.gov/ftp/pub/catalog/catdir.html>

Химия



Синтез и молекулярная структура органических производных сурьмы и висмута с салициловой и ацетилсалициловой кислотами

Гиричева Марина Антоновна

11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

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

доктор химических наук

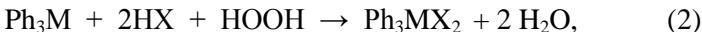
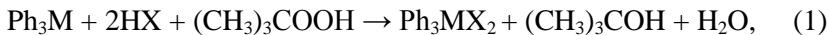


В работе проведен синтез дисалицилатов и диацетилсалицилатов трифенилсурьмы и трифенилвисмута и квантово-химически исследовано их строение. Для синтеза использован оригинальный метод, разработанный в лаборатории ННГУ им. Н.И. Лобачевского и основанный на взаимодействии Ph_3M с пероксидом и салициловой или ацетилсалициловой кислотой при комнатной температуре. Выявлено, что варьирование природы металла и строения карбоксилатных заместителей приводит к существенному изменению энергетических характеристик, строения, природы связи, окислительно-восстановительных свойств салицилатных и ацетилсалицилатных комплексов сурьмы и висмута, что может быть использовано при настройке их биологической активности.

В настоящее время актуальной и быстро развивающейся областью химии является химия элементоорганических соединений V группы. Сурьма- и висмуторганические соединения с карбоксилатными остатками имеют важное фундаментальное и прикладное значение. Некоторые производные висмута и карбоновых кислот применяются для лечения различных желудочно-кишечных заболеваний [6, 9].

Органические производные сурьмы(V) и висмута(V) представляют большой интерес из-за их устойчивости к действию кислорода, влаги, нагреванию, а также возможности точной настройки биологической активности соединения посредством вариации лигандов и атома металла.

В работе проведен синтез дисалицилатов и диацетилсалицилатов трифенилсурьмы и трифенилвисмута и квантово-химически исследовано их строение. Для синтеза был использован оригинальный метод, разработанный в нашей лаборатории и основанный на взаимодействии Ph_3M с пероксидом и салициловой или ацетилсалициловой кислотой при комнатной температуре:



где $\text{HX}^1 = 2\text{-HO-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$ (салциловая кислота),

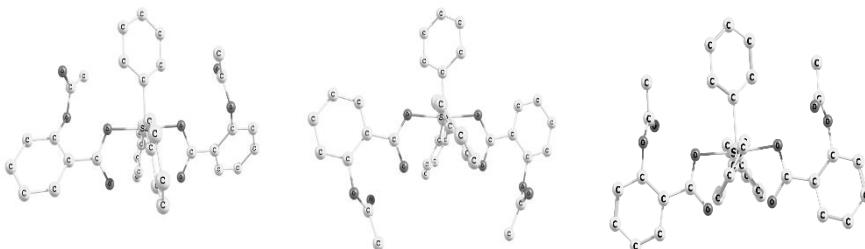
$\text{HX}^2 = 2\text{-H}_3\text{C-C(O)O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$ (ацетилсалциловая кислота),

$\text{M} = \text{Sb, Bi.}$

Реакции (1) и (2) проводились с использованием разных растворителей: диэтилового эфира в реакции (1) и смеси изопропилового спирта и диэтилового эфира в реакции (2).

Отметим, что практический выход целевого продукта в реакции (1) значительно выше, чем в реакции (2). Для каждой молекулярной системы, рассмотренной в работе, выполнена оптимизация геометрии. Соответствие оптимизированной геометрии минимуму на поверхности потенциальной энергии проверялось расчетом частот колебаний. В расчетах использован метод функционала электронной плотности DFT [3, 5] с гибридным функционалом B3LYP [4]. Для описания внутренних электронных оболочек атомов использованы эффективные остовные потенциалы СЕР, для валентных оболочек – дважды валентно-расщепленный базис 31G (СЕР-31G) [7, 8].

Молекула $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^2)_2$ имеет 4 изомера, отличающиеся взаимной ориентацией кислотных остатков (цис- и транс-конформеры). В обоих конформерах имеются пять связей лигандов с центральным атомом, которые образуют тригонально-бипирамидальную структуру. Среди них три связи Sb-C лежат в экваториальной плоскости и две связи Sb-O занимают аксиальное положение.



I-*cis* $\Delta E=3.6$ ккал/моль II-*cis* $\Delta E=0$ ккал/моль III – данные PCA [8]

Рис. 1. Изомеры $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^2)_2$, отличающиеся взаимной ориентацией кислотных остатков. Атомы водорода на рисунках не указаны

В результате расчетов было выяснено, что конформеры имеют близкую энергию. Достоверность квантово-химических расчетов подтверждают данные PCA [2], например, в кристаллической ячейке

$\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^2)_2$ присутствует *цис*-конформер I, геометрические параметры которого близки к полученным в расчетах (рис. 1).

Энергетически наиболее устойчивым является комплекс II, который включает наиболее энергетически выгодный конформер кислоты и который не имеет стерических напряжений между ацетокси-группами и одним из фенильных фрагментов, как в конформере I. Тем не менее, именно конформер I стабилизирован в кристаллическом состоянии [8].

Было рассмотрено влияние природы растворителя на термодинамические характеристики реакций синтеза (1) и (2), а также на геометрическое и электронное строение участников реакций. Для этого выполнен расчет изменения электронной энергии реакций как в газовой фазе, так и в растворителях. Учет влияния растворителя выполнен с использованием модели PCM (поляризованного диэлектрического континуума) [1].

Для каждого участника реакции выполнена оптимизация геометрического строения и рассчитаны частоты колебаний для изолированных молекул и молекул в поляризованном континууме.

Под влиянием растворителя происходит изменение как геометрического, так и электронного строения молекулы, также изменяются величины частот колебаний в низкочастотной и высокочастотной областях. Низкие частоты, которым соответствуют большие амплитуды колебаний, повышаются, а высокие частоты валентных колебаний С-Н поникаются (им соответствуют малые амплитуды колебаний). Под действием растворителя меняются заряды на атомах в молекуле $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^1)_2$. Изменение заряда на каждом атоме не превышает 0.005 а.е.з., однако это приводит к существенному изменению дипольного момента от $\mu=6.26 \text{ D}$ для свободной молекулы до $\mu=8.27 \text{ D}$ в среде диэтилового эфира, то есть в растворителе молекула становится более полярной. В результате всех вышеперечисленных изменений в геометрическом и электронном строении молекулы $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^1)_2$ происходит повышение ее электронной энергии на 19 ккал/моль. Однако растворитель повышает величину ΔE реакций (1) и (2) лишь незначительно, на 1.1 и 0.8 ккал/моль соответственно. Синтез требуемых продуктов проводился по реакции (1), с использованием в качестве окислителя трет-бутилгидропероксида. В таблице представлены результаты синтезов.

Таблица . Результаты синтеза

| Продукт | $T_{\text{пп.}}, ^\circ\text{C}$ | Выход, % |
|--------------------------------------|----------------------------------|----------|
| $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^1)_2$ | 186 | 72 |
| $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^2)_2$ | 163 | 92 |
| $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{X}^1)_2$ | 170 | 84 |
| $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{X}^2)_2$ | 161 | 79 |

Состав и строение продуктов подтверждено методами элементного анализа, тонкослойной хроматографии, ЯМР-, ИК-спектроскопии и масс-спектрометрии.

Интересна природа химического связывания в молекулах $\text{Ph}_3\text{M}(\text{X})_2$. Существуют разные точки зрения о природе химической связи в координационном полиздре рассматриваемых соединений. Молекулы могут рассматриваться либо как комплексные соединения [8], либо как органические производные.

Для выяснения данного вопроса выполнен NBO-анализ распределения электронной плотности в молекулах $\text{Ph}_3\text{M}(\text{X}^2)_2$ и изучена природа связей М-О и М-С в координационном полиздре. Оказалось, что связь М-С может быть рассмотрена как ковалентная полярная σ -связь, образованная гибридными орбиталами атомов М и С:

$$\sigma(\text{Sb}-\text{C}) = 0.58 \cdot \text{sp}^{1.85}(\text{Sb}) + 0.81 \cdot \text{sp}^{3.58}(\text{C}),$$

$$\sigma(\text{Bi}-\text{C}) = 0.61 \cdot \text{sp}^{1.81}(\text{Bi}) + 0.79 \cdot \text{sp}^{4.47}(\text{C}).$$

Величины поляризационных коэффициентов показывают, что электронная плотность данной связи смещена от атома металла к атому углерода.

В то же время, согласно результатам NBO-анализа, связь М-О образована за счет донорно-акцепторного взаимодействия между неподеленной электронной парой атома О кислоты и вакантной р-АО атома сурьмы или висмута (рис. 2). Причем энергия этого взаимодействия для соединений сурьмы составляет ≈ 100 ккал/моль, а висмута ≈ 70 ккал/моль.

Таким образом, данные соединения можно рассматривать как комплексы трифенилсурьмы и трифенилвисмута с кислотами.

Окислительно-восстановительные свойства соединений связаны с энергиями граничных орбиталей. На рисунке 3 приведена диаграмма граничных орбиталей комплексов $\text{Ph}_3\text{M}(\text{X})_2$, где M=Sb, Bi, $\text{HX}^1 = \text{HO-C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$, $\text{HX}^2 = \text{H}_3\text{C-C(O)-O-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$.

Судя по энергии ВЗМО, комплексы с салициловой кислотой обладают более сильными восстановительными свойствами, чем комплексы с ацетилсалициловой кислотой, эти же комплексы обладают и более ярко выраженными окислительными свойствами, поскольку энергии их НСМО ниже, чем в комплексах с ацетилсалициловой кислотой.

Энергии ВЗМО в соответствующих комплексах сурьмы и висмута близки, поскольку эти орбитали являются линейными комбинациями атомных p_{π} -орбиталей салициловых фрагментов. В то

же время энергии и состав НСМО в комплексах сурьмы и висмута различны, что может приводить к заметному различию в их окислительных свойствах.



Рис. 2. Образование связи M-O

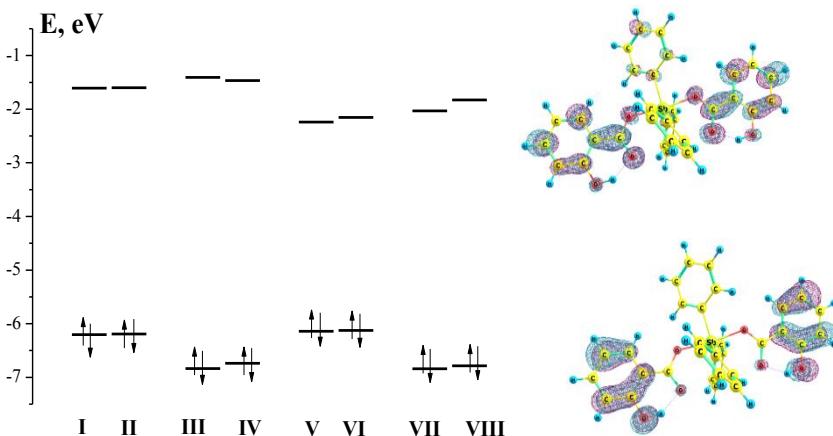


Рис. 3. Энергии ВЗМО и НСМО:
I) цис- $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^1)_2$, II) транс- $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^1)_2$, III) цис- $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^2)_2$,
IV) транс- $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{X}^2)_2$, V) цис- $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{X}^1)_2$, VI) транс- $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{X}^1)_2$,
VII) цис- $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{X}^2)_2$, VIII) транс- $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{X}^2)_2$. Вид ВЗМО и НСМО комплекса I

Таким образом, варьирование природы металла и строения карбоксилатных заместителей приводит к существенному изменению энергетических характеристик, строения, природы связи, окислительно-восстановительных свойств салицилатных и ацетилсалицилатных комплексов сурьмы и висмута. Это может быть использовано при настройке их биологической активности и обеспечении возможности получения лекарственных средств.

Литература

1. *Barone V., Cossi M.* Quantum Calculation of Molecular Energies and Energy Gradients in Solution by a Conductor Solvent Model // *J. Phys. Chem. A.* 1998. V. 102. P. 1995 – 2001.
2. *Barucki H., Coles S.L., Costello J.F., Gelbrish T., Hursthouse M.B.* Characterising secondary bonding interactions within triaryl organoantimony(v) and organobismuth(v) complexes // *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 2000. P. 2319 – 2325.
3. *Labanowski J.K., Andzelm J.W.* Density Functional Methods in Chemistry // Springer-Verlag, New York, 1991.
4. *Lee C., Yang W., Parr R.G.* // *Phys. Rev. B.* 1988. V. 37. P. 785.
5. *Parr R.G., Yang W.* Density-functional theory of atoms and molecules // Oxford Univ. Press, Oxford, 1989.
6. *Stavila, V., Fettinger J.C., Whitmire K.H.* Synthesis and characterization of new phenylbis(salicylato)bismuth(III) complexes // *Organometallics.* 2007. V. 26. P. 3321 – 3328.
7. *Stevens W.J., Basch H., Krauss M.* Compact effective potentials and efficient shared-exponent basis-sets for the 1st-row and 2nd-row atoms // *J. Chem. Phys.* 1984. V. 81. P. 6026 – 6033.
8. *Stevens W.J., Krauss M., Basch H., Jasien P.G.* Relativistic compact effective potentials and efficient, shared-exponent basis-sets for the 3rd-row, 4th-row, and 5th-row atoms // *Can. J. Chem.* 1992. V. 70. P. 612 – 630.
9. *Thurston J.H., Marlier E.M., Whitmire K.H.* Towards a molecular model for bismuth(III) subsalicylate. Synthesis and solid-state structure of $[Bi(Hsal)_3(bipy)(C_7H_8)]_2$ and $[Bi(Hsal)(sal)(1,10\text{-phenanthroline}) (C_7H_8)]_2$ // *J. Chem. Soc. Chem. Comm.* 2002. N. 23. P. 2834 – 2835.

Влияние химического состава атмосферы на сопротивление прозрачных композитных металл-оксидных электродов

Дедов Дмитрий Анатольевич
8 класс, МАОУ Лицей № 38, ШЮИ ИФМ РАН
Научный руководитель В.В. Травкин,
научный сотрудник ИФМ РАН



Исследовано влияние химического состава атмосферы на сопротивление прозрачных тонкопленочных металл-оксидных электродов. Получены полосковые композитные слои составов MoO_3/Al и Ag/MoO_3 , осажденные на стеклянные подложки методом термического испарения в вакууме. Измерена зависимость сопротивления образцов от времени выдержки в сухой или влажной атмосфере состава: Ar , O_2 , NH_3 , HCl . Обнаружено, что сопротивление электрода $MoO_3/Ag/MoO_3$ стабильно во всех средах, кроме $HCl+H_2O$, а электрод $MoO_3/Al/MoO_3$ стабилен только в сухих Ar и O_2 . Рассмотрены вероятные химические реакции, приводящие к деградации электродов.

Технология получения тонкопленочных прозрачных оксидов металлов впервые была разработана в 1907 году для оксида кадмия CdO. В 1930-е был запатентован тонкопленочный оксид олова SnO₂, а в 1951-м – двойной оксид индия-олова ITO (In₂O₃:SnO₂), до сих пор удерживающий лидирующие позиции на мировом рынке микроэлектроники. Практический интерес к проводящим оксидам металлов связан с их высокой прозрачностью в видимом диапазоне и возможностью варьирования их работы выхода, а фундаментальный интерес – с необходимостью разработки новых теоретических моделей, адекватно описывающих полученные экспериментальные данные. В 1959 году впервые полностью описаны свойства оксида цинка ZnO, а в 1971 году получен проводящий ZnO, допированный индием (ZnO:In). Дефицит индия привел к постепенной интенсификации исследований, направленных на получение новых проводящих материалов (не обязательно на основе оксидов металлов), которые смогли бы заменить традиционный ITO в различных приложениях микроэлектроники. В 1990-е годы разработаны сложные оксидные прозрачные проводники, в том числе композитные. Тогда же были открыты прозрачные полупроводники *p*-типа, а в 2004 году – *n*-типа проводимости [2, 3].

В настоящее время прозрачные проводники условно можно разделить на два основных структурных класса: неоднородные и однородные. К неоднородным относятся неупорядоченные или периодические сети на основе нанопроводов металлов (2D и 3D). К однородным относятся ультратонкие металлы, графен, углеродные нанотрубки, проводящие полимеры (синтетические металлы, например, полиацетилен) и проводники на основе оксидов переходных металлов. Наиболее массовыми и технологичными являются полимерные, оксидные и ультратонкие металлические прозрачные электроды. Для устройств, изготавливаемых вакуумными методами, более применимы электроды последних двух типов. Ультратонкие металлические электроды обычно изготавливаются из серебра, золота, алюминия. В качестве материалов металл-оксидных электродов применяются ITO оксид цинка ZnO с различными легирующими добавками – бором (BZO), алюминием (AlZO) или галлием (GZO); оксид олова, легированный фтором (FTO); оксид молибдена MoO₃; оксид никеля NiO; оксид ванадия V₂O₅; диоксид титана TiO₂ и ряд других. Материалы однослойных металл-оксидных и ультратонких металлических слоев могут комбинироваться в различных сочетаниях для получения трехслойных композитных металл-оксидных электродов [2]. В последних управлять прозрачностью, сопротивлением и работой выхода можно, изменяя материал металлического межслоя, оставляя при этом материал диэлектрического конверта без изменений. Для получения металл-оксидных электродов при изготовлении конечных устройств только с применением вакуумных технологий используются методы термического испарения (терморезистивного и электронно-лучевого), магнетронного распыления или лазерной абляции. При этом значительное влияние на оптические и электрические свойства электрода на этапе их получения оказывает метод нанесения [5], а при дальнейшей эксплуатации готового устройства, например, химического сенсора – состав атмосферы [1]. Поэтому для оценки стабильности эксплуатационных характеристик устройства требуется предварительное изучение влияния химического состава атмосферы на ключевые параметры электродов – пропускание и поверхностное сопротивление.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование влияния химического состава атмосферы на поверхностное сопротивление тонкопленочных композитных металл-оксидных

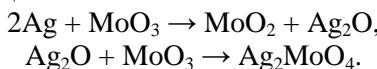
проводящих слоев. Для получения и исследования образцов были использованы следующие материалы и методы.

Трехслойные тонкие прозрачные проводящие пленки изготавливались методом термического испарения в вакууме в режиме последовательного осаждения слоев триоксида молибдена MoO_3 , металлов алюминия Al или серебра Ag (через полосковую теневую маску с прямоугольным окном площадью $0,15 \text{ см}^2$) на предварительно очищенные подложки из оптического стекла.

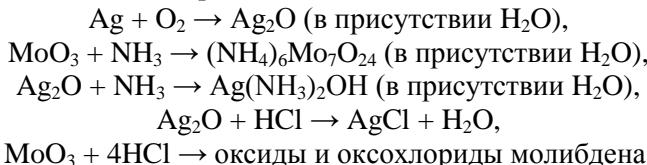
Толщины всех трех слоев составляли 10 нм. Затем на торцы пленки через круглую теневую маску с окном $0,06 \text{ см}^2$ наносилось серебро толщиной 100 нм (рис.).

Образцы помещались на три часа в сухие или влажные (в присутствии паров воды H_2O) атмосферы различного химического состава: аргон (Ar), аммиак (NH_3), хлористый водород (HCl) и кислород (O_2). Зависимость сопротивления R (с пересчетом в поверхностное сопротивление R_{sq} , $\text{Ом}/\text{см}^2$) образцов от времени экспозиции измерялась двухзондовым методом. Получены следующие результаты.

I. В системе $\text{MoO}_3/\text{Ag}/\text{MoO}_3$ в процессе изготовления возможны следующие превращения:



Следовательно, во время экспонирования могут протекать следующие химические реакции [7]:



Действительно, начальное R_{sq} образцов, составляющее $6 - 8 \text{ Ом}/\text{см}^2$, значительно возрастает (табл.) только в среде влажного HCl, где происходит окисление серебра с последующим превращением его в диэлектрический хлорид.

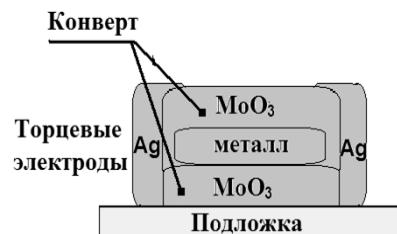
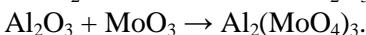
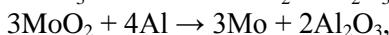
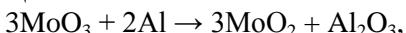


Рис. Схематическое изображение образца прозрачной проводящей пленки

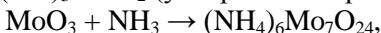
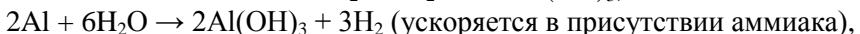
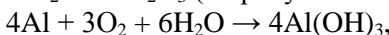
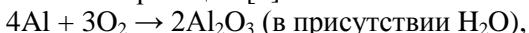
Таблица. Результаты измерений поверхностного сопротивления пленок

| Состав атмосферы | | Rsq образца “MoO ₃ /Металл/MoO ₃ ”, Ом/см ² | | | |
|------------------|------|--|---------|-------|---------|
| | | Ag | | Al | |
| | | 0 мин | 180 мин | 0 мин | 180 мин |
| Ar | сух | 6,8 | 6,8 | 52 | 55 |
| | влаж | 5,9 | 5,4 | 53 | 83 |
| O ₂ | сух | 6,8 | 6,8 | 65 | 68 |
| | влаж | 6,8 | 5,8 | 60 | 167 |
| NH ₃ | сух | 6,6 | 5,8 | 64 | 476000 |
| | влаж | 7,8 | 5,8 | 55 | 2862000 |
| HCl | сух | 6,4 | 7,2 | 58 | 5552000 |
| | влаж | 6,4 | 6120000 | 59 | 8724000 |

II. В системе MoO₃/Al/MoO₃ в процессе изготовления возможны следующие превращения:



Следовательно, во время экспонирования могут протекать следующие химические реакции [6]:



Вследствие более высокой реакционной способности алюминия в сравнении с серебром заметный рост Rsq, которая изначально составляла 50 – 60 Ом/см², наблюдается даже в инертной атмосфере в присутствии паров воды (табл.).

Таким образом, по результатам работы можно сформулировать следующие выводы:

- поверхностное сопротивление прозрачного композитного электрода MoO₃/Ag/MoO₃ стабильно во времени в большинстве исследованных сред, за исключением паров соляной кислоты (HCl + H₂O);

– поверхностное сопротивление прозрачного композитного электрода $\text{MoO}_3/\text{Al}/\text{MoO}_3$ стабильно во времени только в атмосферах Ar , O_2 и в отсутствие воды.

Данные, полученные при выполнении данной работы, могут быть использованы при разработке химических газовых сенсоров, а также для повышения эксплуатационной стабильности устройств на основе прозрачных электродов. Дальнейшие исследования будут направлены на получение прототипов тонкопленочных солнечных батарей или химических сенсоров и оценку влияния факторов внешней среды (температура, состав атмосферы) на их рабочие параметры.

Литература

1. *Ciftürek E., Sabolsky K., Sabolsky E.* Molybdenum and tungsten oxide based gas sensors for high temperature detection of environmentally hazardous sulfur species // Sensors and Actuators B: Chemical. 2016, V. 237. P. 262.
2. *Gao J., Kempa K., Giersig M.* Physics of transparent conductors // Advances in Physics. 2016, V. 65, I. 6. P. 553.
3. *Luo M., Liu Y., Huang W.* Towards Flexible Transparent Electrodes Based on Carbon and Metallic Materials // Micromachines. 2017, V. 8. P. 12.
4. *Sepulveda-Mora S.B.* Figures of merit for high-performance transparent electrodes using dip-coated silver nanowire networks // Journal of Nanomaterials. 2012, V. 2012. P. 1.
5. *Zhang M., Ding H., Gao Y.* Organic Schottky barrier photovoltaic cells based on MoOx/C_60 // Applied Physics Letters. 2010, V. 96. 183301.
6. *Rupan P., Четяну И.* Неорганическая химия. Т. 1. Химия металлов. – М.: Мир, 1971. – 560 с.
7. *Rupan P., Четяну И.* Неорганическая химия. Т. 2. Химия металлов. – М.: Мир, 1972. – 871 с.

Исследование состава и различных характеристик клея ПВА и его компонентов

Княжицкий Даниил Александрович
9 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Е.А. Захарычев,
заведующий лабораторией НИИ химии
ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук



В рамках данного исследования был проведен анализ физико-механических характеристик клеев на основе поливинилацетатной дисперсии, содержащих различные пластификаторы: дигутилфталат и пропиленкарбонат, изучена зависимость эластичности, прочности и упругости клеевого шва от массовой доли пластификатора. Установлено, что пропиленкарбонат не только способствует водостойкости клея, но и обладает достаточными пластифицирующими свойствами.

Одним из самых распространенных клеев на водной основе является клей на основе поливинилацетатной дисперсии – клей ПВА. Он обладает множеством преимуществ: хорошей kleящей способностью, морозостойкостью, доступностью, низкой себестоимостью и отсутствием токсичности. Однако для расширения границ его применения необходимо сформировать немаловажное свойство – водостойкость, которым традиционные клеи ПВА не обладают. Существующие технологии обеспечения водостойкости, как правило, являются коммерческой тайной. В рамках исследований, проводившихся ранее в лаборатории полимерных материалов НИИ химии, было выяснено, что водостойкость клея могут обеспечить такие вещества, как сложный эфир пропиленкарбонат.

В ходе работы была выдвинута гипотеза: пропиленкарбонат обладает достаточными пластифицирующими свойствами, позволяющими использовать его в качестве самостоятельного пластификатора. Была поставлена цель: сравнить физико-механические характеристики пленок на основе поливинилацетатной дисперсии, содержащих различные пластификаторы.

Для ее достижения были поставлены задачи: приготовить образцы поливинилацетатной дисперсии (ПВАД) с различными концентрациями пластификаторов – традиционно применяемого в промышленности дигутилфталата (ДБФ) и нового – пропиленкарбоната

(ПК); получить пленки ПВАД; оценить физико-механические характеристики пленок (эластичность, прочность и упругость) посредством измерения физико-механических параметров; сравнить показатели пленок с различными пластификаторами.

Основу клея ПВА составляет суспензия поливинилацетата в водном растворе поливинилового спирта с пластификатором и различными специальными добавками.

В дисперсии ПВА существует в виде сферических частиц размером 0,5 – 5 мкм, каждая из которых включает несколько тысяч макромолекул. ПВС полностью растворен в воде, макромолекулы существуют в ней в виде отдельных набухших клубков.

В качестве пластификаторов – веществ, обеспечивающих эластичность пленки, в данном исследовании использовались сложные эфиры: дибутилфталат – традиционный компонент клея ПВА, и ранее не применявшийся пропиленкарбонат.

Для проведения эксперимента были приготовлены девять образцов поливинилацетатной дисперсии: чистая дисперсия, дисперсия с каждым из пластификаторов в концентрации 2%, 4%, 6%, 8% от массы чистой дисперсии. Для получения пленок образцы помещались в формы и высушивались при комнатной температуре. Для определения пластифицирующего действия пропиленкарбоната и сравнения его с дибутилфталатом определяли физико-механические параметры пленок на основе дисперсий при помощи испытательной машины.

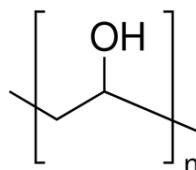


Рис. 1. Поливиниловый спирт (ПВС)

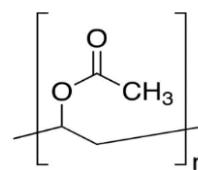


Рис. 2. Поливинилацетат (ПВА)

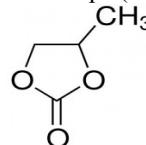


Рис. 3. Пропиленкарбонат (ПК)

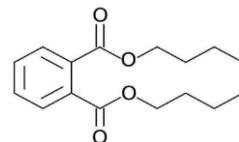


Рис. 4. Дибутилфталат (ДБФ)

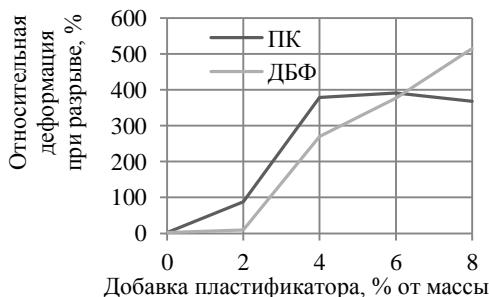


Рис. 5. График зависимости деформации при разрыве от концентрации пластификаторов

Увеличение значения максимальной относительной деформации пленок как содержащих пластификатор дибутилфталат, так и содержащих пропиленкарбонат, иллюстрирует пластифицирующее действие обоих сложных эфиров.

Также были измерены показатели прочности (максимального напряжения при растяжении) и модуля упругости образцов.

В образцах, пластифицированных как пропиленкарбонатом, так и дибутилфталатом, при увеличении их содержания наблюдается закономерное понижение прочности пленок, при этом прочность образцов с пропиленкарбонатом ниже. Подобная зависимость наблюдается и у модуля упругости образцов, с повышением концентрации пластификатора упругость уменьшается.

В результате работы было проведено сравнение физико-механических свойств пленок поливинилацетатной дисперсии, подтвердившее выдвинутую гипотезу: пропиленкарбонат может являться полноценным пластификатором для поливинилацетатной дисперсии. Выявлено, что пропиленкарбонат является не только добавкой для повышения водостойкости ПВА-клеев, но и эффективным пластификатором, позволяющим полностью отказаться от классического пластификатора – дибутилфталата, отрицательно влияющего на водостойкость ПВА-клеев.

Пропиленкарбонат эффективнее пластифицирует ПВА-клей при малых концентрациях, при этом прочность и упругость пленок на основе полученных композиций остается на приемлемом уровне.

Результаты работы могут быть использованы при разработке рецептуры клея на основе поливинилацетатной дисперсии для нужд современной деревообрабатывающей промышленности и строительства, а также будут полезны для поиска способов использования клея ПВА в качестве замены более дорогостоящих и токсичных клеев.

Литература

1. Балезин С.А., Ерофеев Б.В., Подобаев Н.И. Основы физической и коллоидной химии. – М.: Просвещение, 1975. – 398 с.
2. Кузнецов В.Д. Физика твердого тела. Т. 2 – 4. – Томск, 1941 – 1947.
3. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Полков В.А. Начала химии. – М.: Лаборатория знаний, 2017. – 704 с.
4. Модули упругости // Большая Советская энциклопедия. Т. XVI / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1974. – 616 с. – С. 406.
5. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
6. Эмульсии / Пер с анг. под ред. А.А. Абрамзона. – М.: Химия, 1972. – 448 с.

Исследование термодинамических свойств сложного фосфата каркасной структуры $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$

Лившиц Григорий Дмитриевич
11 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.В. Маркин,
профессор, заведующий кафедрой физической
химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
доктор химических наук

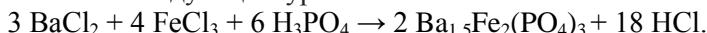


В работе исследованы термодинамические свойства сложного фосфата каркасной структуры $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$. Проведены исследования на современном оборудовании химического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского. В частности, определена изобарная теплоемкость соединения на прецизионном адиабатическом вакуумном калориметре (БКТ-3, Россия, Московская область, «Термис») и дифференциальном сканирующем калориметре (DSC 204 F1 Phoenix, Германия, Netzsch Geratebau).

В последние десятилетия активно ведется поиск новых сегнето- и пьезоэлектриков, лазерных, люминесцентных и других материалов, которые можно использовать в квантовой электронике и волоконной оптике, а также в качестве сорбентов и катализаторов. В этой связи вызывают интерес сложные фосфаты, у которых была обнаружена ионная проводимость, нелинейно-оптические и другие интересные свойства.

Работа посвящена калориметрическому изучению теплоемкости и стандартных термодинамических свойств $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$. Цель работы – комплексное исследование термодинамических свойств образца методами высокоточной калориметрии. Задачи: экспериментально определить зависимость изобарной теплоемкости $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ от температуры; провести математическую обработку полученных экспериментальных результатов; проанализировать полученные результаты и спрогнозировать возможные области применения изученного фосфата.

Образец $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ был синтезирован на кафедре химии твердого тела химического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского в соответствии со следующим уравнением:



Химический состав и однородность образца были подтверждены с помощью микроскопа Camscan-2300 (Vega TC 5130MM). Результаты показали, что изучаемый образец состоит из зерен размером от 1 до 20 мкм. Результаты уточнения структуры методом Ритвельда по-

казывают, что кристаллическая структура $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ базируется на рамках, образованных разделяющими углами гексаэдров FeO_6 и тетраэдров PO_4 (рис. 1).

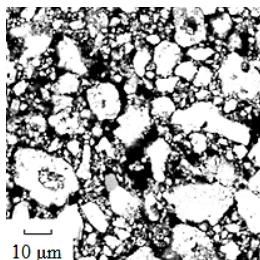


Рис. 1. Электронная микроскопия образца

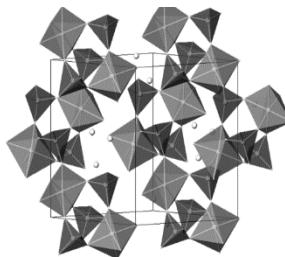


Рис. 2. Фрагмент кристаллической структуры

Теплоемкость образца постепенно повышается с увеличением температуры во всем изученном интервале (рис. 2). В то же время было установлено, что теплоемкость исследуемого соединения уменьшается с увеличением температуры в диапазоне от $T = 13 \text{ K}$ до $T = 15 \text{ K}$.

Стандартные термодинамические функции были рассчитаны от $T = 15 \text{ K}$. Энталпию $[H^\circ(T) - H^\circ(15)]$ и энтропию $[S^\circ(T) - S^\circ(15)]$

определенными численным интегрированием кривых $C_{p,m}^{\circ} = f(T)$ и $C_{p,m}^{\circ} = \ln f(T)$, соответственно. Энергия Гиббса $-G_m^{\circ}(T)$ в исследованном диапазоне температур определялась следующим образом: $-G_m^{\circ}(T) = [H_m^{\circ}(T) - H_m^{\circ}(15)] - T [S_m^{\circ}(T) - S_m^{\circ}(15)]$. Полученные функции кристаллического $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ в интервале от 15 до 650 К приведены в таблице. Значения при высоких температурах становятся близкими к теоретическим, рассчитанным по правилу Дюлонга-Пти: $C_{p,m}^{\circ} = 3Rn$, где $R = 8.314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, n – число атомов в формульной единице. Теоретически рассчитанная молярная теплоемкость $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ при

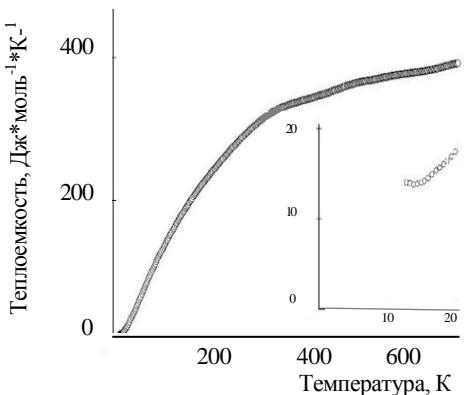


Рис. 3. Температурная зависимость теплоемкости $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$

высоких температурах равна ~ 474 Дж·моль $^{-1}$ ·К $^{-1}$, что совпадает с экспериментальными данными в пределах погрешности измерений.

Таблица. Стандартные термодинамические функции Ba_{1.5}Fe₂(PO₄)₃

| T, K | $C_{p,m},$ Дж·моль $^{-1}$ ·К $^{-1}$ | $H^\circ(T) - H^\circ(15),$ кДж·моль $^{-1}$ | $S^\circ(T) - S^\circ(15),$ Дж·моль $^{-1}$ ·К $^{-1}$ | $-G_m^\circ(T),$ кДж·моль $^{-1}$ |
|--------|--|---|---|--------------------------------------|
| 15 | 13.9 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 59.81 | 1.210 | 37.14 | 0.648 |
| 100 | 138.1 | 6.240 | 103.7 | 4.131 |
| 150 | 199.5 | 14.74 | 171.8 | 11.03 |
| 200 | 247.3 | 25.95 | 236.0 | 21.24 |
| 250 | 287.8 | 39.36 | 295.6 | 34.55 |
| 300 | 319.0 | 54.57 | 351.0 | 50.74 |
| 350 | 335.8 | 71.00 | 401.7 | 69.58 |
| 400 | 347 | 88.1 | 447 | 90.8 |
| 450 | 359 | 106 | 489 | 114 |
| 500 | 367 | 124 | 527 | 140 |

По результатам работы были сделаны следующие выводы:

- 1) определена температурная зависимость изобарной теплоемкости образца Ba_{1.5}Fe₂(PO₄)₃ в области 13 – 650 К;
- 2) проведена математическая обработка данных, построены графики зависимости; по полученным экспериментальным данным рассчитаны стандартные термодинамические функции сложного фосфата Ba_{1.5}Fe₂(PO₄)₃ в интервале от 15 до 650 К.

Литература

1. Asabina E.A., Petkov V.I., Gobechiya E.R., Kabalov Y.K., Pokholok K.V., Kurazhkovskaya V.S. Synthesis and crystal structure of phosphates A₂FeTi(PO₄)₃ (A = Na, Rb) // Rus J Inorg Chem. 2008. V. 53. P. 40 – 47.
2. Orlova A.I., Trubach I.G., Kurazhkovskaya V.S., Pertierra P., Salvadó M.A., Garcia-Granda S., Khainakov S.A., Garcia J.R. Synthesis, characterization, and structural study of K₂FeZrP₃O₁₂ with the langbeinite structure // J Solid State Chem. 2003. V. 173(2). P. 314 – 318.
3. Trubach I.G., Beskrovnyi A.I., Orlova A.I., Orlova V.A., Kurazhkovskaya V.S. Synthesis and structural study of Rb₂FeZr(PO₄)₃ phosphate with langbeinite structure // Crystallogr Rep. 2004. V. 49. P. 895 – 899.
4. Zemann A., Zemann J. Die Kristallstruktur von LangbeinitK₂Mg₂(SO₄)₃ // Acta Cryst. 1957. V. 10. P. 409 – 413.

Качественное обнаружение ионов калия и натрия в крови животных

Муромцева Дарья Олеговна
8 класс, МАОУ НААШ № 186,
ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.С. Ильичев,
студент ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Работа посвящена первому этапу решения проблемы поиска эффективного и быстрого способа обнаружения ионов Na^+ и K^+ в крови животных. Были приготовлены растворы реагентов и проведены реакции, чувствительные к ионам Na^+ и K^+ .

В последнее время все чаще встает вопрос о диагностике заболеваний на ранних стадиях как у людей, так и у домашних животных. Во втором случае проблемами занимаются врачи-ветеринары. Как известно, продвижению в клетки организма питательных веществ и выводу из них продуктов обмена, поддержанию водного баланса клеток и стабилизации кислотности (рН) способствуют клеточные электролиты, наибольший интерес из которых представляют соединения ионов Na^+ и K^+ . Баланс Na^+ и K^+ – один из самых важных параметров для оценки деятельности клеток организма. Определение их концентраций в крови позволяет выявить присутствие в организме токсичных веществ или вероятность метаболических отклонений, вызванных голоданием, сахарным диабетом или другими заболеваниями. В качестве примера в таблице 1 приведены концентрации исследуемых ионов в сыворотке крови здоровых кошек и собак.

Современные методы качественного и количественного анализа клеточных электролитов в крови животных оказываются достаточно дорогостоящими и зачастую из-за своей немобильности занимают много времени. Цель работы – обнаружение ионов натрия и калия в образцах сыворотки крови животных (собак и кошек). Объект исследования – образцы сывороток крови кошек и собак с различными концентрациями ионов натрия и калия (также исследовали образец выпотной жидкости брюшной полости здоровой собаки). Предмет

Таблица 1. Нормы биохимического анализа крови животных

| | Собака | Кошка |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Ионы Na^+ (ммоль/л) | 138 – 150 | 144 – 154 |
| Ионы K^+ (ммоль/л) | 4,3 – 5,5 | 4,1 – 5,4 |

исследования – содержание ионов натрия и калия и их относительная количественная оценка.

Были выбраны реагенты (табл. 2) и установлена селективность качественных реакций для соответствующих анализируемых ионов в сыворотке крови. Проведены качественные реакции с эталонным изотоническим раствором и взятыми образцами сыворотки крови. Обнаружены ионы натрия и калия в образцах сыворотки крови животных.

Таблица 2. Сравнительная характеристика качественных реакций

| Реактив | Предельное разбавление | Мешающие ионы | Цвет осадка |
|---|------------------------|---|---------------------------------|
| На ионы Na^+ | | | |
| $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ | $1: 5 \times 10^3$ | NH_4^+ , Li^+ , Mg^{2+} | Белый |
| $\text{Zn}(\text{UO}_2)_3(\text{CH}_3\text{COO})_8$ | $1: 2.5 \times 10^3$ | K^+ , NH_4^+ , ЩЭ | Белый, кристаллический |
| На ионы K^+ | | | |
| $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ | $1: 5 \times 10^4$ | NH_4^+ , Rb^+ , Cs^+ , Tl^+ , Γ | Желтый |
| $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ | $1: 10^3$ | Rb^+ , Cs^+ , | Белый, кристаллический |
| $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$ | $1: 7.5 \times 10^4$ | NH_4^+ , Rb^+ , Cs^+ , Tl^+ | Черный, кубические кристаллы |

По результатам эксперимента (табл. 3) были сделаны следующие выводы: качественная реакция с гексанитрокобальтатом натрия практически неприменима для анализа ионов калия в сыворотке крови собак и кошек, так как осадок практически неразличим невооруженным взглядом; остальные качественные реакции практически применимы для качественного детектирования ионов натрия и калия в сыворотке крови, а также в выпотных жидкостях брюшной полости собак и кошек; оптимальные концентрации для качественного детектирования ионов натрия и калия в сыворотке крови собак и кошек – 1М раствора качественного реагента в объемном соотношении 1:1 с исследуемым образцом сыворотки крови в разбавлении 1:0. Данные соотношения также пригодны для исследования выпотных жидкостей брюшной полости собак.

В ходе работы был проведен химический анализ методом органолептического детектирования изменения окраски раствора при проведении качественной реакции. Полученные результаты анализа

исследуемых образцов сравнены с результатами независимых лабораторных исследований.

Таблица 3. Результаты эксперимента

| | Изотонический раствор | Сыворотка крови | Выпотная жидкость |
|--|---|---|---|
| Zn(UO ₂) ₃ (CH ₃ COO) ₈ кристаллический осадок белого цвета | Отчетливо различимый рост кристаллов бледно-желтого цвета | Отчетливое продольное потемнение с образованием небольшого количества кристаллов по границе | Отчетливое продольное потемнение с образованием большего количества кристаллов по границе (по сравнению с сывороткой крови) |
| Na ₃ [Co(NO ₂) ₆] тонкодисперсный осадок ярко-оранжевого цвета | Интенсивное окрашивание; реакция шла быстро | Отчетливая продольная оранжевая полоса посередине, реакция шла заметно медленнее, чем с гипертоническим раствором | |
| NaHC ₄ H ₄ O ₆ белый осадок | | Слабое помутнение в течение продолжительного периода; во всех образцах реакция протекала с одинаковой скоростью. По краям капли выросли белые кристаллы, заметные только на темной подложке | |
| Na ₂ Pb[Cu(NO ₂) ₆] тонкодисперсный кристаллический осадок черного цвета | Интенсивное окрашивание; реакция шла быстро | | Неинтенсивное окрашивание с образованием темных кубических кристаллов |

Значимость исследования заключается в том, что полученные результаты составляют теоретическую базу для дальнейшей разработки универсальной методики количественного аналитического анализа ионов Na⁺, K⁺ в образцах сыворотки крови животных.

Литература

1. Жоллин А.В. Общая химия. Учебник / Под ред. В.А. Попкова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012.
2. Карякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. – М.: Химия, 1974. – 407 с.
3. Коренман И.М. Аналитическая химия калия. – М.: Наука, 1964. – 260 с.
4. Натрий / В.М. Иванов, К.А. Семененко, Г.В. Прохорова, Е.Ф. Симонов / Под ред. Ю.И. Беляева. – М.: Наука, 1986. – 254 с.
5. Практикум по неорганической химии. Учеб. для вузов / Под ред. А.Ф. Воробьева и С.И. Дракина. – М.: Химия, 1984. – 246 с.
6. Реакции и реагенты для качественного анализа неорганических соединений / Перевод с фр. под ред. А.С. Комаровского. – М.: ГНТИХМ, 1950. – 324 с.

Исследование деградации двухслойной пленки SiO_2 и TiO_2 , нанесенной на кристаллы KDP

Полонецкий Даниил Андреевич
10 класс, МАОУ Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель С.Н. Беляев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



В работе выявлена динамика деградации двухслойной пленки $\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$, нанесенной на кристаллы KDP. Были изготовлены два раствора золя на основе SiO_2 и TiO_2 , катализатором послужила соляная кислота. Динамика деградации была выявлена благодаря фиксации изменения остаточного отражения и показателя преломления на базе отдела нелинейной оптики ИПФ РАН. Было выявлено, что двухслойная пленка $\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$ деградирует медленнее, чем однослойная на основе SiO_2 . Обнаружено, что двухслойная пленка по оптическим свойствам практически не уступает однослойной, что подтверждается одинаковым светопропусканием поверхностей при длине световой волны 1054нм.

Тонкие пленки активно применяются в лазерной физике в качестве матриц для твердотельных лазеров на основе органических красителей и в качестве интерференционных поверхностей для лазерных зеркал. Золь представляет собой коллоидный раствор, в котором частицы растворенного вещества достигают размеров от 1 до 1000 нм. Пленки, нанесенные золь-гель методом, представляют собой тонкослойные покрытия, которые нанесены на ровную гладкую поверхность кристалла или металла [5]. Они существенным образом улучшают оптические свойства кристаллов за счет того, что просветление конечного оптического элемента увеличивается в среднем на 6 – 8%. В будущем тонкие пленки золь-геля могут применяться в перспективных отраслях науки (nanoэлектроника и солнечная электроэнергетика). В nanoэлектронике тонкие пленки золь-геля будут использоваться в качестве пассивирующей поверхности микросхем для предотвращения их окисления, а в солнечной электроэнергетике – для увеличения светопропускания солнечных батарей [7].

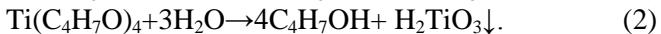
Механизм и скорость деградации пленки, нанесенной золь-гель методом, недостаточно изучены. Пленка с пористой структурой на основе диоксида кремния дает минимальный показатель преломления, минимальное остаточное отражение и наибольшее светопропускание. Но именно такая пленка в большей степени подвержена

деградации. Это связано с быстрым испарением органических растворителей, входящих в состав пленок, а также с быстрым оптическим уплотнением пористой структуры. Добавление менее пористого второго слоя на основе диоксида титана теоретически сможет увеличить срок службы пленки, поскольку связи, образуемые титаном, гораздо прочнее кремниевых, однако в настоящее время накоплено мало экспериментальных данных о динамике деградации двухслойной тонкой пленки и о том, как введение второго слоя на основе TiO_2 влияет на прочность системы [6]. Цель работы: определить изменение оптических показателей двухслойной тонкой пленки SiO_2+TiO_2 . В работе были использованы такие методы научного исследования, как наблюдение и эксперимент.

Были изготовлены растворы золя на основе SiO_2 и TiO_2 .

На основе SiO_2 смешали в чистой сухой емкости 7,5мл $Si(C_2H_5O)_4$, 150мл C_3H_7OH (пропанол-2), который послужил средой для осаждения частиц золя, и 1мл катализатора $HCl_{конц}$. Данный процесс характеризует уравнение 1.

На основе TiO_2 смешали в чистой сухой емкости 7,5 мл $Ti(C_4H_7O)_4$, 150мл C_3H_7OH (пропанол-2), который послужил средой для осаждения частиц золя, и 1мл катализатора $HCl_{конц}$. Данный процесс характеризует уравнение 2.



Растворы созревали в течение четырех суток при комнатной температуре. Затем кристаллы были тщательно подготовлены в ультразвуковой ванне в смеси гептана и изопропанола. Затем, все образцы подвергались закалке при температуре 150°C в течение четырех суток.

Сначала было измерено остаточное отражение с помощью стенда для измерения остаточного отражения для диэлектрических поверхностей. После измерения было произведено сравнение результатов, полученных ранее, с настоящими результатами. Ранее на кристалл KDP была нанесена однослойная пленка SiO_2 (рис. 1). На графике видно, что у двухслойной пленки (рис. 2) скорость изменения остаточного отражения ниже, чем у однослойной пленки. Это связано с присутствием в системе TiO_2 , который делает оптическую структуру более химически стабильной.

Затем был измерен показатель преломления с помощью эллипсометра (ЛЭФ-3М).

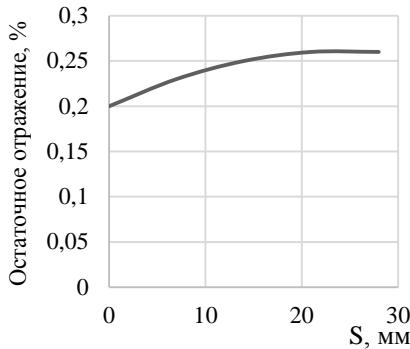


Рис. 1. Изменение остаточного отражения однослойной пленки SiO_2

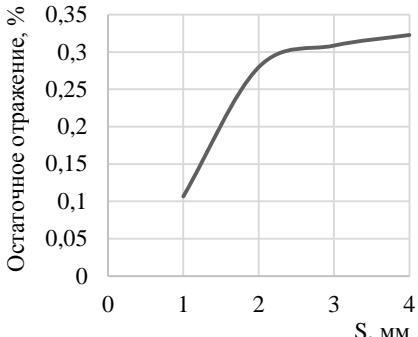


Рис. 2. Изменение остаточного отражения двухслойной пленки $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$

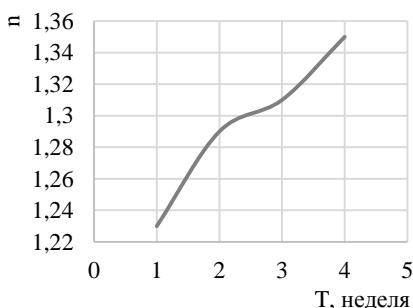


Рис. 3. Изменение показателя преломления двухслойной пленки SiO_2 и TiO_2

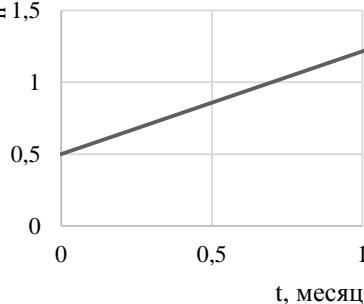


Рис. 4. Изменение показателя преломления однослойной пленки SiO_2

По результатам измерений было выявлено, что рост показателя преломления у пленки, в основу которой входит несколько компонентов, происходит значительно медленнее. Это объясняется химической стабильностью оксида титана, а также видом катализатора. Было выявлено, что динамика деградации двухслойных тонких пленок отличается от динамики деградации однослойных пленок. У двухслойных структур происходит однократное скачкообразное изменение оптических показателей сразу после закалки, затем деградация материала существенно замедляется. Это объясняется большей химической стабильностью тонкой пленки.

После прослеживания динамики деградации было сделано контрольное измерение светопропускания чистого кристалла, слоя SiO_2 и слоя TiO_2 с помощью спектрофотометра (С-Ф 2000).

На графике видно, что светопропускание двухслойной тонкой пленки практически соответствует однослойной поверхности. Таким образом, была получена более химически стабильная композиция пленки, технология изготовления которой гораздо проще, при этом ее свойства практически не уступают соединению, изготовленному ранее.

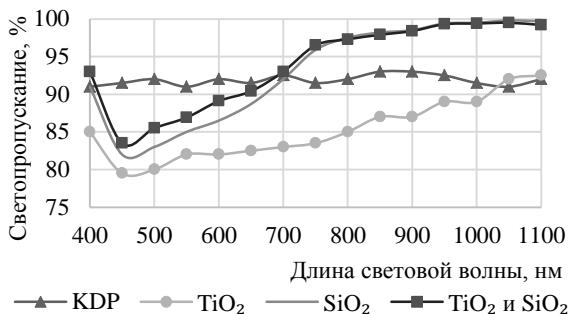


Рис. 5. Светопропускание кристалла KDP без пленки и кристаллов KDP, покрытых пленками SiO_2 , TiO_2 и двухслойной пленкой ($\text{TiO}_2 + \text{SiO}_2$)

ски не отличаются от однослойных. При этом однослойные пленки подвержены оптической деградации.

Литература

- Brinker C.J., Scherer G.W. Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. – Academic Press, 1990.
- Wheeler E.K., Whitman P.K., Land T.A., De Yoreo J., Thorsness C.B., McWhirter J.H., Hanna M.L., Miller E.L. Investigation of etch pits on KDP crystals with porous sol-gel coatings // Applied physics A Materials Science & Processing. 2002, 74. P. 813 – 823.
- Борило Л.П., Петровская Т.С., Лютова Е.С. Синтез и свойства тонких пленок на основе фаз системы $\text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{CaO}$ // Неорганические материалы. 2014. Т.50, № 8. С. 874 – 880.
- Герасиненко Ю.В., Логачева В.А., Ховив А.М. Синтез и свойства тонких пленок диоксида титана // Конденсированные среды и межфазные границы. 2010. Т. 12, № 2. С. 113 – 118.
- Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. – М.: 1984.
- Колыгина В.М., Новиков В.А., Петрова Ю.С., Толбанов О.П., Черников Е.В., Цупий С.Ю., Яскевич Т.М. Свойства пленок TiO_2 на кремниевых подложках // Физика и техника полупроводников. 2014. Т. 48. Вып. 6. С. 759 – 762.
- Кругляков П.М., Ровин Ю.Г. Физико-химия черных углеводородных пленок. – М.: Наука, 1978. – 368с.

В процессе исследования гипотеза была подтверждена. Были получены результаты, доказывающие, что полученные двухслойные пленки являются более совершенными, так как при необходимой длине световой волны 1054 нм они по оптическим свойствам практически

Влияние набухания на свойства полимерных материалов

Попова Мария Сергеевна

10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель С.Ю. Будников,
магистрант ХФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Исследовано влияние набухания на свойства полимерных материалов. Исследуемые полимеры – полиметилметакрилат и сополимеры метилметакрилата и изоборнилакрилата – получены методом радикальной полимеризации в массе. Возможность набухания полимеров в дистиллированной воде исследовали на навесках полимера. Для дальнейших исследований использовали пленки, приготовленные методом полива 5%-м раствором полимера в толуоле. Исследовали светопропускание и физико-механические свойства пленок полимеров, сравнивая результаты набухших и ненабухших образцов.

Полимерные материалы все глубже проникают в нашу повседневную жизнь. Полимеры, как и прочие материалы, взаимодействуют с окружающей средой весьма интересными способами. Одним из основных факторов среды, оказывающим влияние на полимерные материалы, является содержащаяся в воздухе вода.

Молекулы воды, накапливаясь в полимере, увеличивают подвижность сегментов и уменьшают их межмолекулярное взаимодействие [1]. Это явление может оказаться заметное влияние на эксплуатационные свойства полимера, поэтому цель данной работы – изучить влияние набухания на оптические и физико-механические свойства полимеров, сравнив свойства сухих и набухших полимерных материалов. Задачи: синтезировать полимеры, изучить возможность набухания полимерных материалов, создать пленки полимера, изучить влияние набухания на оптические и физико-механические свойства полимерных материалов.

При проведении работы сначала были синтезированы полимеры: полиметилметакрилат (ПММА), а также сополимеры изоборнилакрилата (ИБА) и метилметакрилата (ММА) в мольных соотношениях 34% – 66% ИБА-ММА и 50% – 50% ИБА-ММА. Синтез проводился методом радикальной полимеризации в массе при температуре 60⁰С (в термостате), в качестве инициатора использовался динитрил азотизомасляной кислоты (ДАК). Для дальнейшего сравнения полимеров желательно, чтобы они обладали одинаковой конверсией, поэтому во

время процесса полимеризации мы контролировали конверсию методом дилатометрии. Затем взвешенные навески полимеров погрузили на неделю в дистиллированную воду, после чего достали, снова взвесили и рассчитали степень набухания для каждого образца. Получилось, что степень набухания ПММА составила 4,6%, 34% – 66% ИБА-ММА – 3% и 50% – 50% ИБА-ММА – 2%. Можно сделать вывод о том, что добавки ИБА снижают степень набухания. Также были получены пленки полимеров. Для этого были приготовлены 5%-ные растворы синтезированных образцов в толуоле, из которых затем изготовили пленки методом полива. Часть пленок поместили в дистиллированную воду на неделю, а часть оставили, чтобы затем сравнить свойства набухших и ненабухших пленок.

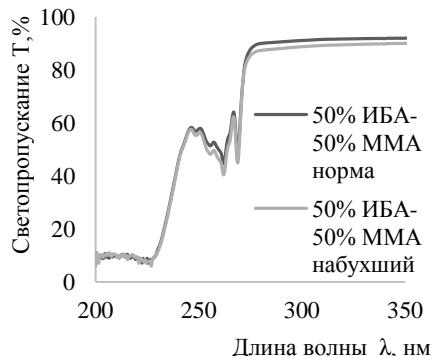


Рис. 1. Светопропускание образцов 50% ИБА – 50% MMA

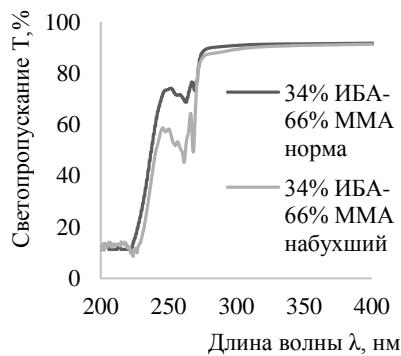


Рис. 2. Светопропускание образцов 34% ИБА – 66% MMA

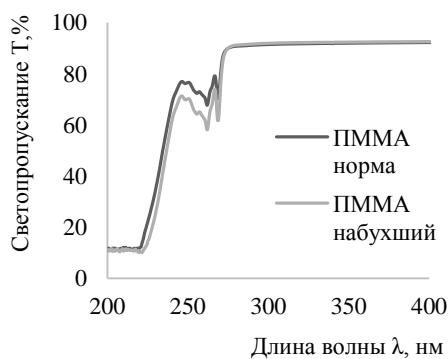


Рис. 3. Светопропускание образцов ПММА

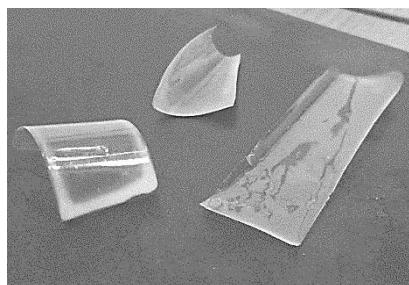


Рис. 4. Помутнение набухших пленок

Далее исследовали влияние набухания на оптические свойства полимеров. Для этого сравнили светопропускание набухших и ненабухших пленок, снятое с помощью УФ-спектрофотометра Shimadzu UV-1800. Результаты представлены на рисунках 1 – 3.

По графикам видно, что светопропускание набухших пленок ухудшилось по сравнению с ненабухшими у всех трех образцов. Кроме того, было зафиксировано помутнение пленки по краям.

Затем изучали влияние набухания на прочность материалов при растяжении, которое зафиксировали на установке Zwick/Roell Z005. Результаты представлены в таблице.

Таблица. Прочностные характеристики набухших и ненабухших пленок

| Состав мономерной смеси | 100 % MMA | | 34 % ИБА – 66 % MMA | | 50 % ИБА – 50 % MMA | |
|--------------------------|-----------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
| Состояние | норма | набухший | норма | набухший | норма | набухший |
| Прочность σ , Мпа | 31,41 | 27,5 | 16,59 | 11,41 | 14,8 | 10,46 |

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что набухание отрицательно влияет на физико-механические свойства полимеров.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- 1) получены полимеры ПММА, сополимеры MMA и ИБА, а также подготовлены полимерные материалы на их основе;
- 2) исследовано явление набухания полимеров и обнаружено, что оно может весьма негативно влиять на оптические свойства полимерных материалов;
- 3) обнаружено, что набухание, пусть и незначительно, но снижает прочностные характеристики полимерных материалов.

Литература

1. Flory P.J. Principles of Polymer Chemistry. – Cornell University Press, Ithaca, NY, 1953.
2. Richard R.E., Schwarz M., Ranade S., Chan A.K., Matyjaszewski K., Sumerlin B. Biomacromolecules. 2005. 6. P. 3410 – 3418.
3. Вильям Эдвард Седен, Ронгальдшейд Гамильтон. Патент 2066872.
4. Гаркушин И.К., Лаврентьева О.В., Истомова М.А., Калмыкова О.Ю. Конструкционные материалы: состав, свойства, применение. – Самара: Самар, гос. техн. ун-т. 2015. – 239 с.
5. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения. – М.: Академия, 2008. – 368 с.

Многослойные пленки. Их оптическая и геометрическая толщина

Сороколетова Наталья Александровна
10 класс, МБОУ Лицей № 8, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель С.Н. Беляев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



В работе исследованы оптические характеристики многослойных просветляющих покрытий в зависимости от их природы и количества слоев тонких пленок, образовавших просветляющее покрытие.

В современном мире лазерные технологии и наноэлектроника быстро развиваются. Перспективной считается отрасль фотоэнергетики, для которой необходимы оптические элементы, в качестве которых используются кристаллы KDP, имеющие высокий процент пропускания света (около 92%), однако недостаточный для оптической системы. Задачу решают тонкие пленки, нанесенные методом золь-геля – они существенно улучшают пропускание света (до 98,5 – 99,5%). На данный момент накоплено мало теоретической информации о тонких пленках, поэтому нужно определить зависимость пропускания света многослойными тонкими пленками и их толщины от количества и природы слоев золя. Сформулированы следующие задачи: получить растворы золей и нанести их на кристаллы; измерить пропускаемость света и толщину пленок до и после закаливания; закалить пленку.

Тонкие пленки – полимерные просветляющие покрытия, состоящие из оксида какого-либо элемента и закрепленные на подложке с помощью валентных связей, образовавшихся при гидролизе соответствующих аллокси соединений. Тонкие пленки диоксида кремния имеют низкий показатель преломления, но очень подвержены деградации при закаливании (необходимом для повышения устойчивости пленки), легко теряя свойства при физическом воздействии на них, в отличие от тонких пленок диоксида титана, отличающихся физической и химической устойчивостью, высоким показателем преломления.

Было решено получить просветляющие покрытия в следующих комбинациях: 1) один слой диоксида титана; 2) два слоя диоксида титана; 3) один слой диоксида титана и два слоя диоксида кремния. Были изготовлены растворы золей на основе диоксидов титана и

кремния, затем раствор был нанесен на кристалл KDP методом погружения кристалла в раствор с помощью специального устройства на скорости 1,5 – 2,5 мм/с. После получения трех покрытий было измерено пропускание света и их толщина, затем кристаллы закаливались около пяти суток в духовом шкафу при температуре 150 °С. Их толщина и пропускаемость света измерялись через две недели и через месяц после получения тонких пленок.

Кристаллы, покрытые одним и двумя слоями диоксида титана, имели высокие показатели преломления (1,8 и 1,82 соответственно), из-за которого пленки получались отражающими, имели малую толщину (26,7 нм и 32,8 нм соответственно). Измеряемые показатели у пленок после закаливания незначительно уменьшились. Трехслойная пленка показала хороший результат пропускания света и допустимую толщину, незначительно изменившуюся после закаливания.

Таблица. Динамика изменения толщины и пропускания света полученной трехслойной пленки от режима закаливания (при пропускании света непокрытым кристаллом KDP 92 %)

| Период времени | Толщина d, (нм) | Пропускание света, % |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------|
| В начале после закаливания при 150° С | 216 | 99,5 |
| Через 2 недели | 214 | 99,2 |
| Через месяц | 213 | 99 |

Полученное трехслойное покрытие имеет оптимальную толщину и пропускание света (99,5%) на требуемой длине волны 1054 нм. Была выяснена зависимость характеристик просветляющего покрытия, состоящего из нескольких слоев разной природы. Полученная трехслойная пленка сочетает устойчивость к физическим воздействиям (как пленка диоксида титана) и имеет высокое пропускание света (как пленка диоксида кремния).

Литература

1. Киреев В.А. Курс физической химии. – М.: Химия, 1975. – 776 с.
2. Суйковская Н.В. Химические методы получения тонких прозрачных пленок. – Л.: Химия, 1971. – 200 с.
3. Гельфман М. Коллоидная химия [Электронный ресурс]. <http://m.litfile.me/read/253122/211000-212000?page=8>.

Таблица растворимости: прочерки и знаки вопроса

Трамбицкий Артем Вячеславович
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Р.В. Абрахеев,
доцент кафедры аналитической
химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук



Таблица растворимости является вторым по важности химическим документом для школьников после периодической системы, однако таблица содержит прочерки и знаки вопроса, причем не все могут объяснить причины их появления.

Цель работы – получение и обобщение информации о неорганических соединениях, которым в таблице растворимости соответствуют прочерки и знаки вопроса. Задачи: обобщение информации о таблице растворимости, прочерках и знаках вопроса в ней; сравнение информации, приведенной в разных версиях таблицы растворимости; экспериментальное проведение реакций, сопровождающихся образованием вышеназванных веществ; объяснение и обобщение полученной информации. При выполнении работы был использован «мокрый» качественный химический анализ.

Таблица растворимости – это таблица, каждый столбец которой относится к конкретному катиону (H^+ , NH_4^+ , K^+), а каждая строка относится к конкретному аниону (OH^- , Cl^- , SO_3^{2-}). На пересечении столбцов и строчек с помощью символов указано то, что следует ожидать при смешивании двух растворов – катиона и аниона. Таблица растворимости, утвержденная министерством образования для проведения ЕГЭ 2017 года, по объему информации примерно в 4 раза больше, чем таблицы 1976 и 1985 годов.

Добавились новые катионы (Li^+ , Sr^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Sn^{2+}) и анионы (F^- , Br^- , I^- , HS^- , HSO_3^- , HSO_4^- , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, HCO_3^-), а также изменились значения в некоторых клеточках.

Символ «Р» в таблице означает, что при смешивании растворов, содержащих указанные ионы, образуется хорошо растворимое вещество. Символы «Н» и «М» – соответственно (нерасторимое) и (малорастворимое). Однако в таблице встречается значительное число других символов – прочерков и знаков вопроса – и объяснений того, что эти вещества разлагаются водой или нет информации о них (как приведено в таблице) явно недостаточно.

Наибольшее число прочерков и знаков вопроса соответствует в таблице сульфид- и силикат- анионам. Поэтому именно они и продукты их реакции с катионами металлов стали центром внимания в данной работе. Методика экспериментов заключалась в следующем. В пробирку помещали одну каплю раствора соли выбранного катиона. Во вторую пробирку помещали одну каплю раствора той же соли и добавляли пять капель воды. Затем в обе пробирки добавляли по одной капле раствора сульфида натрия, либо силиката натрия. Далее наблюдали за продуктами реакций.

Выполнены реакцию сульфид-ионов с катионами кальция, бария, магния, алюминия, железа (3+) и хрома. Продуктам этих реакций в таблице соответствуют прочерки. С неразбавленными и разбавленными растворами солей названных металлов получили одинаковые результаты.

При смешивании растворов хлорида кальция и сульфида натрия наблюдали выпадение белого кристаллического осадка. Количество этого осадка было практически одинаково как с разбавленным, так и с неразбавленным раствором хлорида кальция. Мы считаем, что выпавший осадок – это сульфид кальция. В справочнике Лидина [1] приведено значение растворимости этого вещества и расчеты, приведенные в реферате, подтвердили, что в эксперименте образуется количество сульфида кальция, превышающее его растворимость. Поэтому мы полагаем, что в таблице растворимости в соответствующей клеточке должен стоять символ «Н».

При смешивании растворов хлорида бария и сульфида натрия также наблюдали выпадение кристаллического осадка белого цвета. Мы считаем, что это – сульфид бария. Возможность выпадения данного осадка также подтвердили расчетами, в которых сравнили получающуюся в условиях эксперимента концентрацию вещества с табличным значением его растворимости. С учетом этого значения в таблице в соответствующей клетке должен стоять символ «Р».

При смешивании растворов нитрата железа (III) и сульфида натрия выпал осадок темного (почти черного) цвета, а при перемешивании раствор приобрел бежевый цвет. Это объясняется тем, что в ходе реакции сначала образуется сульфид железа (III), который трансформируется в темный (почти черный) сульфид железа (II) и серу светло-желтого цвета, а при их перемешивании образуется смесь бежевого цвета. В связи с этим в таблице в соответствующей клетке должен стоять знак вопроса (требует дальнейшего изучения).

При смешивании растворов хлорида магния и сульфида натрия наблюдали выпадение аморфного осадка белого цвета. Мы считаем, что это не сульфид магния, а гидроксид магния (II), так как вид осадка аморфный, а не кристаллический, как у сульфида магния (по литературным данным); для выпадения $Mg(OH)_2$ требуется меньше OH^- ионов, чем на осаждение $Ba(OH)_2$ и $Ca(OH)_2$, поэтому достаточно тех OH^- ионов, что образуются при гидролизе Na_2S .

Однако на фоне обильного аморфного осадка $Mg(OH)_2$ можно не заметить кристаллического осадка MgS . В справочнике [1] информация о сульфиде магния отсутствует.

При смешивании растворов нитрата алюминия (III) и сульфида натрия наблюдали выпадение аморфного осадка белого цвета. Мы считаем, что это гидроксид алюминия (III) по тем же самым причинам, что и у $Mg(OH)_2$. На фоне обильного аморфного осадка $Al(OH)_3$ можно не заметить кристаллического осадка Al_2S_3 . В справочнике информация о сульфиде алюминия (III) отсутствует.

Трудно сделать обоснованное предположение о MgS и Al_2S_3 , так как информации об этих соединениях в доступной литературе не найдено. В связи с этим в таблице растворимости в клеточках на пересечении столбцов Mg^{2+} и Al^{3+} со строчкой S^{2-} должны стоять знаки вопроса (требует дальнейшего изучения).

На втором этапе работы выполнили реакцию силиката натрия и растворов солей алюминия, железа (III), хрома (III), кобальта, меди. Продуктами этих реакций в таблице соответствуют знаки вопроса.

При смешивании растворов нитрата алюминия и силиката натрия выпал аморфный осадок белого цвета. Для исключения возможности выпадения кремниевой кислоты в результате взаимодействия с кислотой, образующейся при гидролизе соли алюминия, выполнили следующий опыт: в пробирку поместили две капли нитрата алюминия и добавили раствор аммиака до появления небольшого осадка. Затем к получившемуся раствору добавили несколько капель раствора силиката натрия. Осадка стало больше, но его вид и цвет не изменились. Осадок был идентичен полученному в предыдущем опыте. Основная среда не позволила выпасть кремниевой кислоте, а идентичность осадков в обеих пробирках позволила предположить, что в данных условиях образовался гидроксид алюминия. Его источник – гидролиз соли алюминия под действием щелочного раствора силиката натрия. В книге Неницеску [2] было обнаружено упоминание о том, что силикаты металлов осаждаются совместно с их гидроксидами или оксидами

при смешении растворов солей этих металлов с раствором силиката натрия. Аналогичным образом прошли и реакции силиката натрия с другими ионами. Поэтому мы полагаем, что в соответствующих клетках в таблице растворимости должен стоять знак «Н».



Рис. 1. Сульфид кальция
 CaS



Рис. 3. Гидроксид
магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$



Рис. 5. Силикат алюминия
 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$



Рис. 2. Сульфид бария BaS



Рис. 4. Гидроксид
алюминия (III)



Рис. 6. Силикат алюминия
 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ в щелочной среде

Выходы

Сравнили информацию в разных версиях таблицы растворимости и сделали вывод о том, что таблица стала более полной, а информация в таблице незначительно изменилась. Выполнили реакции с сульфидом натрия и силикатом натрия с рядом солей металлов и сделали вывод о продуктах взаимодействия. На основании экспериментов полагаем, что в таблице растворимости для сульфида кальция должен стоять символ – «Н», для сульфида бария – «Р»; для сульфида хрома – «Н»; для трехвалентного железа – знак вопроса; для всех силикатов – «Н». Полученные результаты будут полезны школьникам, готовящимся к ЕГЭ, и тем, кто пользуется таблицей растворимости. Полученные в работе осадки сульфидов и силикатов можно было бы проанализировать рентгенофлуоресцентным методом с целью подтверждения или опровержения выводов, сделанных по результатам «мокрого анализа», а также получения новой информации об исследуемых веществах.

Литература

1. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химические свойства неорганических веществ. Учебное пособие для вузов. – М.: Химия, 2000. – 480 с.
2. Неницеску К. Общая химия. Учебное пособие. – М.: Мир, 1968. – 816 с.

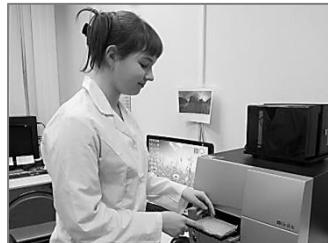
Биофизика и биология



Исследование роли пероксида водорода в развитии ответа клеток на фотодинамическое воздействие

Анисимова Олеся Александровна
11 класс, МБОУ Лицей № 8, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.Ю. Шилягина,
ассистент кафедры биофизики ННГУ им. Н.И.
Лобачевского, кандидат биологических наук



В работе исследовано изменение концентрации пероксида водорода в опухолевых клетках в процессе развития фотодинамической реакции с помощью внутриклеточного белкового сенсора HyPer.

Фотодинамическая терапия – это один из методов лечения онкологических заболеваний. Он заключается в том, что пациенту вводится фотоактивное соединение, фотосенсибилизатор, который способен селективно накапливаться в опухолевой ткани. Фотосенсибилизатор способен флуоресцировать, и по его флуоресценции можно оценить размер опухоли и ее расположение. При воздействии на опухоль, накопившую фотосенсибилизатор, светом с определенной длиной волны и в определенной световой дозе, в опухолевых клетках начинаются окислительные фотохимические превращения, и опухолевые клетки разрушаются [3]. Однако, несмотря на активное использование метода ФДТ в клинической практике, до сих пор не сформировано целостного представления о механизмах физико-химических и физиологических процессов, лежащих в основе фотодинамического эффекта. Интерес к пероксиду водорода обусловлен его двойкой ролью – участием в развитии свободно-радикального окисления и выполнением функции сигнальной молекулы, принимающей участие в регуляции множества клеточных процессов.

Для оценки вклада пероксида водорода в фотодинамическое воздействие мы использовали клетки А431 (эпидермоидная карцинома человека) HyPer-mito с экспресссией флуоресцентного белка HyPer в митохондриях. HyPer представляет собой флуоресцентный белок, позволяющий осуществлять ратиометрическое измерение H_2O_2 (измерение отношения интенсивностей флуоресценции при возбуждении в разных каналах). При отсутствии H_2O_2 (рис.1) он имеет два пика возбуждения флуоресценции (420 и 500 нм). При появлении H_2O_2 происходит пропорциональное уменьшение пика на 420 нм и

увеличение пика на 500 нм. Данный белок флуоресцирует в желто-зеленой области спектра при возбуждении синим светом, что делает его оптимальным по спектру для работы с фотосенсибилизаторами, эмиссия которых лежит в красном диапазоне [1].

Клетки A431 HyPer-mito высаживались в лунки 96-луночного планшета в количестве 10 000 клеток на лунку и инкубировались в течение ночи при атмосфере 5% CO₂ и при 37°C до полного прикрепления к подложке. Затем у клеток отбиралась культуральная среда и к ним добавлялся препарат Фталосенс [4], который используется в настоящее время в клинической практике в концентрации 10 мкг/мл (препарат был растворен в культуральной среде), клетки инкубировались с фотосенсибилизатором в течение 30 мин., затем среду с фотосенсибилизатором убирали и добавляли свежую среду.

На первом этапе исследования с помощью метода конфокальной флуоресцентной микроскопии находились интересующие нас поля зрения, в которых располагались клетки, накопившие фотосенсибилизатор, а затем подбирались такие условия съемки, чтобы возможно было регистрировать флуоресценцию Фталосенса и флуоресценцию белка HyPer и при этом не облучать, то есть не подвергать фотодинамическому воздействию, клетки. Когда были достигнуты необходимые условия съемки, поле зрения микроскопа было разделено на две части. Одну часть подвергли фотодинамическому воздействию в дозе 50 Дж/см². Эта доза была достигнута путем временного увеличения мощности лазера, который возбуждал препарат Фталосенс. Для возбуждения флуоресценции HyPer использовались лазеры с длиной волны 405 нм и 488 нм, входящие в комплектацию микроскопа и максимально близко соответствующие пикам спектра возбуждения. Возбуждение осуществляли последовательно, флуоресценцию регистрировали в диапазоне 500 – 560 нм с одинаковыми параметрами усиления. В качестве параметра, характеризующего содержание пероксида водорода, определяли отношение регистрируемого сигнала флуоресценции при разных длинах волн возбуждения (I_{488}/I_{405}). Мощности обоих лазеров (405 и 488 нм) на объективе были выравнены. Ниже представлена серия (рис. 2) изображений клеток до и после фотодинамического воздействия в двух флуоресцентных каналах (зеленом и синем). В облученной области через 30 мин. после фотодинамического воздействия наблюдается «ошаривание» клеток (клетки открепляются от субстрата) и «пузырение» мембран клеток, что свидетельствует об их фотоиндуцированном повреждении.

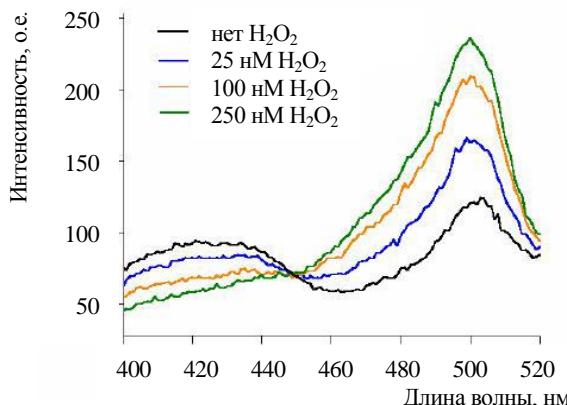


Рис. 1. Зависимость спектра возбуждения флуоресценции HyPer от концентрации H_2O_2 [2]

нм), что свидетельствует об увеличении концентрации пероксида водорода в митохондриях клеток.

Следует отметить, что в необлученной зоне также происходили изменения, однако существенно менее выраженные. Кроме этого, нельзя исключать возможность того, что эффекты в клетках, находящихся вблизи от области фотодинамического воздействия, могут быть обусловлены распространением сигналов или повреждающих агентов от облученных клеток.

Нами проведена также количественная оценка наблюдаемых изменений. Приведена зависимость

Анализ флуоресцентных изображений показал, что после фотодинамического воздействия происходит усиление интенсивности флуоресценции HyPer в зеленом канале (возбуждение при 488 нм) и снижение интенсивности флуоресценции HyPer в синем канале (возбуждение при 405 нм), что свидетельствует об увеличении концентрации пероксида водорода в митохондриях клеток.

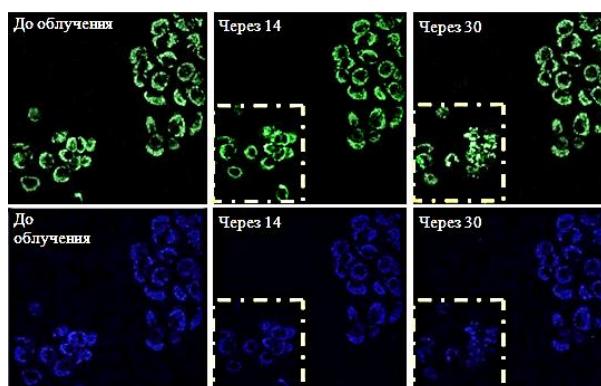


Рис. 2. Клетки линии A431-HyPer-mito, обработанные Фталосенсом, до облучения, через 14 и 30 мин. после облучения лазером (633 нм в дозе $50 \text{ Дж}/\text{см}^2$) «Зеленый» и «синий» каналы (флуоресценция HyPer). Область фотодинамического воздействия выделена пунктиром (область, на которую воздействовали большей дозой света = $50 \text{ Дж}/\text{см}^2$)

отношения интенсивности зеленого и синего спектров (I_{488}/I_{405}) в облученной и необлученной областях, рассчитанная для нескольких клеток в соответствующих областях (рис. 3). Хорошо видно, что до светового воздействия соотношение сигналов I_{488}/I_{405} практически не изменялось. При этом после фотодинамического воздействия в облученной зоне наблюдалось быстрое увеличение соотношение I_{488}/I_{405} в течение всего времени наблюдения (до 1,8 раз). В необлучаемой зоне значение этого показателя увеличивалось незначительно.

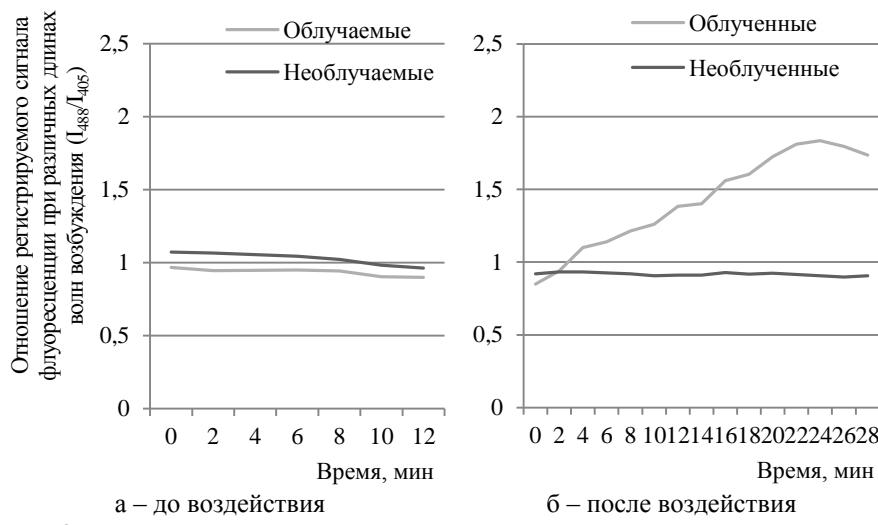


Рис. 3. Мониторинг уровня пероксида водорода в митохондриях клеток при фотодинамическом воздействии в дозе 50 Дж/см² путем регистрации отношения I_{488}/I_{405} флуоресценции сенсора НуPer.
Клетки A431-HuPer-mito обработаны Фталосенсом

Выходы

1. Впервые предложенный подход, основанный на использовании стабильно трансфицированной клеточной линии, экспрессирующей флуоресцентный белок НуPer, позволил зарегистрировать в динамике увеличение количества пероксида водорода в клетках в ответ на фотодинамическое воздействие.
2. Концентрация пероксида водорода при отсутствии фотодинамического воздействия остается на постоянном уровне в течение 15 минут после начала наблюдения, что подтверждает «щадящий» режим при получении изображений.

3. При фотодинамическом воздействии концентрация пероксида водорода в митохондриях клетки возрастает в 1,8 раз относительно исходного уровня, что свидетельствует о развитии окислительных реакций и непосредственном участии в них пероксида водорода.

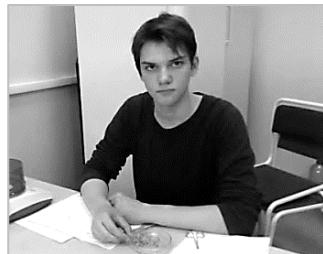
Литература

1. Белоусов В.В. Биосенсор для детекции пероксида водорода в живых клетках, обладающий повышенной устойчивостью к изменениям pH. Патент RU 02434943 C2.
2. Билан Д.С., Лукьянов С.А., Белоусов В.В. Генетически кодируемые флуоресцентные сенсоры окислительно-восстановительных процессов // Биоорганическая химия. 2015. Т. 41, № 3. С. 259 – 274.
3. Узденский А.Б. Клеточно-молекулярные механизмы фотодинамической терапии. – М.: Наука, 2010. – 336 с.
4. Якубовская Р.И., Морозова Н.Б., Кармакова Т.А. Фталосенс – новый препарат на основе безметаллического фталоцианина для ФДТ рака // Российский биотерапевтический журнал. 2004. Т. 3. № 2. С. 60 – 61.

Влияние свинца на рост и развитие пшеницы

Архипов Виктор Алексеевич
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Е.А. Ерофеева,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат биологических наук



Изучено влияние сублетальных и летальных концентраций нитрата свинца на всхожесть семян пшеницы, массу корневой системы и побеги проростков пшеницы. Наибольшая из изученных концентраций нитрата свинца вызывала снижение всхожести по сравнению с контролем. Нитрат свинца приводил к монотонному снижению сырой биомассы побегов и корневой системы относительно контрольного уровня.

В последнее время бурное развитие промышленности и быстрый рост количества автотранспортных средств приводят к значительному увеличению содержания тяжелых металлов в окружающей среде [2, 5]. Известно, что «малые дозы» различных физических и химических факторов, в том числе и тяжелых металлов, могут вызывать немонотонное изменение состояния организма у животных и растений [1]. Возможность развития немонотонных изменений различных показателей роста и развития растений при действии тяжелых металлов в диапазоне сублетальных и летальных доз изучена крайне слабо. Так как при немонотонных ответах разные дозы могут вызывать различный отклик, то с точки зрения экологии есть потребность в описании зависимостей доза-эффект. Цель работы – изучение возможности немонотонного изменения показателей роста и развития пшеницы при воздействии сублетальных и летальных концентраций свинца.

Материалы и методы

В эксперименте изучали влияние различных концентраций нитрата свинца (сублетальных 0,05 – 1,6 г/л и летальных – 3,2 г/л) на сырую биомассу проростков пшеницы и всхожесть семян. Для проростков пшеницы летальными являются концентрации нитрата свинца 2,56 г/л и более [3]. Использовали пшеницу сорта Московская 39. В эксперименте растения были поделены на 7 групп: 6 – опытных и 1 – контрольная. В каждой группе семена пшеницы помещали в три чашки Петри на фильтровальную бумагу (70 семян в одну чашку). В опытных группах в чашки наливали по 10 мл раствора нитрата свинца разной концентрации (0,05 – 3,2 г/л), при этом соседние концентрации

различались в два раза. В чашки контрольной группы наливали 10 мл дистиллированной воды. Каждый день растворы заменяли на новые (добавляли по 10 мл растворов в опытные чашки, такой же объем воды добавляли в контрольные чашки). Через четверо суток определяли биомассу проростков пшеницы и всхожесть семян. Корневую систему и побеги проростков взвешивали на лабораторных весах ADAM NBC 123 с точностью до 1 мг. В каждой группе взвешивали корневую систему и побеги 30-ти растений ($n=30$). Всхожесть семян рассчитывали как долю проросших семян от общего количества семян в данной группе [4]. Для статистической обработки первичных данных использовали программы Биостатистика и Microsoft Excel. Проверку нулевой гипотезы о равенстве выборочных параметров для количественных признаков (сырая биомасса корневой системы и побегов) осуществляли, используя непараметрические критерии Крускала–Уоллиса и Ньюмана–Кейлса. Аналогичную процедуру для качественного признака (всхожесть) проводили с помощью критерия хи-квадрат.

Результаты и их обсуждение

Мы обнаружили, что только наибольшая из изученных концентраций нитрата свинца (3,2 г/л) приводила к снижению всхожести семян пшеницы на 57% по сравнению с контролем. Меньшие концентрации соли свинца не влияли на данный показатель. Отсюда можно заключить, что минимальная летальная концентрация свинца находится между концентрациями 1,6 и 3,2 г/л (рис. 1).

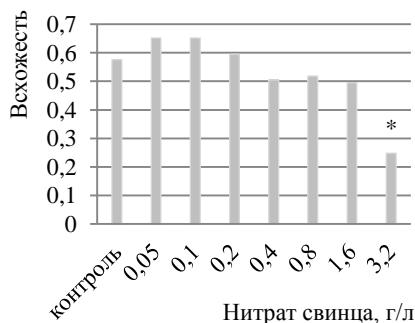


Рис. 1. Влияние нитрата свинца на всхожесть семян пшеницы

*— отличается от контроля при $p < 0,05$

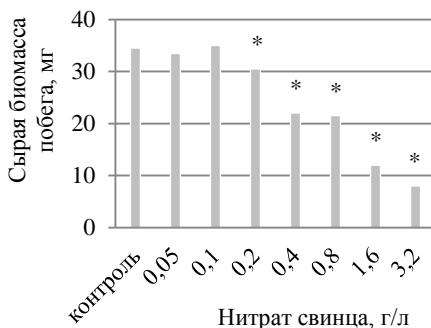


Рис. 2. Влияние нитрата свинца на биомассу побега проростков пшеницы

*— отличается от контроля при $p < 0,05$

Нитрат свинца в концентрации 0,05 и 0,1 г/л не влиял на сырую биомассу проростков пшеницы. Более высокие концентрации вызы-

вали снижение данного показателя по сравнению с контролем до 4 раз (3,2 г/л). При этом наблюдалось практически линейное снижение данного показателя относительно контрольного уровня (рис. 2). Данные, полученные для биомассы пшеницы, были очень сходными с результатами, полученными для побегов. Нитрат свинца в концентрации 0,05 и 0,1 г/л не влиял на сырую биомассу корневой системы. Более высокие концентрации вызывали снижение данного показателя по сравнению с контролем до 4 раз (3,2 г/л).

Наблюдалось практически линейное снижение данного показателя относительно контрольного уровня (рис. 3). Следует отметить, что негативный эффект соли свинца был выше для корневой системы по сравнению с побегами. Наибольшая концентрация нитрата свинца приводила к полному отсутствию корневой системы, однако у данных проростков имелись побеги. Можно заключить, что нитрат свинца больше препятствует нормальному развитию корневой системы.

Заключение

1. Только наибольшая из изученных концентраций нитрата свинца вызывала снижение всхожести по сравнению с контролем. Остальные концентрации не влияли на данный показатель.
2. Нитрат свинца в концентрациях 0,2 – 3,2 г/л приводил к монотонному снижению сырой биомассы побегов, а в меньших концентрациях (0,05 – 0,1 г/л) не влиял на данный показатель.
3. Нитрат свинца в концентрациях 0,2 – 3,2 г/л приводил к монотонному снижению сырой биомассы побегов, а в меньших концентрациях (0,05 – 0,1 г/л) не влиял на данный показатель.

Таким образом, мы не обнаружили разных эффектов для изученных показателей пшеницы, то есть немонотонных ответов. Все показатели (всхожесть семян, биомасса побегов и корневой системы) монотонно ухудшались при возрастании концентрации соли свинца. При этом негативный эффект при более низких концентрациях проявлялся для биомассы побегов и корневой системы, а для всхожести возникал только при наиболее высокой концентрации. Наиболее

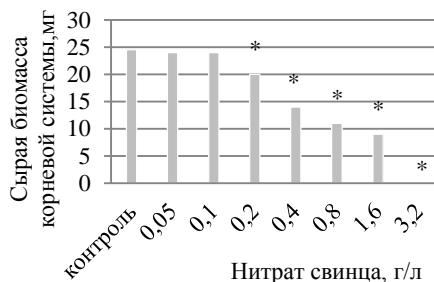


Рис. 3. Влияние нитрата на биомассу корневой системы проростков пшеницы

* – отличается от контроля при $p < 0.05$

сильно негативный эффект изученной соли проявлялся в отношении биомассы корневой системы.

Литература

1. *Батян А.Н., Фрумин Г.Т., Базылев В.Н.* Основы общей и экологической токсикологии. – СПб.: СпецЛит., 2009. – 352 с.
2. *Денисов В.Н., Рогалев В.А.* Проблемы экологизации автомобильного транспорта. – Спб.: МАНЕБ, 2005. – 312 с.
3. *Ерофеева Е.А.* Гормезис и парадоксальные эффекты у растений в условиях автотранспортного загрязнения и при действии поллютантов в эксперименте: Дис. ... докт. биол. наук. – Н.Новгород, 2017. – 184 с.
4. *Строна И.Г.* Общее семеноведение полевых культур. – М.: Колос, 1966. – 464 с.
5. *Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф.* Устойчивость растений к тяжелым металлам. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.

Противоишемическое действие CdEPO в раннем периоде острого инсульта в эксперименте

Баранова Александра Николаевна
10 класс, МАОУ Лицей № 28 им. Б.А. Королева
Научный руководитель М.М. Глявина,
магистрант ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Предметом исследования являлось выяснение влияния карбамилированного дарбэпоэтина (CdEPO) на объем ишемического очага и восстановление функционального состояния нервной системы мыши. Действие CdEPO основано на взаимодействии с общей рецепторной субъединицей димерного рецептора (β -сR) к эритропоэтину. В результате исследования выявлено, что CdEPO после часовой окклюзии средней мозговой артерии у мышей снижает объем ишемического очага на 89% (данные получены с помощью МРТ) и выраженная неврологическая дефицитность, нормализует двигательную и исследовательскую активность животных (по результатам теста «открытое поле»), эффективно сохраняет память в постишемическом периоде (в тесте «воспроизведение условного рефлекса пассивного избегания») относительно группы без введения препарата.

В России ежегодно происходит более 450 тыс. инсультов, а в целом сосудистые заболевания головного мозга в нашей стране вышли на второе место среди причин смерти населения [2]. Поэтому поиск новых путей для лечения ишемии является актуальной задачей. Ишемия головного мозга – это прекращение кровотока, вызванное тромбом, приводящее к гипоксии, субстратному голоданию и повышению количества свободных радикалов кислорода. В данной работе рассмотрена модель транзиторной окклюзии средней мозговой артерии (тОСМА) у мышей. Предметом исследования являлось выяснение влияния карбамилированного дарбэпоэтина (CdEPO), действие которого основано на взаимодействии с общей рецепторной субъединицей димерного рецептора (β -сR), к эритропоэтину, который находится не только на клетках эритроидного ряда, но и на нейронах. Преимущество использования карбамилированной формы эритропоэтина – способность активировать защитные механизмы нейронов без стимуляции гемопоэза (а значит, без увеличения гематокрита и повышения артериального давления) [4].

Цель исследования – влияние карбамилированного дарбэпоэтина на размеры ишемического очага и восстановление центральной нервной системы в модели тОСМА. Задачи работы: изучение модели тОСМА у мышей; исследование влияния CdEPO на объем ишемического очага, условную и безусловную рефлекторную активность животных; сравнение действия CdEPO с препаратом, который используется сейчас в клинике (цераксоном) в постишемическом периоде. Все мыши были разделены на 4 экспериментальные группы: «интактная группа» – здоровые мыши; «контрольная группа» – была проведена операция, однако препараты не вводились; «CdEPO» – группа мышей, которым после операции вводился препарат CdEPO в концентрации 50 мкг/кг; «Цераксон» – группа мышей, которым после операции вводился препарат цераксон (цитопротектор с известным механизмом действия) в концентрации 169 мг/кг. тОСМА у мышей заключается в введении нити с силиконовым наконечником через общую сонную артерию в среднюю мозговую артерию. Время экспозиции – 1 час. Через 6 и 24 часа после операции экспериментальным группам мышей внутривенно вводили CdEPO и цераксон. С помощью магнитно-резонансной томографии [3] были получены диффузионно-взвешенные изображения головного мозга мышей на четвертый день после операции. Расчет ишемического очага был проведен в программе IMAGÉ J. В каждой экспериментальной группе было по 3 мыши. Для оценки моторной активности животных на четвертый день после операции использовали шкалу неврологического дефицита и тест «открытое поле», а для оценки сохранности памяти использовали тест «воспроизведение условного рефлекса пассивного избегания (УРПИ)» [1]. Выраженность неврологического дефицита оценивалась по способности выполнения мышами различных заданий, например, способность удерживаться на дощечках разной длины, сохранять направление движения и др. Тест «воспроизведение УРПИ» заключался в формировании УРПИ перед операцией. На этапе обучения мышь из светлого отсека установки (так как мышь – норное животное) переходила в темный отсек, но там подвергалась воздействию электрического тока. Таким образом, мышь обучалась неходить в темный отсек, и на следующий день (этап воспроизведения) находилась в светлом отсеке не менее трех минут. В поведенческих тестах каждая экспериментальная группа насчитывала пять мышей.

Результаты показали, что максимальный объем очага наблюдается у контрольной группы (без введения препаратов). При введении цераксона объем ишемического очага снижается незначительно.

Введение CdEPO снижает объем ишемического очага на 89% (рис. 1). Наиболее выраженный неврологический дефицит наблюдается у контрольной группы мышей. Введение CdEPO и цераксона снижают неврологический дефицит, приближая его к показателям здоровых (интактных) мышей (рис. 2).

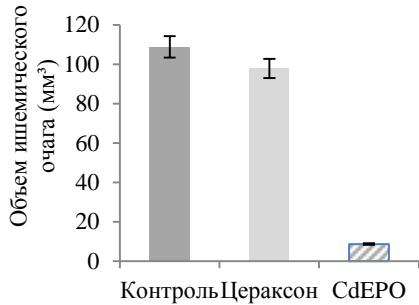


Рис. 1. Оценка объема ишемического очага окклюзии средней мозговой артерии у мышей

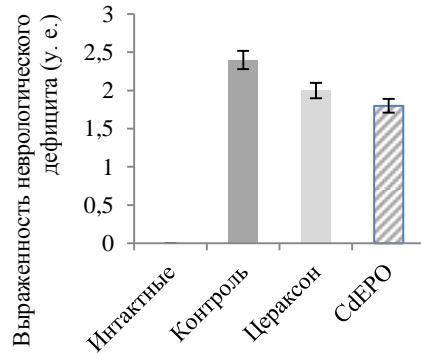


Рис. 2. Шкала выраженности неврологического дефицита для мышей (Neurological Severity Scores – NSS)

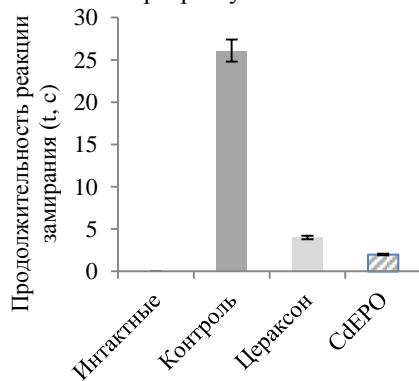


Рис. 3. Продолжительность реакции замирания

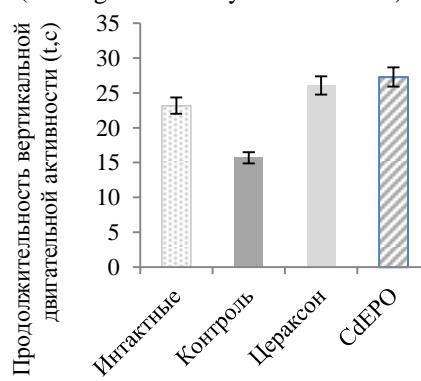


Рис. 4. Продолжительность вертикальной двигательной активности

У контрольной группы мышей наблюдается минимальное время двигательной активности, тогда как при введении как цераксона, так и CdEPO время вертикальной двигательной активности приближается к интактным значениям (рис. 3). Максимальное время реакции замирания наблюдается у контрольной группы мышей. При

введении как цераксона, так и CdEPO длительность данной реакции приближается к норме (рис. 4).

Минимальное время нахождения в светлом отсеке зафиксировано у контрольной группы мышей и увеличивается после введения препаратов. Максимальное время нахождения в светлом отсеке выявлено у группы мышей, которым вводился CdEPO. Из этого следует, что CdEPO эффективнее сохраняет память животных (рис. 5).

Оценивая результаты параметров на четвертые сутки после операции, можно сделать следующие выводы:

- 1) введение CdEPO после часовой окклюзии снижает объем ишемического очага относительно контрольного значения на 89%;
- 2) CdEPO снижает выраженность неврологического дефицита, приближая его к интактным значениям, нормализует двигательную и исследовательскую активность животных, эффективно сохраняет память в постишемическом периоде по сравнению с контрольной группой мышей;
- 3) при сравнении цераксона и CdEPO различий в двигательной активности у мышей выявлено не было, однако введение CdEPO эффективнее сохраняет память животных и значительно уменьшает объем ишемического очага;
- 4) установлено нейропротекторное воздействие CdEPO на организм в постишемический период, однако необходимо дальнейшее изучение механизма работы CdEPO.

Литература

1. Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Д. Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения. – М.: Выш. шк., 1991. – 399 с.
2. Гусев Е.И., Скворцова В.И., Стаховская Л.В. Проблема инсульта в Российской Федерации: время активных совместных действий // Журн. неврол. и психиатр. им. С.С. Корсакова. 2007. Т. 107, № 8. С. 4 – 10.
3. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные методы томографии. Учебное пособие. – СПб: СПБГУ ИТМО, 2006. – 132 с.
4. Просвирнина М.С., Шмонин А.А., Мельникова Е.В., Власов Т.Д. Нейропротективные эффекты эритропоэтина при фокальной ишемии мозга у крыс // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2013. № 11. С. 586 – 588.

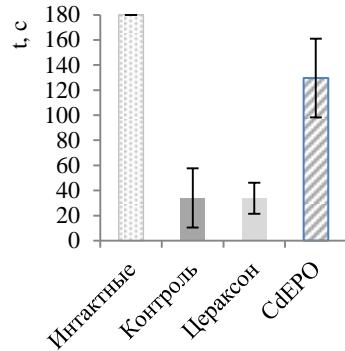


Рис. 5. Формирование условного рефлекса пассивного избегания

**Разработка алгоритма оценки
глубины опухолевой инвазии
при мультиспектральных
флуоресцентных исследованиях для
фотодинамической терапии (ФДТ)**

Глявина Анна Михайловна

10 класс МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

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



В работе представлены способы описания распространения излучения в биоподобной среде, предложена аналитическая модель для описания флуоресцентных сигналов, регистрируемых при возбуждении фотосенсибилизатора; получена формула, позволяющая оценить глубину инвазии опухолевой ткани и выполнено экспериментальное исследование серии образцов с целью проверки корректности полученных аналитических результатов. Проведенные исследования актуальны для фотодинамической терапии – современного метода лечения злокачественных новообразований. Можно утверждать, что достоверная оценка опухоли возможна при ее глубине 1 – 2 мм. Результаты эксперимента согласуются с результатами аналитического исследования, что позволяет проводить оперативную оценку глубины инвазии опухолевой ткани.

Фотодинамическая терапия является современным методом лечения злокачественных новообразований, основанным на цитотоксическом действии активных форм кислорода, генерирующихся при взаимодействии фотосенсибилизатора, селективно накопившегося в опухолевой ткани, со светом определенной длины волны. Преимуществами метода являются амбулаторный характер проведения процедуры, низкий уровень болевых ощущений, легкость при формировании фигурных полей для максимального экранирования здоровых тканей, возможность комбинирования с другими методами лечения, возможность многократного повторения процедуры, удобство применения при множественном характере поражения и хорошие косметические результаты. Тем не менее, существует необходимость в разработке новых методов контроля и усовершенствовании уже существующих. Например, в настоящее время отсутствуют методики оценки глубины инвазии опухолевой ткани.

Фотосенсибилизаторы хлоринового ряда («Фотодитазин») обладают двумя пиками оптического поглощения, что позволяет использовать мультиспектральное возбуждение флуоресценции. Цель работы – исследование распространения оптического излучения в биоподоб-

ной среде и последующая разработка методики оценки глубины опухолевой ткани при мультиспектральных измерениях.

В ходе работы были изучены способы описания распространения излучения в биоподобной среде, предложена аналитическая модель для описания флуоресцентных сигналов, регистрируемых при ФДТ. В диффузационном приближении уравнения переноса излучения для цилиндрической среды с глубиной d и коэффициентами поглощения и рассеяния μ_a и μ'_s нами было получено аналитическое выражение, описывающее флуоресцентный сигнал от фотосенсибилизатора, равномерно распределенного в биоподобной среде:

$$\phi_{em} = \frac{\eta \mu_a^{ps}(\lambda) E_0 k(\lambda)}{2D\tilde{\mu}(\tilde{\mu} + \mu(\lambda))} (1 - e^{-(\tilde{\mu} + \mu(\lambda))d}), \quad (1)$$

где E_0 – падающее излучение, $k(\lambda) = 3 + 5.4R_d - 2 \exp(-17R_d)$ и $\mu(\lambda) = \sqrt{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)} \left(1 - \frac{\exp(-20R_d)}{\sqrt{3}}\right)$ – коэффициент обратного рас-

сеяния и коэффициент затухания в среде, $R_d = \exp\left(-\frac{8}{\sqrt{3(1+\mu'_s/\mu_a)}}\right)$ – полное диффузное отражение, η и $\mu_a^{ps}(\lambda)$ – квантовый выход и коэффициент поглощения фотосенсибилизатора, $\tilde{\mu} = \sqrt{\mu_a/D}$ – коэффициент затухания, $D = 1/3(\mu_a + \mu'_s)$ – коэффициент диффузии, соответствующий длине волны эмиссии.

С использованием формулы (1) было рассчитано отношение флуоресцентных сигналов при возбуждении фотодитазина различной концентрации, находящегося в модельной среде со спектральными характеристиками, соответствующими крысиному мозгу (рис. 1).

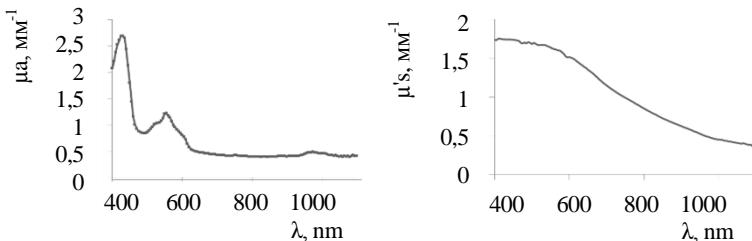


Рис. 1. Спектры рассеяния и поглощения крысиного мозга

Зависимости для различных концентраций фотодитазина от исходной (5 мг/мл) представлены на рисунке 2.

Для проверки результатов аналитического исследования был проведен модельный эксперимент на фантоме крысиного мозга. Фантом представляет собой смесь воды, липофундина и туши разных цветов. Жидкий фантом с фотодитазином заливался в цилиндрические отверстия различной глубины во фторопласте. На приборе для проведения и контроля ФДТ «Флуовизор», разработанном в ИПФ РАН, были сняты одиночные флуоресцентные изображения при возбуждении флуоресценции синим и красным светодиодами.

Время экспозиции составляло 0.5 с для синего и 0.3 с для красного светодиодов. Результаты обработаны в Matlab и представлены на рисунке 3.

Из приведенных данных следует, что можно различать опухолевые инвазии глубиной до 1 – 2 мм, это позволит производить оперативную оценку глубины опухоли. При большей глубине опухоли сделать достоверную оценку невозможно из-за ограниченного проникновения оптического излучения. Результаты модельного эксперимента согласуются с результатами аналитического исследования.

Литература

1. Логинова Д.А., Сергеева Е.А., Крайнов А.Д., Агрба П.Д., Кириллин М.Ю. Жидкие оптические фантомы, моделирующие спектральные характеристи-

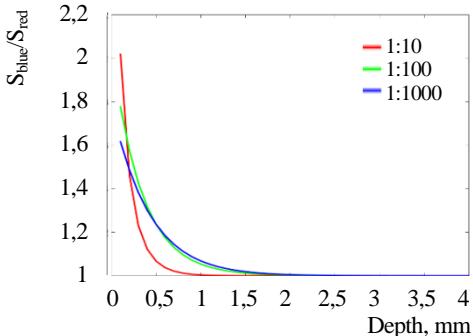


Рис. 2. Зависимости отношения сигналов от глубины опухолевой инвазии, вычисленные по формуле (1), для различных концентраций фотодитазина

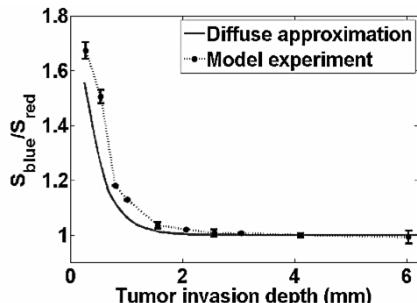


Рис. 3. Зависимости отношения сигналов от глубины опухолевой инвазии, вычисленные по формуле (1) и полученные в модельном эксперименте при концентрации фотодитазина 0.05 мг/мл

- стики биотканей лабораторной мыши // Квантовая Электроника. 2016. Т. 6, № 46. С. 528 – 533.
- 2. *Isimaru A.* Wave Propagation and Scattering in Random Media. Vol. 1. – Wiley-IEEE Press, 1999.
 - 3. *Jonathan P. Celli, Bryan Q. Spring, Imran Rizvi, Conor L. Evans, Kimberley S. Samkoe, Sarika Verma, Brian W. Pogue, Tayyaba Hasan.* Imaging and Photodynamic Therapy: Mechanisms, Monitoring, and Optimization // Chemical Review. 2010, 110. P. 2795 – 2838.
 - 4. *Xiaobing Wang, Jianmin Hu, Pan Wang, Shaoliang Zhang, Yichen Liu, Wenli Xiong, Quanhong Liu.* Analysis of the In Vivo and In Vitro Effects of Photodynamic Therapy on Breast Cancer by Using a Sensitizer, Sinoporphyrin Sodium // Theranostics. 2015, 5 (7). P. 772 – 786.
 - 5. *Togsverd-Bo K., Omland S.H., Wulf H.C., Sørensen S.S., Hædersdal M.* Primary prevention of skin dysplasia in renal transplant recipients with photodynamic therapy: a randomized controlled trial // Am. J. Transplant. 2015, 15 (11). P. 2986 – 2990.
 - 6. *Steven L. Jacques.* How tissue optics affect dosimetry of photodynamic therapy// Journal of Biomedical Optics. September/October, 2010.

Функциональное доминирование полушарий, пороги цветоразличения и особенности решения когнитивных задач профессиональными физиками-математиками, художниками и учащимися первого курса ФСН

Зорина Милана Борисовна
10 кл., ЧУ СОШ «Ор Авнер», ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Л.В. Савчук,
младший научный сотрудник НижГМА



В работе изучены особенности функциональной межполушарной асимметрии, порогов цветоразличения и способов решения когнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий. В процессе работы был выполнен сбор данных на контрольной (учащиеся) и целевых (профессиональные физики и художники) выборках. Для оценки уровня межполушарной асимметрии использован метод компьютерной латерометрии, для оценки характеристик цветового зрения – метод компьютерной кампиметрии, для выявления особенностей решения задач разного уровня сложности (задача, содержащая когнитивный конфликт, простая и сложная сенсомоторная задачи) применялись компьютерные тесты, реализованные на базе платформы для когнитивной диагностики Arway.

Когда мы говорим об особенностях обработки информации людьми разных профессий, чаще всего в голову приходит идея о межполушарной специализации, где левое полушарие решает задачи, а правое пишет картины. Выбор будущей профессии – крайне важный вопрос, ответ на который приходится дать каждому. Как «работает мозг» у представителей разных профессий, успешно справляющихся со своей деятельностью? В чем особенности этой работы?

Организм человека – сложноорганизованная система, на разных уровнях которой могут развиваться процессы различного типа. В каждый конкретный момент времени организм находится в определенном функциональном состоянии. Функциональное состояние целостного организма зависит от функционального состояния мозга, обеспечивающего адекватность реагирования организма на факторы внешней и внутренней среды [2].

Актуальность исследования. Исследование особенностей функциональной межполушарной асимметрии и особенностей обработки информации является важной составляющей улучшения индивиду-

ального подхода к обучению. Зная специфику обработки информации людьми, предположительно связанную с особенностями функционального межполушарного доминирования, возможна разработка персонализированного подхода к обучению и оказание помощи в дальнейшей успешной профориентации, нацеленной на достижение высоких профессиональных результатов, на сохранность психического и соматического здоровья людей. Цель работы – исследование особенностей функциональной межполушарной асимметрии, порогов цветоразличения и способов решения когнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий (физики-математики, художники и студенты первого курса факультета социальных наук).

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 47 испытуемых в возрасте от 18 до 25 лет, из них 14 студентов ФСН ННГУ (контрольная группа), 19 аспирантов ИПФ РАН (целевая группа – физики) и 14 профессиональных художников. Каждая группа испытуемых проходила четыре теста примерно в одно и то же время суток в равных условиях.

Для исследования когнитивных функций принципиальной является возможность экспериментального моделирования контролируемых информационных нагрузок, обеспечивающего управляемую активацию и измерение первичных когнитивных функций и сенсомоторной активности. С этой целью мы использовали WEB-платформу Apway.ru. Система включает модуль формирования стимулов в широком диапазоне амплитудно-временных параметров, виртуальную панель управления режимом измерения, модуль регистрации моторных реакций оператора, базу данных и модуль формирования отчета в виде таблиц и графиков. В соответствии с этой архитектурой реализовано три теста, которые мы выбрали для исследования испытуемых: компьютерная цветовая кампиметрия, тесты сенсомоторной активности и тест Струпа [1].

С помощью метода компьютерной латерометрии мы изучали функциональное доминирование полушарий головного мозга. Тестирование проходило в программе, доступ к которой был предоставлен сотрудниками кафедры психофизиологии ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Описание экспериментальной установки. Задача Струпа использовалась для разделения испытуемых по критерию их когнитивного стиля. Когнитивный стиль – общее понятие, характеризующее способ взаимодействия человека с миром. Характеристики когнитивного сти-

ля, определяемые с помощью задачи Струпа, дают возможность провести сопоставительный анализ с другими методиками.

Измеряется время принятия решений и количество ошибок в четырех контекстах:

- слова, обозначающие цвет, написаны черными буквами и предъявляются на светлом фоне; целевая функция – определить цвет в соответствии со смыслом слов;
- цвет букв и смысл слова эквивалентны; целевая функция – определить цвет в соответствии со смыслом слов;
- цвет букв не соответствует смыслу слов; целевая функция – определить цвет в соответствии со смыслом слов;
- цвет букв не соответствует смыслу слов; целевая функция – определить цвет в соответствии с цветом букв.

Особенностью третьего и четвертого контекста является формирование рассогласования между информационными образами, активируемыми верbalным и цветовым зрительными стимулами. Такой когнитивный конфликт информационных образов проявляется в увеличении времени принятия решения – величины временного интервала между моментом предъявления стимула и ответом тестируемого. Благодаря контексту с когнитивным конфликтом удается получить объективное отображение разницы в активности вербального и цветового информационных образов.

Основой теста сенсомоторной активности является классический метод измерения сенсомоторной реакции. Он заключается в том, что на экране с определенной периодичностью появляется зеленый круг (стимул), а задача испытуемого – максимально точно среагировать на появление стимула, нажав на левую кнопку компьютерной мыши. В каждом последующем тесте межстимульный интервал сокращался. Также существует тест сложной сенсомоторной реакции, в котором помимо зеленого стимула на экране появляется красный, задача испытуемого – реагировать только на зеленый стимул.

Для измерения дифференциальных порогов восприятия цвета применялся метод компьютерной кампиметрии [3], позволяющий получить распределение порогов цветоразличения по шкале оттенков в рамках компьютерной цветовой модели HSL. Результатом измерений является функция цветоразличения (ФЦР). Для обработки результатов используются следующие показатели: R_{max} – максимальный порог в красном; G_{max} – максимальный порог в зеленом; B_{max} – максимальный порог в синем цвете.

Данные показатели позволяют получать информацию об уровнях эмоционального напряжения человека.

Процедура тестирования выглядела следующим образом. Испытуемому давалась установка – определить форму пятна (прямоугольник, расположенный горизонтально, квадрат или прямоугольник, расположенный вертикально), вписанного в цветовой квадрат. Изначально оттенок фона и пятна были одинаковыми. Испытуемый с помощью клавиатуры получал возможность управлять цветом пятна. В качестве дифференциального порога восприятия цвета мы рассматривали такую разницу между оттенком фона и пятна, при котором испытуемый правильно определял форму пятна. Для регистрации динамического диапазона наряду с задачей поиска формы мы предлагали решать обратную задачу. Как только форма пятна распознавалась правильно, разница между оттенком стимула и оттенком фона автоматически увеличивалась на десять условных единиц, и испытуемому предлагалось изменять состояние системы до тех пор, пока цвет пятна и фона вновь не станут одинаковыми. Таким образом, мы фиксировали верхний и нижний пороги цветоразличения.

Повышение порога цветоразличения в красном говорит о преобладании астенических эмоций (тоскливость, страх). Повышение порога в синем цвете у испытуемых говорит о тревожности и симпатотонии.

Для оценки звуколокализационной функции, характеризующей межполушарную асимметрию, применен метод компьютерной латерометрии. С помощью серии дихотических звуковых импульсов с периодом 300 мс и шагом 23 мкс формировалась иллюзия движения субъективного звукового образа по межушной дуге и измерялись пороговые межушные задержки [4]. В результате мы получили количественную оценку возбудимости, лабильности и устойчивости каждого полушария и их межполушарных отношений. Результатом измерений явилась звуколокализационная функция (ЗЛФ).

Статистические методы обработки данных включают описательную статистику, тест различий по средним данным, односторонний дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса.

Результаты и их обсуждение. У всех трех групп испытуемых проявляется «эффект обратной интерференции»: замедление в большей степени выражено в третьем контексте при выборе цветового образца по смыслу слова в условиях когнитивного конфликта. Однако у художников разница во времени принятия решения в двух контекстах с когнитивным конфликтом достоверно ниже, что говорит о равной активности верbalного и цветового информационных образов.

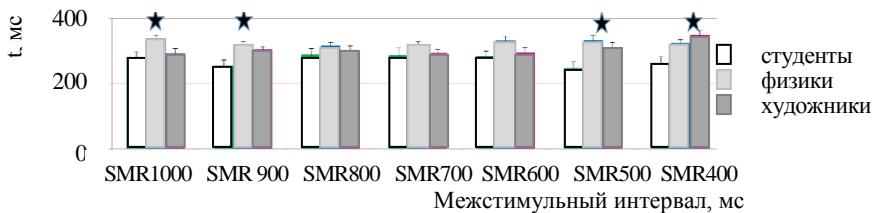


Рис. 1. Результаты, полученные с помощью теста Струпа по трем выборкам

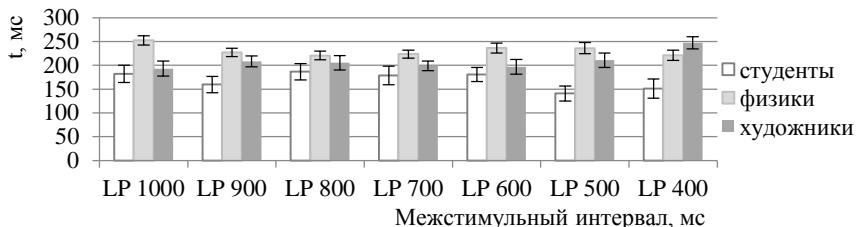


Рис. 2. Время сенсомоторной реакции на всех межстимульных интервалах

Выявлены достоверные отличия во времени сенсомоторной реакции и латентного периода между физиками, психологами и художниками. Достоверные отличия во времени сенсомо-

торной реакции выявлены (рис. 2, 3) при наибольших и наименьших межстимульных интервалах, решающий вклад в эти различия вносит продолжительность латентного периода, так как по моторному компоненту сенсомоторной реакции значимых различий между группами испытуемых выявлено не было. Полученный в результате усреднения ЛП показатель сенсорной быстроты оценивает быстроту нервно-психических процессов и является косвенным показателем ла-

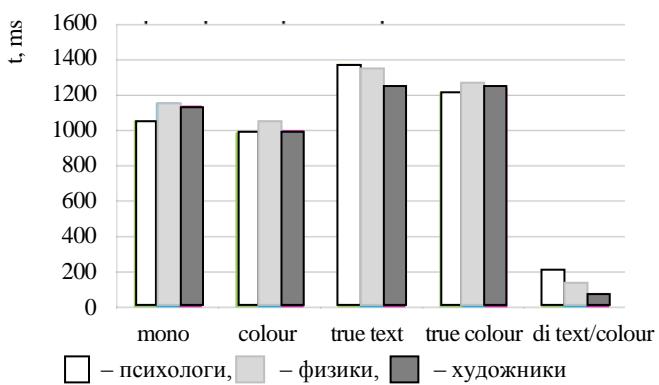


Рис. 3. Время латентного периода на всех межстимульных интервалах

бильности нервной системы. Наименьшее время показали студенты психологи, а наибольшее – физики.

На рисунке 4 показаны профили СМР у трех групп испытуемых с уменьшением межстимульного интервала. При высоких показателях времени СМР физики демонстрируют наибольшую стабильность, у художников идет постепенное нарастание времени СМР, а наибольшая лабильность присуща студентам психологам.

Выявлены достоверные различия между тремя группами испытуемых по порогам цветоразличения в оттенках зелено-голого диапазона.

У художников и психологов преобладает тип функции цветоразличения с максимальным дифференциальным порогом в оттенках зеленого диапазона, а у физиков преобладает тип функции цветоразличения с максимальным дифференциальным порогом в оттенках красного диапазона.

По показателям латерометрии достоверных отличий между группами испытуемых не выявлено. Предположительно это связано с тем, что одного измерения недостаточно, чтобы выявить типичный для каждого испытуемого профиль межполушарной асимметрии, необходима серия измерений в разных контекстах, чтобы понять, какое полушарие доминирует у испытуемого. В этом заключается перспектива дальнейшего исследования – выявить типичный для каждого испытуемого профиль межполушарной асиммет-

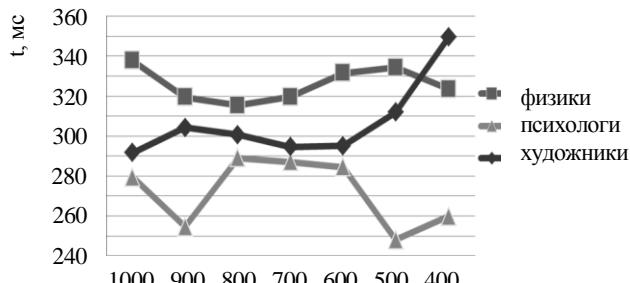


Рис. 4. Изменение времени сенсомоторной реакции с уменьшением межстимульного интервала

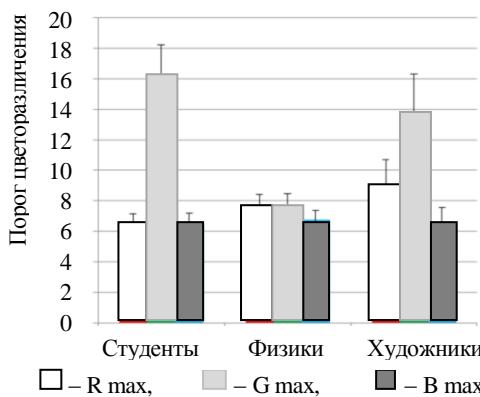


Рис. 5. Пороги цветоразличения по выборкам

рии и сопоставить полученные данные с уже выявленными межгрупповыми различиями.

В результате проделанной работы были освоены заявленные методы, проведен сбор данных в контрольной выборке (учащиеся) и целевых выборках (профессиональные физики-математики и художники).

Были выявлены следующие особенности порогов цветоразличения и способов решения когнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий (физики-математики, художники и студенты первого курса):

- у художников разница во времени принятия решения в двух контекстах с когнитивным конфликтом достоверно ниже, что говорит о равной активности вербального и цветового информационных образов;
- выявлены достоверные отличия у всех трех групп испытуемых во времени сенсомоторной реакции, а также времени латентного периода сенсомоторной реакции при набольших и наименьших межстимульных интервалах, наименьшее время здесь показали студенты психологи, а наибольшее – физики;
- выявлены отличия в профилях СМР у трех групп испытуемых с уменьшением межстимульного интервала, при высоких показателях времени СМР физики демонстрируют наибольшую стабильность, у художников идет постепенное нарастание времени СМР, а наибольшая лабильность присуща студентам психологам;
- выявлены достоверные различия между тремя группами испытуемых по порогам цветоразличения в оттенках зеленого диапазона;
- у художников и психологов преобладает тип функции цветоразличения с максимальным дифференциальным порогом в оттенках зеленого диапазона, а у физиков – в оттенках красного диапазона.

Литература

1. Полевая С.А., Парин С.Б., Еремин Е.В., Буланов Н.А., Чернова М.А. Разработка технологии событийно-связанной телеметрии для исследования когнитивных функций // XVIII Международная научно-техническая конференция «Нейроинформатика – 2016: Сборник научных трудов. – М.: НИЯУ МИФИ. 2016. Ч. 1. С. 34 – 44.
2. Фокин В.Ф., Боголепова И.Н., Гутник Б., Кобрин В.И., Шульговский В.В. Руководство по функциональной межполушарной асимметрии. – М.: Научный мир, 2009. – 836 с.
3. Щербаков В.И., Паренко М.К., Полевая С.А. Способ исследования цветового зрения человека. Российский Патент № 2222250, 2002.
4. Щербаков В.И., Полевая С.А., Паренко М.К. Способ исследования межполушарной сенсорной асимметрии. Российский Патент № 2198589, 1999.

Исследование возможности применения синтетической аминокислоты пропаргилглицин как флуоресцентной метки плесневых грибов

Игнатьева Елизавета Михайловна
10 класс, МБОУ школа № 115, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель В.С. Лиж,
инженер-лаборант кафедры биохимии и
физиологии ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Исследована возможность применения синтетической аминокислоты пропаргилглицин как участника клик-реакции, в результате которой происходит образование яркой флуоресценции по месту локализации этой аминокислоты. Производилась оценка набора для клик-реакции, синтезированного на кафедре органической химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского, состоящего из аминокислоты пропаргилглицин и флуоресцентного красителя азидокумарин. Для сравнения был взят уже готовый набор для клик-реакции компании ThermoFisher, состоящий из аминокислоты азидогомаланин и красителя – алкилированного Alexa 488®. Результаты обоих экспериментов показали окраску гифы мицелиального гриба, в то время как корешки растений (в обоих опытах) и протопласты (в опыте с набором ThermoFisher) не окрашивались данными наборами.

Исследование симбиотических отношений растений и гриба способно решить такие проблемы, как выращивание растений, например, семейства вересковых и съедобных симбиотических грибов. Однако отсутствует универсальная методика визуализации проникновения гифы в корни растений. Данную проблему способна разрешить клик-химия за счет различной скорости поглощения питательных веществ из внешней среды, но стандартные наборы для клик-реакции крайне дороги, в связи с чем идет поиск новых, более дешевых комбинаций реагентов. Цель работы – оценка принципиальной возможности использования синтетической аминокислоты пропаргилглицин как компонента клик-реакции для идентификации гиф плесневых грибов.

Мы провели два эксперимента, позволившие оценить принципиальную возможность метода и сравнить новую пару реагентов для алкилизидного взаимодействия с уже имеющимся на рынке набором.

В первом эксперименте использовали аминокислоту пропаргилглицин и флуоресцентный краситель азидокумарин. За основу для проведения эксперимента был взят протокол Носова [1]. Растения прораживали в течение пяти дней на дистилированной воде в чашке Петри. В

ходе выращивания произошла естественная контаминация содержимого чашки мицелиальным грибом. На пятые сутки дистиллированную воду сменили раствором пропаргилглицина (10 mM). Через сутки раствор слили, проростки дважды промыли дистиллированной водой, приготовили реакционную смесь, состоящую из CuSO_4 (5 mM), аскорбата натрия (25 mM), ТВТА (1 mM). В эту реакционную смесь добавляли растворенный в 0,5 мл спирта азидокумарин. Все работы с флуоресцентными красителями проводили в изолированной от света химической посуде. Корешки помещали в реакционную смесь на час на качалку при скорости 120 качаний в минуту. После этого корешки промывали и оценивали результат на конфокальном флуоресцентном микроскопе.

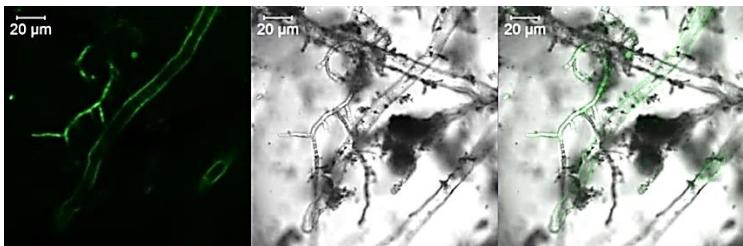


Рис. 1. Гифы и корень (слева изображение флуоресценции объектов, посередине – светового микроскопа, справа – совмещенное изображение)

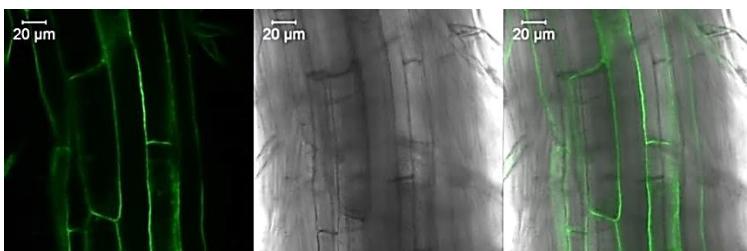
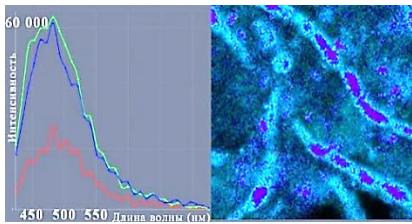
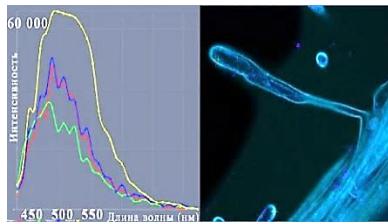


Рис. 2. Контроль (слева изображение флуоресценции объектов, посередине – светового микроскопа, справа – совмещенное изображена)

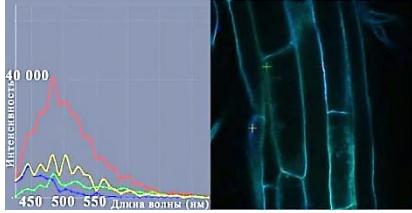
Исходя из полученных изображений, можно заключить: спектральный состав азидокумарина сходен со спектром автофлуоресценции клеточной стенки корешка пшеницы; азидокумарин не проникает внутрь ткани корешка пшеницы; азидокумарин адсорбируется на клеточной стенке корешка; после окраски азидокумарином интенсивность флуоресценции клеточной стенки значительно увеличилась; краситель проник внутрь гиф гриба, благодаря чему гифы ярко флуоресцируют в диапазоне свечения азидокумарина.



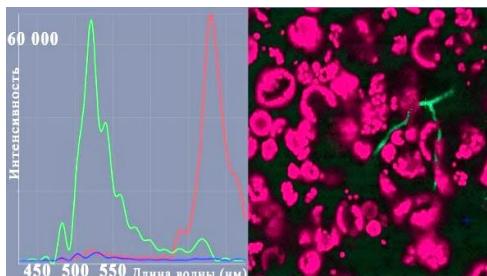
а – гиф гриба



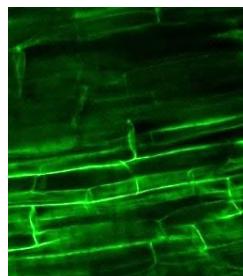
б – корешка пшеницы опытной пробы



в – корешка пшеницы контрольного образца



а – протопласти табака и гифы гриба



б – клеточная стенка корешка пшеницы

Рис. 4. Флуоресценция хлорофилла

Чтобы убедиться в отсутствии помехи в виде клеточной стенки для корешка пшеницы в состав следующего эксперимента мы включили протопласты. Также было крайне интересно сравнить нашу новую пару для клик-реакции с уже имеющимся на рынке набором для клик-реакции компании ThermoFisher.

Протопласты были выделены из листа табака по методике Носова [2]. С нижней части листа снимали эпидермис, нарезали полосками 3 на 20 мм, перемещали в чашку Петри, заливали 10 мл раствора фермента целлюлаза 0,5% в 0,4 М манните. Чашку выдерживали в темноте при комнатной температуре в течение 16 часов. После этого чашку интенсивно встряхивали, жидкость сливалась в пробирку Falcon, центрифугировали при 60g 10 мин., супернатант сливалась, заливали 0,4 сорбитом,

центрифugировали, повторяли отмывку, 1,5 мл осадка выливали в 50 мл среды МС, заливали по 200 мкл в лунки 96-луночной плашки для конфокальной микроскопии (объем лунки 300 мкл) на сутки.

В качестве схемы эксперимента был использован стандартный протокол для окраски культуры ткани животных, прилагающийся к реактивам [3]. Все растворы готовились на деионизированной воде. Развели PBS (фосфатный буфер) (одна таблетка на 100 мл). На нем разводили компонент А (раствор алкилированной аминокислоты), 3,7% формальдегид, 3% BSA. 0,5% TritonX-100 разводили на 3% BSA.

Корешки выдерживали в растворе А 30 и 60 мин., протопласты – 30 мин. Две контрольные группы не использовали. После этого раствор из всех лунок (включая контроль) сливали, промывали один раз в PBS, фиксировали 3,7% формальдегидом в течение 15 мин., двукратно промывали в 3% BSA и помещали на 20 мин. в 0,5% TritonX-100. В это время смешивали 1 мл компонента В (содержащего алкилированный флуоресцентный краситель Alexa 488) и 0,12 мл компонента С (буфер). По истечении времени сливали раствор TritonX-100, двукратно промывали в 3% BSA, заливали реакционный коктейль для клик-реакции и инкубировали в течение 30 мин. После этого однократно промывали 3% BSA, заливали PBS и оценивали результат на микроскопе.

Выходы

Протопласты и корешки не окрашиваются по данной методике флуоресцентным красителем. Гифы гриба окрашиваются флуоресцентным красителем. Сравнивая с предыдущим опытом, можно заключить, что пара азидокумарин и пропаргилглицин подходит для окраски грибов не хуже коммерческого аналога компании *TermoFisher*. Применение пары азидокумарин и пропаргилглицин возможно для использования флуоресцентной метки мицелиальных грибов, что имеет большой потенциал для исследования симбиотических взаимоотношений грибов и растений.

Литература

1. Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений / Под ред. Кузнецова Вл. В., Кузнецова В.В., Романова Г.А. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 487 с.
2. Nosov A.V., Fomenkov A.A., Mamaeva A.S., Solovchenkova A.E., Novikova G.V. Extra Perspectives of 5-Ethynyl-2'-Deoxyuridine Click Reaction with FluorochromeAzides to Study Cell Cycle and Deoxyribonucleoside Metabolism // Russian Journal of Plant Physiology. 2014. Vol. 61. № 6. P. 893 – 894.
3. Click-iT® AHA Alexa Fluor® 488 Protein Synthesis HCS Assay [Электронный ресурс]. <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/mp10289.pdf>.

Влияние салициловой кислоты на прорастание и рост злаковых и бобовых

Ильина Полина Николаевна
10 класс МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель В.С. Лиж,
инженер-лаборант кафедры биохимии и физиологии ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Исследовано влияние фитогормонподобного вещества – салициловой кислоты на показатели при выращивании гороха, овса и пшеницы. Исследовались: процент прорастания при комнатной температуре и 5⁰С, морфометрические показатели двухнедельных растений, выращенных методом гидропоники, и показатели фотосинтеза у трехнедельных растений. Было выявлено активирующее действие салициловой кислоты на прорастание гороха при воздействии раствором 10⁻³ и 10⁻⁵ М и ингибирующее действие на прорастание овса и пшеницы при воздействии раствора салицилата в 10⁻³ М. Также обнаружено стрессовое воздействие раствора салициловой кислоты концентрации 10⁻³ М.

Рост населения Земли требует увеличения производства продовольствия. Одним из способов повышения урожайности является повышение резистентности растений к внешним воздействиям. Салициловая кислота является сигнальной молекулой, способной в низких концентрациях регулировать рост и развитие растений [1, 2]. В настоящее время действие салициловой кислоты на сельскохозяйственные растения изучено недостаточно.

Целью данной работы стало исследование влияния растворов салициловой кислоты разных концентраций на морфометрические показатели, всхожесть семян, а также на состояние фотосинтетического аппарата растений, как наиболее чувствительной структуры к воздействиям стресса [4].

Обработку семян салициловой кислотой проводили двумя способами. В первом случае семена в чашках Петри замачивали в растворах салициловой кислоты: 0 М (контроль), 10⁻⁷, 10⁻⁶, 10⁻⁵ М (опыт) на сутки, после чего растворы меняли на воду и прорашивали в течение недели в условиях +20⁰ или +5⁰С. При обработке вторым способом семена выдерживали в растворе салициловой кислоты 10⁻³ М, высушивали, выкладывали на чашки Петри и заливали водой. Процент прорастания измеряли по методике ГОСТ 12038-84 на 4-й и 7-й день

[3]. Для каждого варианта опыта использовали по 100 семян, опыт проводили в трижды.

Для определения влияния на ростовые процессы растений трехдневные проростки пшеницы на сутки помещали в растворы салициловой кислоты 0 М, 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-3} М, после чего растворы меняли на полную среду Кнопа и выращивали в течение недели. В конце указанного срока измеряли длину и массу побегов и корней.

Для исследования воздействия салициловой кислоты на фотосинтетические процессы использовали двухнедельные растения гороха, выращенные на полной среде Кнопа. Воздействие осуществляли, погружая растения на сутки в раствор Кнопа с добавлением салициловой кислоты тех же концентраций, что и для морфометрии. До и после воздействия салицилата измеряли интенсивность флуоресценции на фотосинтетическом анализаторе Dual-PAM100 в постоянной газовой среде, поддерживаемой газоанализатором GFS-300.

Результаты показали, что при обработке первым методом достоверные различия с контролем были обнаружены только у семян гороха при концентрации салицилата 10^{-5} М, а именно увеличение всхожести (рис. 2). Все остальные результаты после об-

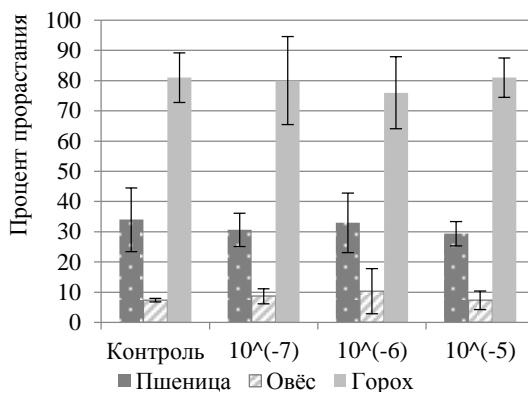


Рис. 1. Энергия прорастания овса, пшеницы и гороха при обработке семян растворами салициловой кислоты при 20°C

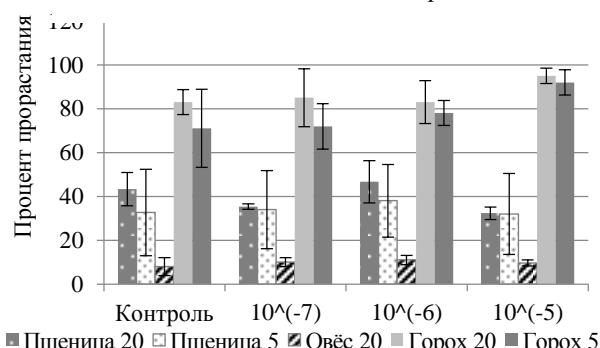


Рис. 2. Лабораторная всхожесть овса, пшеницы и гороха при обработке семян растворами салициловой кислоты при 20°C и 5°C

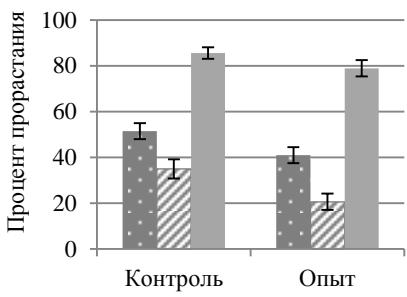


Рис. 3. Лабораторная всхожесть пшеницы, овса и гороха при 5°C

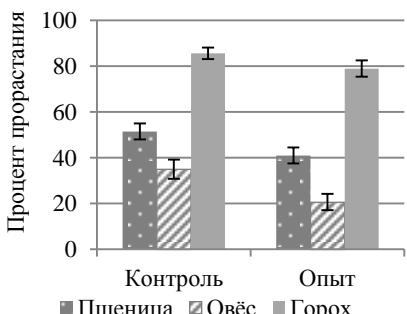


Рис. 4. Энергия прорастания пшеницы, овса и гороха при 20°C

ботки первым методом не выходили за рамки статистической погрешности (рис. 1, 2).

При обработке вторым методом обнаружено ингибирование прорастания пшеницы и овса (рис. 3, 4, 5). Следует отметить, что при обработке гороха вторым методом в опыте контаминация различными плесневыми грибами была значительно сильнее, чем в контроле.

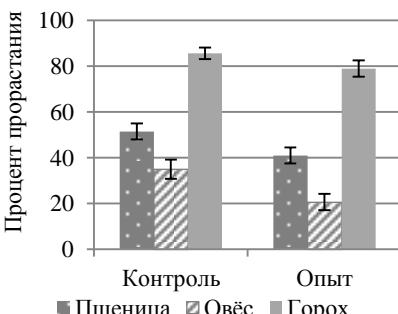


Рис. 5. Лабораторная всхожесть пшеницы, овса и гороха при 20°C

Морфометрия не выявила достоверных различий между опытом и контролем для всех исследованных видов растений.

Воздействие на растения салицилатом в концентрации 10^{-3} М подавляла фотосинтетическую активность листьев гороха (рис. 6), тогда как остальные концентрации не оказывали заметного воздействия на фотосинтез.

Выходы

- При обработке вторым методом обнаружено ингибирование прорастания пшеницы и овса (концентрация 10^{-3} моль/л).
- Салициловая кислота повышает всхожесть семян гороха при концентрации 10^{-5} и 10^{-3} моль/л.
- Концентрация 10^{-5} моль/л является оптимальной для прорашивания гороха.
- Салициловая кислота не влияет на морфометрические показатели растений при обработке указанными концентрациями.

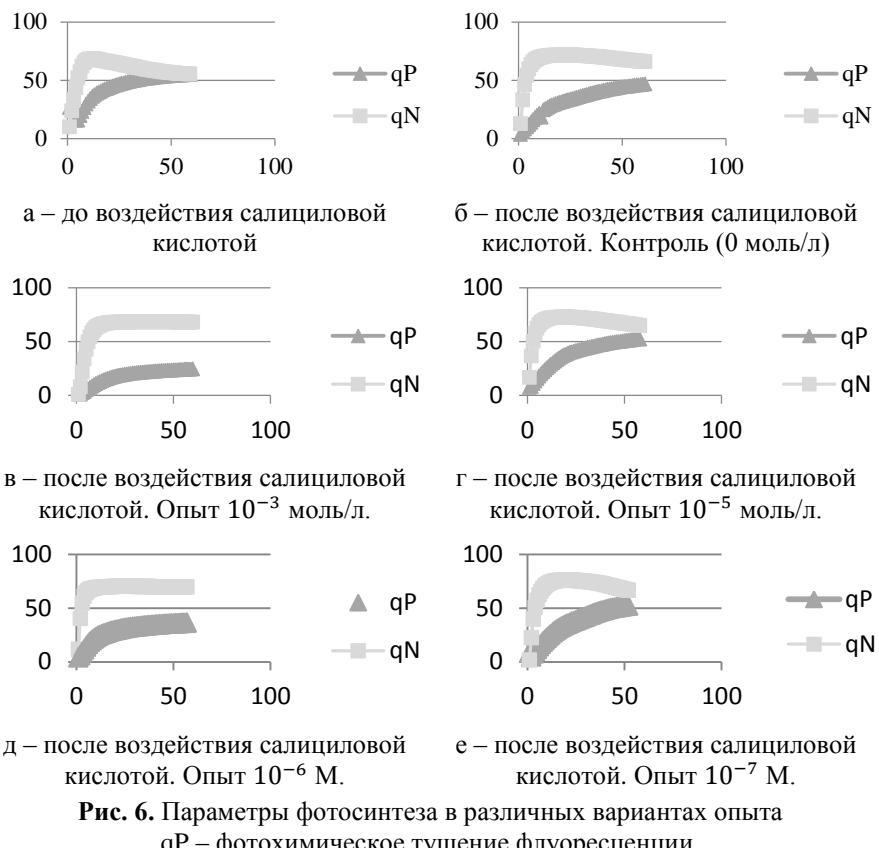


Рис. 6. Параметры фотосинтеза в различных вариантах опыта
qP – фотохимическое тушение флуоресценции.
qN – не фотохимическое тушение флуоресценции.

На оси X 1 единица = 10 сек. Ось Y – % от начальных показателей интенсивности флуоресценции первой и второй фотосистем

Литература

- Алехина Н.Д., Балнокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. Физиология растений. – М.: Academia, 2005. С. 220 – 250.
- Байбурина Э.В., Фазлутдинова А.И. Влияние салициловой кислоты на растения (теоретические аспекты) // Молодой ученый. 2015. № 7. С. 233 – 235.
- ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой). Изд-во стандартов.
- Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – М.: Альтерпресс, 2002. С. 5 – 12.

Йододефицит и успеваемость обучающихся

Ионова Надежда Александровна

8 класс, Михайловская СШ

Научный руководитель А.В. Доронина,
учитель биологии МБОУ Михайловской СШ



В работе исследованы наличие йододефицита в организме обучающихся на основе йодотестирования, а также возможность корректирования содержания йода воздействуя на рацион питания. Установлена связь йододефицита и успеваемости обучающихся. Йододефицит обнаружен у 3% обучающихся. Определена умеренная связь успеваемости и йододефицита. По полученным данным эксперимента сделано предположение о возможности устранения йододефицита с помощью рациона питания, включающего продукты с повышенным содержанием йода.

Щитовидная железа в организме человека регулирует обмен веществ и энергии, поддерживает иммунитет, двигательную активность и хорошее самочувствие. Деятельность щитовидной железы зависит от содержания йода в организме человека. Можно предположить, что йододефицит в организме является одной из составляющих снижения успеваемости ученика. При йододефиците ребенок быстро устает, плохо запоминает учебный материал. Исследование йододефицита в организме позволит выявить таких детей, помочь им с рекомендациями по его устранению, улучшить их общее состояние, а значит, и повлиять на их успеваемость.

Цель – исследование взаимосвязи йододефицита в организме обучающихся МБОУ Михайловской средней школы с их успеваемостью.

Йодотестирование. Для определения содержание йода воспользовались наиболее простым тестом:

а) ватной палочкой, смоченной в спиртовом растворе йода, чертили три полоски произвольной длины на внутренней стороне предплечья. Полоски должны различаться по ширине и интенсивности окраски: первая – 15 мм (сильная интенсивность), вторая – до 10 мм (средняя интенсивность), третья – не более 3 мм (легкая, почти прозрачная окраска);

б) проверку проводили дважды: через 3 часа и 6 часов. Если через три часа исчезнут все полоски – налицо йододефицит; если через 6 часов исчезнет и средняя полоска – начало йододефицита [2].

В йодотестировании участвовало 145 чел. (из них 14 взрослых). Йододефицит определен у пяти обучающихся (3%) и трех взрослых (21%).

Эксперимент. После повторного тестирования участников исследования, показавших йододефицит, сформирована «группа риска», давшая согласие на продолжение эксперимента по устранению недостатка йода в организме, изменив рацион питания. Ежедневно в течение месяца участники эксперимента употребляли продукты с повышенным содержанием йода (используя памятки), после чего было проведено повторное йодотестирование (табл.).

Таблица. Результаты эксперимента по устранению недостатка йода в организме рационом питания

| № | Участники эксперимента | Месячное содержание йода в продуктах питания, мкг | Норма месячного потребления йода, мкг | Йододефицит в организме |
|---|------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|
| 1 | ученик 6 класса | 4067 | 3480 – 3600 | Отсутствует |
| 2 | ученик 4 класса | 3590 | 3480 – 3600 | Отсутствует |
| 3 | ученик 8 класса | 3403 | 4060 – 4200 | Отсутствует |
| 4 | ученица 2 "б" класса | 3446 | 3480 – 3600 | Отсутствует |
| 5 | ученик 2 «б» класса | 1084 | 3480 – 3600 | Йододефицит |
| 6 | взрослый, 50 лет | 4699 | 4350 – 4500 | Отсутствует |
| 7 | взрослый, 35 лет | 4495 | 4350 – 4500 | Отсутствует |
| 8 | взрослый, 36 лет | 1470 | 4350 – 4500 | Йододефицит |

У двух участников месячное содержание йода в продуктах питания было ниже нормы. Повторное йодотестирование показало наличие недостатка йода в организме. Можно сделать предположение, что с помощью рациона питания, включающего продукты с повышенным содержанием йода, можно устранить йододефицит.

Определение уровня качества знаний. По данным классных журналов

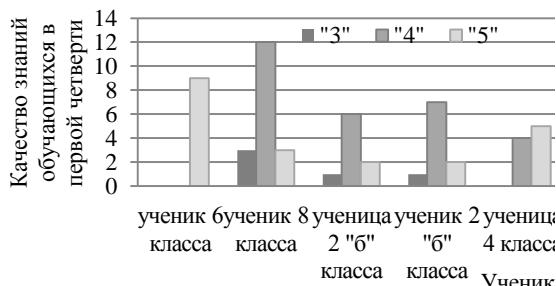


Рис. 1. Уровень знаний участников «группы риска» до эксперимента

определен уровень качества знаний учеников «группы риска» за первую и вторую четверти (рис. 1, 2).

У ученика 2 «б» класса месячное содержание йода в продуктах питания было ниже нормы.

За вторую четверть у него наблюдалось ухудшение успеваемости: увеличение троек с 1-ой до 2-х и уменьшение четверок с 6-ти до 5-ти. Количество пятерок не изменилось. У одного ученика (6 класс) успеваемость не изменилась (отличник в обеих четвертях). У троих из пяти участников (60%) эксперимента рацион питания соответствовал норме по йоду, у них же улучшилась успеваемость.

Вычисление коэффициента ранговой корреляции Спирмена. С целью изучения связи успеваемости и йододефицита в организме применили коэффициент ранговой корреляции Спирмена, используя онлайн-калькулятор [1]. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена r_s равен 0.604, что соответствует умеренной связи.

Оформлены рекомендации по поддержанию йода в норме.

Наше исследование показало, что йододефицит встречается относительно редко. Почти все дети и работники школы питаются в школьной столовой, где два раза в неделю готовят рыбу и по возможности используют йодированную соль при приготовлении пищи (недостаток йода можно сбалансировать рационом питания). Тесной связи успеваемости и йододефицита не обнаружено. Считаем, что на успеваемость влияет не только физическое состояние, что конечно немаловажно для учебного процесса, требующего хорошего здоровья и выносливости, но также желание и мотивация к учебе, зависящая от психологического состояния ученика, окружения, помощи родителей и учителей.

Литература

1. Онлайн - калькулятор: Коэффициент ранговой корреляции Спирмена [Электронный ресурс]. statistics/spearman/.
2. Три варианта теста на определение уровня йода в организме [Электронный ресурс]. shitovidki.ru/stat/37-shit/70-2010-04-18-18-11-49.

Биологическое разнообразие и динамика численности орнитофауны заволжской части Воротынского района Нижегородской области

Казнина Юлия Витальевна

10 класс, Михайловская СШ

Научный руководитель А.В. Доронина,
учитель биологии МБОУ Михайловской СШ



Исследована орнитофауна четырех экосистем заволжской части Воротынского района Нижегородской области за шесть лет наблюдений. Учет птиц проводился маршрутным методом Ю. Равкина. Произведены численные учеты птиц в разных экосистемах, статус пребывания, плотность встреченных видов птиц и динамика их численности. Выявлены редкие виды птиц. Проведено сравнение видового разнообразия экосистем. Полученные данные подтверждают мнение ученых о лабильности птиц. Некоторые данные наблюдений опубликованы в сборниках рабочих материалов Комиссии по Красной книге Нижегородской области (Редкие виды живых организмов Нижегородской области, выпуск 2 и 4).

На территории заволжской части Воротынского района находится Камско-Бакалдинская группа болот – крупнейший сохранившийся в Нижегородской области и в центре европейской части России болотный массив. Это – водно-болотные угодья, имеющие международное значение в соответствии с Конвенцией о водно-болотных угодьях. Эти места служат местом остановок на пролете большого числа водоплавающих и околоводных птиц. Птицы играют большую роль в структуре природных сообществ. Орнитологические исследования могут лежать в основе мониторинга и прогнозирования состояния экосистем, так как птицы быстро реагируют на изменение окружающей среды. Изучение орнитофауны Заволжья позволит сравнить видовое разнообразие птиц в разных экологических сообществах.

Цель исследования – изучение видового разнообразия и динамики численности орнитофауны в разных экосистемах заволжской части Воротынского района Нижегородской области.

Существует несколько методов учета и обнаружения птиц. Мы выбрали наиболее приемлемый для сезонных учетов маршрутный метод Ю. Равкина. Во время учета по маршруту регистрируют всех встреченных (увиденных и услышанных) птиц с указанием расстояния до них. Оценивается также чистое время учета в часах. Расчет

плотности птиц ведется для каждого из встреченных видов в отдельности по формуле:

$$N \text{ вида} = (n_1 \times K_1) + (n_2 \times K_2) + (n_3 \times K_3) + n_4 \times K_4 / L,$$

где $n_1 - n_4$ – число особей, зарегистрированных в полосах обнаружения, K – пересчетные коэффициенты ($K=10$ для 100м, $K=100$ для 10 м и т.д.), L – учетный километраж. Для птиц, встречающихся летящими, пройденное расстояние (L) заменяется на суммарное время учета в часах (H), умноженное на 30 – среднюю скорость полета птиц (км/час).

$$N = n / (H \times 30).$$

Данные по плотности «сидящих» и «летящих» птиц суммируются [9, 11]. Для сравнения видового разнообразия биотопов использовали индекс Чекановского-Серенсена, который рассчитывали по формуле:

$$I=2g/(a+b),$$

где I – индекс Чекановского-Серенсена, g – число общих для двух исследуемых биотопов видов, a – число видов в биотопе A , b – число видов в биотопе B . При $I<0,5$ сходство биотопов низкое, при $I=0,5$ сходство среднее, при $I>0,5$ сходство высокое [6].

С 2011 по 2012 гг. изучение орнитофауны Заволжья проводила группа из трех обучающихся нашей школы, куда входила автор данной публикации. С 2013 г. исследованием и обработкой результатов проведено лично автором работы. Сравнение видового разнообразия орнитофауны было сделано только после окончания работы.

Результаты исследования

Для изучения видового разнообразия птиц Воротынского района в начале исследования были проведены рекогносцировочные экскурсии с фиксацией каждого встреченного вида и описанием места его пребывания. Таким образом, было зарегистрировано 140 видов птиц, что составляет 47,8 % от встречающихся в Нижегородской области (293) и 75 % от всех гнездящихся. Птицы принадлежали к 17 (из 19) отрядам, 40 семействам (из 52), 88 родам. Самый многочисленный отряд – воробьинообразные (63 вида). Автором работы составлена систематическая принадлежность встреченных видов птиц.

В ходе исследования обнаружено 30 редких видов птиц, что составляет 36,7% из 82 находящихся в Красной книге Нижегородской области, 16 видов птиц, нуждающихся в особом контроле. В четырех экосистемах проведены маршрутные учеты численности за шесть лет исследования, результаты которых собраны в таблицы. Только три вида (чечевица, ворона серая и коршун) встречались во всех четырех экосистемах. Наибольшее видовое разнообразие зарегистрири-

ровано на заброшенном агроценозе – застраивающем поле (29 – 31 вид). Там встречались птицы открытых пространств и лесные виды. На втором месте оказался хвойный лес, где количество видов по годам исследования колебалось от 23 до 30. На лугу обнаружено от 16 до 18 видов, а на водоеме от 15 до 19 видов. Сравнение видового разнообразия с использованием индекса Чекановского-Серенсена показало, что высокое сходство характерно для хвойного леса и застраивающего поля, луга и водоема. Низкое – для луга и поля, луга и леса, водоема и леса, водоема и поля (табл.).

Таблица. Сходство экосистем

| Экосистемы | Индекс Чекановского-Серенсена | Сходство |
|---------------|-------------------------------|----------|
| Луг и поле | 0,3 | низкое |
| Луг и лес | 0,33 | низкое |
| Луг и водоем | 0,51 | высокое |
| Поле и лес | 0,53 | высокое |
| Поле и водоем | 0,38 | низкое |
| Лес и водоем | 0,39 | низкое |

В заброшенном и застраивающем поле разные экологические группы птиц находят оптимальные условия для гнездования. Плотность населения самая высокая у синицы большой и дрозда рябинника в хвойном лесу, трясогузки желтой на лугу и поле, пеночки-теньковки в поле и лесу и славки серой в поле.

На протяжении последних двух лет во время гнездового периода наблюдали ходуличника, северной границей ареала которого является Волгоградская область, что значительно южнее нас. В книге И.И. Пузанова [8] ходуличник не упоминается. Эти наблюдения заинтересовали ведущих орнитологов Нижегородской области С.В. Бакка и Н.Ю. Киселеву, а также подтверждают результаты исследования учеников школы о потеплении климата в регионе.

Выводы

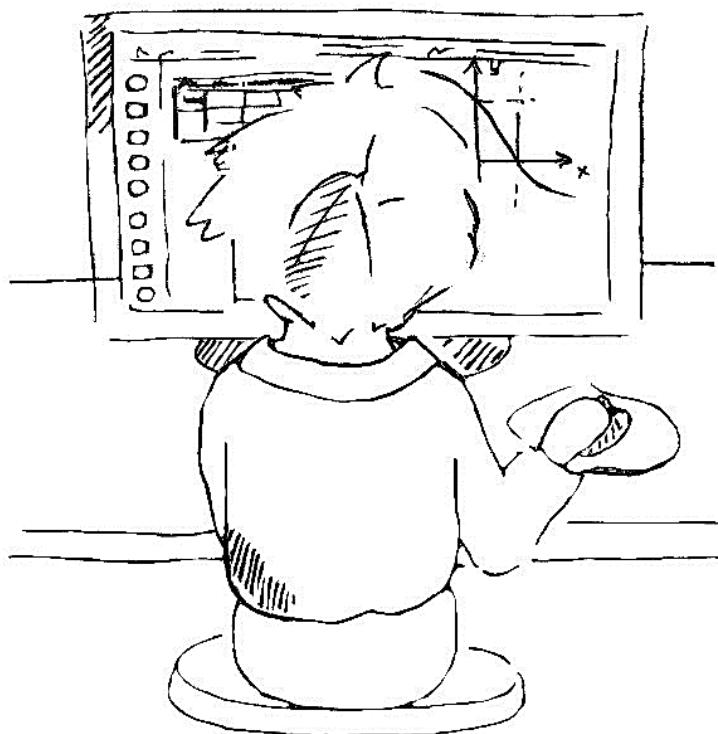
1. В Воротынском районе встречается 140 видов птиц, что составляет 47,8% от всех зарегистрированных в Нижегородской области.
2. 30 видов относится к категории редких, 16 видов нуждаются в особом контроле и занесены в Красную книгу области.
3. На примере изучения птиц на застраивающем лесом поле мы убедились, что птицы легко реагируют на изменение ландшафта (в нашем случае увеличением видового разнообразия в 1,7 раза по сравнению с лугом и приближением его к лесу).

4. Данные наблюдений имеют научную ценность. Результаты опубликованы в сборниках рабочих материалов Комиссии по Красной книге Нижегородской области.

Литература

1. *Бакка С.В., Киселева Н.П.* Орнитофауна Нижегородской области в XX веке // Природные условия Керженского заповедника и некоторые аспекты охраны природы Нижегородской области // Труды Гос. природного заповедника «Керженский». Т. 1. – Н.Новгород, 2001. – С. 214 – 237.
2. *Бакка С.Б., Киселева Н.П.* Орнитофауна Нижегородской области: динамика, антропогенная трансформация, пути сохранения. – Н.Новгород, 2007. – 124 с.
3. *Клюев Н.И., Харитонович А.Т. и др.* Природа Горьковской области. – Горький: Волго-Вятск. кн. изд-во, 1974.
4. Красная книга Нижегородской области. Т. 1. Животные. – Н.Новгород: ДЕКОМ, 2014. – 448 с.
5. Лесохозяйственный регламент. Михайловское районное лесничество. Департамент лесного хозяйства Нижегородской области. 2012. – 380 с.
6. *Мэггаран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение / Пер. с англ. Н.В. Матвеевой. – М.: Мир, 1992. – 456 с.
7. *Мосалов А.А., Зубакин В.А.* Полевой определитель птиц Подмосковья. – М.: Союз охраны птиц России: Изд-во «Колос», 2008. – 232 с.
8. *Пузанов И.И., Козлов В.И., Кипарисов Г.П.* Позвоночные животные Нижегородской области. – Н.Новгород, 2005. – 544 с.
9. *Равкин Ю.С.* К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. – Новосибирск, 1967. – С. 66 – 75.
10. *Бакка С.В., Карякин И.В., Киселева Н.Ю., Костюнин В.М., Левашкин А.П.* Изменения в орнитофауне Нижегородской области за последние годы // Союз охраны птиц России: сайт. 2009. [Электронный ресурс]. <http://www.rbcu.ru/information/1883>.
11. *Вергелес Ю.И.* Количественные учеты населения птиц: обзор современных методов. Отлов и мечение птиц во время миграции. [Электронный ресурс]. ornitology.sfu-kras.ru › metodika/4
12. Птицы Нижегородской области. [Электронный ресурс]. lesnoytur.ru › spisokotradov.html

Прикладная информатика и математика



Моделирование процесса колебаний неоднородной струны

Зубкова Александра Ильинична
10 класс, МБОУ Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.А. Мухин,
преподаватель информатики
ГБПОУ Нижегородский губернский колледж



В работе рассмотрена актуальность разработки компьютерной моделирующей программы для визуализации волновых процессов. В объектно-ориентированной среде программирования реализована модель колебаний неограниченной струны, модель колебаний ограниченной струны, а также модель колебаний неоднородной струны с действительными и комплексными параметрами.

Описание процесса колебания неоднородной струны широко используется для решения различных задач, использующихся для нахождения малого поперечного колебания мембранны или струны с различной толщиной, а также для описания распространяющихся в пространстве гравитационных и электромагнитных волн.

Существуют экспериментальные установки, позволяющие создавать натурные модели распространения волн с непостоянной амплитудой. Одной из таких установок является гиротрон, форма резонатора которого определяет механизм дальнейшего распространения испускаемых электромагнитных волн. В упрощенном варианте данную задачу можно свести к процессу колебания неоднородной струны.

Однако проблема заключается в том, что уравнение колебаний неоднородной струны имеет только численное решение и отсутствует динамическая компьютерная модель процесса распространения данных колебаний. Данная модель важна и полезна для того, чтобы определить примерный механизм поведения неоднородных волн при изменении параметров экспериментальной установки (например, зависимости показателей излучения гиротрона от формы резонатора).

Цель работы – создать компьютерную модель колебаний неоднородной струны. Задачи: разработать динамические модели процессов колебаний бесконечной и ограниченной однородной струны; определить эффективность работы предложенных алгоритмов на основании сопоставления с теоретическим материалом; модифицировать модель с учетом возможности определения параметров неоднород-

ной струны; оценить корректность предложенной модели, сравнив результаты моделирования с экспериментальными данными.

В ходе работы в объектно-ориентированной среде программирования было создано несколько моделирующих программ.

Модель колебаний бесконечной струны

На начальном этапе моделирования было необходимо разработать интерфейс компьютерной программы-визуализатора процесса распространения волны. Решить эту задачу проще всего, используя уже известное уравнение колебаний бесконечной струны:

$$\frac{d^2u}{dt^2} = a^2 \frac{d^2u}{dx^2}.$$

Для построения профиля струны в программе использовалось аналитическое решение данного уравнения.

Компьютерная динамическая модель колебаний бесконечной струны позволяет в реальном времени отслеживать специфику процесса.

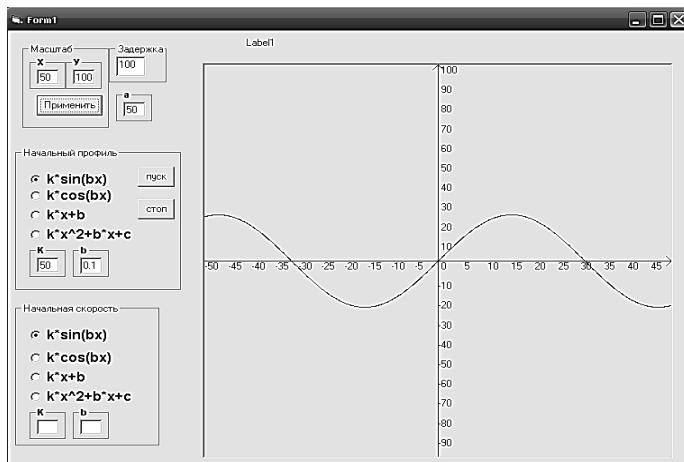


Рис. 1. Модель колебаний бесконечной струны

Начальный профиль струны может быть задан одной из четырех функций: синусоидной, косинусоидной, линейной и квадратичной, параметры которых зависят от вводимых коэффициентов. Начальная скорость колебаний струны также выбирается из списка элементарных функций. В программе предусмотрена возможность изменения масштаба, а также в реальном времени можно менять значения следующих параметров: значения коэффициентов функций, задающих

начальный профиль и начальную скорость; возможность изменения масштаба графической области; частоту колебания струны и задержку по времени. Интерфейс данной модели показан на рисунке 1.

Модель колебаний ограниченной струны

Данная модель демонстрирует характер распространения колебаний с учетом граничных условий. В программе предусмотрена возможность изменения масштаба, а также частоты колебания и граничных условий. Интерфейс данной модели показан на рисунке 2.

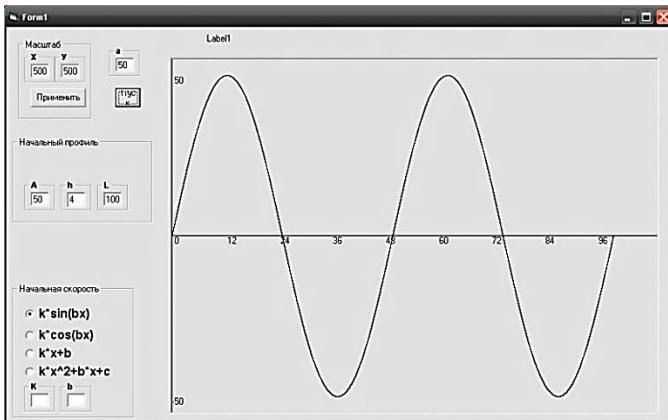


Рис. 2. Модель колебаний ограниченной струны

Модель колебаний неоднородной струны

Колебания неоднородной струны задаются уравнением вида:

$$\frac{d^2 f}{dz^2} + \omega_0^2 h(z) \cdot f = 0, \text{ где функция } h(z) \text{ задает степень неоднородно-}$$

сти струны, а функция f , также зависящая от z , представляет собой максимальное значение амплитуды неоднородной волны в конкретной точке волновода с координатой z .

Для нахождения значений функции f и ее построения в компьютерной модели был использован метод Эйлера для численного решения дифференциальных уравнений второго порядка.

В программе предусмотрена возможность изменения масштаба графической области, частоты колебания струны и граничных условий. Также в этой модели имеется возможность подбора начальной частоты для построения профиля струны, удовлетворяющего заданным граничным условиям. Интерфейс данной модели показан на рисунке 3.

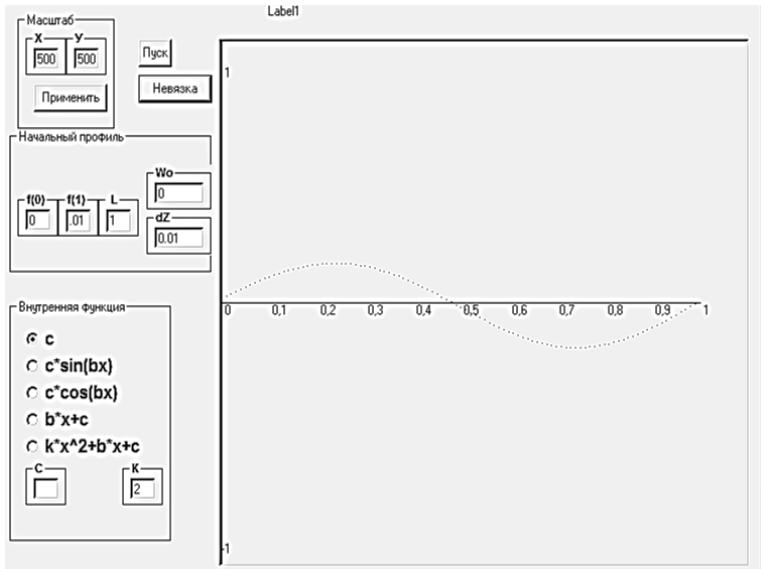


Рис. 3. Модель колебаний неоднородной струны

Модель колебаний неоднородной струны с комплексными параметрами

Для учета потерь энергии при распространении волн в условиях, приближенных к реальным, функция f и частота колебаний были представлены комплексными значениями. Комплексное значение частоты вводится в программу с использованием двух полей ввода отдельно для действительной и мнимой части. В остальном функционал и метод визуализации данной струны совпадают с предыдущей моделью. Интерфейс модели представлен на рисунке 4.

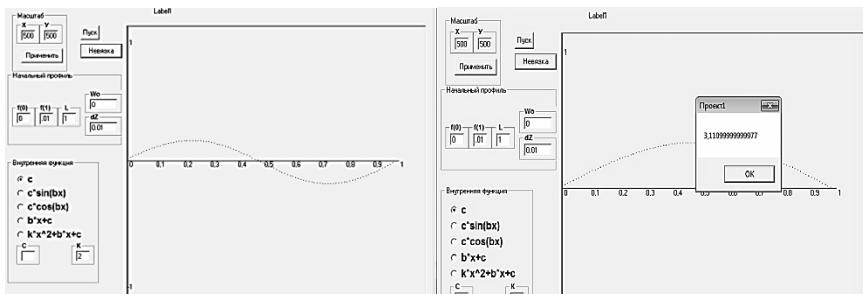


Рис. 4. Интерфейс модели колебаний неоднородной струны с комплексными параметрами

В результате исследования была изучена проблема распространения неоднородных волн и разработаны модели следующих волновых процессов: модель колебаний бесконечной струны, ограниченной струны, неоднородной струны и струны с комплексными параметрами. Данные модели можно использовать в качестве средства для исследования физических параметров неоднородных струн (например, при определении характеристик излучения), а также для демонстрации процессов распространения волн в различных условиях.

Литература

1. Араманович И.Г. Левин В.И. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1969. – 288 с.
2. Бабич В.М., Григорьев Н.С. Ортогональные разложения и метод Фурье. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 239 с.
3. Мэттьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. – М.: Атомиздат, 1972. – 401 с.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики: Учебное пособие. – М.: Наука, 1977. – 735 с.

Исследование возможности применения ультразвукового датчика HC-SR04 для подсчета числа учащихся в школе

Савченков Никита Васильевич
10 класс, МБОУ СШ № 27

Научные руководители Н.А. Стригалаева,
учитель информатики МБОУ СШ № 27,
К.В. Лихницкий, инженер НИФТИ ННГУ
им. Н.И. Лобачевского, кандидат технических наук



В некоторых школах начала функционировать система контроля и учета доступа учащихся в школу. Администрация школы контролирует посещаемость учениками не только уроков, но и библиотеки, столовой. Для этих целей предложено использовать ультразвуковой датчик HC-SR04. В работе рассмотрена возможность применения датчика в условиях прохода отдельного человека и потока людей.

Одним из известных способов контроля наполняемости аудитории является использование турникетов. Однако их установка – дорогостоящее дело. Для их размещения в школе необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, а также они неоднозначно воспринимаются детьми и родителями [1]. Особенно неудобно устанавливать турникеты в школьных кабинетах.

Для учета численности учащихся можно использовать ультразвуковой датчик HC-SR04. Принцип его работы заключается в следующем: излучатель подает короткий ультразвуковой импульс, который отражается от объекта и принимается сенсором. Расстояние рассчитывается, исходя из времени до получения эха и скорости звука в воздухе. Сенсор получает сигнал эха, и выдает расстояние, которое кодируется длительностью электрического сигнала на выходе датчика. Следующий импульс может быть излучен только после исчезновения эха от предыдущего сигнала [2].

Для управления датчиком HC-SR04 использовалась аппаратная вычислительная платформа Arduino [2]. Устройство подсчета числа проходов (рис. 1) включает в себя, кроме датчика HC-SR04, светодиод, кнопку и устанавливается в дверном проеме.

При выборе места расположения датчика в дверном проеме были рассмотрены два варианта (рис. 2). Расчеты показали, что при расположении датчика сверху телесный угол звуковой волны перекрывает

33% площади дверного проема, а при расположении сбоку – всего 5%. При расположении прибора сбоку были выявлены недостатки, связанные с потерей ультразвукового сигнала, поэтому мы отдали предпочтение установке датчика «сверху».

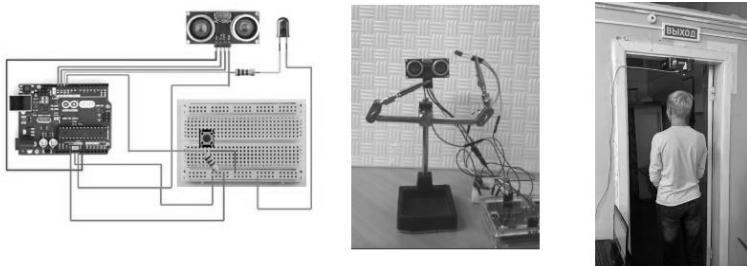


Рис. 1. Схема, внешний вид и установка в дверном проеме устройства подсчета числа проходов

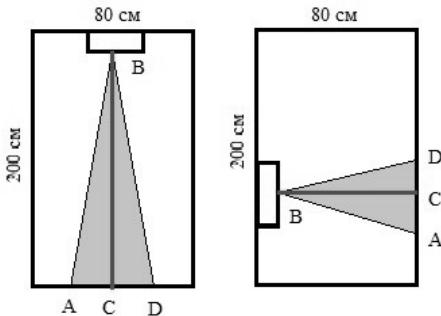


Рис 2. Примеры установки датчика в дверном проеме (сверху и сбоку)

Ультразвуковой датчик HC-SR04 также обладает недостатками, поэтому необходимо определить границы его применения. Чтобы обеспечить 100% вероятности обнаружения человека на основании хода ультразвукового сигнала (рис. 3), был проведен расчет максимально возможной скорости прохода человека в зависимости от его

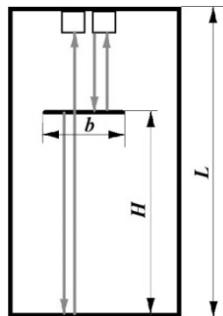


Рис. 3. Схема движения сигнала при работе датчика HC-SR04

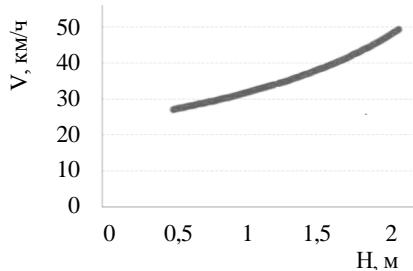


Рис. 4. Влияние роста человека на скорость его движения при 100% вероятности обнаружения

роста (при дверном проеме $L = 2$ м и среднем диаметре головы $b = 16$ см).

Из графика (рис. 4) видно, что при достаточно высоких скоростях (намного выше средней скорости бега человека [4]) датчик позволит подсчитать количество проходов.

Для подтверждения теоретических расчетов датчик был установлен в дверном проеме. Определена вероятность обнаружения учеников разного роста при движении через дверной проем с различной средней скоростью (табл.). Для обнаружения ученика со 100%-ной вероятностью скорость его передвижения с ростом 100 см не должна превышать 5 км/ч (соответствует средней скорости ходьбы), а с ростом 180 см – 15 км/ч (соответствует средней скорости бега [4]).

Таблица. Зависимость вероятности обнаружения человека в дверном проеме от его роста и скорости движения

| Скорость объекта, км/ч | Высота (рост) объекта, см | Вероятность обнаружения объекта, % |
|------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 3,6 | 100 | 100 |
| 5 | | 90 |
| 7 | | 70 |
| 7 | 140 | 100 |
| 8 | | 80 |
| 8 | 180 | 100 |
| 10 | | 50 |

Так как учащиеся могут двигаться потоками, в работе выявлена зависимость расстояния между людьми от роста для 100 % вероятности обнаружения каждого ученика, движущегося с заданной скоростью (рис. 5). Из графика видно, что необходимое расстояние между людьми незначительно зависит от роста человека (± 2 см) при постоянной скорости движения. Поэтому для 100% подсчета каждо-

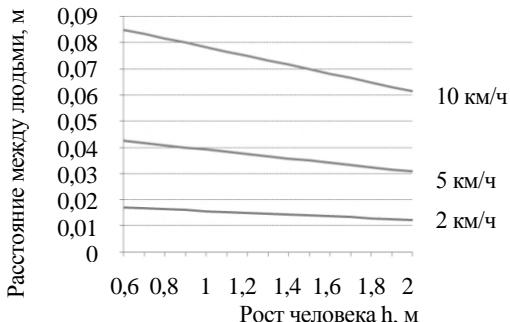


Рис. 5. Зависимость расстояния между людьми, идущими в потоке, от их роста при фиксированном значении скорости человека

го человека достаточно, чтобы ученики проходили, не прижаввшись вплотную друг к другу.

Несмотря на определенные недостатки ультразвукового датчика HC-SR04, возможно его применение для учета численности учащихся, например, на входе в столовую или библиотеку.

Литература

1. *Кузнецова О.* Турникеты в школах: как совместить защиту детей от криминала с требованиями пожарных инспекторов? // Алгоритм безопасности. 2013. № 3. С. 24 – 26.
2. *Петин В.А.* Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.
3. *Хорбенко И.Г.* Звук, ультразвук, инфразвук. – М.: Знание, 1978. – 160 с.
4. Скорость бега человека (рекордная, максимальная, средняя) [Электронный ресурс]. <http://frs24.ru/st/skorost-bega-cheloveka/>.

Очарование науки



Удивительные научные явления вокруг нас



Разряд молнии (лето 2015, Каменские луга, Нижегородская область)

Маркина Виктория Николаевна

11 класс МБОУ Михайловская СШ, Воротынский район Нижегородской области



Арзамасское торнадо (2015 г., г. Арзамас Нижегородской области)

Серова Екатерина Романовна

9 класс, ЧОУ РО «НЕРПЦ(МП)» «Арзамасская православная гимназия»

Юные исследователи и их наставники



Серия «Учитель – профессия творческая»

(2008, 2010 и 2015г.,

Н.И. Лапин, педагог

ЛИС в доол

им. Н.С. Талалушкина

ИПФ РАН)

Ермилина

Елена Васильевна,

зам. заведующего





**Порой что-то получается
(14.03.2017, химическая лаборатория Лицей № 38)**
Орлов Степан Александрович
10 класс, МАОУ Лицей № 38, Нижний Новгород



**Чародей
(2017, Школа № 82, ученик 8 класса Никулин Максим Эдуардович)**
Дозоров Максим Игоревич
8 класс, МБОУ школа № 182, Нижний Новгород

Наука как призвание и профессия



Главное – интерес к науке!

Литвак Александр Григорьевич
академик, научный руководитель ИПФ РАН,

Как выбрать профессию, чтобы заниматься ею всю жизнь? Что делать, чтобы наши детские мечты о профессии воплотились в реальность? Эти вопросы каждый из нас пытается решить. Особенно остро они переживаются в юности, когда молодому человеку предстоит сделать свой первый самостоятельный выбор – выбор будущей профессии. А наших юных читателей, планирующих связать свою жизнь с наукой, волнует вопрос: с чего начинается научная деятельность? Что является приоритетом в профессии, и что позволяет оставаться в ней? Что является актуальным для науки с практической и теоретической точки зрения? Как выстраивается подготовка молодого ученого и как работают ведущие научные центры?



В поисках ответов на эти вопросы мы обратились к человеку, посвятившему науке жизнь и добившемуся действительно уникальных научных результатов, человеку, для которого наука стала призванием и профессией – научному руководителю ИПФ РАН, директору ИПФ РАН с 2003-го по 2015-й год, академику Александру Григорьевичу Литваку.

Директор лагеря им. Н.С. Талалушкина, кандидат педагогических наук Александр Игоревич Ермилин и старшая группа студии журналистики лагеря им. Н.С. Талалушкина во главе с редактором газеты «Талалушкинский экспресс» Анной Михайловной Фирсовой посетили Институт прикладной физики Российской академии наук и побеседовали с Александром Григорьевичем.

Анна Михайловна: Разрешите представить старшую группу студии журналистики пресс-центра газеты «Талалушкинский экспресс». Во-первых, юные барышни – химики, но среди их есть и физик



– Евгений Кипелкин – ученик Школы юного исследователя ИПФ РАН. Евгений – победитель весенней Всероссийской Лабораторной, на площадке ИПФ РАН он стал звездным лаборантом. Мы знаем, что Вы очень занятой человек, мы благодарны вам за то, что нашли для нас время.

Анастасия Хусаинова: С чего началась Ваша научная деятельность?

Александр Григорьевич: Я учился на радиофизическом факультете университета и у нас так же, как и сейчас, было принято, что студенты с третьего курса начинают заниматься исследовательской работой. Первоначально лекторы нам (а у нас были очень известные преподаватели) предлагали некоторые темы для семинаров, выходящие за рамки изучаемого материала.

Студентам надо было выбрать темы и подготовиться, прочитав соответствующую литературу, причем в основном научные статьи, и сделать доклады. Вот и я у двух руководителей такого семинара – профессора Миллера и профессора Гершмана – ученых, которые сыграли большую роль в становлении радиофизической науки в нашем городе, подготовил доклады.

После этого мне предложили выбрать, под чьим руководством дальше заниматься исследовательской работой. На четвертом курсе я стал работать под руководством Михаила Анатольевича Миллера. Схема сохранилась, только изменилось название. Тогда был специалитет, учились пять лет. На четвертом курсе необходимо было выполнить курсовую работу, которая стала моей первой свободной исследовательской темой. По результатам ее была опубликована статья в научном журнале, а дальше дипломная работа, аспирантура, кандидатская диссертация и т.д.

Евгений Кипелкин: Мечтали ли Вы в юности стать физиком?

Александр Григорьевич: Мечтать – это не совсем правильное слово. Собирался, да. На самом деле, как я знаю по себе и своим детям, если человек хорошо учится, например, окончил с золотой медалью школу, то он, естественно, может выбрать разные пути. Можно заняться математикой, физикой, гуманитарными науками. Дальше все зависит от того, к чему больше склонности.

Когда я учился, олимпиады были достаточно редки. В Нижнем Новгороде проводилась единственная областная физико-математическая олимпиада для десятиклассников. Я принимал участие в такой олимпиаде и занял в ней первое место. Поэтому я выбирал между физикой и математикой. На выбор повлияли разные факторы (у нас тогда еще даже спутник не запустили, а 4 октября 2017-го года будем отмечать уже 60 лет с момента запуска). Это было, когда я, будучи первокурсником, был на целине, на Алтае, где мы собирали

урожай. Тогда были очень важны разработки в атомной промышленности, потом начинались исследования в области астрономии, что тоже было привлекательно, а еще у меня были родственники – физики. Вот это все фактически и определило то, что я выбрал физику.

Софья Корнева: *Какие области научного знания Вам интересны помимо физики?*

Александр Григорьевич: Принято считать, что XXI век – век биологии. Правильнее сказать, что это век биологии, основанной на нейрофизических принципах. Сейчас активно занимаются биологией, вопросами мозговой деятельности – нейронаукой. При этом нельзя обойтись без математики.

Но я любитель не только научной деятельности, потому, что я человек с отчасти гуманитарным складом ума. У меня дома хорошая библиотека, я и сейчас читаю не на компьютере, а держа настоящую книгу в руках. Во-вторых, у меня неплохая коллекция картин нижегородских художников. Я активно посещаю концерты Нижегородской филармонии. Вот такой у меня круг интересов.

Анастасия Хусаинова: *Какая была Ваша первая работа, помните ли Вы ее?*

Александр Григорьевич: Конечно, помню. Когда я начал заниматься наукой, начались активные работы в нелинейной физике. Это физика, в которой свойства явлений зависят от их интенсивности. Например, у большой амплитуды волны другие свойства, нежели у маленькой амплитуды. Физика окружает нас везде, как известно, материя состоит из таких частиц, как электроны, протоны, нейтроны.

Когда говорят про нелинейную физику, то говорят о том, что любое вещество складывается из взаимодействующих частиц. Нужно понять поведение частиц в сильном электрическом поле. А если поле сильное, тогда действует теория относительности Эйнштейна, где масса частиц зависит от того, с какой скоростью они ассоциируют, а также зависит от энергии частицы. Надо описать движение такой частицы, да еще и в неоднородном поле, которое зависит от координат. Этим я занимался, выполняя свою первую работу. Это была вообще одна из первых работ, посвященных движению частиц в сильных электромагнитных полях.

Евгения Кондрашова: *Как Вы считаете, что является для человека приоритетом в профессии физика, и что позволяет оставаться в этой профессии?*

Александр Григорьевич: Главное, конечно, интерес. Заниматься наукой интересно, если у вас есть склонности к этому, если вы любите решать сложные задачи, узнавать, что за этим кроется. Но для подобных занятий должны быть условия. Для теоретиков обязателен доступ к самым современным компьютерам, дающим возможность проводить на них компьютерное моделирование. Для экспериментаторов необходима экспериментальная установка, аппаратура. Это все стоит больших денег, иначе из-за этого появляются проблемы.

Евгения Кондрашова: *Как Вы считаете, что на сегодняшний день является с практической и теоретической точки зрения самым актуальным для физической науки?*

Александр Григорьевич: Это очень трудный вопрос, потому что в науке условно различают фундаментальные исследования и прикладные. Фундаментальные занимаются исследованием законов природы. Это могут быть как естественные процессы, так и системы, созданные человеком. А прикладные исследования преследуют конкретную цель сделать что-то.

Часто бывает, что фундаментальные исследования потом получают продолжение в прикладной физике. Лежат, например, у вас на столе телефоны, а пятьдесят лет назад, когда только начинались разработки по полупроводниковой электронике, никто оценить не мог важность этих фундаментальных исследований. Не было понятно, что из них вырастет современная наноэлектроника и микроэлектроника. Поэтому очень трудно сразу определить приоритетное направление.

В прикладных исследованиях предсказание возможно, потому что имеется заказ на создание чего-то конкретного. Например, построить радиолокатор или создать новый компьютер с большей мощностью. Да, это тоже разработка, но более конкретная и там можно, конечно, назвать направления, которые важны для человечества сегодня, и их всегда называют – это и развитие суперсовременной техники, и транспортные проблемы, и освоение космоса, и экология с медициной. Вот такие общие вещи можно назвать, а дальше уже нужно выделять отдельные направления.

Что же касается науки фундаментальной, то здесь все намного сложнее. Мы понимаем, что для глубокого проникновения и понимания устройства мира нужно обязательно создавать суперсовременную экспериментальную технику, потому что без этого мы ничего не узнаем.

В теоретических науках могут быть догадки, например, математики много лет пытались решить проблему, и наконец Перельман доказал

дался. Но из этого достижения вовсе не следует, что он осчастливили человечество более современной техникой. Это разные вещи, но в целом для науки и понимания того, как устроен мир, это очень важно.

Наталия Молоснова: В этом году исполнилось 40 лет Институту прикладной физики. Как Вы считаете, позволила ли подготовка к юбилейным торжествам сотрудникам мысленно вернуться к основанию ИПФ РАН, к началу его деятельности?

Александр Григорьевич: Не думаю, что всем сотрудникам нужно возвращаться к моменту основания. Представим, что вы окончили школу, поступили в институт, будете учиться шесть лет, но вряд ли вас будет заботить история создания института. Эти воспоминания интересны тем, кто в этом участвовал. Когда они это расскажут, слушатели могут оценить реализацию задуманного.

Наталия Молоснова: Какие, на Ваш взгляд, перспективы развития Института прикладной физики в будущем?

Александр Григорьевич: Признано, что наш институт является одним из лучших научных институтов в стране за счет совокупности нескольких факторов: современная тематика, которой занимаются хорошо обученные люди, из чего следует, что у нас хорошая система подготовки кадров, позволяющая способным молодым людям выйти на нужный уровень. Я недавно пошутил, сказав, что наша система образования действительно уникальна: она начинается от детского сада, продолжается в физико-математическом лицее № 40, университете и аспирантуре, и вплоть до избрания в члены академии наук. Вот такой у нас путь.

В некотором смысле это так, ведь у нас есть собственный детский сад и ясно, что большинство детей из этого детского сада стремятся попасть в лицей № 40, учредителями которого мы являемся, и, по последним опросам считается, что это – лучшая школа в городе. Там созданы специальные физические и биологические классы, которые учатся в здании ИПФ РАН, и мы отвечаем за программу их обучения.

У нас также есть в университете им. Н.И. Лобачевского маленький специальный факультет «Высшая школа общей и прикладной физики (ВШОи ПФ)». Этот факультет мы целенаправленно создавали для подготовки молодежи для науки. Когда они становятся студентами, тогда и начинают исследовательскую работу. Эта система обеспечивает тот факт, что люди приходят в науку уже на очень хорошем уровне.

Сочетание фундаментальных и прикладных работ позволяет нам, кроме того, что государство напрямую дает деньги на науку, еще и зарабатывать на заказах, поддерживая исследования.

В институте семнадцать групп молодых ученых получили медали и премии Российской академии наук. Когда эти премии были присуждены, примерно четверть премий были распределены по тем направлениям, которыми мы занимаемся: общая физика и астрономия, науки о Земле и научное приборостроение. Это означает, что наши молодые ученые подготовлены на очень хорошем уровне.

В некоторых направлениях мы являемся мировыми лидерами, так что у нас есть молодежь, которая продолжит эту работу, а значит, у нас есть перспективы, если государство будет готово нам помогать.

Анна Михайловна Фирсова: *Например, какие это направления?*

Александр Григорьевич: С научной точки зрения наш институт разделен на четыре направления, сейчас к нам еще присоединили два исследовательских института. Первое направление – электроника больших мощностей и физика плазмы, следующее – геофизика, изучает некоторые катастрофические явления – цунами, грозы, климат и т.д. Далее – направление нелинейной динамики и лазерной физики, основой которого являются мощные лазеры и их применение. И последнее – центр гидроакустики, который занимается прикладными работами, связанными с распространением акустических волн в океане. Это нужно для диагностики разных объектов, покоящихся на дне моря или океана, используя низкочастотные и акустические звуковые волны.

Направлений на самом деле намного больше, ведь мы занимаемся радиоастрономией и астрофизикой. Вы знаете, что 1°K – это -273°C . Так вот, у нас есть разреженное вещество с температурой одна стомиллионная градуса Кельвина. Такое вещество получается из газа, который охлаждается с помощью лазерного излучения. С другой стороны, у нас имеется высокоэнергетичное вещество. С помощью лазерного излучения мы ускоряем электроны до энергии в 1 гигаэлектрон Вольт.

Чтобы стало понятно, объясню, 1 электрон вольт – это 12 000 градусов. Если вы используете электрическое поле, в котором на расстоянии 1 см будет разность потенциалов 1 Вольт, пустите там электрон, он пробежит, ускоряясь этим электрическим полем, и у него будет энергия 1 электрон Вольт. «Гига» – это миллиард электрон Вольт.

Вы же наверняка слышали о большом адронном коллайдере? Там температура доходит до терравольта, но такое может быть только на расстояниях больше десятка километров.

У нас в институте есть самый мощный лазер в России, его мощность в пятьдесят раз больше, чем мощность всей электроэнергетики на Земле.

Если вы решали такие задачки по физике, то знаете, что если вы в стакан воды введете 45 Дж, то вы его только чуть-чуть нагреете. Но вот если вы сфокусируете лазерное излучение на такой размер, на который его реально можно сфокусировать, например, несколько микрон, то электрон, который пролетает, наберет вот эту энергию 1 гигаэлектрон Вольт, соответственно, 12 триллионов градусов. Такое тоже возможно у нас в институте. Как видите, у нас много разной и интересной физики.

Александр Игоревич Ермилин: *Разрешите задать вопрос, не касающийся физики, о применении научных открытий. Придем ли мы к футуристическим картинам Герберта Уэллса, когда человек уже не нужен, кругом одни роботы, в небе летают «беспилотники». Каково соотношение этих открытий и человека?*

Александр Григорьевич: Что плохого, если человек будет наслаждаться? Ответ зависит от того, как мы распорядимся своими открытиями. Потому, что предела для творческой активности нет, у человечества будут следующие шаги на пути развития. Возможно, открытия будут сделаны в сторону освоения космоса, даже будем переселяться.

Мы создаем самые мощные источники электромагнитного излучения в диапазоне миллиметровых волн, а это излучение требуется для нагрева плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза. Водородная бомба, например, представляет неконтролируемую термоядерную реакцию, а если решить задачу контролируемой термоядерной реакции, то тогда никаких проблем с запасом углеводородов не будет. Такая реакция, как один из вариантов, работает на смеси дейтерия и трития, а дейтерий содержится в морской воде и как изотоп водорода служит вместо него.

В настоящее время создается самая крупная международная экспериментальная установка – «ITER» – международный Термоядерный исследовательский реактор. Ее строят в ядерном центре во Франции семь участников, одним из которых является Объединенное европейское сообщество. В ее создании участвуют США, Россия, Китай, Япония, Южная Корея и Индия. В установке для нагрева плазмы используются гиротроны – источники, которые были изобретены в нашем институте. На сегодняшний день они изготавливаются и в других местах, но лучше всех это получается у нас.

Японцы стараются нас догнать, и ученый, который сегодня со мной общался, будет рассказывать на конференции «Мощное микроволновое излучение и традиционное излучение и приложение», которая состоится у нас в июле, о планах запуска в космос ракеты с помощью мощного микроволнового излучения, которое фокусируют, создавая разряд, и этот разряд толкает ракету. К этой проблеме я отношусь критически, мы много лет ее обсуждаем, но, возможно, в будущем человечество будет активно воплощать ее в жизнь.

Софья Корнева: *Отличается ли бытовая деятельность физика от досуга человека другой профессии?*

Александр Григорьевич: Да нет, это же зависит от человека, от его склонностей и интересов. Одному – грибы собирать, другому – картины рисовать, третьему – работать на компьютере, заниматься спортом. Это совершенно не связано с профессиональной деятельностью. Возможно, в некоторых случаях помогает дополнительный интеллектуальный потенциал.

Софья Корнева: *И еще один непростой вопрос. Профессия физика требует качественного образования, большого запаса знаний, терпения и многое другое, на равных ли женщины и мужчины в этой профессии или эта деятельность больше подходит мужчинам?*

Александр Григорьевич: Да нет, в развитых странах в науке много женщин. Например, вчера на вашем месте сидела Ольга Анатольевна Кочаровская – женщина-физик, которая окончила радиофизический факультет ННГУ, работала у нас в институте, защитила обе диссертации – кандидатскую и докторскую, а потом уехала в Америку. Сейчас она – выдающийся профессор в Техасском университете, удостоена почетной международной премии, часто приезжает к нам, сотрудничает, иногда сманивает хороших студентов к себе аспирантами. Вот яркий пример успешной в профессии женщины.

Анна Михайловна: *У меня вопрос по поводу диссертационных советов и защиты молодыми учеными диссертаций. Скажите, пожалуйста, как много тех молодых ученых, которые решаются писать диссертации, доходят до своей цели?*

Александр Григорьевич: В основном все доходят. Может быть, иногда не вовремя, но сейчас увеличили срок аспирантуры до четырех лет для наших направлений.

Ректор Московского государственного университета предлагал увеличить срок аспирантуры до пяти лет и министр образования, О.Ю. Васильева его поддержала.

Анна Михайловна: *А нововведения в системе оценки деятельности ученого, наукометрия, рейтинги деятельности, список Хирша, как Вы к этому относитесь?*

Александр Григорьевич: Следует доверять экспертной оценке, где профессионалы судят о важности результатов ученых, будущих перспективах как в прикладных работах, так и в секретных исследованиях, которые вообще не подлежат публикации.



Разговор о призвании и профессии ученого с научным руководителем ФИЦ ИПФ РАН, академиком Александром Григорьевичем Литваком закончился пожеланием всем юным исследователям найти свой путь в мире науки.

Поздравляем крупнейшую научную организацию Российской академии наук в Нижнем Новгороде – Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН и его научного руководителя, нашего собеседника Александра Григорьевича Литвака, с 40-летием института!

Лекции нижегородских ученых



В науке большое значение имеет правило – только смелые побеждают.

Макс Карл Планк (1858 – 1947),
немецкий физик, основоположник квантовой физики,
лауреат Нобелевской премии по физике (1918)

Наука не является и никогда не будет являться законченной книгой. Каждый важный успех приносит новые вопросы. Всякое развитие обнаруживает со временем все новые и более глубокие трудности.

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

Настоящая научная работа,искание ответа на то, как же все обстоит на самом деле, всегда беспокойна, всегда состоит из перехода от одних неудачных попыток к другим, пока не найдется, наконец, удачный подход, если он вообще находится. Эта работа беспокойна так же, как работа музыканта, ищащего и долго не находящего нужного звучания музыкальной фразы. Более беспокойна, может быть, только работа хирурга, сознавшего в добавление ко всему прочему, что каждая его неудача может стоить жизни больному.

Павел Сергеевич Александров (1896 – 1982),
советский математик, академик АН СССР, профессор МГУ

Профессии будущего

Седов Антон Сергеевич

научный сотрудник ФИЦ ИПФ РАН,
доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева,
кандидат физико-математических наук



Авторы исследовательских работ, представленных в этом сборнике, скорее всего уже задумывались, какую профессию или область деятельности они выберут в будущем. Этот вопрос непрост, особенно сейчас, когда большинство из нас просто не успевают следить за техническим прогрессом, изменениями в экономике и общественной жизни. По оценкам специалистов больше половины современных школьников будут иметь профессии, которых пока нет ни в справочниках, ни на сайтах вакансий¹. Давайте попытаемся разобраться, как будет меняться рынок профессий, какие знания и навыки будут востребованы через 5 – 10 лет.

Начнем с того, что в мире уже изменился сам подход к пониманию работы. Если раньше рабочее время определялось присутствием на рабочем месте, то теперь для многих специалистов рабочим местом становится любая точка на планете при наличии ноутбука или даже смартфона и уверенного доступа в Интернет. Ярким примером этого является статья, которую вы читаете. Она писалась в нескольких городах России и даже в кафе на Африканском континенте. Соответственно, сами понятия работы и отдыха размыиваются. Это, с одной стороны, позволяет увеличивать эффективность и скорость обмена информацией, а с другой стороны, вызывает дополнительные стрессы у работников.

Время, в которое мы живем, во многом уникально, в том числе в области экономики и рынка труда. Если раньше для создания крупной компании требовались поколения людей, которые ее строили и развивали, а также крупные финансовые и материальные вложения, то в последние годы мы видим множество примеров, как люди, обладающие нестандартным мышлением и визионерским взглядом на мир, становились успешными и всемирно известными всего за не-

¹ 10 профессий будущего: что будет в 2025 году и позже [Электронный ресурс]. Учеба.ru: сайт. <https://www.ucheba.ru/article/3229>

сколько лет. Истории успеха таких людей, как Марк Цукерберг или Стив Джобс, служат тому доказательством. Но пример этих людей состоит еще и в том, что они смогли не только создать уникальный продукт, но и доказать людям, что им нужен этот продукт. Время, которое теперь нужно на раскрутку продукта, многократно уменьшилось. Если телевидение вошло в привычную жизнь большинства семей в мире в течение нескольких десятилетий, то Facebook для этой же цели понадобилось всего несколько лет.

Мировая экономика при этом стремительно меняется. Если десять лет назад тройка компаний с самой большой капитализацией (ориентированной рыночной стоимостью) сплошь состояла из представителей топливно-энергетического сектора² (Exxon Mobile, General Electric, Газпром), то по результатам оценки прошлого года вся тройка обновилась и состоит из компаний IT-сферы и сферы высокотехнологичных гаджетов (Apple, Google, Microsoft)³. Таким образом, в секторе научноемких и интернет-технологий в настоящее время сосредоточены как финансовые, так и человеческие огромные ресурсы, что обеспечивает дальнейший прогресс. Сама экономика стремительно цифровизуется, что также влияет на все сферы нашей деятельности.

Предыдущие примеры успешных компаний (бурный рост Facebook и Google, революционные изменения в сфере гаджетов, которые произвела компания Apple) относятся к периоду примерно десятилетней давности, когда интернет-технологии стали обыденной вещью (смартфоны с выходом в интернет и функционалом почти как у домашнего компьютера у многих имеются). Сейчас, когда эти идеи полностью реализовались и вошли в нашу жизнь, мы несомненно находимся на следующем витке прогресса, когда мир опять может поменяться и новая оригинальная мысль может «выстрелить» самым неожиданным образом.

Из предыдущих примеров видно, что главной тенденцией в развитии современного общества является цифровизация и интернетизация всех сфер человеческой жизни. Через интернет мы можем переводить деньги, не заглядывая в обычный офис банка, заказывать еду, консультироваться с врачом и многое другое. Таким образом,

² Из 6 самых дорогих компаний мира 5 – технологические [Электронный ресурс]. Акчабар – финансовый портал: сайт. <https://www.akchabar.kg/news/6-samyih-dorogih-kompanij-mira-5-tehnologicheskie>.

³ Топ-10 самых дорогих компаний мира [Электронный ресурс]. Бизнес:сайт. <http://moneymakerfactory.ru/spravochnik/samyie-dorogie-kompanii-mira/>

современному человеку нужно как минимум ориентироваться в этих технологиях, чтобы не отстать от жизни. С другой стороны, профессия программиста является все более распространенной и хорошо оплачиваемой для лучших специалистов, особенно в таком индустриальном городе, как Нижний Новгород. В конце концов мы все станем немного программистами, а владение языками и средствами программирования станет вполне обыденными явлениями. В настоящее время необходимо интенсифицировать обучение специалистов в области информационных технологий, так как по оценке экспертов через пять лет недостаток специалистов в этой области достигнет рекордной отметки около двух миллионов человек⁴ (для сравнения – все трудоспособное население Российской Федерации составляет примерно семьдесят миллионов человек⁵).

Конечно, большинство людей будет просто пользоваться плодами этих достижений, не задумываясь, как это все работает, и признав факт, что их жизнь стала более комфортной. Но, разумеется, во много раз интереснее самому разрабатывать устройства и технологии будущего, воплощать свои идеи и доводить их до конечного продукта.

Что касается классических областей наук (в первую очередь естественных), то в них по-прежнему есть большое поле для исследований и реализации своих способностей во всех областях знания. Однако можно утверждать, что наиболее актуальными в настоящее время являются кросс-дисциплинарные исследования, которые находятся на стыке двух или более наук. Без таких исследований невозможно создание новых видов лекарств, производствоnano-объектов, расшифровка генома человека и решение многих других важных для человечества задач. Последние успехи в создании таких объектов, как искусственный глаз, доказывают полезность и высокую значимость подобных исследований. В качестве яркого примера можно привести разработку новых видов борьбы с онкологическими заболеваниями, где одновременно используются химическое и физическое воздействие на биообъекты. Кстати, данные работы по воздействию холодной плазмы и пучков многозарядных ионов для лечения раковых опухолей прово-

⁴ ИТ-кадры 2010: Аналитическое исследование. – Ассоциация Предприятий Компьютерных и Информационных Технологий (АП КИТ), 2010. – 24 с. [Электронный ресурс]. http://www.apkit.ru/files/personal2009_final.pdf

⁵ Российский статистический ежегодник – 2015 год [Электронный ресурс]. Федеральная служба государственной статистики: сайт http://www.gks.ru/bgd/regl/b15_13/Main.htm

дятся и исследователями из ФИЦ ИПФ РАН⁶. Неслучайно, что даже на конференциях, представляющих исследовательские работы, выполненные школьниками, в том числе на конференции «Школа юного исследователя», существует секция биофизики. Это свидетельствует о высокой актуальности данных направлений.

Кроме описанных выше сфер деятельности, безусловно, останутся и существовавшие многие века профессии: продавец, врач и учитель, однако можно ожидать, что новые технологии внесут существенные изменения в деятельность этих специалистов, поэтому многим из работающих придется переучиваться, чтобы не только двигаться по карьерной лестнице, но и элементарно сохранить свои рабочие места. По оценке специалистов несколько миллионов существующих в настоящее время ставок сократятся уже в ближайшие годы.

Кроме того, стремительно меняется набор навыков, необходимый каждому специалисту вне зависимости от выбранного профиля. Если раньше ценились коммуникабельность и инициативность, то сейчас кроме высокого уровня цифровой грамотности основными требованиями к высококомпетентным работникам являются умение организовывать работу команды, проектное управление, работа с большими массивами информации, стрессоустойчивость и управление рисками. Всем этим навыкам, как вы понимаете, вряд ли будут учить в вузе или школе в ближайшие годы, так что придется вырабатывать их самостоятельно. В современном глобальном мире, где человек вынужден поддерживать сотни коммуникаций с людьми по всему миру, ориентация идет на так называемый эмоциональный интеллект, когда важно умело строить отношения в команде и уметь идти на компромисс без ущерба делу.

Суммируя вышесказанное, можно сказать, что наиболее интересными и перспективными занятиями в следующие десять лет будут работы, связанные с дальнейшим внедрением интернет-технологий в нашу жизнь (например, так называемый интернет вещей, или профессии на стыке тех областей, которые в настоящее время считаются чисто гуманитарными) и цифровыми технологиями, например, киберпсихолог или киберюрист, а также кросс-дисциплинарные исследования в науке и технике. Новые оригинальные идеи в этих областях несомненно найдут признание и получат финансовую и организационную поддержку как со стороны государства, так и со стороны частных фондов и финансовых структур.

⁶ Скалыга В.А. Компактный генератор нейтронов [Электронный ресурс]. <http://www.ipfran.ru/results/img/neiron.pdf>

Однако хотелось бы закончить данную статью одним наблюдением, которое связано больше с человеческим фактором, чем с уровнем финансирования или высокой актуальностью проводимых работ. В одном из опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ)⁷ было выяснено, что наши соотечественники больше всего на работе ценят отношения в коллективе, в отличие от аналогичных западных исследований, где пальма первенства отдается высокому уровню оплаты. Таким образом, хочется пожелать юным исследователям не только интересных и актуальных задач, но и хороших соратников, ведь в современном мире большинство из этих задач можно решить только с помощью слаженной и правильно организованной командной работы. В конце концов, мы проводим на работе минимум 40 часов неделю, и часто это большее время, чем мы проводим со своими близкими и друзьями.

Удачи в новых исследованиях и интересных встречах!

⁷ Труд – и наслаждение, и счастье? Пресс-выпуск № 3364 28.04.2017. [Электронный ресурс]. Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ): сайт. <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=116186>

Общие сведения о плазме.

Антенны в плазме

Широков Евгений Алексеевич

научный сотрудник отдела астрофизики и физики
космической плазмы ФИЦ ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Дорогие ребята! Многие из вас уже слышали слово «плазма». Давайте разберемся, что же оно означает. В физике плазмой называют ионизованный квазинейтральный газ.

Как вы знаете из уроков физики и химии, в обычных условиях газы состоят из атомов или молекул. Атомы инертных газов (например, неона, аргона) имеют завершенную электронную оболочку и оттого не объединяются в молекулы. Электронные оболочки атомов других веществ (например, кислорода, азота) целиком не заполнены, поэтому такие атомы объединяются в молекулы. Однако в обоих случаях газ состоит из нейтральных частиц – атомов или молекул. При этом, разумеется, в газах в реальных условиях по разным причинам всегда имеется и небольшое число заряженных частиц – электронов или ионов. Если к такому газу приложить достаточно сильное внешнее электрическое поле (постоянное или переменное во времени), то может произойти так называемая ударная ионизация газа. На электрон, находящийся в электрическом поле с напряженностью E , действует сила Кулона $F = -eE$, где $-e$ – заряд электрона. Следовательно, согласно законам динамики электрон в электрическом поле приобретает ускорение $a = F/m = -eE/m$, где m – масса электрона. Среднее расстояние, которое он пролетает от одного столкновения с другой частицей до следующего столкновения, называется длиной свободного пробега. Если приложенное электрическое поле достаточно велико, то на длине свободного пробега электрон может ускориться весьма значительно и накопить настолько большую энергию, что ее хватит на то, чтобы при столкновении (ударе) с нейтральной частицей «выбить» из последней один или несколько электронов. При этом такая частица становится, разумеется, положительным ионом. Электроны, которые выбиваются из нее, также разгоняются электрическим полем и участвуют в ударной ионизации других нейтральных частиц. Образовавшийся в результате столкновения положительный ион, вообще говоря, тоже ускоряется электрическим полем и приобретает

ускорение $a' = QE/M$, где $Q > 0$, M – заряд и масса иона соответственно. Поскольку любой положительный ион значительно тяжелее электрона (как минимум в 1836 раз – это отношение масс протона и электрона), ионы разгоняются очень слабо. Таким образом, нейтральные частицы газа (атомы, молекулы) в результате ударной ионизации распадаются на электроны и положительные ионы. Говорят, что такой газ ионизован (полностью или частично, это зависит от того, все или не все нейтральные частицы распались). Поскольку до ионизации практически все частицы газа были нейтральными, после ионизации по закону сохранения заряда алгебраическая сумма зарядов образовавшихся электронов и положительных ионов равна нулю. Такой газ называется квазинейтральным (приставка квази означает «почти»). В результате ударной ионизации из обычного газа получается плазма – ионизованный квазинейтральный газ. Ударная ионизация под действием электрического поля – не единственный способ получения плазмы, имеются и другие варианты. Например, нейтральный газ можно нагревать. Тогда его частицы будут двигаться быстрее, а их энергия будет увеличиваться. Ясно, что их столкновения также приведут к ударной ионизации. Таким образом, любое вещество нагреванием можно перевести в плазменное состояние.

Когда говорят о квазинейтральности плазмы, обычно подразумевают квазинейтральность в некотором объеме. В самом деле, можно рассмотреть в плазме положительный ион с зарядом Q с его очень малой окрестностью, если в ней нет других частиц. Разумеется, в таком малом объеме квазинейтральность не выполняется (заряд этой области равен Q и отличен от нуля). Так что квазинейтральность следует понимать по достаточно большому объему. Кроме того, в плазме могут быть и отрицательные ионы, однако в большинстве ситуаций их мало.

Для плазмы характерны пространственные колебания электронов относительно ионов. Чтобы понять, почему они происходят, мысленно выделим тонкий квазинейтральный слой плазмы, в котором есть электроны и положительные ионы. Пусть все электроны этого слоя оказались смещены к какой-то его границе, а ионы остались во всем слое повсюду. Тогда со стороны ионов на электроны действует сила Кулона, в данном случае – притяжения, так как заряды имеют разные знаки. Под действием этой силы электроны придут в движение в сторону ионов, причем из-за инерции не остановятся в центре слоя, а продолжат двигаться к противоположной границе слоя. Однако после прохождения центра слоя сила Кулона, оставаясь силой притяжения,

будет направлена в обратную сторону – туда, где больше ионов. Такой процесс смещения электронов то в одну, то в другую сторону будет продолжаться и дальше. Ясно, что такое движение электронов в плазме представляет собой колебания. Они называются ленгмюровскими – в честь американского ученого Ирвинга Ленгмюра (1881 – 1957), впервые предложившего термин «плазма». Частота ленгмюровских колебаний называется плазменной частотой и обычно обозначается f_p .

Плазменное состояние вещества сильно отличается от трех основных агрегатных состояний – жидкого, твердого и газообразного. Например, плазма, в отличие от обычного газа обладает очень высокой электропроводностью, так как в ней есть много свободных носителей заряда – электронов. Поэтому плазму часто называют четвертым агрегатным состоянием вещества. Удивительно, но фазовым состоянием большей части вещества (около 99,9 % по массе) во Вселенной является именно плазма. В частности, звезды состоят из плазмы, и даже межзвездное пространство заполнено плазмой, хотя и очень разреженной. В Солнечной системе плазма содержится, например, на Солнце, в солнечном ветре, а также вокруг некоторых планет (Земли, Юпитера). Солнечный ветер – это поток заряженных частиц (в основном гелиево-водородной плазмы), истекающий из солнечной короны со скоростью 300 – 1200 км/с в окружающее космическое пространство.

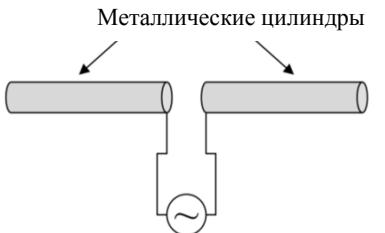
Особый интерес для нас, конечно, представляет плазменная оболочка Земли. Оказывается, что атмосфера Земли на высотах от 60 до 1000 км ионизована ультрафиолетовым излучением Солнца и соударениями с быстрыми частицами космических лучей. Эта область называется ионосферой Земли. Она оказывает заметное влияние на радиосвязь. Другое проявление эффектов, связанных с плазмой, вблизи Земли связано со следующим: у Земли имеется магнитное поле. Когда заряженные частицы солнечного ветра «набегают» на магнитное поле Земли, они начинают двигаться по винтовым траекториям вдоль силовых линий этого поля. В полярных областях, где эти линии «втыкаются» в земную поверхность, частицы солнечного ветра могут оказаться довольно низко – в верхних слоях атмосферы. Там эти частицы сталкиваются с молекулами атмосферных газов, которые вследствие этого возбуждаются и испускают свет – полярное сияние.

Ниже ионосферы к плазменным образованиям относятся, в первую очередь, молнии. Различные разряды в газах (в том числе создаваемые в лабораториях) также приводят к образованию плазмы. К таким разрядам относятся, например, тлеющие, дуговые, коронные и искровые.

Значение плазмы в повседневной жизни очень велико. Она используется в лампах дневного света, ртутных выпрямителях тока (игнитронах) и так далее. Одной из основных проблем современной физики является проблема удержания плазмы для осуществления управляемой реакции термоядерного синтеза. Идея такой реакции состоит в следующем. Пусть в некоторой емкости имеется плазма, состоящая из легких положительных ионов, например, ядердейтерия и трития (изотопы водорода) и электронов. Если энергия теплового движения ядер достаточно велика, то они могут преодолеть силы кулоновского отталкивания и объединиться в ядра более тяжелых элементов, например, гелия. При таком объединении выделяется значительная энергия. Следовательно, такие ядерные реакции могут служить источником энергии. Однако имеется очень существенная проблема: исходная плазма должна быть настолько горячей, что она расплавит любую емкость. Поэтому предпринимаются попытки изолировать плазму от стенок емкости. Это можно, в принципе, сделать, поместив плазму в постоянное магнитное поле: в нем заряженные частицы двигаются по винтовой линии и, если все параметры подобраны правильно, находятся на некотором удалении от стенок. Однако пока не удалось достичь необходимых значений этих параметров, чтобы осуществить управляемый термоядерный синтез в промышленных масштабах.

Поскольку межзвездное пространство и земная ионосфера находятся в плазменном состоянии, огромное значение для освоения космоса (например, космической радиосвязи) имеют вопросы излучения и распространения электромагнитных волн в плазме.

Для простоты рассмотрим сначала излучение и распространение электромагнитных волн в вакууме. Вы знаете, что электромагнитные волны изучаются антеннами. Простейшая передающая антenna представляет собой тонкий и длинный металлический цилиндр (длинную прямую проволоку). Этот цилиндр разрезан пополам на два одинаковых цилиндра вдвое меньшей длины, которые немного раздвинуты друг от друга (рис. 1), так что между ними имеется малый зазор. В этом зазоре имеется переменное напряжение с высокой частотой, подаваемое от генератора



Генератор переменного тока

Рис. 1. Схема простейшей антенны

переменного тока. Тогда по всей длине антенны течет переменный (во времени) электрический ток.

Антенна такой конструкции называется диполем (или вибратором) Герца, а также иногда электрическим диполем.

Те из вас, кто уже проходил на уроках физики основы электромагнетизма, знают, что электрический ток создает магнитное поле (вспомните закон Био-Савара-Лапласа). В нашем случае, поскольку ток меняется во времени, создаваемое им магнитное поле тоже меняется во времени. Далее, согласно законам электродинамики, которые вы будете изучать в вузе, переменное (во времени) магнитное поле создает переменное электрическое поле, а переменное электрическое поле создает переменное магнитное поле. Эта взаимосвязь схематично показана на рисунке 2.

Таким образом, переменный ток в антенне создает переменные взаимосвязанные электрическое и магнитное поля. Они распространяются в пространстве от антенны. Совокупность электрического и магнитного полей, распространяющихся в пространстве, называется электромагнитными волнами. Следовательно, ток в антенне излучает электромагнитные волны в окружающее пространство, в данном случае – в вакуум.

Антенны могут быть предназначены не только для излучения, но и для приема волн. Таким образом, мы можем дать общее определение антенне как термину: антенна – это устройство для излучения или приема электромагнитных волн.

Теперь обсудим некоторые особенности излучения (антеннами) и распространения волн в плазме. Оказывается, что если частота излучения антенны меньше плазменной частоты f_p , то такая антенна не может излучать электромагнитные волны в плазме. Здесь подразумевается, что нет внешнего магнитного поля, а антенна в плазме не движется. Если же имеется внешнее магнитное поле (например, земное), то все значительно усложняется. А если антенна движется относительно плазмы, то есть обтекается ею (например, такое бывает, когда антенна размещена на искусственном спутнике и движется вместе с ним по орбите вокруг Земли), то амплитуда колебаний тока на антенне может возрастать со временем. Наконец, если электриче-

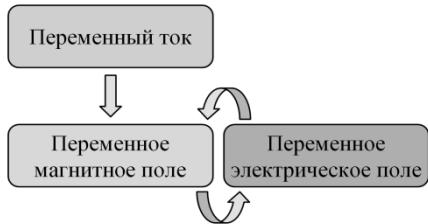


Рис. 2. Схематичное изображение взаимосвязи электродинамических величин

ское поле излучения антенны в плазме достаточно велико, то под его воздействием может произойти дополнительная ударная ионизация плазмы. Тогда свойства плазмы изменяются, а вслед за ними изменяются характеристики антенны и излучаемых волн – такие явления называются самовоздействием волн.

Физика плазмы – это бурно развивающаяся область науки, в которой есть много интересных явлений и задач. Изучение этих явлений очень важно не только для развития наших представлений о природе, но и имеет прямое отношение к улучшению жизни. Кто-то из вас в будущем наверняка станет известным ученым в этой области.

Вопросы для размышления

1. «Печально, когда теория совпадает с экспериментом. Это уже не открытие, а закрытие». Как вы понимаете эти слова П.Л. Капицы?
2. Герберт Уэллс описал в своих литературных произведениях футуристическую картину мира, когда человек уже не нужен, кругом одни роботы, в небе летают «беспилотники». В свою очередь выдающийся ученый В.И. Вернадский сформулировал идею ноосферного общества, основанного на разуме. Его идея состоит в том, что человек, вооруженный наукой и новой технологией, превратился в геологическую и даже в космическую силу. Какова роль научных открытий?
3. Наука дает возможность человеку подняться на новый уровень развития. Вместе с тем она открывает возможности создать такие технологии, которые делают человеческую жизнь более уязвимой, а иногда несут угрозу самому существованию человека. «Ученые не вправе считать себя кучкой избранных, чуждых задачам практической жизни. Будучи членами великой семьи трудающихся, они должны быть озабочены тем, как используются их открытия» – считал французский физик Ф. Жолио-Кюри. Какова роль ученого в судьбе научного открытия?
4. Одного древнегреческого математика спросили о том, какую пользу приносит геометрия. Математик возмутился: как вы смеете требовать пользы от науки, ведь само по себе знание – это высшая ценность. В настоящее время происходит срастание исследований фундаментальных и прикладных. Двадцать лет назад группа исследователей науки в Германии выдвинула идею «финализации науки»¹ : с их точки зрения наука достигла таких пределов, что дальнейшее ее развитие подчиняется уже не внутринаучным импульсам и задачам, а обслуживанию тех социальных задач, которые общество перед наукой ставит. Возможно ли, что наука в виде фундаментального знания закончится?

¹ Наука. Технологии. Человек. Материалы «круглого стола» // Вопросы философии. 08.10.2015. [Электронный ресурс].

http://vphil.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1235

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 3 |
| ФИЦ ИПФ РАН СЕГОДНЯ | |
| ИПФ РАН сегодня | 10 |
| Глявин М.Ю. О новых поколениях и преемственности кадров и идей | 17 |
| Ермилин А.И. ИПФ РАН готовит ученых будущего | 19 |
| Рейман А.М. Экспертное мнение: наши дети делают работы на междуна- родном уровне | 21 |
| НАУЧНОЕ РУКОВОДСТВО КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ | |
| Терехина А.В. Мои ученикам | 27 |
| Лапин Н.И. Время. Что такое время?..... | 28 |
| Ермилин А.И., Ермилина Е.В. Цели и ценности учебно-исследовательской деятельности школьников..... | 30 |
| ФИЗИКА | |
| Баранова В.Н Исследование колебаний маятника в магнитном поле | 40 |
| Бесчастнов М.П. Исследование механизмов рассеяния радиоволн взаимо- взаимной водной поверхностью в лабораторных условиях | 44 |
| Грауман В.А. О некоторых решениях нелинейного уравнения Шредингера типа уединенных волн..... | 48 |
| Дмитричева А.А. Исследование проявления морских течений в сигнале ра- диолокатора | 51 |
| Ерухимова Н.В. Определение трехмерной структуры лазерного импульса, отражаемого объемным профилированным брэгговским зеркалом | 56 |
| Ефремова В.А. Исследование динамики уединенной волны (солитона) в экспериментальном канале | 61 |
| Золотых А.Н. Портативный электрокардиограф на базе операционных уси- лителей AD620ARZ | 66 |
| Казанцев Г.В. Исследование газовыделения материала Eccosorb для задач вакуумной криогенной техники | 70 |
| Ковалдов Д.А. Создание установки для генерации капель дождя, расчет ее характеристик и предполагаемое применение | 74 |
| Кочаровский Д.В. Исследование процессов наномодификации материалов .. | 80 |
| Краснокутский А.И. Разработка чувствительного элемента детектора нали- чия флуорофора в биоткани | 85 |
| Марьевичев Н.Е. Создание трехмерной модели захвата робототехнического комплекса и демонстрация его работы | 89 |

| | |
|---|-----|
| <i>Морозов С.С.</i> Исследование электролюминесценции гибридных лазерных структур на кремнии | 93 |
| <i>Розенталь С.Р.</i> Исследование временного сжатия лазерных импульсов при вынужденном рассеянии Мандельштама – Бриллюэна | 98 |
| <i>Санина А.А.</i> Исследование зависимости эффективности электрических вodonагревателей от их конструктивных характеристик | 104 |
| <i>Соколов И.С.</i> Эффективная молниезащита сооружений башенного типа .. | 109 |
| <i>Сорокина П.А.</i> Исследование возможности оценки глубины опухолевой инвазии при мультиспектральной терапии для контроля фотодинамической терапии (ФДТ) | 114 |
| <i>Тихонов М.Е.</i> Определение подъемной силы крыла различных профилей.. | 118 |
| <i>Хамылова А.Д.</i> Исследование эффекта полного внутреннего отражения в жидкостях | 123 |
| <i>Шагалов Н.А.</i> Создание модели ветрогенератора и применение ее в быту .. | 127 |
| <i>Шилова К.А.</i> Исследование зависимости характеристик рассеяния радиолокационного сигнала взволнованной водной поверхностью от скорости ветра в рамках лабораторного эксперимента | 131 |
| <i>Янников Е.И.</i> Пушка Гаусса..... | 135 |

АСТРОНОМИЯ

| | |
|--|-----|
| <i>Андреяновичева К.Д.</i> Обнаружение внесолнечных планет методом лучевых скоростей | 140 |
| <i>Базанов Д.А.</i> Расчет параметров звезды, имеющей систему землеподобных планет | 144 |
| <i>Коган С.А.</i> Исследование загрязнения атмосферы с помощью отраженного света Луны | 149 |
| <i>Штурмина М.С.</i> Измерение лучевой скорости темного облака L1544 через частоту энергетических переходов молекул метанола | 153 |

ХИМИЯ

| | |
|--|-----|
| <i>Гиричева М.А.</i> Синтез и молекулярная структура органических производных сурьмы и висмута с салициловой и ацетилсалициловой кислотами..... | 158 |
| <i>Дедов Д.А.</i> Влияние химического состава атмосферы на сопротивление прозрачных композитных металл-оксидных электродов..... | 164 |
| <i>Княжеский Д.А.</i> Исследование состава и различных характеристик клея ПВА и его компонентов | 169 |
| <i>Лившиц Г.Д.</i> Исследование термодинамических свойств сложного фосфата каркасной структуры $\text{Ba}_{1.5}\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ | 172 |
| <i>Муромцева Д.О.</i> Качественное обнаружение ионов калия и натрия в крови животных..... | 175 |

| | |
|--|-----|
| <i>Полонецкий Д.А.</i> Исследование деградации двухслойной пленки SiO_2 и TiO_2 , нанесенной на кристаллы KDP | 178 |
| <i>Попова М.С.</i> Влияние набухания на свойства полимерных материалов | 182 |
| <i>Сороколетова Н.А.</i> Многослойные пленки. Их оптическая и геометрическая толщина | 185 |
| <i>Трамбицкий А.В.</i> Таблица растворимости: прочерки и знаки вопроса | 187 |
| БИОФИЗИКА И БИОЛОГИЯ | |
| <i>Анисимова О.А.</i> Исследование роли пероксида водорода в развитии ответа клеток на фотодинамическое воздействие | 192 |
| <i>Архипов В.А.</i> Влияние свинца на рост и развитие пшеницы..... | 197 |
| <i>Баранова А.Н.</i> Противоишемическое действие CdEPO в раннем периоде острого инсульта в эксперименте | 201 |
| <i>Глявина А.М.</i> Разработка алгоритма оценки глубины опухолевой инвазии при мультиспектральных флуоресцентных исследованиях для фотодинамической терапии (ФДТ) | 205 |
| <i>Зорина М.Б.</i> Функциональное доминирование полуширий, пороги цветоразличения и особенности решения когнитивных задач профессиональными физиками-математиками, художниками и учащимися первого курса ФСН . | 209 |
| <i>Игнатьева Е.М.</i> Исследование возможности применения синтетической аминокислоты пропаргилглицин как флуоресцентной метки плесневых грибов ... | 216 |
| <i>Ильина П.Н.</i> Влияние салициловой кислоты на прорастание и рост злаковых и бобовых | 220 |
| <i>Ионова Н.А.</i> Йододефицит и успеваемость обучающихся | 224 |
| <i>Казнина Ю.В.</i> Биологическое разнообразие и динамика численности орнитофауны заволжской части Воротынского района Нижегородской области | 227 |
| ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА И МАТЕМАТИКА | |
| <i>Зубкова А.И.</i> Моделирование процесса колебаний неоднородной струны .. | 232 |
| <i>Савченков Н.В.</i> Исследование возможности применения ультразвукового датчика HC-SR04 для подсчета числа учащихся в школе | 237 |
| ОЧАРОВАНИЕ НАУКИ | |
| Удивительные научные явления вокруг нас | 242 |
| Юные исследователи и их наставники | 243 |
| НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ | |
| <i>Литвак А.Г.</i> Главное – интерес к науке! | 246 |
| ЛЕКЦИИ НИЖЕГОРОДСКИХ УЧЕНЫХ | |
| <i>Седов А.С.</i> Профессии будущего | 257 |
| <i>Широков Е.А.</i> Общие сведения о плазме. Антенны в плазме | 262 |
| Вопросы для размышления | 268 |

Научное издание

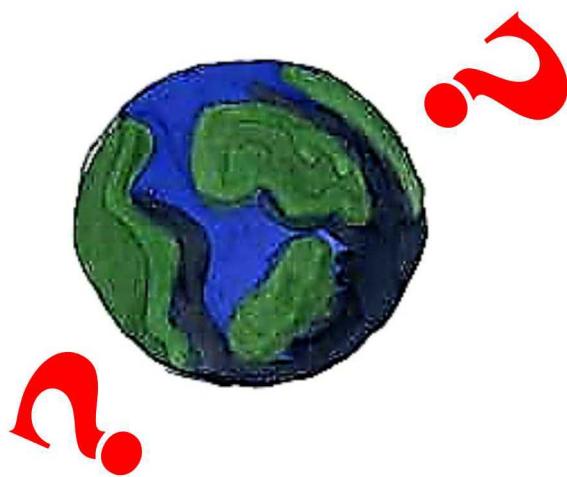
Школа юного исследователя

Сборник исследовательских работ учащихся

Выпуск 10

Подписано в печать 15.08.17. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 15,81. Тираж 500 экз. Заказ № 990.

Издание и печать «**Издательский салон**» ИП Гладкова О.В.
603022, Нижний Новгород, Окский съезд, 2, оф. 501
тел./факс: (831) 439-45-11; тел.: (831) 416-01-02



ISBN 978-5-93530-472-0

A standard linear barcode representing the ISBN 978-5-93530-472-0.

9 785935 304720