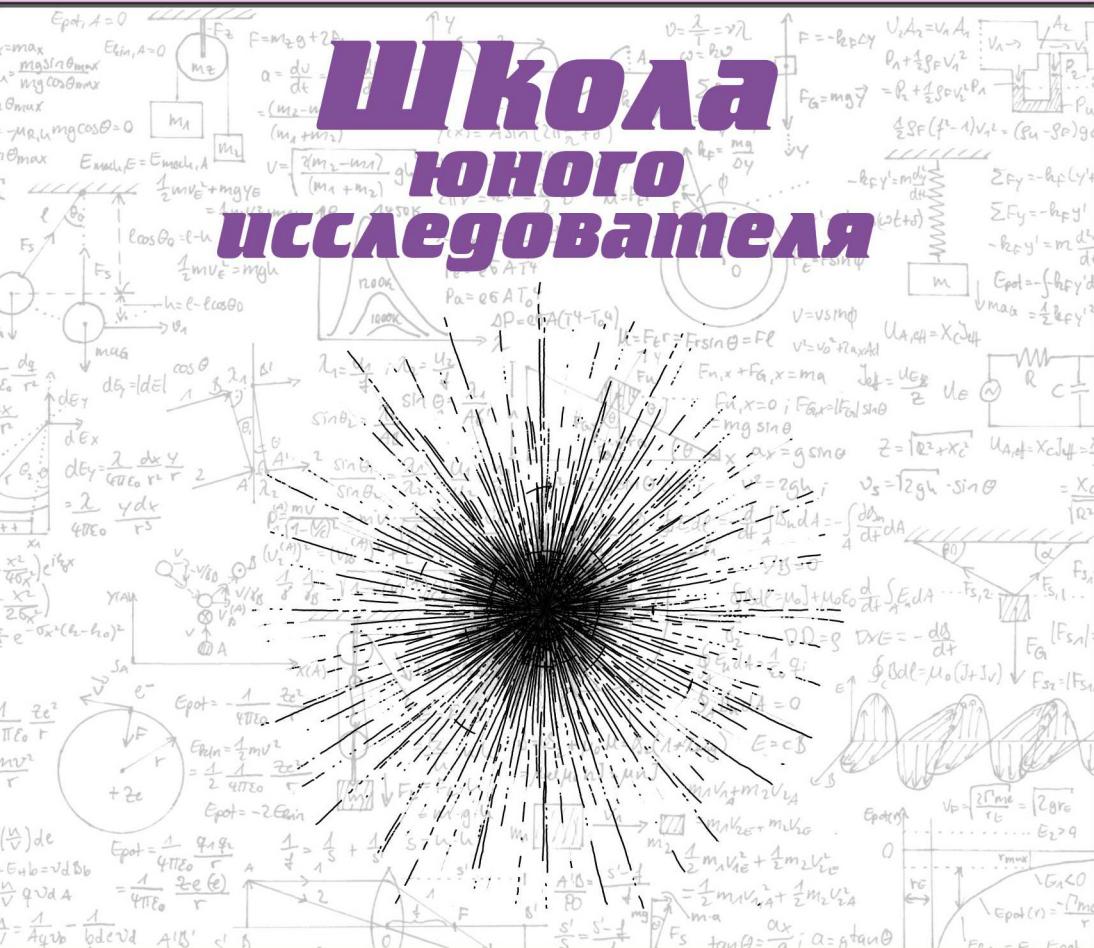


Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики РАН

ШКОЛА ЮНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЯ



Выпуск 11

Нижний Новгород
2018

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»

Филиал общероссийской просветительской организации «Российское
общество Знание» в Нижегородской области

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

Школа юного исследователя

Сборник
исследовательских работ учащихся

Выпуск 11

Нижний Новгород
2018

УДК 371
ББК 74.200я43
Ш 67

Ш 67 **Школа юного исследователя:** сборник исследовательских работ учащихся. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2018. – ISBN 978-5-93530-289-4.
Вып. 11 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной, ФГБНУ «ФИЦ ИПФ РАН». – 347 с.
ISBN 978-5-93530-477-5.

Под общевой редакцией
кандидата педагогических наук

A.I. Ермилина,
кандидата педагогических наук
E.V. Ермилиной

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

Р е ц е н з е н т ы :

Вдовин В.Ф., главный научный сотрудник ИПФ РАН, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доктор физико-математических наук,

Гуцин А.В., профессор ННГУ им. Н.И. Лобачевского, доктор химических наук

Яхно Т.А., ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, доктор биологических наук,

Рейман А.М., старший научный сотрудник ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук,

Лапин Н.И., доцент НГПУ им. К. Минина, заведующий научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария, кандидат физико-математических наук,

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

Р и с у н к и С. З. Зейналова



Проект реализован с использованием гранта Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества, предоставленного Фондом президентских грантов

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся – призеров XIII региональной естественнонаучной конференции «Школа юного исследователя», прошедшей в 2018 году в ИПФ РАН.

ISBN 978-5-93530-477-5 (Вып.11) © ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», 2018

© Оформление. Гладкова О.В., 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Процесс выбора жизненной стратегии, способа деятельности, ценностей науки, видов творчества является творчеством, а возможность выбора составляет основу человеческого существования. Юность – период на распутье, мы выбираем свой жизненный путь, определяем цели: какую выбрать профессию, куда пойти учиться, чему посвятить силы, время, стремления, каких людей взять в попутчики на выбранном пути. Молодой человек с еще не богатым жизненным опытом должен ответить на один из главных вопросов, сделать профессиональный выбор. Это сложный и ответственный шаг в жизни, поскольку все мы хотим, чтобы работа соответствовала нашим интересам и возможностям, приносила радость. Выпускникам школ приходится соизмерять субъективную ценность будущей специальности (что для меня значит эта профессия, насколько она мне интересна?) и ее доступность. Чем удачнее сделан выбор, тем интереснее, насыщеннее и успешней будет жизненный путь; чем раньше сделан выбор, тем больше времени останется на карьерный рост.

Ярко выраженные склонности у школьников встречаются редко. По нашим наблюдениям только 9% выпускников школ имеют четкое представление о своих способностях и делают осознанный выбор пути дальнейшего обучения. Считается традиционным, что девочки предпочитают работу с людьми и эстетическую деятельность, а мальчики – исследовательскую и производственную деятельность.

Школьники нередко выбирают «наукоемкие» сферы профессионального будущего. Десять лет назад предпочтаемыми профессиональными сферами у участников программы дополнительного научного образования «В мире знаний» ИПФ РАН были экономика, управление, исследовательская деятельность. Большинство профессий, выбранных подростками, находились на «верхних» этажах рынка труда того периода времени: «программист», «менеджер», «экономист», «юрист». Среди мотивов выбора профессии первое место занимал внутренний неосознанный мотив (хочу, нравится, интересно). На втором и третьем местах – внешние мотивы выбора профессии, характеризующиеся интересом подростков к материальным благам, которые предоставляет определенный вид деятельности (высокая заработная плата и престижность). Четвертое место занимали внутренние мотивы, указывающие на осознание своих способностей и наличие опыта в данном конкретном виде деятельности (я это могу). И на пятом месте был внутренний мотив пользы обществу (исследование 2007 – 2008 гг.).

Что изменилось за прошедшее десятилетие, ведь говорят, что сегодняшние подростки – «поколение Z» – другие, они родились уже в информационном мире, быстрее ориентируются и умеют находить нужную информацию, они мобильнее, но в то же время поверхностнее, менее критичны. Проведя вновь исследование профессионального выбора среди участников программы «В мире знаний», мы выяснили, что в настоящее время наиболее популярны у подростков профессии врача, программиста, ученого, причем в разных научных направлениях, художника, дизайнера. Популярные десять лет назад профессии юриста и экономиста выбирают не более 1 – 2 % подростков. Профессиональная деятельность была и продолжает оставаться для молодежи одной из главных жизненных ценностей, при этом школьники при выборе профессии ориентируются на престижные в обществе в данный момент виды деятельности.

Среди факторов, значимых при выборе профессии, подростки называют интересную работу, карьерный рост и размер заработной платы. Информацию о профессиях дети черпают в основном из средств массовой информации (телевидение и интернет). Значимым является мнение и пример близких людей, родителей, родственников, друзей. Следующим источником информации дети называют встречи и общение с представителями профессии (лекции, экскурсии).

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 Института прикладной физики РАН. 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 школьное образование, 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. Студенты бакалавриата факультета «Высшая школа общей и прикладной физики» (ВШОПФ) ННГУ им. Н.И. Лобачевского 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, 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 оказать 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).

Ориентируя школьников на определенную профессию, мы должны понимать, что пока мы осваиваем профессии юристов, экономистов, врачей и учителей, 3D-принтеры начинают печатать человеческие органы, а Великобритания инвестирует миллионы фунтов стерлингов в подготовку ассистентов и помощников для роботов. Мы должны быть готовы к тому, что в ближайшее время машины займут до 75% рабочих мест. Профессии будущего – новые и перспективные, о них следует задуматься уже сейчас. Как будет меняться рынок профессий, какие знания и навыки будут востребованы через 5 – 10 лет?

Уже сейчас в мире изменился 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 доступа в Интернет. Главной тенденцией в развитии современного общества является интернетизация всех сфер человеческой жизни, а профессия программиста становится все более востребованной. В науке актуальными становятся исследования на стыке двух и более наук. Новые технологии меняют деятельность и в таких традиционных профессиях, как врач, педагог, водитель и других. Помимо высокого уровня цифровой грамотности к специалистам предъявляются требования уметь организовывать работу команды, создавать и реализовывать проекты, работать с большими массивами информации, быть стрессоустойчивыми и уметь управлять рисками.

Мы предложили школьникам провести фестиваль профессий, которые они хотели бы получить в будущем. Участники конкурса представили десять профессий, они создавали пиар-кампании для выбранных специальностей, перевоплощались в их представителей и рассказывали слушателям об особенностях работы. В результате большинство голосов школьники отдали за профессию биоинженера, на втором месте специалисты по ландшафтному дизайну, и завершает тройку профессий победителей профессия киберспортсмена.

Детерминирующий компонент процесса выбора профессии – образ будущей профессии. Какой сегодня нам представляется профессия ученого, какими характеристиками она обладает, какие требования предъявляет к соискателям?

Оценивая преимущества профессии ученого, школьники отмечают такие характеристики профессии, как интересная работа, интересный и разносторонний коллектив, сравнительно небольшая зароботная плата, чувство уникальности и элитарности.

«Ученый – это человек, который в чем-то почти уверен» – так характеризовал ученого французский писатель и драматург Ж. Ренар. При всем разнообразии элементов, составляющих структуру науки, она имеет общую направленность – выявление области «возможного», что становится смыслом жизни людей, связавших с ней жизнь. В науку приходят новые поколения, с новыми представлениями, иным стилем жизни. Меняется ли суть профессии? Остаются ли страсть, идеи, труд, отмеченные М. Вебером как необходимые качества ученого, непреходящие ценными для современной науки?

Ученые обладают изрядной свободой в выборе объектов и методов исследований, возможностями профессионального и карьерного роста. Здесь поощряют самостоятельное мышление молодых сотрудников, а в научных лабораториях, университетах и международных сообществах царит практически пушкинский дух товарищества, вдохновляющий на то, чтобы внести свой вклад в науку. Обязательным условием успешной работы ученого является увлеченностю своей работой. Великому итальянскому художнику и ученому, изобретателю Леонардо да Винчи принадлежат слова: «Так же, как поглощение пищи без удовольствия превращается в скучное питание, так занятие наукой без страсти засоряет память, которая становится неспособной усваивать то, что она поглощает». 95% рабочего времени ученого – это упорный и монотонный труд и, только получив достоверные результаты, исследователь получает шанс насладиться пусть небольшим, но все же открытием. Непосредственное участие в научных открытиях, пусть даже очень скром-

ных, представляет собой колоссальный опыт и дает возможность понять, оценить и ощутить причастность к происходящему в науке.

Наука – интернациональная деятельность, ученых из разных стран и культур объединяет страсть к открытиям и поиску истины. Они преодолевают политические, религиозные, языковые барьеры, общаясь друг с другом на языке науки. Международное сотрудничество в науке основано на общности интересов, и только затем на официальном партнерстве. Научная работа дает ощущение молодости, поскольку исследованиями занимаются преимущественно молодые люди: студенты, аспиранты, молодые ученые, а профессора выступают в роли консультантов, учителей, наставников, экспертов, руководителей.

В то же время свобода научного творчества, возможность направлять собственные исследования в выбранном направлении требуют инициативы, умения принимать решения и отвечать за их последствия. Работа ученого требует постоянного совершенствования личных навыков, поскольку спектр стоящих перед исследователем задач непрерывно меняется. Во-первых, это непрерывное самообучение. Во-вторых, как правило, чисто научной работой деятельность ученого не ограничивается: ученые ведут преподавание, работают в промышленности, в различных экспертных комиссиях. Научная работа требует неограниченного времени, ученые чаще всего трудоголики, они работают утром, днем и вечером, в рабочие дни и по выходным.

Научные учреждения испытывают постоянную потребность в новых талантливых кадрах. Школы, вузы, научные институты ищут новые модели дополнительного научного образования школьников, но нередко эта деятельность ограничивается расширением или обогащением содержания школьных предметов или уровневой дифференциацией их изучения. Выбор профессии ученого для школьников осложняется не только высокими требованиями к интеллектуальным способностям учащихся, но и неявностью характеристик данной деятельности. Если с представителями других профессий и формами осуществления их профессиональной деятельности дети сталкиваются в процессе мироисследования (учитель, врач, строитель), то профессия ученого остается для них загадочной. Что происходит за стенами научного учреждения? Какие специалисты там работают? Как организована их работа и в чем она заключается? На эти вопросы школьники могут получить ответы лишь в процессе непосредственного общения с учеными. Очевидна необходимость развития дополнительного научного образования школьников, которое позволит вовлечь в исследовательскую деятельность новые поколение подростков.

Уникальной региональной молодежной научной площадкой для обсуждения результатов и организации исследовательской деятельности учащихся является организованная на базе Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики РАН» естественнонаучная исследовательская конференция «Школа юного исследователя» с участием ведущих российских ученых. Конференция стимулирует школьников на активную и самостоятельную интеллектуальную деятельность, дает возможность предъявить результат своей работы, способствует развитию умения вести дискуссию.

В 2018 году состоялась XIII региональная естественнонаучная конференция «Школа юного исследователя». Ее участниками стали школьники и их научные руководители, ученые, педагоги школ, студенты педагогических специальностей. В рамках конференции был проведен конкурс учебно-исследовательских работ школьников и творческий конкурс рисунка и фотографии «Очарование науки». Конференция собрала участников из 47 населенных пунктов Нижегородской области, давно выйдя за рамки региона. В течение двух дней юные исследователи из Нижнего Новгорода, Нальчика, Чебоксар, Владимира, Омска, Элиста и других городов нашей страны выступали с устными и стендовыми докладами в секциях физики, астрономии и астрофизики, биологии и биофизики, химии, прикладной информатики и математики, в технической секции. Научное жюри конференции, объединившее ученых Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики РАН», ННГУ им. Н.И. Лобачевского, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Института металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева (ИМХ РАН), Приволжского исследовательского медицинского университета (ПИМУ), ННГАСУ заслушали 152 доклада участников очного тура конференции.

На выставке «Очарование науки», которая стала финалом творческого конкурса, были представлены работы 63 авторов, среди которых были дети и взрослые, профессионалы и любители. Художественным языком рисунка и фотографии участники конкурса рассказали о науке и занимающихся ей людях. В финале конкурса были представлены 16 рисунков и 75 фотографий, посвященных удивительным научным фактам, научным явлениям вокруг нас, юным исследователям и их наставникам; а также научно-техническому творчеству, произведениям инженерно-технического творчества и технологическим объектам, в которых были использованы научные разработки.

Интересным событием конференции стали встречи участников с молодыми учеными – аспирантами ИПФ РАН, которые рассказали ре-

бятам о своей профессии и показали, как работают современные учёные, какие научные проблемы они решают, на каком оборудовании и в каких коллективах трудятся. Темами встреч стали: «Дистанционное зондирование океана», «Электрические процессы в атмосфере Земли», «Методы непрямой лазерной хирургии», «Лазеры и лазерные системы, нелинейные оптические элементы для сверхмощных лазерных систем», «Эксперимент в мощной вакуумной СВЧ электронике» и другие.

Педагоги, молодые учёные, студенты педагогических специальностей обсудили организацию учебно-исследовательской деятельности школьников, обменивались опытом, педагогическими находками и темами для учебных исследований, искали пути и возможности сотрудничества в реализации исследовательских работ школьников. Они стали не только слушателями конференции, но и членами педагогического жюри стендовой сессии исследовательского конкурса, а также членами общественного жюри творческого конкурса «Очарование науки». Темой педагогической секции стала «Учебно-исследовательская и проектная деятельность школьников в контексте обновления содержания общего образования». Модератором секции выступил гость конференции, заведующий лабораторией анализа состояния и перспектив развития образования Российской академии образования, кандидат педагогических наук Э.Р. Баграмян.

В программе конференции были встречи с учёными, экскурсии в лаборатории исследовательского института и Нижегородский планетарий. Два насыщенных событиями дня объединили учёных, педагогов, школьников и родителей, исследователей и художников. Авторами данного сборника стали учёные и юные исследователи, выпускники научного объединения «Школа юного исследователя» и педагоги. В сборнике представлены работы призеров конференции.

Знакомство с биографиями учёных и исследователей показывает, что основы их профессионального пути в большинстве случаев сформировались еще в детские годы. Вот и в нашем сборнике мы знакомим читателей с человеком, чей профессиональный путь со школьных лет оказался связан с Институтом прикладной физики РАН. Д.С. Железнов – кандидат физико-математических наук, заместитель директора ИПФ РАН. Он прошел весь путь подготовки учёного, опыт которого за многие годы сложился в ИПФ РАН в стройную систему: детский летний лагерь с профильными исследовательскими сменами и физико-математической школой, факультет ВШ ОПФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, студенты которого учатся на базе и под руководством учёных

ИПФ РАН, аспирантура, работа в исследовательской лаборатории института, защита кандидатской диссертации. Дмитрий Сергеевич – лектор и педагог научного объединения «Школа юного исследователя», научный руководитель исследовательских работ школьника.

Научному объединению «Школа юного исследователя» ИПФ РАН исполнилось в 2018 году 13 лет. Наши выпускники – студенты и аспиранты, молодые ученые и организаторы начинают активную профессиональную жизнь. С одним из выпускников «Школы юного исследователя», избравшим для себя редкую и интересную профессию геофизика, Сергеем Зайцевым мы знакомим читателей на страницах сборника.

Наука быстро и мощно развивается, и самые неожиданные и значимые открытия часто возникают там, где встречаются различные научные направления, где происходит обмен взглядами, методами, подходами к решению проблемы учеными разных научных областей. Одна из таких областей – геофизика. Разговор об открытиях «на стыке наук» мы продолжили, знакомя читателей с еще одной новой научной областью – биофизикой. О том, что и как изучает наука, объединившая физику и биологию, рассказывает Л.А. Катичева, научный сотрудник лаборатории электрофизиологии растений ИБМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, кандидат биологических наук.

У молодых людей взгляд в силу их возраста направлен в будущее, туда, где они видят возможности для самореализации, раскрытия своего потенциала, возможность стать профессионалом в выбранной области, возможность признания, успеха. Неслучайно, что для юных исследователей особый интерес представляют встречи с молодыми учеными, работающими над совершенно новыми темами, где только начинаются исследования. В научном объединении «Школа юного исследователя» в предверии нового 2018 года состоялась встреча с нижегородской, а ныне научным сотрудником СЗГМУ им. И.И. Мечникова, кандидатом биологических наук А.А. Айзенштадт. На страницах сборника мы публикуем лекцию А. Айзенштадт, вызвавшую дискуссию среди наших юных физиков, химиков и биологов, о клеточных процессах, лежащих в основе создания новых лекарств.

Благодарим всех участников конференции, юных авторов и учених, научных руководителей исследовательских работ школьников и педагогов, студентов, аспирантов за увлеченность исследованиями, дух творчества и сотрудничества, которым были насыщены эти весенние дни в стенах Института прикладной физики.

А.И. Ермилин, Е.В. Ермилина

Научное руководство как исследовательская деятельность



Уровневая модель дополнительного научного образования школьников



Ермилин Александр Игоревич
заведующий отделом ИПФ РАН,
кандидат педагогических наук



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

Готовность современных школьников к научному творчеству определена не только возрастными изменениями, имеющими закономерный характер, но и содержанием школьных дисциплин. На данную готовность может существенно влиять научно-образовательное пространство исследовательского института и сообщество ученых. Характер образования, получаемого школьниками в данных условиях, будет определяться такими специфическими системообразующими чертами дополнительного образования, как свободное самоопределение детей, деятельностный характер образования и дифференцированный, индивидуально ориентированный процесс обучения. А содержание образования подчиняется идее развития исследовательских способностей школьников, которые определяются как личностные свойства и способности.

В становлении целостной структуры познавательных способностей определяющую роль играют образование (объем усвоенных знаний, общий уровень информации) и учение, понимаемое как деятельность по усвоению знаний, умений и навыков.

При традиционном подходе образовательный процесс понимается как «совокупный», то есть целенаправленный процесс обучения и воспитания, проектируемый и организуемый педагогическим коллективом для передачи школьникам определенного уровня знаний, умений, навыков в конкретных предметных областях. При этом формирование ЗУНов выступает приоритетной задачей обучения, а формирование ценностей – основной целью воспитания личности. При таком подходе содержание образования составляет область предметного знания. Для ученика образовательный процесс – усвое-

ние определенной области знаний под руководством педагога, а для педагога образовательный процесс – передача содержания образования ученикам и контроль его усвоения. Показателем результативности обучения является уровень знаний, умений и навыков ребенка в конкретной предметной области. Образовательный результат выступает как совокупность обученности и воспитанности, причем «совокупный» подход сводится к «учебно-предметному», когда воспитательный результат «растворяется» в предметных ЗУНах.

Основой компетентностного подхода является интегрированный результат овладения содержанием образования, который выражается в готовности использовать усвоенные знания, умения, навыки, а также способы деятельности в конкретных жизненных ситуациях для решения практических и теоретических задач. Компетенция (от лат. *competencia*) – круг вопросов, в которых человек хорошо осведомлен, обладает знаниями и опытом.

Компетенции не противопоставляются ЗУНам, они шире понятий «знания», «умения» или «навыки». Принципиальное отличие заключается в том, что ЗУНЫ направлены на процесс, а компетенции – на результат. Компетенция ориентирована на оценку конкурентоспособности выпускника, его готовности и умения успешно «встраиваться» в хозяйствственные структуры, быть эффективным и востребованным на рынке труда. Эта позиция знаменует сдвиг от сугубо академических норм оценки качества образования к внешним оценкам – профессиональной и социальной подготовленности выпускников к условиям рынка.

Компетенция является интегральным результатом взаимодействия соответствующих компонентов:

- 1) мотивационного (заинтересованность в данном виде деятельности, наличие личностных смыслов решать конкретную задачу);
- 2) целевого (умение определять личные цели, составлять личные проекты и планы, осознанно конструировать конкретные действия и поступки, обеспечивающие достижение желаемого результата);
- 3) ориентационного (осознание общей основы деятельности, знание о реальных объектах, учет имеющихся опыта, знаний, умений, навыков, способов деятельности, психологических особенностей);
- 4) функционального – способность использовать знания, умения, способы деятельности и информационную грамотность как основу для формирования собственных возможных вариантов действия, принятия решений, применение новых форм взаимодействия;

5) контрольного (наличие четких измерителей процесса и результатов деятельности, закрепление правильных способов деятельности);

6) оценочного (способность к самоанализу, адекватная самооценка, оценка конкретного знания, его необходимости для собственной деятельности, а также метода его получения или использования).

Компетентность ученика как целостное новообразование трудно диагностируема в условиях образования, поскольку включает личностные и рефлексивные компоненты и проявляется непосредственно в деятельности. Поэтому в образовательной практике в качестве результата образования диагностируются лишь отдельные элементы компетентности, чаще всего представленные все теми же ЗУНами.

В отличие от школьного обучения, где под образовательным процессом понимается целенаправленно организуемый педагогическим коллективом единый процесс обучения и воспитания, в дополнительном образовании главной характеристикой образовательного процесса является система целенаправленных педагогических взаимодействий, направленных на выявление и развитие потенциала личности ребенка. Содержание образования определяется как «совокупность сфер деятельности ребенка, в которые педагог целенаправленно включает ученика с целью его обучения, воспитания, развития, социальной адаптации и автономизации» [2, с. 14], а образовательный процесс – как «целенаправленное систематическое взаимодействие педагога с детьми, выстроенное в определенных организационных формах, направленное на развитие различных сторон личности». Комплексный подход к образовательному процессу означает, что воспитательные задачи не только осознаются, но и реализуются через предлагаемое детям содержание образования, методы педагогического взаимодействия со школьниками, образцы поведения и общения педагогов с учениками. При таком подходе содержание образования рассматривается не как совокупность областей предметного знания, а как сочетание различных сфер жизнедеятельности ребенка.

Учитывая комплексный характер процесса дополнительного научного образования, при определении его содержания необходимо ориентироваться не только на предметные и специальные исследовательские знания, умения и навыки, как показатель обученности, но и на формирование социального опыта ребенка в научно-исследовательской деятельности. Практико-ориентированный характер дополнительного образования диктует преобладание в образова-

тельном процессе практической работы и высокую практическую значимость для школьников осваиваемого ими содержания.

Дополнительное образование возмещает отсутствующее начало в школьном научном образовании, не добавляя или расширяя предметное содержание. При реализации идеи изучения основ наук в школьной программе произошел переизбыток содержания образования. «Большинство исследователей видели выход в смене подходов, в частности, «знаниевый» подход был заменен развивающим. «Разбухание» содержания образования, обусловленное ориентацией на доминирование гуманистических основ (внедрения предметов гуманитарной направленности), разрешили путем вывода из стен общеобразовательной школы определенной части содержания образования (специальные школы, система дополнительного образования и дополнительных услуг). Появилась тенденция профилизации школ, главный принцип которой – ориентация на доминирование конкретного сегмента содержания образования (в зависимости от профиля), причем все остальное является дополнительным, а, значит, и необязательным. Так, для «физиков» главное – наука или естественнонаучное знание, для «лириков» – искусство или гуманитарное знание и т.д.» [1, с. 25].

Содержанием научного образования в логике «глубинной дополнительности» является единство гуманитарных, естественнонаучных и культурологических сегментов содержания образования. При отборе содержания научного образования школьников учитываются три фактора: социальный, индивидуальный и педагогический. Единство личностного и социального в содержании образования определяет ту необходимую гармонию, при которой конкретный ученик, опираясь на свою индивидуальную сущность, реализуется в выполнении им выбранных познавательных, исследовательских, поисковых функций.

Определяя содержание дополнительного научного образования необходимо ориентироваться на специфические черты деятельности учреждения дополнительного образования:

- дополнение, компенсирование отсутствующих в общеобразовательной школе областей знаний;
- ориентация содержания на приобретение ребенком социального опыта;
- практико-ориентированный характер образования;
- сочетание в содержании образования различных видов деятельности, возможность их чередования, самостоятельность выбора ребенком направлений и видов деятельности;

- разноуровневость, вариативность и дифференцированность содержания.

Принципы отбора содержания образования:

- значимость и полезность, то есть содержание должно быть значимо не только в плане будущей профессии, но и служить для самоопределения ребенка в обществе, влиять на его мировоззрение и общую культуру;
- доступность и адресность, то есть содержание должно быть отобрано таким образом, чтобы разные дети могли быть успешными в образовательном процессе, в разных видах деятельности.

Результатом образовательного процесса является образованность как способность адекватно решать различные жизненные задачи. Выделяют три уровня образованности: элементарная грамотность, функциональная грамотность и компетентность.

Совет Европы (1996) представил компоненты образованности как компетенции, которые должны быть сформированы у культурного человека. Данные показатели можно считать целями образования и параметрами оценки его эффективности в формировании общей культуры личности и образованности. Из них для дополнительного научного образования школьников важны:

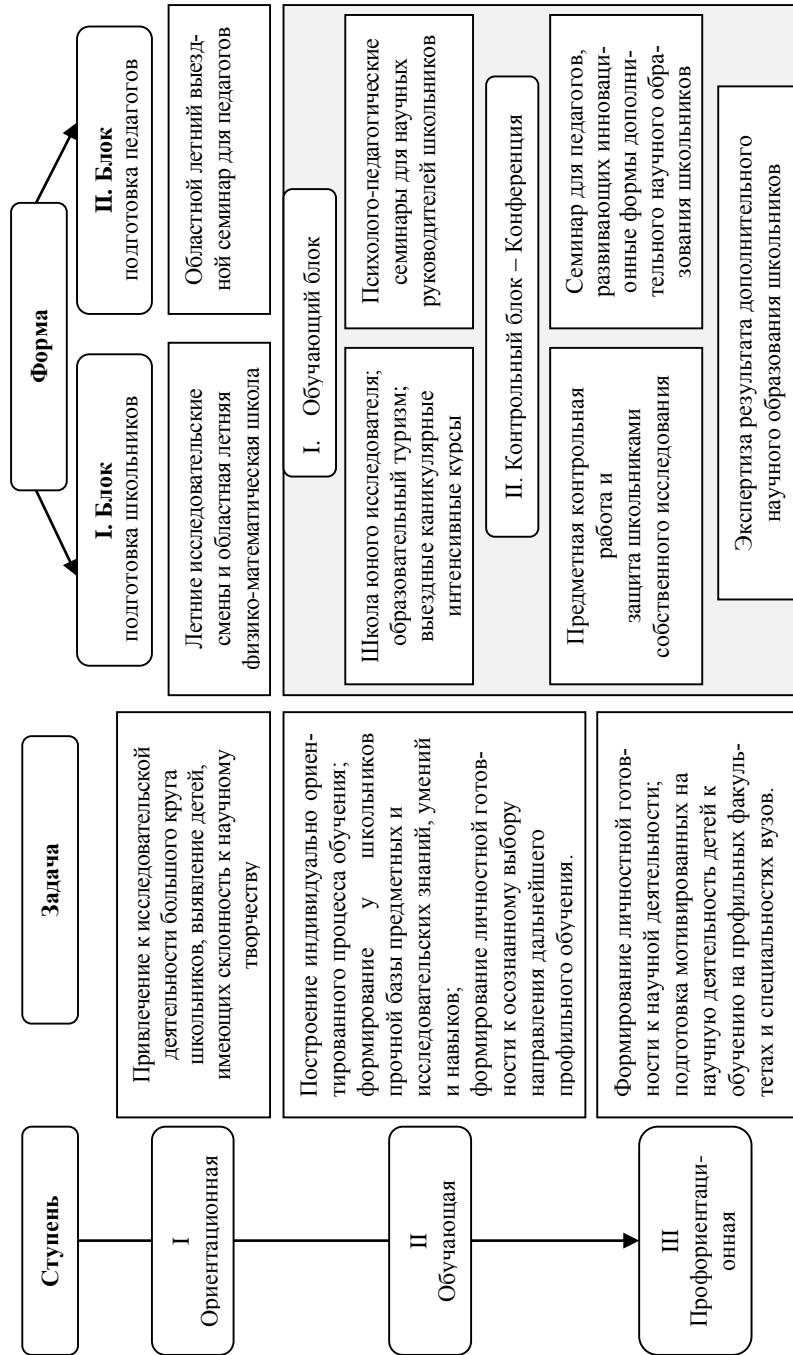
- компетенции, реализующие способность и желание учиться на протяжении всей жизни, развитая самокритичность, адекватная самооценка, развитый познавательный интерес;
- владение информационными технологиями: способность работать с различными источниками информации, критически относиться к получаемой информации и проверять ее достоверность, владение интернетом и т.д.;
- владение письменным и устным общением: культура речи, широкий кругозор, богатый словарный запас, способность к интеллектуальной творческой деятельности.

Чем выше уровень образованности, тем больше у человека потребности в самовыражении и саморазвитии. Следовательно, содержание дополнительного научного образования должно включать кроме знаний, умений и навыков в определенной образовательной области и социального опыта в научно-исследовательской деятельности, овладение школьниками способами решения мировоззренческих, коммуникативных и профессиональных задач. Таким образом, необходимо учитывать весь потенциал содержания образования: развивающий, воспитательный и формирующий мировоззрение.

Таблица 1 – Уровневая модель дополнительного научного образования школьников

| Этап | Уровень образования | Уровень образованности | Содержание образования | Способы освоения содержания | Показатель |
|--------------------|---|----------------------------|---|--|---|
| I. Понятийный | ознакомительно-ориентационный | элементарная грамотность | начальный уровень | занимательный уровень с целью увлечь ребенка | способность ориентироваться в пределахаемой деятельности, выполнять основные действия, владеть элементарными нормами и технологиями |
| II. Познавательный | предметно-практический, тренировочный | функциональная грамотность | базовый уровень – необходимое содержание для овладения видом деятельности | репродуктивно-практический уровень | овладение базовыми знаниями, способность самостоятельно заниматься деятельностью по образцу, вносить внес авторский компонент |
| III. Академический | допрофессиональной и начальной профессио-нальной подготовки | компетентность | уровень углубленного изучения; уровень расширенного образования, где базовые знания и умения включаются в другие области знания и разнообразные виды деятельности | креативный уровень, в основе которого эвристические, исследовательские, экспериментальные методы освоения содержания | расширенное и углубленное представление об области знания и сфере деятельности, способность решать задачи исследовательскими способами, ориентированность на ценности научной деятельности, готовность к продуктивной творческой и оценочной деятельности, к осознанному выбору профессии |

Таблица 2 – Функционально-организационная модель дополнительного научного образования школьников



Выделение в дополнительном научном образовании школьников уровней позволяет реализовать функциональный подход к определению содержания и построению образовательного процесса.

Уровень в содержательно-организационном плане понимается нами как ступень в логике организации образовательного процесса, соответствующая этапу реализации дополнительного научного образования школьников (понятийный, познавательный и академический уровни). Понятийному уровню в содержательном плане соответствует начальный – уровень элементарной грамотности. Познавательному – базовый – уровень функциональной грамотности.

Академический уровень можно подразделить на две ступени: углубленный – уровень исследовательской компетентности и расширенный – уровень образованности как уровень общей культуры личности, научной компетентности, адекватный возрасту и социальному опыту. Каждый уровень включает в себя сферу специальных знаний и умений, сферу межпредметных знаний (кругозор), сферу мотивации и направленности личности, сферу творческой активности и самостоятельной деятельности, сферу отношений и коммуникаций.

Измерительно-оценочный уровень – интегративная характеристика качества деятельности и ее результатов. При этом можно рассматривать уровень организации деятельности, уровни образовательного процесса и результатов.

Таким образом, функционально-уровневый подход к образованию позволяет сделать процесс образования личностно-ориентированным и дифференцированным, обеспечить гибкость и вариативность содержания образования, а также способов образовательной деятельности.

Результатом дополнительного научного образования должно стать достижение школьниками уровня образованности, описанного следующей идеальной моделью:

1. Информационно-интеллектуальная готовность:
 - опыт исследовательской деятельности, полученный посредством обучения, деятельности, восприятия;
 - знания, умения и навыки в области научного творчества и исследовательской деятельности;
 - познавательная активность и устойчивый познавательный интерес;
 - теоретичность и научный стиль мышления.
2. Ценностно-мотивационный (мировоззренческий) потенциал:

- потребность в собственном развитии, стремление к достижению высоких результатов в научном творчестве, хорошо выраженная и осознаваемая потребность в достижениях;
- понимание и принятие ценностей научного знания и исследовательская позиция в отношении к действительности (явлениям и событиям);
- позитивное отношение к образу науки, научной картине мира и профессии ученого.

3. Практическая готовность:

- умение проектировать, конструировать, предвидеть результаты будущей деятельности;
- умение использовать приемы самоорганизации в деятельности;
- владение комплексом умений и навыков для сотрудничества, коммуникации, совместной деятельности;
- умение видеть и объяснять на языке науки скрытые противоречия явлений и фактов.

При этом актуальными становятся задачи определения уровня образованности школьника как важнейшего внутреннего условия для саморазвития личности и отслеживание динамики ее развития. Для этого необходима разработка стандарта обученности, диагностика на момент прихода школьника в программу и последующий мониторинг его развития.

Обученность – это интегративная характеристика знаний, умений и навыков школьников, отражающая степень овладения ими определенной областью знаний и деятельности. Освоение содержания образования выражается в способности применять знания на практике. Исходя из этого обученность определяется нами как совокупность теоретических представлений (информированность) и способность школьника самостоятельно выполнять исследования.

Процесс создания проекта образовательной программы секции или лаборатории в рамках дополнительного научного образования школьников с учетом разнородных компонентов научного знания и познавательных возможностей детей требует:

- определить предметную область проектируемой научно-познавательной деятельности – очертить круг объектов, вовлекаемых в познавательную деятельность; создать перечень понятий, проблем и методов, с помощью которых объекты будут изучаться;
- сформулировать закономерности, которые должны быть усвоены в рамках научного кружка;

- сформулировать общие положения, на которые будет опираться образовательная программа;
- сформулировать перечень заданий, выполнение которых будет выступать критериями развития теоретического (научного) мышления и способности применять знания на практике;
- разработать стандарт обученности, который выступит комплексным параметром оценки обученности школьников, то есть описать содержание обучения на каждой образовательной ступени и совокупность показателей овладения детьми содержанием.

Стандарт строится по темам или тематическим блокам, поскольку умения лишь подтверждают практическое применение знаний. В каждой теме указываются: перечень конкретной информации, которую должен освоить школьник и показатели освоения; перечень умений, которые школьник должен продемонстрировать, то есть владение методами, операциями, технологиями, алгоритмами, техниками.

Стандарт разрабатывается для каждой ступени обучения. Стандарт последнего года обучения является показателем овладения школьниками программой в целом. При этом стандарт может выступать тестом на обученность при первичной диагностике ребенка и в ходе учебного процесса, поскольку разные дети осваивают материал в различном темпе. Сравнение уровня школьника со стандартом обученности позволяет дифференцированно работать с каждым учеником, выявляя его потребности и склонности.

В дополнительном образовании выделяют следующие требования к стандарту обученности [2, с. 60]: адекватность возрасту, то есть доступность содержания образования для учеников; дифференциация показателей обученности в зависимости от контингента; соответствие современным научным взглядам на содержание образования и нормативам дополнительного образования. «В плане стандартов и оценки обученности очень показателен спорт, где в качестве стандартов выступают спортивные нормативы, а в качестве оценок – спортивные разряды и звания, каждый из которых соответствует определенному нормативу, но при этом особое внимание уделяется именно качеству исполнения норматива» [2, с. 63].

Разрабатывая шкалу уровня обученности, мы исходили из того, что она:

- вводится не для сравнения школьников между собой, а для выявления динамики развития каждого ребенка – позитивных изменений в знаниях, умениях, отношениях;

- должна позволять давать итоговую оценку результатов, но и текущий мониторинг, то есть служить оценочным инструментом для каждой организационной формы образовательного процесса;
- должна быть содержательно емкой, достаточно гибкой, и объективно реальной, то есть построенной на основаниях, которые можно наблюдать и фиксировать.

Уровневая шкала оценки освоения содержания дополнительного научного образования предполагает:

- высокий уровень – полное освоение содержания образования;
- выше среднего – достаточная активность и самостоятельность при освоении содержания дополнительного научного образования;
- средний – освоение содержания дополнительного научного образования на уровне репродукции, незначительная активность и самостоятельность;
- ниже среднего – уровень освоения ведущих видов деятельности и способов, заниженный уровень активности и самостоятельности;
- низкий – не освоение основных способов, понятий.

Данная шкала демонстрирует:

- изначальную разноуровневость школьников, то есть гибкое проектирование образовательного процесса и результата;
- желаемый образовательный результат – уровень образованности 1-го и 2-го уровней освоения содержания образования;
- стандарт дополнительного научного образования.

Уровень освоения содержания дополнительного научного образования включает когнитивный, мотивационный, рефлексивный и операциональный компоненты. Каждый из них может быть оценен по данной шкале соответственно уровню. При этом дополнительное научное образование не предполагает комплексного одновременного формирования всех компонентов готовности школьников к научной деятельности. Данное развитие не линейно и индивидуально. На каждой ступени дополнительного научного образования детьми могут достигаться результаты разного уровня. Личностно-ориентированное образование предполагает разработку и реализацию индивидуального образовательного маршрута для каждого ребенка. Поэтому программа дополнительного научного образования школьников должна быть открытой, то есть должна предусматривать возможность участия в каждом этапе неоднократно, по индивидуальному плану и в индивидуальном режиме. Лишь освоив полностью содержание образования на одном уровне, ребенок может перейти на другой уровень. Школьник

может неоднократно участвовать в летних исследовательских сменах детского лагеря, которые являются ознакомительным этапом в освоении содержания дополнительного научного образования. И лишь овладев теоретическими и экспериментальными основами научного поиска, он может перейти на следующий этап. Для тех, кто уже находится на более высоком уровне освоения программы, возвращение на ознакомительный этап помогает расширить кругозор, дает возможность знакомства и освоения новых областей знания, поиска интересующей тематики исследования. Такой подход позволяет не только учить неравномерность овладения школьниками различными компонентами готовности к научной деятельности на разных ступенях образования, но и дает возможность начала дополнительного научного образования в разные периоды школьного обучения в зависимости от возможностей, способностей и имеющейся подготовки.

Резюме

В дополнительном образовании главной характеристикой образовательного процесса является система целенаправленных педагогических взаимодействий, направленных на выявление и развитие потенциала личности ребенка. Содержание образования рассматривается как сочетание различных сфер жизнедеятельности ребенка. Поэтому в дополнительном образовании может быть реализован компетентностный подход, предполагающий интегрированный результат овладения содержанием образования, выраженный в готовности использовать усвоенные знания, умения, навыки, а также способы деятельности в конкретных жизненных ситуациях.

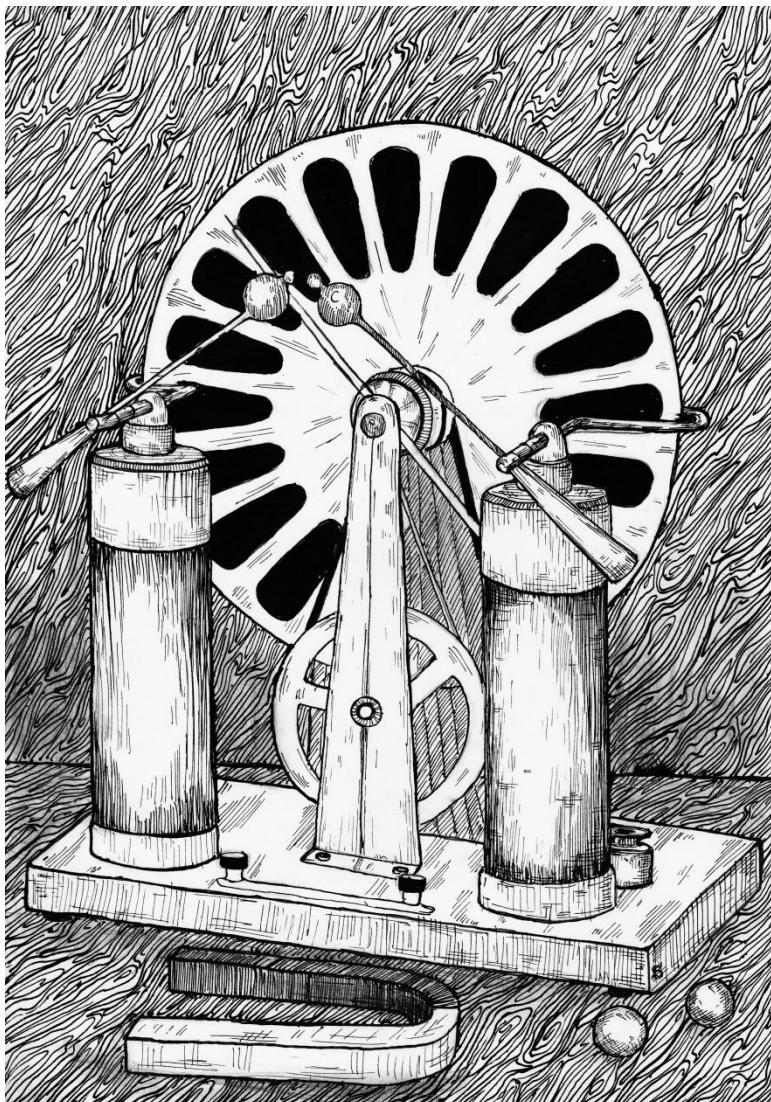
В дополнительном образовании ступени обучения и уровни образованности школьников не имеют линейной зависимости, так как дифференциация образовательного процесса изначально предполагает разноуровневость образования. При этом уровни образования могут быть представлены как индивидуальные образовательные маршруты различной степени сложности и могут реализовываться одновременно, что предполагает наличие на всех ступенях образования содержания, соответствующего разным уровням образованности школьников в соответствии с контингентом детей.

Отсюда следует, что программа дополнительного научного образования школьников должна быть открытой, то есть должна предусматривать возможность прохождения каждого этапа неоднократно, по индивидуальному плану и в индивидуальном режиме.

Литература

1. Железнякова О.М. Феномен дополнительности в научно-педагогическом знании / Автореферат диссертации доктора пед. наук. 13.00.01. Ульяновский гос. пед. университет им. И.Н. Ульянова 23.12.2008. – Ульяновск, 2008. – 41 с.
2. Ильина Т.В. Мониторинг образовательных результатов в учреждениях дополнительного образования детей. В 2-х частях. Т. I. – Ярославль, 2000. – 76 с.

Физика



Создание высокоточных низкотемпературных термометров и исследование их свойств

Архипов Артем Сергеевич

10 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.В. Благодаткин,
инженер лаборатории криогенной
nanoэлектроники НГТУ им. Р.Е. Алексеева



В работе рассмотрен и создан наиболее простой в производстве шаблон и изготовлен высокоточный низкотемпературный термометр, который не уступает в точности измерений более дорогим аналогам. С помощью него удалось измерить температуру в криостате Triton 200.

Существует великое множество различных по строению и устройству высокоточных низкотемпературных термометров, но в большинстве своем они либо не обладают приемлемыми характеристиками, либо неоправданно дорогостоящие из-за высокой себестоимости материалов производства. В нашей работе мы создали наиболее простой в производстве шаблон и изготовили высокоточный низкотемпературный термометр, который не уступает в точности измерений более дорогим аналогам.

Задачи исследования: разработка технологического маршрута и получение готовых образцов термометров на SIN-переходах, освоение расчетно-измерительной аппаратуры НИЦ КН. Методы: проведение фотолитографии, напыление микросхем путем электронно-лучевого напыления, измерение полученных образцов в криостате замкнутого цикла Triton 200.

Принцип работы высокоточных низкотемпературных термометров основан на использовании вольтамперных характеристик электрического тока, пропускаемого через SIN-переходы термометра, которые имеют свойство меняться при изменении температуры окружающей среды, следствием чего становится изменение температуры проводника.

Мостик из SIN-переходов представляет собой отдельные островки, соединяющиеся проводником (рис. 1).

Алгоритм измерений заклю-

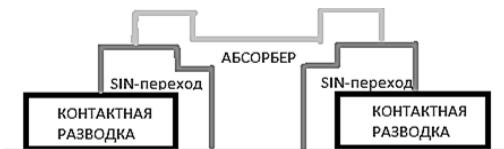


Рис. 1. Мостик из SIN-переходов

чается в пропускании через SIN-переходы электрического тока и фиксировании значения напряжения и силы тока, записывании значения в программу, которая высчитывает точную температуру.

Проведя модификацию схемы термометра (рис. 2), мы приступили к подготовке подложки. После очистки подложки в УЗ ванне в изопропиловом спирте в течение четырех минут, в центрифуге нанесли фоторезист и включили на 1 минуту при скорости 4000 об/мин. Затем запекли фоторезист на плитке с термоконтролем при температуре 100°C 1,5 минуты и засветили его на фотолитографе 6 сек., после чего засвечивали еще 14 сек. без трафарета, так как резист реверсивный. Верхний слой фоторезиста сгравили в кислородной плазме в плазменной печи.

Закрепили подложку на держателе в установке электронно-лучевого напыления и откачали воздух из камеры с подложкой. После чего напылили трехслойную металлическую пленку (хром-3нМ, затем медь-12нМ, затем опять хром-3нМ) при скоростях напыления соответственно 0,3; 0,5; 0,3 \AA/sec .

Для напыления второго слоя повторили процедуру очистки подложки, нанесения и запекания фоторезиста. Под микроскопом, установленном на фотолитографе, совместили фотошаблон нового слоя с ранее напыленным первым слоем, чтобы не было разрывов дорожек и смещений мостиков.

Затем сформировали SIN-переход. Напылили 14 нм алюминия при скорости 0,5 \AA , после чего окислили алюминий в шлазовой камере при давлении 22 мм.рт.ст. в течение 30 сек. (формирование слоя изолятора), и напылили 60 нм меди (нормальный металл) при скорости 1 \AA , а затем 3 нм хрома при скорости 0,3 \AA (адгезивный подслой для абсорбера).

Для подготовки подложки под напыление третьего слоя (абсорбера) вновь повторили процедуру очистки, нанесения и запекания фоторезиста, затем совместили на фотолитографе образец и фотошаблон. После засветки снова запекли образец и засветили на фотолитографе для «обращения» фоторезиста. Далее проявили рисунок

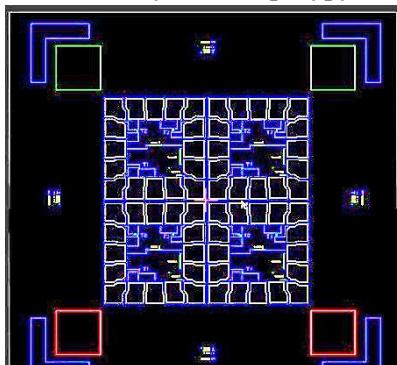


Рис. 2. Схема термометра

в проявителе в течение 52 сек, опустили его в деионизованную воду для остановки реакции и просушили в центрифуге. На установке плазменного травления с травили верхний слой фоторезиста, а затем на установке электронно-лучевого напыления напылили трехслойный абсорбер (5 нм хром, 150 нм медь, 3 нм хром).

Для подключения образец термометра был помещен в держатель, контакт с измерительным стендом осуществлялся в держателе при помощи подпружиненных контактов – погопинов, так же возможен вариант разварки контактов образца к держателю золотой проволокой на установке ультразвуковой сварки. Термометр имеет четыре контакта, измерение ВАХ термометра производится четырехзондовым методом. На два контакта подается ток, с двух других контактов снимается напряжение. Держатель с образцом был помещен в криостат на 10 мК и подключен к разъему криостата. Разъем имеет выход на измерительный стенд, представленный системой PXI 6733 и программным пакетом Irtecon.

Методика эксперимента. Образец, помещенный в держатель подвергался излучению «черного тела», представляющего собой медную воронку с нанесенным внутри конуса чернотельным покрытием. Чернотельный излучатель имеет два резистора для нагрева и термометр для контроля температуры. Мы изменяли температуру нагрева «черного тела» и смотрели на изменения ВАХ термометра при температуре плиты криостата 300 мК.

Как видно из графика (рис. 3), при изменении температуры чернотельного излучателя, изменяется ширина ВАХ. При повышении температуры «черного тела» ВАХ начал сужаться. Данные представительны и свидетельствуют о том, что термометр работает. Для калибровки термометра мы изменяли температуру плиты криостата от 10 до 300 мК и следили за изменениями ВАХ. Можно поднять температуру выше, но возникают технические трудности нагрева плиты, так как встроенный программный интегрально-дифференциальный контроллер температуры на высоких температурах не обладает необходимой точностью установки температуры.

Вывод

В ходе проделанной работы мы создали рабочий образец высокоточного низкотемпературного термометра, проверили и подтвердили его работоспособность. Изменения температуры фиксировались по изменению ширины ВАХ. Далее термометр необходимо откалибровать по Lake Shore термометрам,

установленным внутри криостата. А затем проверили его показания в различных диапазонах температур.

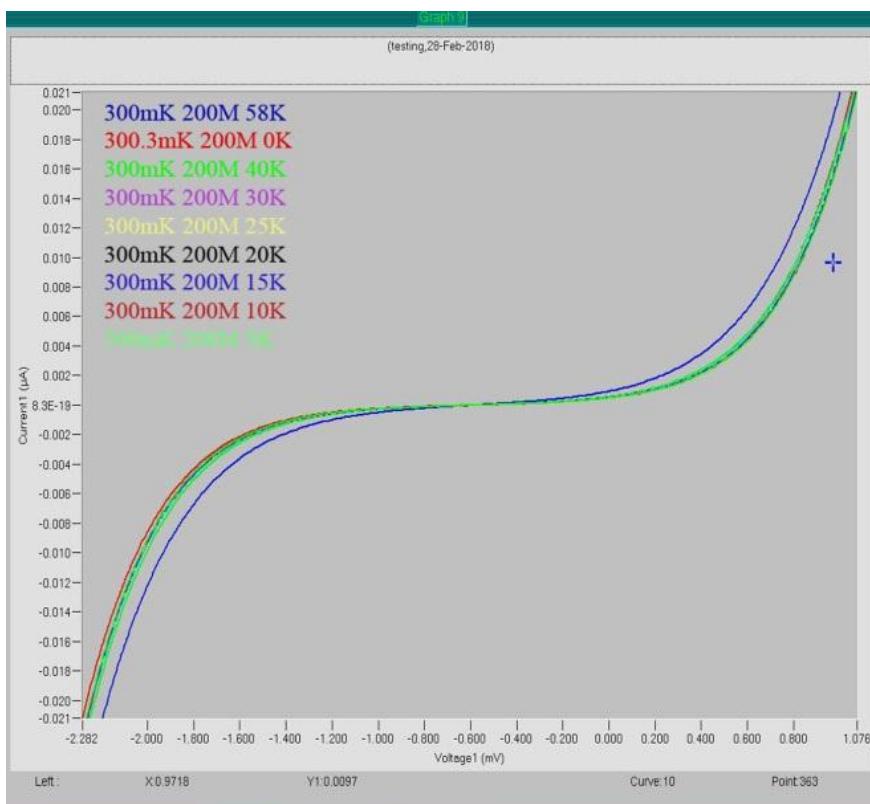


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика термометра при облучении нагретым «черным» телом

Литература

1. Буккель В. Сверхпроводимость: Основы и приложения. – М.: Мир, 1975. – 370 с.
2. Гинзбург В.Л. О науке, о себе и о других. – М.: Физматлит, 2004. – 544 с.
3. Гинзбург В.Л. О сверхпроводимости и сверхтекучести. Автобиография. – М.: Физматлит, 2006. – 224 с.

Устройство для гомогенизации лазерного излучения

Булгатова Юлия Дмитриевна

10 класс, Лицей № 40, ШКОИ ИПФ РАН

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



В настоящее время активно развиваются приложения лазерного излучения в медицине и физике светочувствительных материалов. Для лучевых терапий в косметологии, стоматологии и лечении рака, а также для процессов лазерного структурирования материалов важно применение света одинаковой интенсивности, поскольку требуется строго дозированное воздействие на протяжении определенного времени. Чаще всего генерируемое лазером или дошедшее до облучаемого объекта излучение имеет неоднородное распределение интенсивности. В работе мы создали устройство на основе массива микронарников, позволяющее гомогенизировать лазерный пучок. Тесты работоспособности доказали, что благодаря использованию данного устройства, возникает требуемый эффект. Сканирование фотодиодом показало, что мы получаем более ровное распределение интенсивности, чем у существующих аналогов, с меньшими потерями лазерной энергии.

В последние годы активно развиваются приложения лазерного излучения в медицине (в косметологии, стоматологии, лечении рака [1]) и физике новых светочувствительных материалов [2]. В случаях лучевой терапии или процессов модификации важно, чтобы всюду использовался свет однородной интенсивности, поскольку только строго дозированное воздействие на протяжении определенного времени приводит к требующемуся в медицине результату. Очень часто генерируемое лазерами или дошедшее до облучаемого объекта излучение имеет неоднородное распределение интенсивности (рис. 1). Для лазерной техники это связано с тем, что при распространении света возможны aberrации в оптических элементах, возникновение спеклов. Для одинакового дозированного облучения материалов необходимо создать устройство, преобразующее имеющееся излучение с областями высокой яркости в требуемое с однородным распределением интенсивности. На мировом рынке существуют аналоги данного устройства, продаваемые на коммерческой основе, преобразующие излучение за счет рассеяния или за счет создания массива микролинз. Аналоги первого типа (матовые пластины) хоть и создают однородное распределение интенсивности, но достаточно боль-

шую часть излучения поглощают или рассеивают в стороны, поэтому теряется часть лазерной энергии. Аналоги второго типа достаточно дороги в производстве, так как требуют точного изготовления микролинз, а также создания структуры из них в пространстве. В нашей работе для создания однородного распределения интенсивности в качестве аналога микролинз были использованы микрошарики.

Однако в силу их небольшого фокусного расстояния полученный световой поток слишком быстро расходился. Для решения проблемы была выдвинута гипотеза о необходимости увеличения фокусного расстояния микрошариков. Как известно, фокусное расстояние линзы зависит не только от радиусов кривизны поверхностей, но и от соотношения показателей преломления линзы и окружающей среды. Для изменения последней характеристики была применена идея иммерсионной жидкости, то есть слой из упорядоченных стеклянных шариков (с показателем преломления $n=1.5$) помещался частично или полностью в жидкость. Для вычисления фокусного расстояния микрошарика в различных средах (рис. 2) была выведена формула:

$$f_2 = \frac{R(2-n)}{2(n-1)}, \text{ где } n - \text{ относительный показатель преломления } (n = \frac{n_{\text{material}}}{n_{\text{medium}}}). \text{ Микрошарик с показателем преломления 1.5 рассматривался как система из двух тонких линз.}$$

В ходе исследования было обнаружено, что табличные значения показателей преломления различных сред отличаются от реальных. Это зависит от сорта используемых материалов, наличия примесей, температуры окружающего воздуха и т.д. Поэтому для подбора иммерсион-



Рис. 1. Структура луча лазера, используемого для процессов модификации полимерных сред

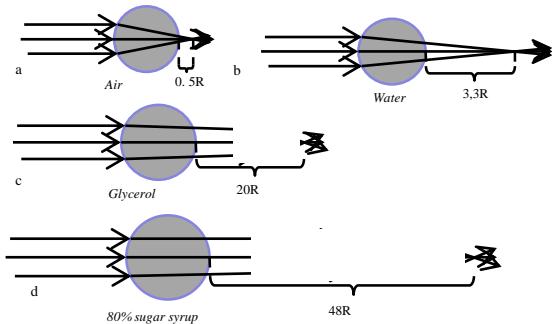


Рис. 2. Изменение хода лучей и точки фокусировки при погружении шариков в иммерсионную жидкость: а – в воздухе, б – в воде, в – в глицерине, д – в 80% сахарном растворе

ной жидкости был реализован метод определения показателя преломления при помощи клина. Была изготовлена кювета клинообразной формы, в которую и помещалась исследуемая жидкость. Показатель преломления воды совпал с табличным значением (1,33), для следующих сред: глицерин – 1,46; силиконовый клей – 1,42; 80%-ный сахарный сироп – 1,49. Исходя из полученных результатов, были изготовлены прототипы на базе модельных шариков, где в качестве среды использовались вода, глицерин и 80%-ный сахарный раствор. Был создан также образец без иммерсионной жидкости.

Исследование показало, что необходимо использовать идею иммерсионной жидкости, при этом оптимальной средой (из представленных)

является глицерин, так как он стабилен при разных температурах и не образует осадка в отличие от сахарного раствора, при этом обладая близким показателем преломления к показателю преломления микрошариков.

Для подтверждения работоспособности устройства исходный пучок видоизменялся путем установки диафрагм различного профиля. Тест работоспособности устройства

на базе модельных шариков (рис. 3) показал, что при перекрытии части луча ширмой и диафрагмой происходит уменьшение общего фона в области перекрытия лучей, прошедших через шарики, при этом видно перемещение диафрагмы в области падения лучей, прошедших мимо шариков.

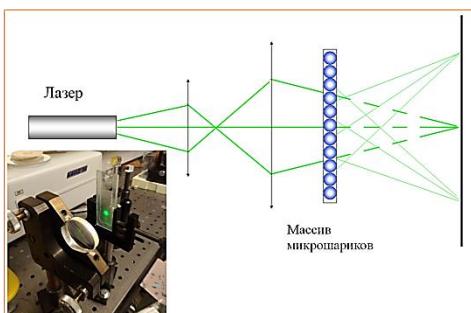
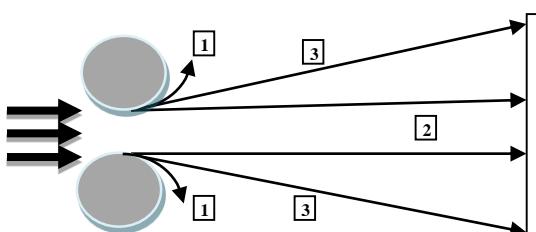


Рис. 3. Схема работы прототипа устройства по гомогенизации лазерного излучения и фотография части установки



- 1 – избыточная дифракция (размеры шариков слишком малы)
- 2 – дифракция практически отсутствует (слишком большие шарики)
- 3 – необходимая дифракция

Рис. 4. Эффект дифракции лучей, прошедших вне шариков, для различного размера шариков

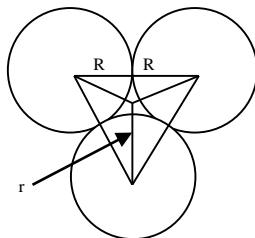


Рис. 5. Определение характерного масштаба промежутка между шариками (r)

Чтобы оптимизировать размеры шариков, была предложена теоретическая модель, учитывающая фокусировку света в микрошариках и дифракцию прошедшего излучения (рис. 4). Дифракция оценивалась по наибольшему характерному размеру области между шариками (рис.5) как дифракция гауссова пучка. Дифракционная длина (характерная длина расходности лазерных лучей) оценивается как

$$z_d = \frac{r^2}{\lambda}, \text{ где } \lambda - \text{длина волны излучения, возь-}$$

мем для оценок для излучения зеленого цвета 532 нм. Для шариков размером 300 мкм характерная дифракционная длина составляет несколько миллиметров. Тогда для предполагаемого рабочего расстояния 20 см лучи, прошедшие вне шариков, успеют разойтись так, что не будут создавать яркие области засветки.

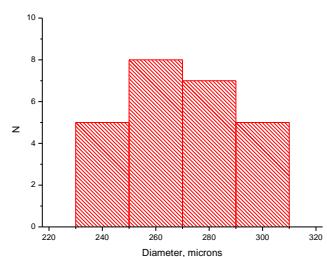
С целью повышения работоспособности устройства мы провели сортировку микрошариков по размеру (рис. 6) и форме.



а – устройство для сортировки микрошариков по размеру



б – отсортированные микрошарики



в – график распределения микрошариков по размеру

Рис. 6. Сортировка микрошариков

Использование жидкостей допустимо только для лазеров небольшой мощности, так как жидкость может начать кипеть или испаряться. Поэтому мы заменили их твердой средой с аналогичными оптическими свойствами. Мы использовали массив микрошариков размером 300 микрон, погруженных в силиконовый клей (по теоретической оценке такой прототип пригоден для лазеров мощностью 3 – 6 Вт).

После производилось сканирование полученного пучка фотодиодом с малым диаметром (рис. 9). Также было произведено сканирование лазерного пучка без диффузора (рис.

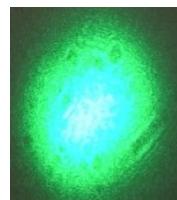


Рис. 7.
Лазерный
пучок

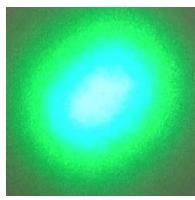


Рис. 8. Лазерный
пучок, прошедший
через матовую
пластину



Рис. 9. Лазерный
пучок,
прошедший через
наше устройство

7) и с матовой пластиной (рис. 8). Для калибровки лазера использовался линейный измеритель мощности (рис. 10).

Как показано на графиках (рис. 11 – 13), нам удалось получить достаточно ровное распределение интенсивности, при этом потери лазерной энергии оказались меньше, чем в случае с матовой пластиной. Таким образом, мы доказали эффективность полученного устройства.

В итоге мы получили массив микрошариков, погруженных в твердую среду которые позволяют преобразовывать излучение в необходимое. Таким образом, представленное устройство оказалось достаточно эффективным и недорогим, а также простым в изготовлении. Прототип в таком исполнении пригоден для лазеров высокой мощности, например, хирургических.

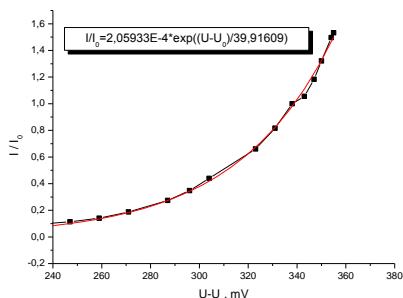
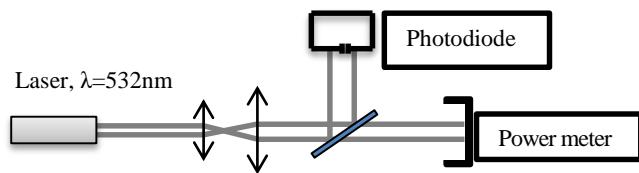


Рис. 10. Калибровка фотодиода

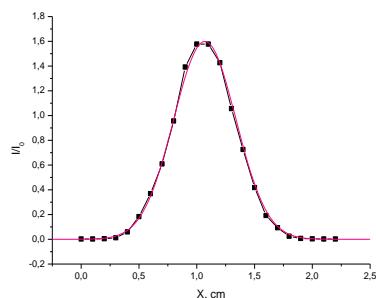


Рис. 11. Сканирование профиля лазерного пучка фотодиодом

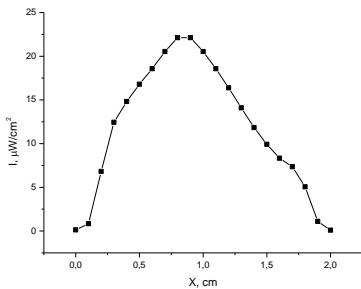


Рис. 12. Сканирование лазерного пучка, прошедшего через матовую пластину

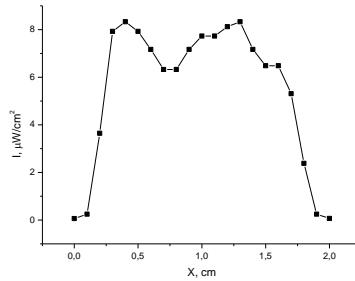


Рис. 13. Сканирование лазерного пучка, прошедшего через массив микрошариков

Литература

1. Серебряков В.А. Лазерные технологии в медицине: Опорный конспект лекций по курсу – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 266 с.
2. Bityurin N., Alexandrov A., Afanasiev A., Agareva N., Pikulin A., Sapogova N., Soustov L., Salomatina E., Gorshkova E., Tsverova N., Smirnova L. Photoinduced nanocomposites – creation, modification, linear and nonlinear optical properties // Applied Physics, 2013, v. 112. P. 135 –138.
2. Роуз Г., Герберт С. Физика. – М.: Просвещение, 1994. – 576 с.
3. Holographic UV Diffusers [Электронный ресурс] // Edmund Optics: сайт. URL: <https://www.edmundoptics.com/optics/windows-diffusers/optical-diffusers/holographic-uv-diffusers/>

Лазерный эллипсометр Сенармона для исследования механических напряжений в оптически прозрачных материалах

Бульдин Илья Дмитриевич

10 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

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



Работа посвящена созданию прибора для измерения оптической анизотропии в стеклах и полимерных пленок, которая возникает в них за счет механических напряжений при производстве или эксплуатации. Была изучена литература по теме «Поляризация света», и по полученным данным и данным об известном приборе для измерения величины двойного лучепреломления полярископа был собран лазерный вариант оптического прибора для измерения эллиптичности света – лазерный эллипсометр Сенармона, обладающий повышенной чувствительностью и удобством в работе.

В настоящее время оптически прозрачные материалы в виде полимеров и стекол широко используются в промышленности и быту. Оказалось, что такие материалы обладают интересными оптическими свойствами. При появлении в них механических напряжений возникает оптическая анизотропия, проявляющаяся в том, что при прохождении через них линейно поляризованного света свет становится эллиптически поляризованным. В случае полимерных пленок эффект можно использовать для создания дешевых фазовых анизотропных элементов для исследовательских целей, а в случае стекол – для измерения в них механических напряжений.

Цель работы – создание доступного и полезного для широкой практики прибора для исследования механических напряжений в изделиях из оптически прозрачных материалов. Прибор должен обладать высокой чувствительностью и удобством при работе с различными объектами. А также быть доступен для измерения методами поляризационной оптики механических напряжений в различных оптически прозрачных изделиях с использованием лазеров с различной длиной волны и волоконных световодов.

В работе был проверен вариант такого эллипсометра, в котором в качестве источника поляризованного излучения использовался дис-

плейный экран смартфона на длинах волн 450 – 480 нм (синий цвет), 620 – 780 нм (красный цвет) и 510 – 550 нм (зеленый цвет).

Прибор был собран в вертикальном варианте (рис. 1).

В основании прибора располагался массивный подвижный и съемный элемент с креплением для источника лазерного излучения или смартфона. В нашем приборе использовался источник линейно поляризованного света, поэтому мы не используем поляризатор, находившийся под исследуемым объектом, как это было в полярископе-поляриметре ПКС-54.

Над источником света (рис. 2) располагалась рассеивающая монохроматический свет линза для более удобной работы, а над ней элемент с изотропным стеклом с находящимся на нем объектом исследования. Нужный объект можно привести во вращательное круговое движение с измерением угла поворота с помощью угломерного устройства с нониусом.

Для подбора различного рода методов измерений к прибору на отдельном крепеже добавлялся съемный блок с закрепленным в нем фазовым анизотропным элементом – пластинкой $\lambda/4$. Пластина используется для превращения эллиптичности света в свет линейной поляризации, азимут (угол поворота) которой численно равен величине эллиптичности, равной отношению малого диаметра эллипса к большому. Далее поворот угла поляризации можно измерять с помощью вращающегося анализатора (поляризатора), встроенного в угломерное устройство с нониусом. Устройство позволяет измерять углы с точностью до десятых долей градуса. В этом состоит идея Сенермона.



Рис. 1. Фотография прибора

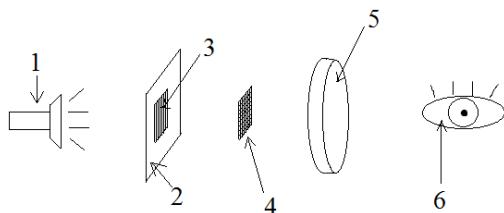


Рис. 2. Схема установки
1 – источник света, 2 – элемент с изотропным стеклом, 3 – объект исследования, 4 – съемный блок с закрепленным в нем фазовым анизотропным элементом (пластиинкой $\lambda/4$), 5 – вращающийся анализатор (поляризатор), 6 – приемник света

Завершающим элементом является приемник света. В качестве него может быть использован и человеческий глаз, но самым практическим вариантом является фотометр, так как с его использованием исчезает субъективная погрешность измерений.

Собранный установкой оказалась очень удобной для измерения оптических величин методами поляризационной оптики практической, недорогостоящей и довольно точной (для длины волны 620 – 780 нм, $\alpha = 42,3^\circ \pm 1,5^\circ$) (табл. 1).

Таблица. Измерение угла вращения плоскости поляризации при длине волны 620 – 780 нм на примере одной полимерной пленки

| Цвет красный, длина волны: 620 – 780 нм | | |
|---|----------------------|------------------------|
| № Опыта | Измерения α_2 | Отклонение от среднего |
| 1 | 44,2° | 1,9° |
| 2 | 40,5° | -1,8° |
| 3 | 44° | 1,7° |
| 4 | 39,9° | -2,4° |
| 5 | 42,9° | 0,6° |
| 6 | 44,4° | 2,1° |
| 7 | 41° | -1,3° |
| 8 | 41,9° | -0,4° |
| 9 | 42,5° | 0,2° |
| 10 | 42,1° | -0,2° |

В перспективе исследование зависимости разности фаз от механического напряжения в оптически прозрачных материалах на различных длинах волн.

Литература

1. Годжаев Н.М. Оптика. – М.: Высшая школа, 1977. – 432 с.
2. Жевандров Н.Д. Поляризация света. – М.: Наука, 1969. – 190 с.
3. Путилов К.А., Фабрикант В.А. Курс физики. Т. III. Оптика, атомная физика, ядерная физика. – М.: ГИ ФМЛ, 1963. – 634 с.
4. Ушаков О.К., Чайка Н.Ф., Шлишевский В.Б. Оптические методы и приборы для научных исследований. Ч. 2. Интерференционные и поляризационные приборы: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 58 с.

Применение интерферометра Жамена-Лебедева для обнаружения мест аномального поглощения в не- линейно-оптическом элементе KDP

Быстров Сергей Александрович

10 класс, Лицей № 82, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.О. Климин,
старший лаборант-исследователь ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Исследованы оптические свойства двух срезов оптического элемента KDP при нагревании каждой отдельной точки этих срезов. Для этого была собрана установка: интерферометр Жамена-Лебедева, а также связанные с ним высокочастотный нагревающий лазер, прерыватель, фотодиоды и подключенный к компьютеру синхронный детектор. Была выведена формула, связывающая перемещение исследуемого образца (перемещение было произведено с помощью микроскопической подвижки) с координатой точки пересечения нагревающего лазера и плеча интерферометра относительно передней грани кристалла. Справедливость этой формулы была проверена экспериментально на стекле с известным показателем преломления. Построены две 2D-карты, отражающие зависимость распределения амплитуды полученного сигнала от перемещения элемента KDP.

В настоящее время усилия многих ученых направлены на реализацию в промышленных масштабах реакций управляемого термоядерного синтеза, с помощью которых человек сможет получать огромную энергию из достаточно легких изотопов. Для осуществления термоядерных реакций предполагается использование высокointенсивного лазерного излучения, для управления и преобразования которого применяются кристаллы KDP (дигидрофосфат калия).

Эти нелинейные оптические элементы могут иметь неоднородную структуру и посторонние включения, например, примеси железа, способные избыточно поглощать лазерное излучение, что приводит к преждевременному нагреванию и дальнейшему разрушению кристалла. На данный момент отсутствуют способы обнаружения подобных аномалий в оптических элементах до непосредственного разрушения кристалла. Возможно, что один из способов обнаружения таких аномалий заключается в применении интерферометра Жамена-Лебедева.

Для проверки этого предположения нужно получить с использованием интерферометра 2D-карту распределения областей аномального поглощения нелинейного оптического элемента KDP.

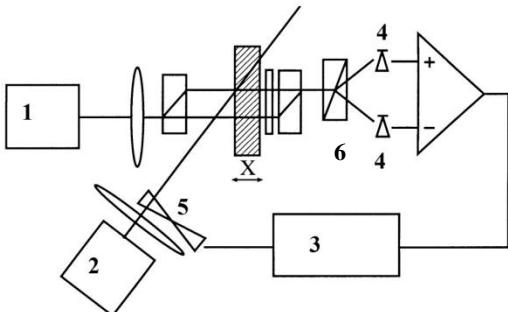


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

1 – источник непрерывного лазерного излучения на длине волны 635 нм (красная область спектра) мощностью 10 мВт;

2 – источник импульсного лазерного излучения с частотой 1 кГц на длинах волн 1054 нм, 527 нм и 351 нм со средней мощностью 80 мВт на длине волны 1054 нм;

3 – синхронный детектор stanford research systems sr830; 4 – фотодиоды ФДК-24;

5 – прерыватель; 6 – призма Рошона

из диодов максимальен, а на другом минимальен.

Излучение с трехцветного лазера необходимо сфокусировать в точку таким образом, чтобы фокус находился в одном из плеч интерферометра Жамена-Лебедева. Перемещая точку фокуса внутри образца, можно получить распределение амплитуды отклика накачки по всему объекту. Излучение накачки должно быть смоделировано с помощью прерывателя. Согласно схеме, сигналы с двух диодов подаются на синхронный детектор, после чего мы получаем информацию о зависимости амплитуды полученного сигнала от перемещения исследуемого образца при облучении лазером (2). Перемещение изучаемого элемента осуществляется с помощью микрометрической подвижки с шагом, равным 1 мм.

Погрешность измерений с учетом применения синхронного детектора составляет 5% при использовании времени накопления 3 с и использовании двух фильтров.

Учет преломления нагревающего излучения в среде. Из-за преломления нагревающего луча происходит смещение точки фокуса. Для описания данного процесса было выведено уравнение, связывающее перемещение τ и координату x относительно передней грани

Схема установки, включающей в себя ПИЖЛ (поляризационный интерферометр Жамена-Лебедева), представлена на рисунке 1.

Излучение на длине волны 635 нм используется для обнаружения изменения показателя преломления в каждой области исследуемого элемента. Проходя через элементы интерферометра, оно падает сразу на поляризационный расщепитель – призму Рошона (6) (рис. 1). В скомпенсированном ПИЖЛ полученный сигнал на одном

кристалла: $x = \tau \frac{-2 \sin \alpha + \operatorname{tg} \alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha}$, где α – угол падения

нагревающего луча относительно нормали к плоскости грани кристалла, а n – показатель преломления исследуемого образца. Для проверки уравнения был поставлен эксперимент со стеклом, имеющим известные размеры и показатель преломления, равный 1,5, и с известным углом падения нагревающего луча, равным 45° . В результате опыта была получена зависимость амплитуды полученного на диодах сигнала от перемещения. Независимо от опыта был выведен частный случай выше-

указанного уравнения: $x = \frac{100}{53} \tau$ ($x \approx 1,89\tau$), справедливость которого бы-

ла доказана его применением к результатам эксперимента.

Построение 2D-карт. На основании имеющихся данных были построены две 2D-карты для двух параллельных срезов кристалла KDP, отражающих зависимость амплитуды полученного сигнала от перемещения кристалла (рис. 2). На них фиолетовому цвету соответствуют значения амплитуд 600 – 800 мкВ, зеленому 400 – 600 мкВ, красному 200 – 400 мкВ, а синему 200 мкВ и менее; цена деления по горизонтали и по вертикали равна 1 мм.

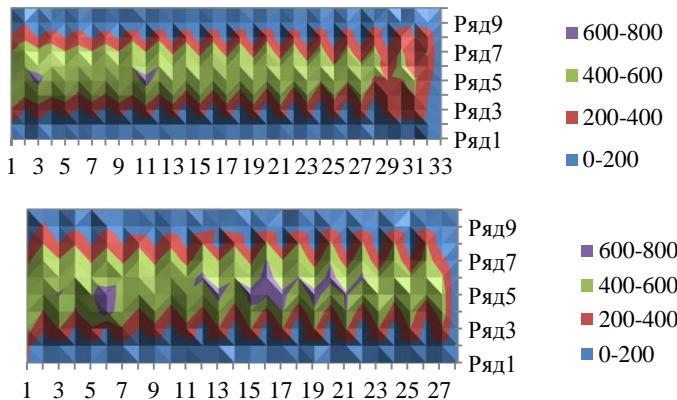


Рис. 2. 2D-карта распределения амплитуды полученного сигнала в зависимости от перемещения элемента

Выход

В результате работы были получены две 2D-карты, отражающие зависимость амплитуды полученного сигнала от перемещения ис-

следуемого элемента. Проведя эксперимент для оставшихся срезов кристалла и получив аналогичные 2D-карты, мы можем с помощью полученной формулы преобразовать эти карты в модели зависимости амплитуды сигнала от положения в кристалле и получить распределение зон аномального поглощения в кристалле KDP, что дает представление о внутренней структуре образца.

Для оценки практической значимости работы необходимо провести эксперименты по определению порога пробоя оптического элемента на аномальных участках кристалла.

Однако для более точных измерений необходимо провести эксперимент для большего количества исследуемых точек на единицу длины кристалла, а затем провести опыты с другими элементами, что будет выполнено в дальнейшем.

Литература

1. ГОСТ 9411-91. Стекло оптическое цветное [Электронный ресурс]. URL: http://www.elektrosteklo.ru/K8_rus.htm (дата обращения 19.12.2017)
2. Лукьянов А.Ю., Погорелко А.А. Фазовый (интерференционный) фототермический метод для раздельного измерения поверхностного и объемного поглощения // Журнал технической физики. 2002, т. 72, вып. 5. С. 72 – 77.
3. Новиков М.А. О предельной чувствительности оптических методов фототермической спектроскопии. Препринт. – Н.Новгород: Академия наук СССР, 1989. – 25 с.

Сборка оптической схемы для создания кольцевого пучка

Галкина Полина Сергеевна

10 класс, Лицей № 165, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель В.А. Виноградов,
лаборант-исследователь ИПФ РАН



В ходе работы была придумана и описана оптическая система, позволяющая получить кольцевой пучок. Предложено три способа нахождения параметров искомого кольца: с помощью формул геометрической оптики, моделированием системы в специальной программе Zemax и анализируя экспериментально полученные изображения колец. Была собрана оптическая схема, позволяющая получить кольцевой пучок, для получения необходимого изображения нужна была очень точная настройка элементов системы, в особенности аксикона.

Актуальность работы заключается в том, что полученный кольцевой пучок может использоваться при лазерной обработке материалов, а также для создания дипольных ловушек с прямоугольным потенциалом. Кольцевой пучок может являться частью цилиндрической оптической ловушки с достаточно большими размерами (около 1мм в диаметре), к тому же для создания такой ловушки необходимо всего три пучка: для боковой поверхности цилиндра и двух его оснований, что дает ей преимущество, например, перед дипольной ловушкой в форме куба, для которой потребовалось бы шесть плоских пучков.

При выполнении работы необходимо было вычислить требуемые параметры схемы и собрать оптическую систему, позволяющую получить кольцевой пучок.

Была смоделирована схема установки в программе Zemax. Комбинация аксикона (линзы, у которой одна из сторон имеет коническую форму) и собирающей линзы позволяет получить кольцо с минимальной толщиной и радиусом в фокальной плоскости линзы. Значения, найденные при построении идеальной оптической системы в программе Zemax: $R = 676$ мкм; $x = 47.4$ мкм (R – радиус кольца в фокусе линзы, x – его толщина).

С помощью формул геометрической оптики было получено выражение для радиуса (r) кольца в фокусе собирающей линзы, зависящие в конечном счете от угла при вершине аксикона (γ), показателя преломления аксикона (n) и фокуса собирающей линзы (F).

Таким способом не получится рассчитать толщину кольца в фокусе, так как для таких маленьких размеров, какие имеет полученное кольцо, геометрическая оптика уже не будет давать результатов.

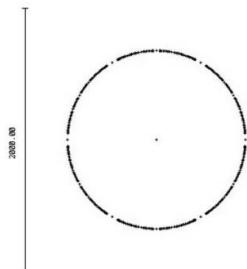


Рис. 1. Смоделированное изображение кольца в фокусе линзы.
 $R = 676$ мкм

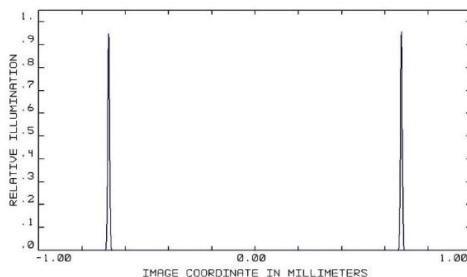


Рис. 2. Распределение интенсивности на стенах кольца при $y = 0$

Вычисленное значение радиуса: $R = 654,5$ мкм.

$$r = F \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ где } \alpha = \frac{\gamma}{2} + \arcsin \left(\cos \frac{\gamma}{2} \cdot n \right) - 90^\circ.$$

Для создания кольцевого пучка и последующего исследования его свойств была разработана и смонтирована следующая оптическая схема (рис. 3). Излучение Не-Не лазера (1), пройдя через оптическое волокно (2) (оптоволокно обеспечивает гауссово распределение поля для исходного пучка, оно радиально симметрично, что необходимо для выполнения задачи), направлялось на оптическую систему, состоящую из аксиона (3) с углом при вершине равным 179° и собирающей линзы (4) с фокусным расстоянием 150 мм, которая вблизи своей фокусной плоскости формирует искомое кольцо. Полученный пучок регистрируется камерой (6), для переведения интенсивности кольца в динамический диапазон камеры использовался аттенюатор (5).

Значения, полученные в результате эксперимента: $R = 707$ мкм, $x = 56,6$ мкм, где R – радиус кольца в фокусе линзы, x – его толщина, погрешность равняется по размерам одному пикселью (12,6 мкм).

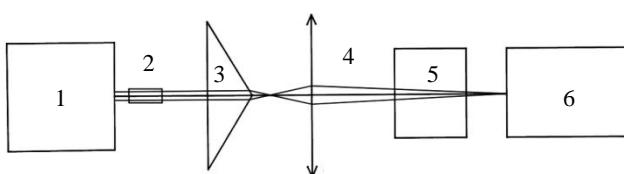


Рис. 3. Схема установки

Вывод

Была придумана и описана оптическая система, позволяющая получить кольцевой пучок.

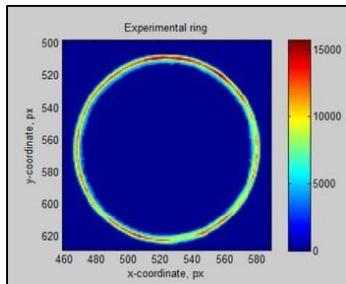


Рис. 4. Полученное изображение кольца со шкалой интенсивности

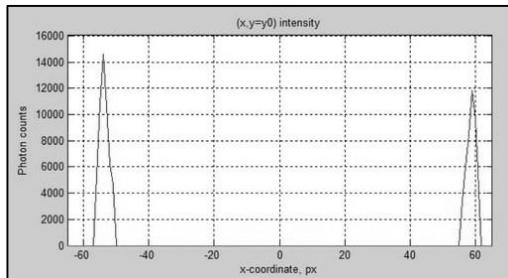


Рис. 5. Распределение фотонов на противоположных стенах кольца

Предложено три способа нахождения параметров искомого кольца. Проведя подсчет искомых значений всеми тремя вариантами, было обнаружено, что результаты различаются между собой незначительно, но полностью не совпадают. Различия можно объяснить погрешностью используемых приборов и отклонениями от законов геометрической оптики (аберрациями). Были приведены несколько способов устранения аберраций.

Практическое значение собранной схемы заключается в ее использовании при создании дипольных ловушек с прямоугольным потенциалом. В дальнейшем можно вводить в систему новые элементы, например, использование комбинации собирающей и рассеивающей линз могло бы существенно уменьшить количество аберраций, к тому же на объектив камеры попадало бы увеличенное изображение, что добавляло бы вычислениям точности.

Полученную систему можно доработать, чтобы появилась возможность плавно динамически менять ее параметры (радиус кольца), это позволит более эффективно охлаждать атомы в цилиндрической дипольной ловушке до сверхнизких температур.

Литература

1. *Dickey Fred M.* Laser Beam Shaping: Theory and Techniques.. – CRC Press, 2014. – 589c.
2. *McLeod John H.* The Axicon: A New Type of Optical Element// Journal of the optical society of America. 1954, № 8. С. 593 – 597.
3. Солоневич С.В., Рыжевич А.А., Казак Н.С., Аль-Муханна М.К., Аль-Ховайтер С.Х., Аль-Сауд Т.С.М. Перестраиваемые кольцевые световые поля и их возможности для лазерной обработки материалов // Interaction of Radiation with Solids: Материалы 9-й Междунар. конф., 20 – 22 сент. 2011. – Минск, 2011.

Ввод эллиптического пучка в оптическое волокно различными композициями линз

Гущин Илья Олегович

10 класс, Школа № 22, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель К.А. Карпов,
лаборант-исследователь ИПФ РАН



В нашем эксперименте из-за невозможности построить композицию линз, которая может передать лазерное излучение в то место, куда этого требуют условия, потребовалось использовать оптоволокно для передачи непосредственно лазерного излучения. С помощью композиции цилиндрических линз мы попытались приблизить форму эллиптического пучка лазера из лазерного диода к форме Гаусса. Попытка не удалась и привела нас к использованию гелий-неонового лазера. С помощью двух композиций линз, различающихся количеством степеней свобод, мы «загнали» излучение в оптоволокно и посчитали процент потери мощности излучения. В процессе выполнения работы мы научились определять и анализировать форму лазерного пучка в поперечном сечении с помощью специальной фотокамеры. Нам удалось выявить несколько важных факторов, влияющих на потерю мощности излучения на выходе из оптоволокна.

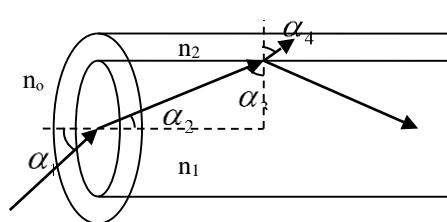


Рис. 1. Устройство оптоволокна

Оптическое волокно (в дальнейшем «оптоволокно» или «световод») – специальное устройство, использующееся для направленной передачи светового или лазерного излучения. Оптоволокно используется чаще всего для емкой передачи информации на расстояние. В нашем эксперименте оптово-

локно используется для передачи лазерного излучения. Такая необходимость появилась из-за невозможности построить композицию линз, которая могла бы передать лазерное излучение в то место, куда этого требуют условия. Кроме этого, волокно в нашем эксперименте одномодовое, то есть излучение на выходе из оптоволокна имеет форму Гауссова пучка, что может применяться в других экспериментах. Для того чтобы передача излучения с помощью оптоволокна прошла с наибольшей эффективностью, необходимо, чтобы потеря мощности

излучения в оптоволокне была минимальной для данного оптоволокна и лазерного излучения. Именно это и является целью эксперимента.

Оптоволокно представляет собой тонкий длинный провод с прозрачным стержнем внутри и оболочкой снаружи (рис. 1). Так как при попадании луча из лазера без изменений на торец оптоволокна часть электромагнитного излучения не попадает внутрь оптоволокна, то для наибольшей эффективности мы использовали собирающую линзу на входе в оптоволокно, благодаря чему излучение в оптоволокно попадало под некоторым углом. В оптоволокне излучение проходит через стекло (чаще всего кварцевое) и, много раз отражаясь от внутренней стенки оболочки, проходит дальше по оптоволокну. С помощью закона Снеллиуса, можно рассчитать угол, необходимый для того, чтобы при отражении луча лазера от оболочки наблюдался эффект полного внутреннего отражения. Мы ввели следующие обозначения: α_1 – угол падения луча лазера на торец оптоволокна, n_1 – оптическая плотность внутреннего стержня оптоволокна, n_2 – оптическая плотность оболочки оптоволокна, n_3 – оптическая плотность окружающей среды. Мы получили следующую формулу:

$$\alpha_1 \leq \arcsin \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}. \quad (1)$$

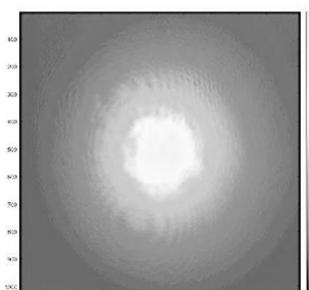


Рис. 2. Визуализированные данные с матрицы фотокамеры; пучок гелий-неонового лазера, прошедший через оптоволокно

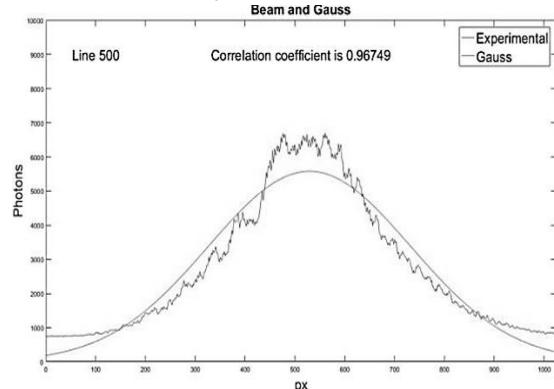


Рис. 3. Результаты деятельности программы на 500-ой строчке матрицы

Для соблюдения этого условия достаточно поставить собирающую линзу перед торцом оптоволокна, которая собирала бы излучение в фокусе на поверхности торца под не очень большим углом.

Для получения данных о пучке мы использовали фотокамеру фирмы Andor. С данными камеры можно проводить математические операции, например, аппроксимацию данных в строчке матрицы к идеальному распределению Гаусса с подсчетом коэффициента корреляции, который показывает соответствие излучения идеальному распределению Гаусса. В качестве примера представлены данные с фотокамеры, на которую падал пучок из гелий-неонового лазера, прошедший через оптоволокно и оптическую систему (рис. 2, 3).

Для того чтобы эллиптический пучок из диодного лазера сделать близким к идеальной моде Гаусса, мы использовали собирающие цилиндрические линзы. Такие линзы собирают излучение в фокусе горизонтальной или вертикальной оси. Собрав телескоп из собирающих цилиндрических линз, удалось получить пучок, который визуально близок к моде Гаусса. Однако на фотокамере получилось изображение (рис. 4) далекое от изображения моды Гаусса. Пучок с таким распределением интенсивности электромагнитного излучения не может пройти через оптоволокно без больших потерь. Именно по

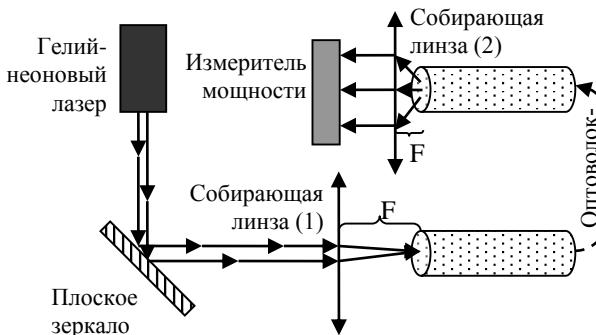


Рис. 5. Схема установки № 1

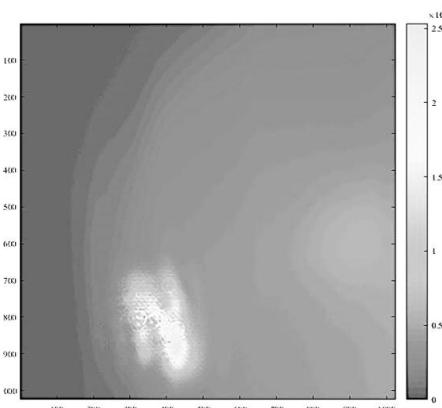


Рис. 4. Визуализированные данные с фотокамеры; пучок полупроводникового лазерного диода, прошедший через композицию цилиндрических линз

этой причине в дальнейшем мы отказались от идеи работы с диодным лазером данной модели.

Мы сделали попытку ввода пучка лазера в оптоволокно с измерением практической потери

мощности лазерного пучка (рис. 5). Мощность пучка на входе в оптоволокно равняется 0,25 мВт. Мы могли настраивать только зеркало, так как оптоволокно было прикреплено к линзе с помощью специального держателя, поэтому мы имели две степени свободы. Лазерное излучение при настройке меняло угол и точку падения на торец оптоволокна. По большей части по этой причине мощность излучения на выходе из оптоволокна достигала лишь 0,011 мВт. Потеря излучения составила $\frac{0,25\text{mBt} - 0,011\text{mBt}}{0,25\text{mBt}} \cdot 100\% \approx 96\%$.

Мы создали установку, чтобы имелось четыре степени свободы (рис. 6). Мощность пучка на входе составила 0,25 мВт. После калибровки линз и оптоволокна мощность пучка на выходе составила 0,03 мВт. Потеря мощности излучения с более точной настройкой при четырех степенях свободы составила $\frac{0,25\text{mBt} - 0,03\text{mBt}}{0,25\text{mBt}} \cdot 100\% \approx 88\%$.

Потеря излучения по сравнению с предыдущим опытом составила на 8% меньше, что свидетельствует о том, что количество степеней свободы важно при налаживании линз и зеркал.

В процессе выполнения работы мы получили следующие результаты:

- 1) луч должен падать на торец оптоволокна под углом соответствующим формуле (1);
- 2) пучок, мода которого сильно отличается с модой оптоволокна, имеет большой процент потери мощности излучения;
- 3) при ис-

пользовании одного зеркала имелась одна степень свободы, поэтому процент потери мощности излучения смог опуститься при ручной настройке до 96%;

- 4) при использовании двух зеркал имелись две степени сво-

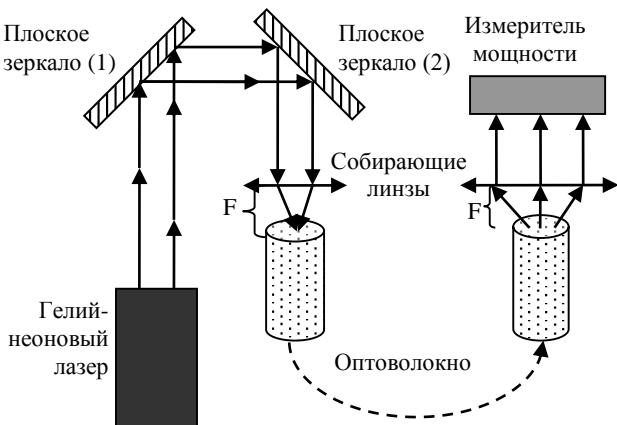


Рис. 6. Схема установки № 2

боды, поэтому процент потери мощности излучения смог опуститься при ручной настройке до 88%.

Проанализировав данные экспериментов, научную теорию, мы смогли выявить важные факторы уменьшения потери мощности лазерного излучения. Используя эти знания, мы смогли добиться выхода из оптоволокна двенадцать процентов входящего в него излучения.

Выводы

1. При попадании луча лазера под углом, не соответствующим формуле (1), излучение не доходит до другого торца оптоволокна, полностью выходя через оболочку в начале.

2. Чем сильнее мода пучка не совпадает с модой оптоволокна и нормальным распределением Гаусса, тем выше процент потери мощности пучка на выходе из оптоволокна.

3. Имея достаточно большое количество степеней свобод и точную настройку оптической системы, можно добиться наименьшей потери мощности излучения. В нашем случае нам удалось уменьшить потери на 8%.

В перспективе исследований осталось не выявленным влияние следующих возможных причин потери мощности излучения: оптоволокно слишком сильно деформировано; луч падает на линзу не перпендикулярно ее поверхности и/или луч до линзы имеет угол расходимости; явление сферических aberrаций. Кроме этих причин, в перспективе работа на более мощном лазере на красителях, а также более детальный анализ полученных с камеры изображений.

Литература

1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 класс: учебник для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа, 2005. – 288 с.
2. Sample problem 2: Light Entering an Optical Fiber [Электронный ресурс] // Rensselaer: сайт URL: http://www.rpi.edu/dept/phys/Dept2/APPhys1/optics/optics/node13_3.html#3
3. Знакомство с оптоволоконной оптикой [Электронный ресурс] // СВ-Телком: сайт. URL: <http://svtele.com/post/2342>
4. Оптика/Волоконная оптика/Распространение света в оптоволокне/Волоконная оптика. Основные понятия [Электронный ресурс] URL: http://www.laserportal.ru/content_28

Исследование кольцевых волн на воде от упавшего твердого тела

Дмитричева Анастасия Алексеевна

10 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

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



В работе рассмотрены кольцевые волны, образовавшиеся после падения твердого тела. Проведена запись высоты волнения в точке при помощи струнного волнографа. По записи оценены характерные период и длина волны. По данным серии экспериментов исследована зависимость высоты волнения от скорости твердого тела и зависимость высоты волны от времени и расстояния от места падения. Исследована зависимость энергии волны от энергии тела при различных расстояниях до волнографа.

Основной вклад в рассеяние радиосигнала на морской поверхности вносят короткие волны (порядка нескольких сантиметров), параметры которых связаны со скоростью ветра. Поэтому для дистанционного зондирования океана из космоса важно учитывать кольцевые волны, появляющиеся в результате влияния дождя на взволнованную поверхность. Вклад этих волн в волнение может вызвать ошибку в измерениях локаторов, например, в определение скорости ветра скаттерометром.

Существуют две проблемы в моделировании дождевой капли в лабораторных условиях: большая энергия (скорость), приобретаемая дождевой каплей за время падения; принятие каплей формы, близкой к сферической. Поэтому в качестве модели капли будем исследовать твердое тело заданной формы и массы.

Цель работы – выявить влияние свойств падающего тела на характеристики кольцевых волн. Объект исследования – волны на поверхности воды. Предмет исследования – зависимость параметров волн на поверхности воды от энергии падающего тела.

Экспериментальная установка (рис. 1) была собрана таким образом, чтобы можно было изменять высоту, с которой падало тело, и расстояние от места падения до волнографа. Волнограф – прибор, преобразующий колебания на поверхности воды в изменения напряжения за счет изменения сопротивления подводной части проводника.

Были проведены эксперименты на трех высотах: 59, 96.5 и 137 см; на четырех расстояниях до волнографа: 2, 6, 10 и 14 см. При каждом параметре было проведено по восемь экспериментов. Все эксперимен-

ты проводились с шариками, имеющими одинаковые массы и объемы. Полученные данные представляли собой массив, который показывает зависимость напряжения от времени. Для получения информации о высоте волнения данные были откалиброваны (переведены в мм). Пример записи данных волнографа после калибровки представлен на рисунке 2.

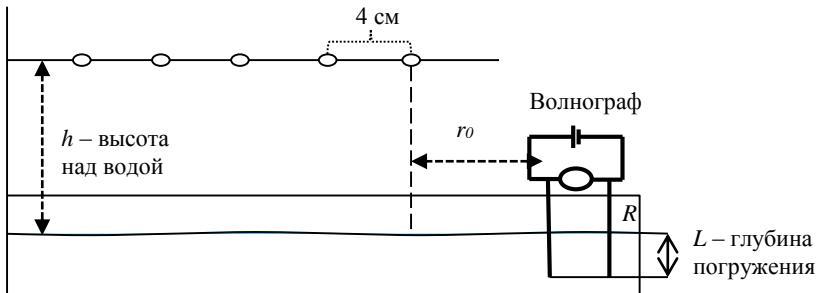


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

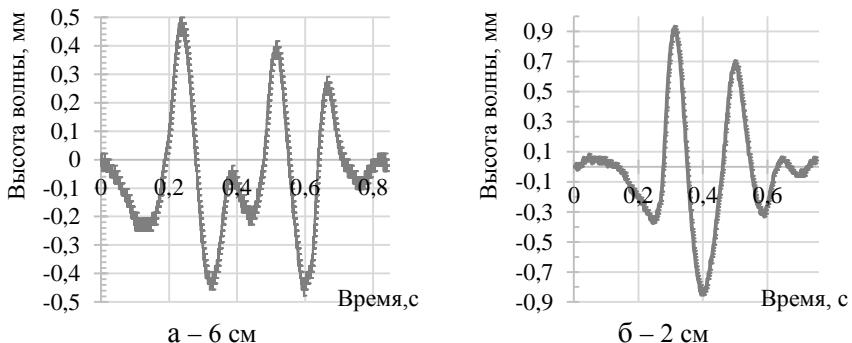


Рис 2. Данные волнографа для высоты 96.5 см, место падения на расстоянии от волнографа 6 и 2 см

По данным рисунка 2б был оценен характерный период волны. Усредненный период (T) составляет 0.19 с. Для определения характерной длины волны использовали дисперсионное отношение для капиллярных волн [2]:

$$\omega^2 = kg + \frac{ak^3}{\rho_{\text{воды}}}, \quad (1)$$

где a – коэффициент поверхностного натяжения, g – ускорение свободного падения, k – волновое число. Для решения кубического уравнения была написана программа с использованием подстановки Виета. Для расчета была взята $a = 0.073 \text{ Н/м}$. В результате вычисле-

ний были получены следующие значения: волновое число равное 145.5 рад/м; а длина волны равна 0.04 м.

Волны с длиной, равной полученной оценочной длине волны, могут создать резонансное переизлучение волны некоторых радиолокаторов, к примеру, скаттерометра ASCAT.

Определение зависимости высоты волнения от расстояния от волнографа до места падения тела

В качестве характеристики высоты волнения нами использовалась высота значительного волнения:

$$H_s = 4\sqrt{D}, \quad (2)$$

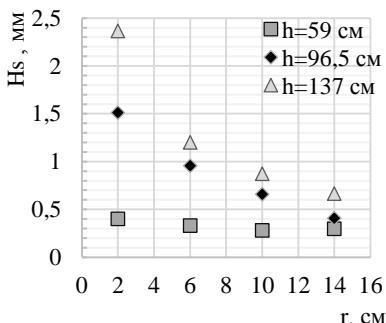
$$D(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (x_i^2) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i \right)^2, \quad (3)$$

где x_i – высота волны в i -й момент времени.

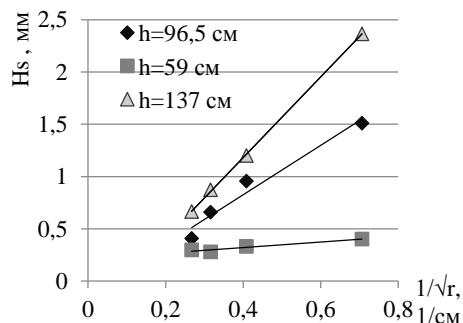
Полученные при одной и той же высоте и одинаковом расстоянии до волнографа H_s затем были усреднены.

Зависимости высоты значительного волнения от расстояния до волнографа для разных высот, с которых падало тело, представлены на рисунке 3а. Закон спадания амплитуды цилиндрической монохроматической волны на больших расстояниях от оси выглядит следующим образом:

$$A = A_0 \frac{1}{\sqrt{r}}. \quad (4)$$



а – от расстояния до волнографа



б – от $1/\sqrt{r}$ при различных высотах, с которых падало тело

Рис. 3. Зависимость величины значительного волнения

Для проверки того, подходит ли эта аппроксимация для H_s , была построена зависимость $H_s(1/\sqrt{r})$ – рисунок 3б. Зависимость линейная, значит данная аппроксимация может применяться.

Зависимость энергии волны от энергии тела при различных расстояниях до волнографа

Была определена зависимость энергии волнения от энергии тела. Для плоских волн энергия волны пропорциональна квадрату высоты волны [1]. Для цилиндрических волн оценивалась энергия волны на расстоянии r от точки падения тела. Энергия волны будет пропорциональна длине окружности с радиусом r , тогда:

$$E_{\text{волны}} \sim 2\pi r H_s^2. \quad (5)$$

Зависимость $2\pi r H_s^2$ от потенциальной энергии падающего тела показана на рисунке 4. Масса тела равна 2.5 грамма, высоты, с которых падает тело, равны 59, 96.5 и 137 см. Видно, что с увеличением расстояния до волнографа энергия волны уменьшается, возможно, это связано с наличием пленки на поверхности воды, а также с потерями энергии в толще воды.

Вывод

Были рассмотрены кольцевые волны, образовавшиеся в результате падения твердого тела. Проведена запись высоты волнения в точке при помощи струнного волнографа, по данной записи оценены характеристические период и длина волны. Проведены эксперименты при разных высотах падения тел и разных расстояниях до волнографа, а также исследована зависимость высоты волны от данных параметров.

Возможные дальнейшие направления исследования: 1) подобрать параметры тела, при которых его энергия в момент падения будет соответствовать энергии капли дождя; 2) заменить твердое тело каплей: в статье [3] предложена модель установки для создания дождя.

Литература

1. Егоров Н.И. Физическая океанография. – М: Гидрометеоиздат, 1974. – 456 с.
2. Кадомцев Б.Б., Рыдник В.И. Волны вокруг нас. – М.: Знание, 1981. – 152 с.
3. Ковалдов Д.А. Моделирование установки для создания дождя и расчет ее характеристик // Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 9 / Под. общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; ФГБНУ «ФИЦ ИПФ РАН». – Н.Новгород: Гладкова О.В., 2016. – 264 с. – С. 82 – 86.

Капля воды как альтернативный источник энергии

Жарова Мария Александровна

10 класс, Лицей № 38, Нижний Новгород

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



Вода как жидкость обладает особыми свойствами, связанными с поверхностным напряжением и энергией. Целью было на их основе найти новые способы получения энергии из воды. Исследовалось выделение теплоты при слиянии капель с поверхностью жидкости, а также получение электрического тока или разности потенциалов при падении струи жидкости с высоты; эксперименты проводились на самостоятельно спроектированных установках. На практике зафиксированы выделение тепла и разность потенциалов – тепловая и электрическая энергии; предложены некоторые практические способы ее сбора.

В современном мире все острее ставится проблема выработки электроэнергии, так как запасы ресурсов ограничены. Наряду с этим становится все более популярным использование нетрадиционных (альтернативных) источников энергии, работающих на возобновляемых природных источниках (ветряки, солнечные батареи и т.д.). В таком качестве может служить вода, так как ее распространенность на Земле достаточно велика (71% земной поверхности покрыто водой). С ней связано множество природных явлений, из которых можно извлечь полезную энергию.

Получать полезную энергию из воды можно путем совершения водой механической работы или использовать ее внутреннюю энергию, связанную с межмолекулярным взаимодействием. Первое уже широко используется при производстве электричества (ГЭС, энергия морских масс), а использование внутренней энергии не получило широкого распространения. Поэтому, целью работы было, изучив теорию, выявить новые способы получения энергии из воды и проверить их на практике. Методы исследования: сбор и анализ информации, проектирование установки для проведения опытов, проведение экспериментов, анализ и синтез экспериментальных данных.

Выделение теплоты. Молекулы на поверхности жидкости обладают избыточной (дополнительной) потенциальной энергией, которая называется поверхностной энергией. Она пропорциональна сво-

бодной поверхности жидкости: $W_s = \sigma \cdot s$, где σ – коэффициент поверхностного натяжения, s – площадь свободной поверхности жидкости. Проанализируем данную формулу: $\sigma = \text{const}$ – табличный коэффициент, $W_s \propto s$ – поверхностная энергия прямо пропорциональна площади поверхности жидкости.

Следовательно, для изменения энергии поверхностного слоя необходимо изменить площадь поверхности. Но так как жидкость несжимаема, то осуществить это можно только посредством ее разделения или соединения. Например, при разделении большой капли на две более мелкие суммарная площадь поверхности увеличится, как и поверхностная энергия. Следовательно, для этого необходимо, чтобы сторонние силы совершили работу, затратив на это энергию. И наоборот, при слиянии нескольких капель в одну их суммарная поверхностная энергия уменьшается, поэтому теоретически энергия выделяется в окружающую среду.

Но где в естественных условиях мы можем наблюдать слияние капель? Вспомним природные явления, например, дождь. При падении капель очень мала вероятность, что какие-то из них соединятся, но падение капель в образующиеся лужи вполне можно считать слиянием двух отдельных поверхностей жидкости. Ведь луже или емкости с водой тоже можно считать одной большой растекшейся каплей. Значит согласно теории при падении капель в воду должна выделяться энергия.



Рис. 1. Фото установки

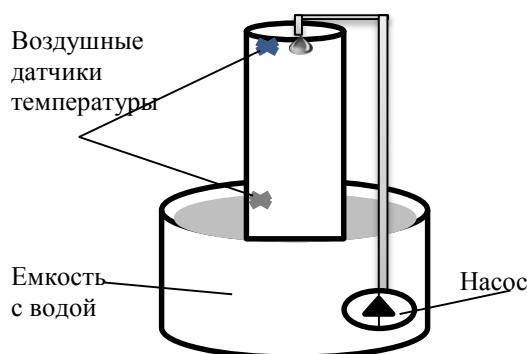


Рис. 2. Схема установки (опыт I)

Для проверки мы собрали теплоизолированную от окружающей среды установку, в которой реализовывалось падение капель и слияние их с поверхностью жидкости (рис. 1, 2). Выделяющаяся энергия фикси-

ровалась с помощью предварительно откалиброванных датчиков температуры. Во избежание погрешностей, которые могут возникнуть из-за внешних условий, предварительно мы провели опыт, показывающий на сколько вода нагревается в результате работы насоса, а также трения о трубки, по которым идет водоток.

Таблица 1. Измерение разности температур (с учетом погрешности насоса и погрешности датчиков, выявленной в ходе их калибровки)

| Время работы установки | T_1 около поверхности воды, °C | T_2 на уровне полета капель, °C | $\Delta T = T_1 - T_2$, °C |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| До запуска | 18.0 | 18.8 | -0.8 |
| Через 2 часа | 18.4 | 17.8 | 0.6 |
| Через 4 часа | 19.2 | 18.1 | 1.1 |

Сначала температура воздуха у поверхности воды была ниже, чем на высоте трубы, так как теплый воздух вследствие своей меньшей плотности поднимается наверх. Но уже через два часа работы установки температура внизу повысилась, а внизу понизилась. Очевидно, это произошло из-за описываемого выше эффекта – при делении капель энергия поглощается, при слиянии выделяется. После двух часов эффект усилился, то есть при слиянии капель действительно выделяется энергия.

Электрическая энергия. Обычная недистиллированная природная вода проводит электричество. Изучим дождь, в процессе которого капли падают с высоты. Возможно в процессе полета капли могут терять или приобретать электроны/молекулы за счет внешнего воздействия, к примеру, сил сопротивления воздуха, либо отдельные капли являются переносчиками различных зарядов. Проверим, не возникает ли электрического тока или разности потенциалов при падении жидкости с высоты.

Мы расположили на расстоянии примерно 1 м металлические сита и подсоединили к ним клеммы мультиметра. Из верхнего сита вода падала на нижнее, прибор фиксировал данные (рис. 3).

Результаты получились следующие: ток в цепи отсутствовал, так как она не была замкнута (капли не представляли единую струю, между ними была «воздушная подуш-



Рис. 3. Фото установки (опыт II)

ка»). После того, как прибор включили в режим вольтметра, он выдал разность потенциалов, которая колебалась в пределах $150\text{mV} < \Delta\varphi < 1.154 \text{ В}$, причем сверху оказался «→», а снизу «+».

Такой разброс разности потенциалов можно объяснить тем, что количество капель не было постоянным. Соответственно, и заряд, находящийся на них и создающий разность потенциалов также, колебался.

Значит, из воды можно получить еще один вид энергии – электрическую.

Полученные результаты не имеют весомого значения без практического применения. В качестве способов сбора полученной энергии можно предложить следующие:

1. Забирать и конденсировать тепло компрессором с поверхности водоема, озера, пруда во время дождя. Путем прокачивания легкого газа (типа фреона) через систему труб, установленных на поверхности водоема, тепло далее будет идти к потребителю.

2. Снятие разности потенциала для последующего использования или накопления во время дождя можно осуществить при помощи легкодоступных поверхностей по отношению к земле. Например, крыши домов; предварительно необходимо разомкнуть цепь слива жидкости через водосток для предотвращения утечки на землю.

Если рассматривать с точки зрения затрат, необходимых для сооружения данных установок, то п. 1 нельзя назвать экономически выгодным, так как средства на материалы и перегон энергии намного больше по сравнению с результатами. Для осуществления второго способа не требуется строительства особых сооружений (две металлические решетки и подключенный к ним проводами аккумулятор или другое устройство), поэтому он мог бы получить распространение. Подобные сооружения могли бы использоваться в частных домах в водостоках во время дождя. Полученной энергии хватило бы, к примеру, дачникам для использования ее вечером, так как не все садоводческие комплексы оборудованы электроснабжением. Можно применять это и в городе, используя многоэтажные дома и получая, возможно, большую $\Delta\varphi$.

Вывод

В ходе исследований было теоретически выведено, что при падении капель на поверхность жидкости выделяется энергия. Данное явление было проверено с помощью самостоятельно собранной

установки. Зафиксирована разность потенциалов при падении струи жидкости с высоты. На основании проведенных экспериментов по выделению энергии предложены некоторые способы ее сбора (аккумуляции). Опытным путем подтверждено, что помимо механической можно использовать внутреннюю энергию воды, что значительно расширяет ее потенциал как энергоресурса.

Представленная работа – лишь начало пути. В дальнейшем необходимо развивать идеи по способам получения энергии из воды, делая упор на разработку конкретных технологических устройств и конструкций, с помощью которых можно получать непосредственную практическую пользу от энергии, заключенной в водяных каплях.

Литература

1. Гегузин Я.Е. Капля. – М.: Наука, 1973. – 160 с.
2. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т. I. – Первая образцовая типография, 1999. – 600 с.
3. Мучник В.М. Физика грозы. – М.: Гидрометеоиздат, 1974. – 352 с.
2. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1977. – 942 с.

DDS генератор электрических сигналов на базе микроконтроллера ATMega16

Золотых Андрей Николаевич
10 класс, Школа № 45, Нижний Новгород

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



Разработан и реализован DDS генератор электрических сигналов, способный генерировать сигнал одной из шести форм (синус, меандр, пилообразный сигнал, обратный пилообразный сигнал, треугольник, ЭКГ) с перестраиваемой частотой от 0 Гц до 65535 Гц с шагом по частоте в 1 Гц с возможностью аналоговой регулировки размаха (амплитуды) и постоянной составляющей (сдвига) сигнала. Генератор также может генерировать меандр с частотой в 1,2,4,8 МГц.

Генератор сигналов – электронное устройство, способное генерировать электрический сигнал определенной формы, частоты и амплитуды. Перед нами стояла задача разработка генератора с характеристиками, пригодными для использования устройства для проверки, наладки и разработки радиоэлектронной аппаратуры: УНЧ радиоприемников и аудиоусилителей, различных фильтров и других устройств, преобразующих электрический сигнал. В качестве основного принципа генерирования сигнала автором был выбран DDS метод, то есть метод прямого цифрового синтеза.

Внешний вид разработанного генератора на рисунке 1. Принципиальная схема DDS генератора представлена на рисунке 2. При ее разработке использовались монографии [1, 2]. Генератор состоит из микроконтроллера ATMega16, дисплея lcd1602, операционных усилителей tl072c, операционных усилителей lm358, микросхемы mc34063a и ЦАП по схеме R2R.

Генерацию сигнала осуществляют микроконтроллер ATMega16 по DDS схеме и выдает 8-битный сигнал на ЦАП, собранный по схеме R2R. Шесть форм сигналов установлены в приборе и хранятся в памяти микроконтроллера в виде таблиц



Рис. 1. Внешний вид генератора

9синусоидальный сигнал, меандр, пилообразный сигнал, обратный пилообразный сигнал, треугольник и ЭКГ). Для генерирования других форм сигналов требуется перепрограммирование микроконтроллера.

Микроконтроллер осуществляет также отображение необходимой информации на дисплее размером 16×2 символов и производит опрос кнопок.

Сигнал с ЦАП коммутируется двумя тумблерами и попадает на схему усиления и сдвига (сдвиг отключается) или на схему делителя. Предусмотрен прямой вывод сигнала на выход с ЦАП. Четвертый тумблер включает в выходную схему конденсатор, отрезая постоянную составляющую. Получаемый сигнал выводится на первый разъем прибора.

Сетевой блок питания собран на трансформаторе мощностью 2 Вт и выходным переменным напряжением в 18 В. Напряжение выпрямляется с помощью диодного моста (до 25 В под нагрузкой и 30 В без нагрузки) и фильтруется конденсатором. Для питания усилителей амплитуды и сдвига (OP1 и OP2) напряжение понижается линейным стабилизатором lm7824 до 24 В. Также генерируется отрицательное напряжение для отрицательного плеча питания усилителей инвертором на микросхеме ne555. Для питания усилителей деления и повторения (OP3 и OP4) напряжение понижается до 9 В импульсным стабилизатором на микросхеме mc34063а. Для питания цифровой части напряжение понижается линейным стабилизатором lm7805 с 9 В до 5 В.

Генерирование высокочастотного меандра осуществляется с помощью встроенного в микроконтроллер таймера – генератора и выводится на второй разъем.

Для микроконтроллера ATMega16 разработан программный код на языке С с вставкой на языке ассемблера. При его разработке использовались электронные ресурсы [3, 4].

Цифровая генерация сигнала производится по алгоритму с 24-битным циклическим аккумулятором фазы. Тактовая частота составляет 16 МГц (максимальная частота обновления составляет 1,6 МГц). Это обеспечивает минимальный шаг по частоте в: $F_{clk}/2^n = 1600000/2^{24} = 1600000/16777216 = 0.095367431640625$ (Гц).

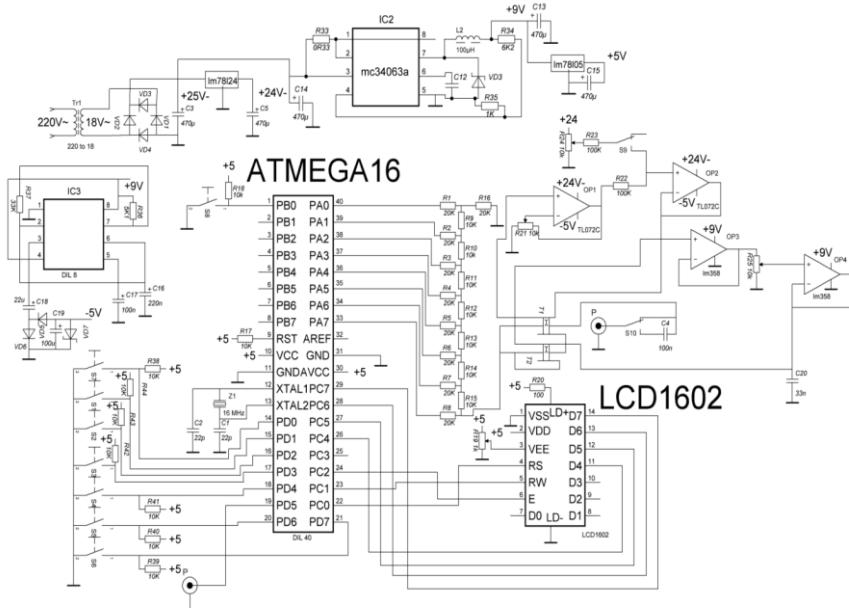
Аккумулятор фазы представляет собой сумматор, к которому каждый цикл прибавляет заранее вычисленное значение. Когда аккумулятор достигает определенного значения (при 256-значной таблице берутся последние (старшие) 8 разрядов аккумулятора), из сигнальной таблицы берется следующее значение.

Для увеличения максимальной частоты генерации часть кода, выдающая в порт определенное значение, написана на ассемблере и занимает 10 тактов микроконтроллера.

Прибавка к аккумулятору фазы вычисляется так, чтобы переполнение двух младших байтов наступало за время, равное 1/256 всего цикла. Прибавка осуществляется каждые 10 тактов. Поскольку 10 тактов занимают 0.625 микросекунды, поэтому при частоте в F смена состояния выхода должна производиться за $1/(F \times 256)$ секунд. Прибавка вычисляется по формуле $2^{24} \times 0.000000625 \times F$.

Программа расчет производит делением частоты на константу, равную 0.095367431640625. Эта константа равна $1/(2^{24} \times 0.000000625)$, то есть минимальному шагу по частоте.

Максимальное отклонение от заданной частоты составляет половину минимального шага и составляет 0.0475 Гц. Данное отклонение постоянно для каждой частоты. Изменяющаяся случайная ошибка в частоте генерации не превышает отклонения частоты кварцевого резонатора (± 1 Гц) и составляет на частоте в 1кГц 6.25×10^{-5} Гц, а на частоте в 10кГц 6.25×10^{-4} Гц.



(C) Andrew Zolotykh 2017-2018

Рис. 2. Принципиальная схема DDS генератора

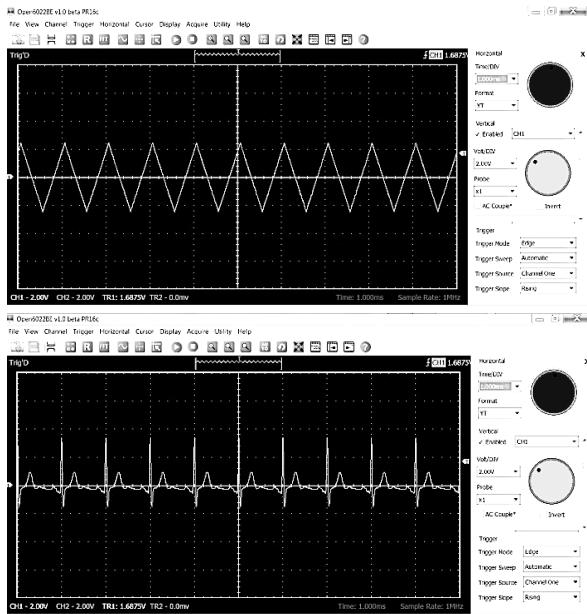


Рис. 3. Осциллографы выходного сигнала на частоте 1кГц (треугольный сигнал и ЭКГ)

ты от 0 до 65 кГц с шагом в 1 Гц и возможностью регулировать амплитуду и сдвиг сигнала. Генератор можно применять для проверки, наладки и разработки различной радиоэлектронной аппаратуры.

Литература

1. Платт Ч. Электроника для начинающих. – СПб: БХВ–Петербург, 2014. – 400 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: БИНОМ, 2015. – 704 с.
3. Цифровой вычислительный синтезатор [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровой_вычислительный_синтезатор
4. Низкочастотный генератор синусоидального сигнала с шагом сетки 0.01Гц [Электронный ресурс] URL: <http://www.platan.ru/shem/pdf/sin.pdf>

Устройство многократно проверено в работе, подтвердило свою способность генерировать сигнал различной формы, амплитуды и частоты. Произведена также проверка поддержания заданной частоты на осциллографе Hantek DSO 6022BE.

Заключение

Разработан и изготовлен генератор сигналов, способный генерировать один из шести сигналов заданной формы с регулировкой частоты от 0 до 65 кГц с шагом в 1 Гц и возможностью регулировать амплитуду и сдвиг сигнала. Генератор можно применять для проверки, наладки и разработки различной радиоэлектронной аппаратуры.

Расчет цепей переменного тока аналитическим методом

Зотников Валентин Владимирович

8 класс, Лицей № 40, ШПОИ ИПФ РАН

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

Нижний Новгород



Предложен новый метод расчета цепей переменного тока, который является более простым, чем другие известные методы. Суть данного метода заключается в том, что в предлагаемом методе используемые уравнения Кирхгофа для цепей переменного тока сводят все расчеты к системе алгебраических уравнений второго порядка. В результате расчетов мы получим коэффициенты при синусе и косинусе (A и B), которые позволяют вычислить значения токов в любой ветви электрической схемы в любой момент времени. Задача нахождения токов в ветвях цепи сводится к алгебраическим вычислениям. Правильность предложенного метода подтверждена результатами, полученными при эксперименте.

В наше время цепи переменного тока активно используются в науке и технике и нет ни одной области, где в том или ином виде не использовалось бы электричество. Поэтому умение анализировать (рассчитывать) электрические цепи переменного тока является важнейшей задачей для совершенствования расчетов.

Цель работы – освоить новый аналитический метод расчета значений переменных токов в зависимости от времени, в сложных разветвленных электрических цепях. Метод применим к цепям любой сложности. Предлагаемый метод расчета цепей переменного тока ранее нигде не использовался, он не изучается и в школе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

в данной работе сделано предположение о том, что любую неизвестную физическую величину (ток, заряд, напряжение) в электрической цепи можно задать в виде: $I(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t$. В результате расчетов мы получим некоторые величины (коэффициенты A и B), которые позволяют вычислить значения токов в любой ветви электрической схемы. Задача нахождения токов в ветвях цепи сводится к алгебраическим вычислениям.

Порядок работы с исходной электрической схемой следующий:

- 1) составить систему уравнений на основании первого и второго законов Кирхгофа;

2) в полученной системе уравнений определить неизвестную величину (ток) и задать в виде выражения: $I(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t$;

3) для нахождения коэффициентов А и В необходимо решить систему уравнений, которая сводится к системе алгебраических уравнений;

4) найти Im и Id .

Согласно предложенному методу, мы нашли действующие значения токов для приведенной схемы, используя известные нам величины (U_0 , R , C , L , f):

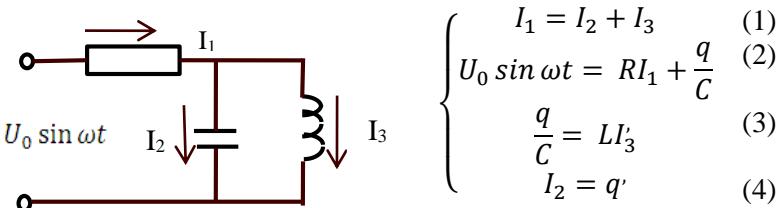


Рис. 1. Приведенная схема

В соответствии с данным методом задаем:

$$I_3 = A \sin \omega t + B \cos \omega t. \quad (5)$$

В (3) подставляем (5): $q = CL I_3 = CL \omega A \cos \omega t - CL \omega B \sin \omega t$.

Из (4): $I_2 = -ACL\omega^2 \sin \omega t - BCL\omega^2 \cos \omega t$. (6)

Из (1):

$$\begin{aligned} I_1 &= (-ACL\omega^2 \sin \omega t - BCL\omega^2 \cos \omega t) + (A \sin \omega t + B \cos \omega t) \\ &= \sin \omega t (-ACL\omega^2 + A) + \cos \omega t (-BCL\omega^2 + B) \end{aligned} \quad (7)$$

Из (2):

$$\begin{aligned} U_0 \sin \omega t &= \sin \omega t (-ACL\omega^2 R + AR) + \cos \omega t (-BCL\omega^2 R + BR) + \\ &\quad + L\omega A \cos \omega t - L\omega B \sin \omega t = \sin \omega t (-ACL\omega^2 R + AR - \\ &\quad - L\omega B) + \cos \omega t (-BCL\omega^2 R + BR + L\omega A). \end{aligned}$$

Приравнивая однородные члены уравнения, получаем систему уравнений и находим коэффициенты А и В:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_0 = -ACL\omega^2 R + AR - L\omega B \\ 0 = -BCL\omega^2 R + BR + L\omega A \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (8) \\ (9) \end{array}$$

Из (9) находим коэффициент А: $A = BC\omega R - \frac{BR}{L\omega}$.

Подставляем (9) в (8):

$$U_0 = R \left(BC\omega - \frac{B}{L\omega} \right) - CL\omega^2 R \left(BC\omega - \frac{B}{L\omega} \right) - L\omega B;$$

$$B = \frac{U_0 L\omega}{2C \omega^2 R^2 L - R^2 - C^2 L^2 \omega^4 R^2 - L^2 \omega^2}.$$

Находим абсолютные значения коэффициентов A и B :

$$U_0 = 10,4 \text{ (В)}, R = 70 \text{ (Ом)}, L = 1,2 \text{ (Гн)}, C = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{ (Ф)}, f = 50 \text{ (Гц)}.$$
$$B = -0,0015 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}, A = -0,25 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}.$$

Находим значения токов: $I_m = \sqrt{A^2 + B^2}$.

Согласно (5): $I_3 = A \sin \omega t + B \cos \omega t$. $I_{m3} = 0,251 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}$, $I_{d3} = \frac{I_{m3}}{\sqrt{2}} = \frac{0,251 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}} = 0,178 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}$.

Согласно (6) $I_2 = -ACL\omega^2 \sin \omega t - BCL\omega^2 \cos \omega t$. $I_{m2} = 0,246 \text{ (А)}$
 $I_{d2} = \frac{I_{m2}}{\sqrt{2}} = \frac{0,246}{\sqrt{2}} = 0,174 \text{ (А)}$.

Согласно (7): $I_1 = \sin \omega t (-ACL\omega^2 + A) + \cos \omega t (-BCL\omega^2 + B)$.
 $I_{m1} = 0,247 \text{ (А)}$, $I_{d1} = \frac{I_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{0,247}{\sqrt{2}} = 0,175 \text{ (А)}$.

Далее провели эксперимент. Составили экспериментальную установку по схеме, приведенной выше, измерили токи на каждом элементе цепи с помощью мультиметра, сравнили результаты, вычисленные с помощью предложенного метода, с результатами, полученными в эксперименте.

Выводы

Полученные расчетным путем результаты не полностью совпали (примерно 5 – 15%) с результатами, полученными опытным путем. Это связано с тем, что в расчетной модели не учитывались сопротивления проводов, погрешности измерительных приборов. При наличии электронных измерительных приборов результаты были бы точнее. Исходя из этого, данный аналитический метод является верным и его можно использовать для расчетов электрических цепей переменного тока.

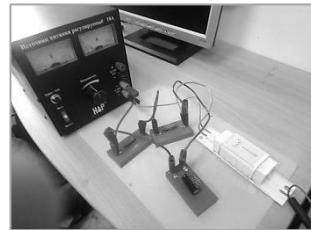


Рис. 2. Экспериментальная установка

Таблица. Сравнение экспериментально и расчетно вычисленных результатов

| $I_{1e}, \text{А}$ | $I_{1p}, \text{А}$ | $I_{2e}, \text{А}$ | $I_{2p}, \text{А}$ | $I_{3e}, \text{А}$ | $I_{3p}, \text{А}$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,19 | 0,18 | 0,20 | 0,17 | — | 0,0002 |

Литература

- Гальперин М.В. Электротехника и электроника. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 480 с.
- Прошин В.М. Электротехника для неэлектротехнических профессий. – М.: ИЦ «Академия», 2014. – 456 с.

Моделирование неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в водной пленке, находящейся в воздушном потоке

Зубков Виктор Ильич

9 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.Н. Зотова,

научный сотрудник ИПФ РАН,

кандидат физико-математических наук



Численно исследована сдвиговая неустойчивость на границе водной и воздушной сред. Написаны конфигурационные файлы для программного пакета Gerris для моделирования сдвиговой неустойчивости, возникающей на границе пресной и соленой воды и на границах водной пленки, находящейся в воздушном потоке.

Описание процесса взаимодействия водной пленки с воздушным потоком, в частности неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, играет важную роль в исследовании процессов атомизации (распад на капли) природных явлений. Задание параметров при прямом численном моделировании мелкомасштабных процессов может приводить к вычислительным ошибкам. Необходимо определить требующиеся значения параметров конфигурационных файлов программного пакета Gerris для моделирования тонкой водной пленки в воздушном потоке.

Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца

Явление неустойчивости Кельвина-Гельмогольца возникает, когда два слоя сплошной среды в месте соприкосновения имеют разные скорости. В одном из экспериментов [2] рассматривались две жидкости разной плотности – пресная и соленая вода. Создавались условия, в которых жидкости начинали двигаться в противоположных направлениях, что приводило к возникновению неустойчивости Кельвина-Гельмогольца (рис. 1).

Изучение неустойчивости Кельвина-Гельмогольца может иметь значение при исследовании взаимодействия атмосферы и океана при ураганных ветрах. Известно, что при ураганных ветрах в процессе образо-



Рис. 1. Неустойчивость Кельвина-Гельмогольца, наблюдаемая в эксперименте [1]

вания брызг над поверхностью океана играет важную роль дробление типа «парашют» [1]. В некоторых случаях на отдельных участках водной пленки, составляющей «парашют», наблюдается рябь. Интересным представляется вопрос, какое явление приводит к возникновению такой ряби и связано ли оно с взаимодействием пленки и воздушного потока, движущегося с большой скоростью параллельно поверхности пленки.

Программный пакет Gerris

Для моделирования изучаемых процессов был использован программный пакет Gerris Flow Solver [3], который был выпущен как бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом. В Gerris реализован алгоритм решения уравнений Навье-Стокса для двух и трехмерных задач, что позволяет моделировать промышленные жидкости или, например, механику капли.

Знакомство с программным пакетом заключалось в изучении синтаксиса конфигурационных файлов (файлов, в которых описываются граничные и начальные условия моделирования) и поиске необходимого разрешения. В программном пакете Gerris сетка эволюционирует в ходе моделирования в соответствии с заданным критерием, в нашем случае – градиентом трейсера. Трейсер представляет собой индикатор, позволяющий отличать различные изучаемые среды. Через значение трейсера для среды задаются значения ее плотности и вязкости.

Разрешение сетки задается числом, которое несет в себе информацию о том, на сколько частей разбивается единичный квадрат области моделирования. Это число – степень числа 2, то есть при сетке с разрешением 7 каждый квадрат области моделирования по каждой координате делится на $2^7 = 128$ частей. Кроме того, программа позволяет увеличивать разрешение сетки в местах, где это необходимо, например, там, где градиент трейсера превышает определенное заданное в программе значение.

Численное моделирование неустойчивости Кельвина-Гельмгольца

1. Моделирование неустойчивости на границе сред с близкими плотностями.

С помощью программного пакета Gerris мы смоделировали процесс, наблюдавшийся в эксперименте [2]. Для параметров двух сред были взяты значения, приблизительно равные использовавшимся в эксперименте. На рисунке 2 слева приведены кадры из записи эксперимента, справа – результаты численного моделирования. В ходе моделирования был выявлен наиболее подходящий тип сетки: выяс-

нилось, что главную роль играет модификация сетки в соответствии с величиной градиента трейсера.

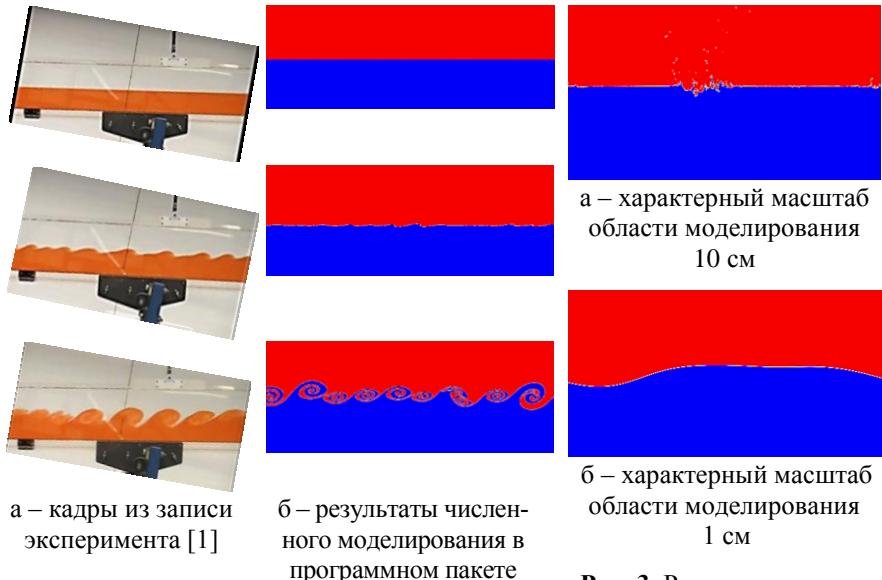


Рис. 2. 1. Моделирование неустойчивости на границе сред с близкими плотностями

а – характерный масштаб области моделирования
10 см

б – характерный масштаб области моделирования
1 см

Рис. 3. Результат моделирования неустойчивости для границы раздела сред «вода – воздух»

2. Моделирование неустойчивости на границе воды и воздуха

При моделировании взаимодействия двух потоков с большой разницей плотностей мы обнаружили, что для избегания вычислительных ошибок необходимо правильно подбирать масштаб. Мы моделировали неустойчивость на границе раздела двух сред – воды и воздуха. Плотность и вязкость сред были определены в соответствии с табличными значениями, горизонтальная скорость воздуха 20 м/с.

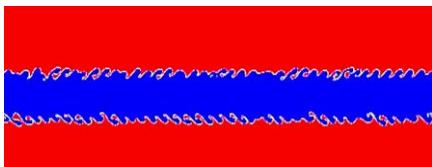
Область моделирования состояла из трех единичных квадратов, соединенных между собой по горизонтали. Ниже представлены результаты численного моделирования для разных масштабов области моделирования (разрешение сетки 6, в месте превышения градиентом трейсера определенного значения меняется на 9). На рисунке 3а этот масштаб – 10 см (ему равна высота области моделирования, ширина области моделирования равна $10 \times 3 = 30$ см), на рисунку 3б – 1 см.

Можно заметить явную вычислительную ошибку, возникающую для масштаба области моделирования 10 см. При уменьшении масштаба до 1 см поведение границы раздела сред существенно другое (см. рис. 3б), при дальнейшем уменьшении масштаба результат моделирования не меняется. Это дает нам право сделать вывод, что масштаб области моделирования 1 см достаточно мал для адекватного моделирования границы раздела воды и воздуха. Из-за большой разности плотностей вихри при сдвиговой неустойчивости не наблюдаются.

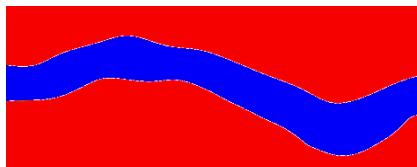
3. Моделирование неустойчивости на границе водной пленки, находящейся в воздушном потоке.

После того, как мы определили необходимый масштаб области моделирования, а также характерный масштаб возмущения (на рис. 3б его можно оценить как 1 см), возникающего на границе «вода – воздух» при сдвиговой неустойчивости, мы приступили непосредственно к моделированию водной пленки. Нами была рассмотрена пленка толщиной 0.2 см.

На рисунке 4 можно увидеть сдвиговую нестабильность на границах раздела вода - воздух, скорость ветра сверху и снизу относительно пленки одинаковая (20 м/с).



а – разрешение сетки 8



б – разрешение сетки 9

Рис. 4. Результат моделирования неустойчивости для водной пленки в воздухе. Характерный масштаб области моделирования – 1 см.

Разрешение сетки – 6, но в месте превышения определенного значения градиента трейсера оно меняется

Рисунки 4а и 4б отличаются одним параметром – разрешением сетки в месте превышения градиентом трейсера заданного значения: для рисунка 4а разрешение равно 8, для рисунка 4б – 9. Видно, что поведение границы раздела двух сред существенно отличается для этих случаев. Разрешения сетки, равного 8, недостаточно для адекватного моделирования задачи. Нами также было рассмотрено значение разрешения сетки в месте превышения градиентом трейсера заданного значения, равное 10. Для него результат не отличается от приведенного на рисунке 4б. Это значит, что для моделирования рассматриваемой нами плен-

ки достаточно разрешения сетки в месте превышения градиентом трейсера заданного значения, равного 9, и дает право надеяться, что результат моделирования, приведенный на рисунке 4б, адекватно отображает поведение водной пленки в потоке воздуха.

По результатам численного моделирования сделан следующий вывод, рассмотренная нами водная пленка под воздействием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в потоке воздуха со скоростью 20 м/с будет претерпевать колебания с характерным масштабом порядка 1 см.

Вывод

Мы ознакомились с программным пакетом для численного моделирования гидрофизических задач Gerris, разобрались с синтаксисом конфигурационных файлов, использующихся для задания граничных и начальных условий при моделировании и изучили, как задается и модифицируется сетка при моделировании. Пакет Gerris был применен для моделирования эксперимента по изучению неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в средах с близкими плотностями. Результаты численного моделирования хорошо описывают картину, наблюдаемую в эксперименте.

Целью дальнейшей работы являлось моделирование сдвиговой неустойчивости на границе сред с сильно различающимися плотностями – воды и воздуха. Было найдено оптимальное значение параметров сетки, а также требующийся для получения адекватного результата масштаб задачи для моделирования границы раздела воды и воздуха и для моделирования поведения водной пленки в воздушном потоке.

Было установлено, что в водной пленке толщиной 0.2 см в воздушном потоке со скоростью 20 м/с возникают колебания с пространственным масштабом порядка 1 см. Полученные результаты применены для изучения с помощью численного моделирования поведения более тонких водных пленок в воздушном потоке.

Литература

1. Троицкая Ю.И., Ермакова О.С., Кандауров А.А., Козлов Д.С., Сергеев Д.А., Зилитинкевич С.С. Немонотонная зависимость коэффициента сопротивления поверхности океана от скорости ураганного ветра – эффект генерации брызг за счет дробления типа «парашют» // Доклады Академии наук, 2017, т. 477, № 3. С. 357 – 362.
2. Fresh water. Dense salt water [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=UbAfvcayr00>
3. Gerris Flow Solver [Электронный ресурс]. URL: http://gfs.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page

Исследование способов уменьшения температурных колебаний в криогенных системах замкнутого цикла

Казанцев Георгий Викторович
9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИФФ РАН

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



Исследовались температурные колебания в криостатах замкнутого цикла. Рассмотрен принцип работы криостата замкнутого цикла. Проведены циклы охлаждения и нагревания криостата. Рассмотрены особенности и принцип работы диода, использованного в качестве температурного датчика; получена калибровочная таблица, написан алгоритм для нахождения температуры по значению напряжения на диоде. Экспериментально найдены средние амплитуды и периоды температурных колебаний при различных конфигурациях криостата; использованы методы уменьшения температурных колебаний (демпфирующая прослойка, дополнительная нагрузочная масса). Сделаны выводы по методам и способам уменьшения тепловых осцилляций.

Системы охлаждения замкнутого цикла, предназначенные для обеспечения температур до 4 К, пользуются все большей популярностью благодаря развитию коммерческой криогеники с одной стороны, и постоянному росту цен на жидкий гелий с другой. Многие компании предлагают серийные криосистемы замкнутого цикла различной мощности и компоновки, причем, благодаря конкуренции между производителями, конечная стоимость оборудования для потребителя уменьшается. Применение систем замкнутого цикла позволяет отказаться, либо значительно сократить расход сжиженных газов и упростить обслуживание оборудования. Из-за конструкционных особенностей в подобных системах возникают температурные осцилляции, что затрудняет и ухудшает проведение измерений в криостатах замкнутого цикла. В связи с этим необходимо разработать комплекс мер по уменьшению температурных колебаний.

На рисунке 1 представлена схема установки и проведения экспериментов. Ток через диод задавался с помощью стабилизированного источника, напряжение измерялось нановольтметром Keithley, нагрев резистора и мониторинг измерений осуществлялся с использованием компьютера. На охлаждаемой плате криостата устанавливается термодиод, рядом были установлены нагреватель (резистор

номиналом 20 Ом), держатель и фирменный датчик низких температур LakeShore DT-470. На нагреватель подавался периодический сигнал 2 мВт, 4 мВт, 60 мВт с разной частотой, что приводило к периодическим колебаниям температуры в криостате.

Проведено четыре эксперимента с разными конфигурациями: с нагрузочной массой (médный держатель), материалом низкой теплопроводности (майлар) и разной мощностью цикла нагрева криостата. Рассчитаны средние периоды и амплитуды температурных колебаний. Экспериментально определена частота и амплитуда температурных осцилляций на держателе и на холодной плите.

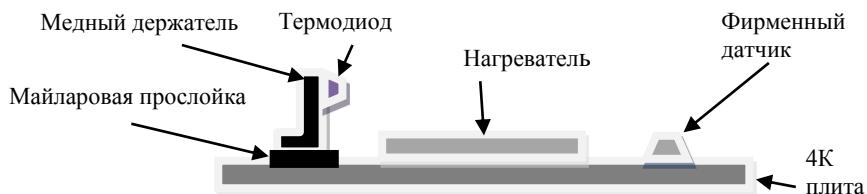


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

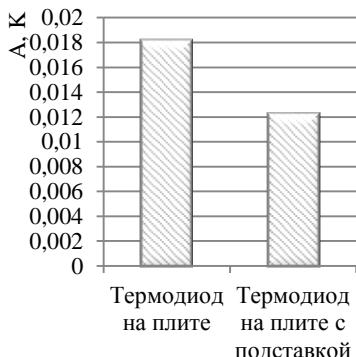


Рис. 2. Сравнение средних амплитуд температурных колебаний термодиода на плате и с держателем

На рисунке 2 показано сравнение амплитуд температурных колебаний для случая размещения термодиода на плате и медном держателе. При использовании медного держателя колебания температуры уменьшились на 33% (было 18 мК, стало 12 мК), при этом минимально достигимая температура на держателе не изменилась.

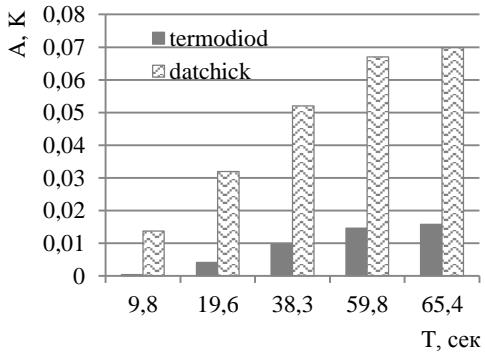


Рис. 3. Сравнение амплитуд температурных колебаний термодиода и фирменного датчика при нагреве 8 мВт

Для случая использования дополнительной массы (медного держателя) и термосопротивления (майларовой прослойки с низкой теплопроводностью) посчитана зависимость отношения амплитуд температурных колебаний на плите и держателе от периода. На рисунке 4 видно, что, чем меньше период нагрева, тем больше разница амплитуд двух датчиков (на плите и держателе).

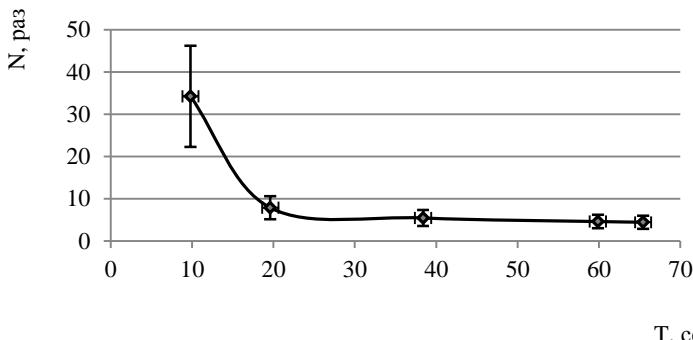


Рис. 4. Зависимость отношения амплитуд колебания температур от периода нагрева

В ходе работы была исследована зависимость параметров температурных осцилляций от различных конфигураций установки: дополнительных тепловых нагрузок, демпфирующих прослоек и т.д. Получено отношение амплитуд температурных колебаний на плите и держателе в зависимости от периода и мощности нагрева криостата.

Литература

1. Леснов И., Большаков О., Мухин А., Ширяев М. Преобразование напряжения на температурном датчике в температуру по стандарту Lakeshore Curve10. – Н.Н.: ФГБОУВПО НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2015. – 9 с.
2. Лоунасмаа О.В. Принципы и методы получения температуры ниже 1 К / Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 356 с.
3. Сербин И., Григорьев В., Есельсон Б., Санникидзе Д., Иванцов В. Растворы квантовых жидкостей Не3-Не4. – М.: Наука, 1973. – 424 с.
4. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
5. Hutchinson S. Cryogen Free Dilution Refrigerators // International Workshop on «Cryogenic Nanodevices», 2013, Björkliden, Kiruna, Sweden.

Исследование нелинейных автоколебаний пружинного маятника в переменном неоднородном магнитном поле

Каменовский Игорь Алексеевич

9 класс, Школа № 12, Нижний Новгород

Научный руководитель О.Ю. Кузнецов, учитель физики Школа 113,
Нижний Новгород

Исследованы автоколебания пружинного маятника в неоднородном переменном магнитном поле катушки с электрическим током, для чего была создана экспериментальная установка, позволившая в автоматическом режиме фиксировать на экране монитора компьютера колебания грузика. Установлено, что колебания пружинного маятника в неоднородном магнитном поле имеют нелинейный характер. Частота собственных колебаний зависит от амплитуды (размаха) колебаний. Экспериментально наблюдался гистерезис зависимости амплитуды вынужденных колебаний от частоты внешнего воздействия и модулированные автоколебания низкой частоты, частота модуляции примерно в 50 раз ниже, чем частота автоколебаний. Экспериментальные данные подтверждают численные расчеты решения уравнения движения пружинного маятника в магнитном поле катушки.

Интерес к нелинейным колебаниям (автоколебаниям) не ослабевает. Цель исследования – наиболее полное изучение характеристик вынужденных колебаний механической колебательной системы (пружинный маятник). Работа состоит из экспериментальной и теоретической части (численный расчет). Объект исследования – колебательная система, состоящая из пружины и распределенного груза (неодимового магнита и коробки со стальными шариками), помещенная в переменное магнитное поле катушки с электрическим током, модулированным сигналом от генератора низкой частоты. Предмет исследования – явление нелинейного резонанса механической системы (пружинный маятник в магнитном поле катушки с током) в зависимости от параметров внешнего магнитного поля, фиксация изменений колебательных характеристик (период, частота, амплитуда, время затухания колебаний) при последовательном увеличении и уменьшении частоты внешнего воздействия.

В работе используется экспериментальная установка для моделирования и изучения одномерных нелинейных колебаний, а также таких явлений, как нелинейный и параметрический резонанс, колебания с 2-ой и 3-ой степенями свободы, динамический хаос.

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1. Приборы и материалы (рис. 2): источник постоянного тока 12В 5А, осциллограф, мультиметр (для измерения тока до 5 А), усилитель НЧ на микросхеме TDA7377, генератор НЧ, программируемый "Function Generator" для телефона на Android, измеритель линейного перемещения на базе ультразвукового датчика HC-SR04 и микропроцессорной схемы на восьми разрядном контроллере ATMEGA128 фирмы Atmel.

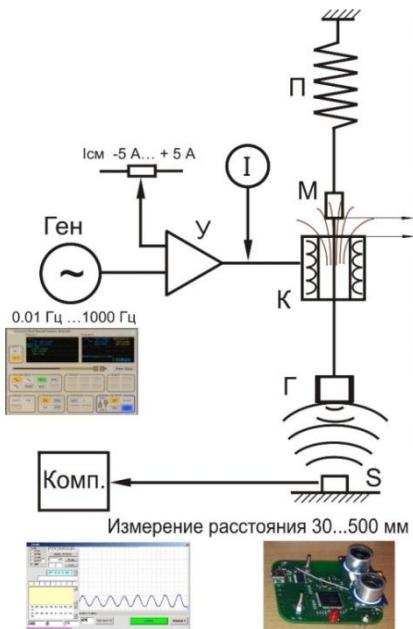


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

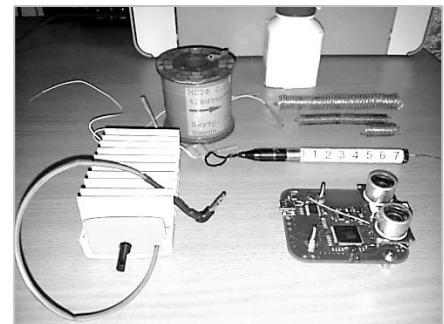


Рис. 2. Приборы и материалы

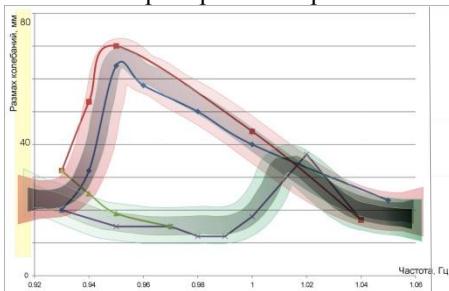


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика

При наличии внешнего магнитного поля магнита период колебаний пружинного маятника увеличивался (частота уменьшалась), причем, чем ближе груз находился к магниту, тем большим было увеличение периода. Колебания в магнитном поле (в постоянном и переменном) были неизохронными. Экспериментально была определена зависимость силы притяжения между магнитом и грузом от расстояния. Проводилась также серия экспериментов при увеличении частоты и ее последующем уменьшении. Наблюдался

гистерезисный характер амплитудно-частотной характеристики (рис. 3), то есть при увеличении частоты (зеленая и фиолетовая линии) резонанс наступал при более высокой частоте (1,01 – 1,02 Гц), но с меньшей амплитудой (около 20 мм), чем при уменьшении частоты (0,95 Гц) с амплитудой около 35 мм (красная и синяя линии). Причем, резонансы наблюдались во всех сериях экспериментов. Из-за неточности автоматических измерений на рисунке показан разброс экспериментальных данных. Кроме того, наблюдалась низкочастотная модуляция (0,02 Гц) амплитуды колебаний. Собственная частота без магнитного поля составляла 1,16 Гц.

Результаты

1. Создана экспериментальная установка для исследования колебаний пружинного маятника. Для получения неоднородного магнитного поля изготовлена катушка, разработан и смонтирован усилитель тока на микросхеме TDA7377. В качестве груза применен неодимовый магнит Ø10x10, что позволило снизить требования к катушке на несколько порядков (уменьшены габариты и ток).

2. Для автоматизации измерений разработан и изготовлен измеритель линейного перемещения на базе ультразвукового датчика HC-SR04 и микропроцессорной схемы на восьми разрядном контроллере ATMEGA128. Создана программа для измерения дальности от датчика расстояния до груза на пружине, а также для одновременного измерения частоты внешнего возбуждения от усилителя НЧ и передачи результатов в компьютер.

3. Написана компьютерная программа для визуализации принятых данных и записи результатов измерений в файл.

4. Созданная установка позволяет проводить измерения в диапазоне частот от постоянного тока до 10 Гц и измеряет перемещение от 30 до 500 мм.

Литература

1. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. – М.: Физматлит, 2005. – 292 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.1. Механика. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М., Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика. 2000. – 560 с.

Регулирование температуры воздуха в теплице

Карпов Иван Александрович
10 класс, Школа № 93, Нижний Новгород
Научный руководитель Е.Р. Вольская,
учитель физики МБОУ Школа № 93,
Нижний Новгород



Проведен анализ и выбор систем для регулирования температуры воздуха в теплице в период весенних заморозков, в летний и осенний периоды. Разработана и реализована в стендовом варианте энергозависимая система автоматического проветривания теплицы. Она лишена недостатков, присущих системам, построенным по термодинамическому принципу, адаптируема к изменениям окружающей среды, имеет малый ток потребления, что позволило питать ее от литий-полимерного аккумулятора на 12 Вт энергоемкостью 1000 мА·ч.

Время использования теплиц условно делится на два периода: весенних заморозков и начала осени, когда солнечной энергии не хватает для поддержания оптимальной для растений температуры воздуха и требуется дополнительный обогрев теплицы, и летний период, когда температура воздуха выше допустимого значения и необходимо проветривание. Цель работы – выбор систем, решающих данные задачи, с использованием возобновляемых источников энергии.

В период весенних заморозков и осенью воздух в теплице быстро остывает, и дальнейшее поддержание температуры осуществляется за счет большой теплоемкости земли, а этого может быть недостаточно. Мы решили использовать имеющийся двигатель постоянного тока мощностью 100 Вт на 30 вольт и 3000 об/мин в качестве генератора ветроустановки для подогрева воды в 200-литровой бочке через тэн, с последующей теплопередачей воздуху в теплице.

Для нагрева воды на 10 градусов необходимо потратить $Q=c \cdot m \cdot \Delta T = 4190 \cdot 200 \cdot 10 = 8380$ кДж без условий теплоотдачи. Для этого необходимо то же количество теплоты на тэне $Q=I^2 \cdot R \cdot t$. При выделении этой энергии за восемь часов потребовался бы источник мощностью 300 Вт.

Мощность, которую можно получить от использования энергии ветра, определяется формулой [4, с. 2]: $P = \eta_T \cdot \eta_G \cdot \xi \cdot \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3}{2}$, где η_T , η_G и ξ – соответственно коэффициент полезного действия транс-

миссии от вала ветроколеса к валу генератора, коэффициент полезного действия генератора и коэффициент использования ветроколесом энергии ветра; ρ – плотность воздуха ($1,23 \text{ кг}/\text{м}^3$); π – 3.14 ; r – радиус ветряного колеса, м; v – скорость воздушного потока, м/с.

Годовая скорость ветра в нашей зоне не превышает 5 м/с, а зависимость вырабатываемой мощности от скорости ветра кубическая. Если брать ветрогенератор этой мощности, то при ветре 5 м/с он выдаст всего 50 Ватт в час. Ветрогенератор мощностью 1/1,5 кВт LOW WIND 48 В на данной скорости удовлетворит нашим требованиям, но его стоимость очень велика – 85680 руб.

Поскольку 100-ваттный двигатель для решения этой задачи не подходит, да и шум от ветроустановок отрицательно влияет на людей и животных, остановились на варианте самодельной гелиосистемы на солнечном коллекторе пассивного типа [1] (рис. 1), для обогрева теплицы.

Концентрация солнечной энергии будет осуществляться с помощью закона отражения оптики [2], поскольку мощность потока солнечной энергии составляет от 100 до 1000 Вт / м^2 .

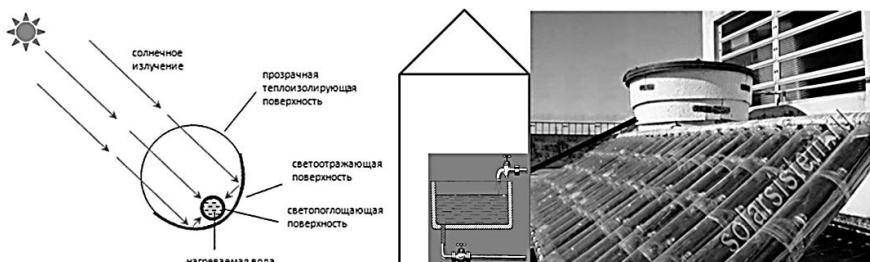


Рис. 1. Выбранный вариант поддержания температуры воздуха в теплице в период весенних заморозков – гелиосистема на солнечном коллекторе пассивного типа

Термосифонная циркуляция теплоносителя происходит благодаря изменению плотности воды с изменением температуры. Однако в гидросистеме должен быть предусмотрен вентиль, препятствующий обратной циркуляции при уменьшении температуры.

В летний период при температуре ниже 14°C и выше 30°C рост растений приостанавливается, а пыльца становится нежизнеспособной, поэтому оптимальную температуру приходится поддерживать с помощью проветривания вручную или автоматически. Существует системы автоматического проветривания как самодельные, так и

промышленные, построенные по первому закону термодинамики. Они бывают пневматические, гидравлические, но главное – они энергонезависимы от источников электроэнергии.

Это показывает, какое большое значение для человечества имеет закон сохранения энергии в термодинамике, в классической механике, в электродинамике, так как объясняет возможность преобразовывать энергию из одного вида в другой: солнечная → тепловая→ механическая ↔ электрическая.

Для открывания второй двери в теплице был выбран автомат проветривания «Термопривод-ДВ» – гидроцилиндр, заполненный очищенным легкоплавким стеарином с температурой плавления 24°C (рис. 2). Увеличение объема стеарина при нагревании и плавлении выдвигает шток и открывает прикрепленную дверь, при охлаждении шток сжимает газовая пружина. Однако такой гидропривод из-за рабочего тела нельзя использовать ранней весной и поздней осенью, при резком перепаде температур «теплица – улица» его может заклинить, да и открытие/закрытие может занимать до 30 минут.

Энергозависимые проветриватели с электрическими приводами имеют существенные преимущества, но зависят от бесперебойности питания. Часто в таких системах используют мотор-редуктор от стеклоподъемника автомобиля. Его КПД низок из-за неконсервативных сил трения в червячной передаче. Этот мотор-редуктор потребляет на холостом ходу около 2 А, а под нагрузкой при усилии 120 Н – до 5,9 А [5], следовательно для его работы нужен мощный блок питания на 12 В при питании от сети или автомобильный аккумулятор.

Разработанная нами система имеет ток потребления порядка 200 миллиампер при движении форточки от двигателя принтера C2162-6006 HP / Mabuchi Small DC и питается от литий-полимерного аккумулятора на 12 вольт (рис. 3). Время открытия/закрытия на угол 45° 11 секунд. Она



Рис. 2. Термопривод – ДВ



Рис. 3. Энергозависимая система автоматического проветривания теплицы на двигателе постоянного тока от принтера

представляет собой форточку из оргстекла с размерами 510×310 мм, шарнирно прикрепленную к ней длинную гайку, вворачиваясь или выворачиваясь из которой длинный винт под действием вращения вала двигателя заставляет перемещаться ее в заданном направлении. Поскольку форточка движется по радиусу, двигатель, как и гайка, крепится к кронштейну на шарнире, а между винтом и валом двигателя установлена фрикционная муфта, что защищает от биений при их несоосности. Система проветривания работает как в автоматическом, так и в ручном режиме: переключатель SA_1 находится в этом случае в положении представленном на схеме (рис. 4), а управление перемещением форточки осуществляется от переключателя SA_2 без участия термостата.

В термостате STC-1000 были задействованы нормально-замкнутые контакты реле в соответствии со схемой (рис. 4), для этого воспользовался Datasheet [6] на реле SRD-12VDC-SL-C.

Открытие форточки возможно при максимально допустимом усилии при сопротивлении движению в 4кгс или 39,23 Н при токе около 1А, сопротивление создавалось пружинным безменом, зацепленным за шарнир между концом длинной гайки и форточкой. Поэтому в случае заклинивания форточки предохранитель F_1 на 1А в цепи двигателя обеспечит его защиту по току.

В автоматическом режиме переключатель SA_1 ставится в нижнее положение по схеме. На термостате выставляется оптимальная температура 19°C и диапазон отклонения 5° .

Рассмотрим автоматическое открытие форточки. При превышении температуры 24°C сопротивление термистора R_1 падает, что дает команду на включение реле K_{\max} , его подвижный контакт замыкается с нормально разомкнутым (при выключенном состоянии реле), образуя цепь: «+» аккумулятора, через замкнувшийся контакт, через замкнутый контакт SA_1 в автоматическом режиме, предохранитель, S_2 , двигатель, S_1 , контакт SA_1 и далее через нормально-замкнутый контакт реле K_{\min} (минимальной температуры) на «-» аккумулятора. Форточка будет открываться, пока флагок не наедет на конечный выключатель S_1 , цепь питания двигателя разорвется, а шунтирующий его диод VD_1 в этом направлении не пропускает ток.

Только при понижении температуры ниже минимальной 14°C термостат создаст цепь прохождения тока в обратном направлении через диод VD_1 при выключенном реле K_{\max} и включившемся реле K_{\min} через его замкнувшийся нормально-разомкнутый контакт, заставляя вращаться двигатель в направлении закрытия форточки до

размыкания S_2 конечного выключателя закрытия. Диод VD_2 необходим для открытия форточки, когда S_2 разомкнут.

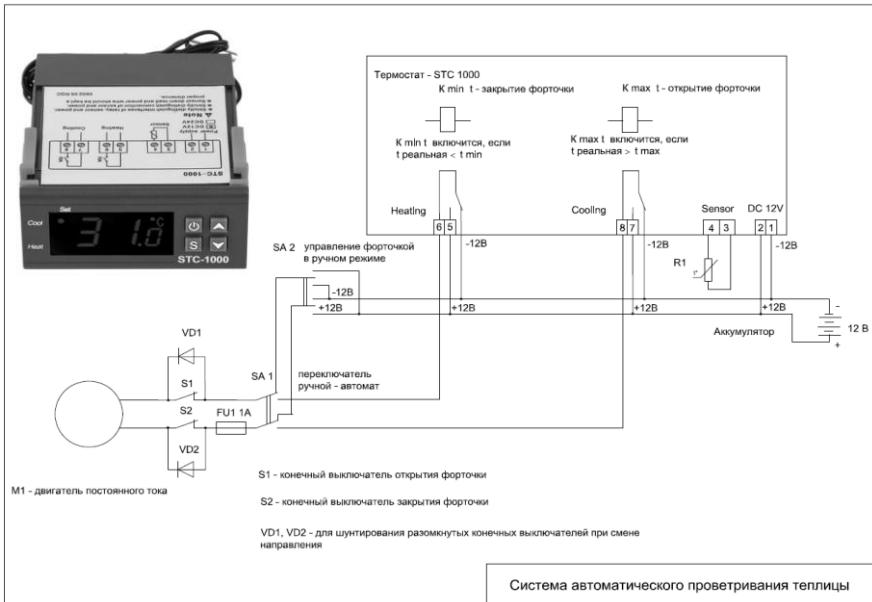


Рис. 4. Схема энергозависимой системы автоматического проветривания теплицы

Согласно проведенному эксперименту по измерению максимально допустимого усилия при сопротивлении движению в 4кгс и формуле расчета силы ветра, действующей на площадку размером 1 кв.м [3], возможно движение фронтальной форточки площадью $S = 0,161\text{m}^2 = 0,51\text{m} \times 0,32\text{m}$ при противодействии порывам ветра со скоростью 20 м/с.

$F = 0,61 \cdot u^2 / 9,8$, где F – сила ветра, действующая на площадку размером 1 кв.м в кгс; 0,61 – 1/2 плотности воздуха (в нормальных условиях), u – скорость ветра в м/с, а 9,8 – ускорение свободного падения для перевода ньютонов (н) в килограмм-силы (кгс).

При допустимых порывах ветра в 15 м/с площадь форточки может быть $S = 0,286\text{m}^2 = 0,51\text{m} \times 0,56\text{m}$.

Таким образом, был проведен анализ систем обогрева теплицы, использующих неисчерпаемые источники энергии – ветер и солнце. Мы пришли к выводу, что использование ветрогенераторных установок в индивидуальном тепличном хозяйстве садоводов нецелесо-

образно из-за отрицательного воздействия их шума на людей и животных, а также по причине низкой годовой скорости ветра в нашей зоне потребовался бы ветрогенератор большой мощности и, как следствие, с низкой окупаемостью. Поэтому для нагрева воды, используемой для обогрева теплицы, целесообразно использование гелиосистем. Исходя из этого предложен проект самодельной гелиосистемы на солнечном коллекторе пассивного типа.

Для летнего периода подобран энергонезависимый автомат проветривания «Термопривод-ДВ», управляющий дверью теплицы с усилием 20 кгс и работающий по термодинамическому закону. Отмечены его следующие недостатки: длительное время открытия/закрытия двери, возможность заклинивания при резком перепаде температур «теплица – улица» ранней весной и поздней осенью.

Этих недостатков лишены энергозависимые от электричества автоматы проветривания. Нами разработана и опробована в стендовом варианте энергозависимая автоматическая система проветривания теплицы. Она имеет следующие параметры: ток потребления порядка 200 миллиампер при движении фронтальной форточки от двигателя принтера C2162-6006 HP / Mabuchi Small D; питание от литий-полимерного аккумулятора на 12 вольт; время открытия/закрытия на угол 45° 11секунд; экспериментально подтвержденное допустимое усилие сопротивления движению 4 кгс.

Использование термостата STC – 1000 дает возможность подбирать оптимальный диапазон температуры воздуха в теплице. Проведены расчеты, подтверждающие правильность выбора площади фронтальной форточки $S = 0,161\text{m}^2 = 0,51\text{m} \times 0,32\text{m}$, позволяющие ей двигаться при встречных порывах ветра со скоростью 20 м/с для данной системы.

Литература

1. Как сделать солнечный коллектор из пластиковых бутылок [Электронный ресурс]. URL: http://solarsistem.ru/collector_iz_butilok.php
2. Солнечный коллектор из пластиковых бутылок [Электронный ресурс]. URL: <http://energodar.net/energy.php?str=../energy/solnce/butylka>
3. Расчет ветровой нагрузки на сплошной забор [Электронный ресурс]. URL: www.avers-steel.ru/artcl/stolb_windForce.html
4. Расчет мощности ветрогенератора для дома или дачи [Электронный ресурс]. URL: <https://ensat.ru/help/7/13/38.html>
5. Тест электростеклоподъемников [Электронный ресурс]/ URL: <http://catalog.autodela.ru/article/view/2118?q=article/view/2118>
6. (Datasheet) SRD-12VDC-SL-C PDF - Songle : Relay [Электронный ресурс]. URL: www.datasheetspdf.com/pdf/.../Songle/SRD-12VDC-SL-C/1

Исследование хиральности различных сахаров и лекарств методом оптической поляриметрии

Коган Сергей Александрович
8 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

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



Предпринята попытка оценить качество лекарств и сахаров методом оптической поляриметрии. Для этого, используя поляриметр СМ-3, был проведен эксперимент, в котором была получена зависимость удельного вращения от концентрации оптически активного вещества в растворе.

Важным и пока полностью не объясненным отличием живой от неживой природы является гомохиральность – большинство хиральных природных соединений (аминокислоты, моносахарины) существуют в виде одного энантиомера (энантиомеры – пара стереоизомеров, представляющих собой зеркальные отражения друг друга, не совмещаемые в пространстве).

Химики часто относятся к энантиомерам как к одному соединению, поскольку их химические свойства идентичны. Однако их биологическая активность может быть совершенно различной. Человек – существо хиральное. И это относится не только к его внешнему виду. «Правые» и «левые» лекарства, взаимодействуя с хиральными молекулами в организме, например, с ферментами, могут действовать различно. «Правильное» лекарство подходит к своему рецептору как ключ к замку и запускает желаемую химическую реакцию. Необходимость в оптически чистых энантиомерах объясняется также тем, что часто только один из них обладает требуемым терапевтическим эффектом, тогда как второй антипод может в лучшем случае быть бесполезным, а в худшем – вызвать нежелательные побочные эффекты или даже быть токсичным [1, 3]. Поэтому важно изучить это явление. Остро стоит проблема поддельных лекарств и продуктов питания, в которых часто гомохиральность нарушается. Исследование хиральности таких продуктов позволит в ряде случаев выявить недобросовестных производителей.

Цель работы – исследовать оптическую хиральность лекарств и продуктов питания различных производителей с использованием оптической поляриметрии.

Для работы был использован поляриметр СМ-3. Оптическая схема эксперимента представлена на рисунке 1 [3].

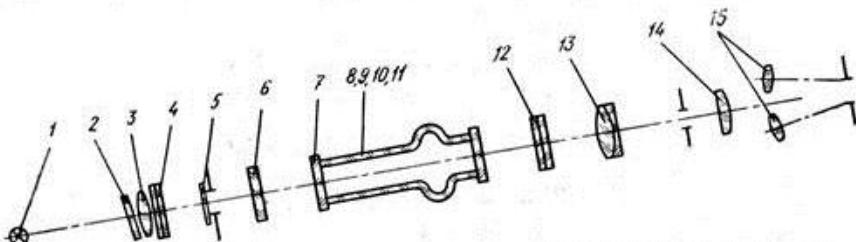


Рис. 1. Оптическая принципиальная схема

1 – лампа ДНаС 18-04.2 с длиной волны 589 нм, 2 – светофильтр, 3 – конденсор, 4 – поляризатор, 5 – хроматическая фазовая пластинка, 6 – защитное стекло, 7 – два покровных стекла, 8, 9, 10 и 11 – трубки, 12 – анализатор, 13 – объектив, 14 – окуляр, 15 – две лупы

В поляриметре применен принцип уравнивания яркостей, разделенного на части поля зрения. Разделение поля зрения на части осуществлено введением в оптическую систему поляриметра хроматической фазовой пластинки. Яркости полей сравнения уравниваются вблизи полного затемнения поля зрения. Плоскости поляризации поляризатора и анализатора при равенстве минимальных яркостей полей сравнения составляют угол 86,5°. Свет от лампы, пройдя через конденсор и поляризатор, одной частью пучка проходит через хроматическую фазовую пластинку, защитное стекло, кювету и анализатор, а другой частью пучка – только через защитное стекло, кювету и анализатор. Уравнивание яркостей полей сравнения производят путем вращения анализатора. Если между анализатором и поляризатором ввести кювету с оптически активным раствором, то равенство яркостей полей сравнения нарушается. Оно может быть восстановлено поворотом анализатора на угол, равный углу поворота плоскости поляризации раствором. Следовательно, разностью двух отсчетов, соответствующих равенству яркостей полей сравнения с оптически активным раствором и без него, определяется угол вращения плоскости поляризации данным раствором. Такой дифференциальный метод регистрации позволяет существенно увеличить чувствительность по сравнению с методом темного поля.

Угол поворота ϕ плоскости поляризации в растворах оптически активных веществ при постоянной температуре и длине волны света пропорционален концентрации и толщине слоя раствора, потому что поворот определяется числом молекул, которые свет встречает по пути.

$$\varphi = [\alpha]Cl \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности обозначают $[\alpha]$ и называют удельным вращением.

Нами была предпринята попытка измерить зависимость удельного вращения растворов от концентрации при определенной длине волны λ при температуре раствора $t = 20^{\circ}\text{C}$. Длину волны λ мы берем равной 589 нм, поскольку это длина волны желтого свечения, создается разогретой натриевой лампой, входящей в комплект прибора СМ-3. Выражая коэффициент удельного вращения из (1), получаем: $\alpha = \frac{\varphi_{\lambda}^t}{lC} [\text{град} \cdot \text{мл} \cdot \text{дм}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}]$, где φ_{λ}^t – угол поворота плоскости поляризации для данного раствора, l – толщина слоя, через который проходит поляризованный свет, C – концентрация активного вещества в 100 мл раствора [2].

Поскольку табличные значения коэффициента удельного вращения растворов были получены при проведении эксперимента с продуктами питания и лекарствами без примесей, то при сравнении полученного значения коэффициента с табличным мы можем оценить наличие примесей, а, следовательно, и качество исследуемых продуктов питания и лекарств. Для сахарозы значения коэффициента удельного вращения в зависимости от концентрации С для чистого продукта вычисляются по следующей феноменологической формуле [4]:

$$\alpha_D^{20} = 66.56 + 8 \cdot 10^{-4} C - 2 \cdot 10^{-4} C^2 \quad (2)$$

Результаты

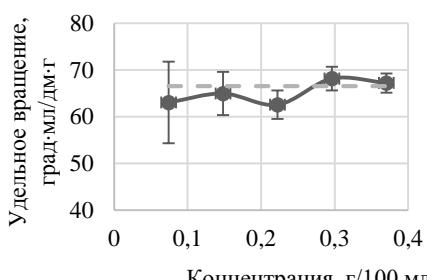


Рис. 1. Сахар без названия

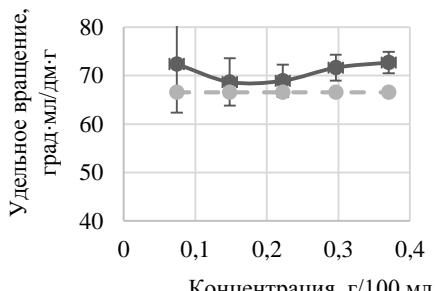


Рис. 2. Сахар «Саюс»

На приведенных графиках кривая для чистой сахарозы, рассчитанная по формуле (2), отображена пунктирной линией. На графиках

почти все данные, полученные в ходе проведения эксперимента, находятся в пределах погрешности относительно кривой для чистой сахарозы. Для сахаров «Сладкая доля» и «Саюс» можно видеть отклонения, превышающие погрешность. Это может быть связано с наличием в них примесей. Достаточно большая погрешность измерений при малых концентрациях связана с недостаточной точностью весов, используемых для определения массы растворенного вещества.

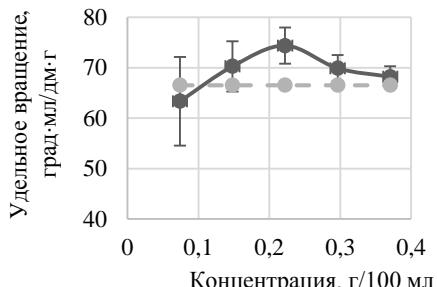


Рис. 3. Сахар «Сладкая доля»

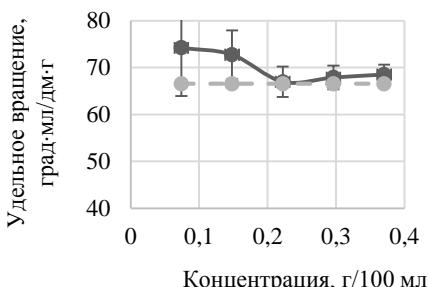


Рис. 4. Сахар «Слуцкий»

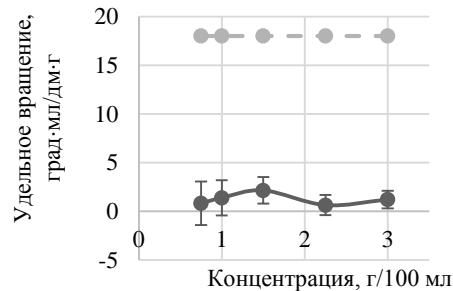


Рис. 5. Лекарство «Левомицетин»

обладает только левовращающий D(-) – треоизомер, который был назван левомицетином. Табличное значение для удельного коэффициента вращения спиртового раствора D(-)-треоизомера хлорамфеникола должно находиться в пределах +18 – +21. Однако в нашем эксперименте коэффициент удельного вращения находится около единицы. Такой результат мог получиться, например, если в качестве исследуемого вещества была бы рацемическая смесь с небольшим перевесом в пользу левовращающего изомера. Такое вещество имеет 50%-ную терапевтическую эффективность

Действующим веществом лекарства «Левомицетин» является хлорамфеникол, который является оптически активным. При химическом синтезе получается рацемический препарат, то есть соединение, содержащее L(+) и D(-) треоизомеры хлорамфеникола. Терапевтическим действием и биологической активностью

D(-) – треоизомер, который был назван левомицетином. Табличное значение для удельного коэффициента вращения спиртового раствора D(-)-треоизомера хлорамфеникола должно находиться в пределах +18 – +21. Однако в нашем эксперименте коэффициент удельного вращения находится около единицы. Такой результат мог получиться, например, если в качестве исследуемого вещества была бы рацемическая смесь с небольшим перевесом в пользу левовращающего изомера. Такое вещество имеет 50%-ную терапевтическую эффективность

относительно заявленной для левомекитина производителем. Кроме того, исследуемое вещество может иметь другой химический состав, и тогда трудно спрогнозировать его влияние на организм.

Выводы

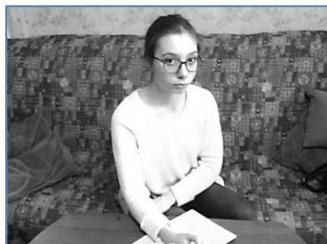
1. Метод, использованный нами, подходит для определения чистоты оптически активных веществ.
2. Метод доступный, достаточно точный и может использоваться в реальных условиях.
3. Для исследования более широкого класса веществ требуется повышение чувствительности поляриметра. Предполагается использовать УФ источник света, поскольку хиральность значительно возрастает с увеличением частоты, а также фотоэлектрический метод регистрации угла вращения.

Литература

1. Аветисов В.А., Гольданский В.И. Физические аспекты нарушения зеркальной симметрии биоорганического мира // УФН, т. 166, № 8, 1996. С. 873 – 891.
2. Жевандеров Н.Д. Поляризация света. – М.: Наука, 1969. – 192 с.
3. Леенсон И. Хиральность в живой и неживой природе // Троицкий вариант, № 218. С. 12 – 13 [Электронный ресурс]. URL: <https://trv-science.ru/2016/12/06/khiralnost-v-zhivoj-i-nezhivoj-prirode/>
4. Ляликов Ю.С. Физико-химические методы анализа. – М.: Химия, 1971. – 536 с.
5. Поляриметр круговой СМ-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

Модель расслоения плазмы сверхвысокочастотного свободно локализованного разряда в квазистатическом приближении

Кондрашева Полина Петровна
10 класс, Лицей № 36, Нижний Новгород
Научный руководитель О.Ю. Кузнецов,
учитель физики МБОУ Школа 113



Рассмотрена модель пространственного распределения концентрации электронов свободно локализованного СВЧ разряда в одномерном случае в квазистатическом приближении. Исследованы возможные решения диффузионного уравнения, учитывающего процессы ионизации и электрон-ионной рекомбинации для плотности плазмы с одним сортом положительных ионов. Показано, что в области значений концентрации электронов, близких к критическому значению, когда происходит усиление поддерживающего разряд электрического поля в области плазменного резонанса возможны периодические в пространстве решения в виде страт.

Цель исследования – теоретически обосновать возможность наблюдения расслоения низкотемпературной плазмы свободно локализованного СВЧ-разряда. Объект исследования – диффузионное уравнение для концентрации электронов в низкотемпературной плазме высокочастотного непрерывного разряда. Гипотеза: в квазистатическом приближении, когда амплитуда высокочастотного электрического поля зависит локально от концентрации электронов в области, близкой к критической, существуют стационарные пространственные стратифицированные распределения плазмы.

Теоретическая модель расслоения

Рассмотрим модель низкотемпературной плазмы свободно локализованного СВЧ-разряда в таких газах, как Ar, Xe, He, в которых не содержатся отрицательные ионы, поэтому не так важны кинетические процессы, имеется только один сорт положительных ионов и электроны. Причем, в условиях квазинейтральности плазмы $N_e \approx N_+$, где N_e – концентрация электронов, N_+ – концентрация положительных ионов. Также будем рассматривать квазистатическое приближение, когда размеры плазменных образований меньше длины волны λ . В этом случае [3]:

$$E = \frac{E_0}{|\epsilon|}, \quad (1)$$

где E_0 – амплитуда внешнего поля, E – амплитуда поля в плазме,

$|\epsilon| = \sqrt{\left(1 - \frac{N_e}{N_c}\right)^2 + \frac{v^2}{\omega^2} \frac{N_e^2}{N_c^2}}$ – модуль диэлектрической проницаемости плазмы, N_e – концентрация электронов, ω – круговая часть электромагнитной волны, v – частота столкновений электронов с нейтралами.

$$N_c = \frac{m_e(\omega^2 + v^2)}{4\pi e^2} = N_{c0} \left(1 + \frac{v^2}{\omega^2}\right) \text{ – критическая концентрация.} \quad (2)$$

$$D_a = D_i \left(1 + \frac{T_e}{T_i}\right). \quad (3)$$

В модели будем считать, что частота ионизации $\nu_i(E) = \nu_{io} \frac{E^5}{E_0^5}$ (4), что

вполне соответствует ситуации в реальных газах.

Диффузионное уравнение для концентрации электронов в плазме СВЧ-разряда имеет следующий вид:

$$D_a \frac{d^2 N_e}{dx^2} + \nu_i(E) N_e - \alpha_p N_e N_+ = 0. \quad (5)$$

По виду фазовой плоскости для уравнения (5) можно определить возможность решений. Анализ фазовой плоскости показал, что на ней есть особая точка типа «центр», которая соответствует периодическим квазигармоническим колебаниям. Также есть особая точка типа «седло», из которой начинается и в которой заканчивается особая траектория сепаратрисы. Движение по сепаратрисе соответствует солитоноподобному решению. По виду потенциальной функции можно качественно определить [4], какие возможны стационарные распределения плотности плазмы в пространстве. Так, если есть характерная потенциальная яма, то внутри нее локализуются периодические решения.

Из анализа расчетных данных потенциальных функций (рис.)

$$\gamma = \frac{v^2}{\omega^2}$$

видно, что при фиксированном γ для возникновения пространственных периодических структур необходимо, чтобы

параметр, характеризующий процесс электрон-ионной рекомбинации, принимал β значения в ограниченном диапазоне. При $V > 1$ усиление поля в области плотностей плазмы, близких к критической, слабо и подавляется рекомбинацией, то есть при таких значениях V периодические структуры не возникают. Значения концентрации электронов изменяются от n_1 до n_2 , причем n_2 не превышает величины 1, 2, а $n_1 \geq 0,2$.

Для реальных газов, инертных и двухатомных (O_2 , N_2 , воздух, CO_2 и др.): $\alpha \approx 10^{-6} \div 10^{-7} \frac{cm^3}{c}$, это соответствует при $\lambda = 3 cm$ значениям $\beta = \frac{\alpha N_c}{V_{io}} \approx \frac{(10^{-6} \div 10^{-7}) 10^{12}}{10^4 \div 10^5} = 10 \div 100$. Это подчеркивает целесообразность теоретической модели расслоения и то, что в реальном эксперименте этот эффект расслоения может быть обнаружен.

Анализ полученных расчетных графиков функции $U(n)$ (таблица) показывает, что эта функция может быть аппроксимирована параболой с ветвями, направленными вверх. Таким образом, представленный масштаб

$$L_a = \left(\frac{D_a}{V_{io}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

d расслоения близок к

При $p=10$ торр $L_a \approx 1 \div 3$ (мм) для разных газов. Данные для оценки D_a и V_{io} взяты из [1, 2]. Условие квазистатичности не нарушается.

Экспериментальная проверка модели

В работах [1, 2] исследована плазма такого разряда в открытом квазиоптическом резонаторе. Применение резонансной системы дает возможность зажигать и поддерживать непрерывный разряд в широком диапазоне давлений в различных газах и управлять параметрами разрядной плазмы. В данных исследованиях было установлено, что в некоторых газах (аммиак, пары воды, углекислый газ) при $p=3 \div 20$ торр наблюдалась необычная форма – контрагированный разряд, расслоенный поперек вектора электрического поля. Разряд имел вид слегка вытянутого вдоль вектора электрического поля эллипсоида, состоящего из чередующихся светлых и темных дисков. Расстояние

Таблица. Результаты расчетов

| γ | β | ω | d, mm |
|----------|---------|----------|---------|
| 0,2 | 65 | 8,85 | 1,4 |
| 0,3 | 32,8 | 4,34 | 2,9 |
| 0,5 | 15 | 2,43 | 5,1 |

между двумя дисками (масштаб расслоения) было во всех случаях в интервале 1 – 2 мм. Существование рассматриваемой в данной работе модели расслоения плазмы могло быть подтверждено, например, в экспериментах на описываемой установке.

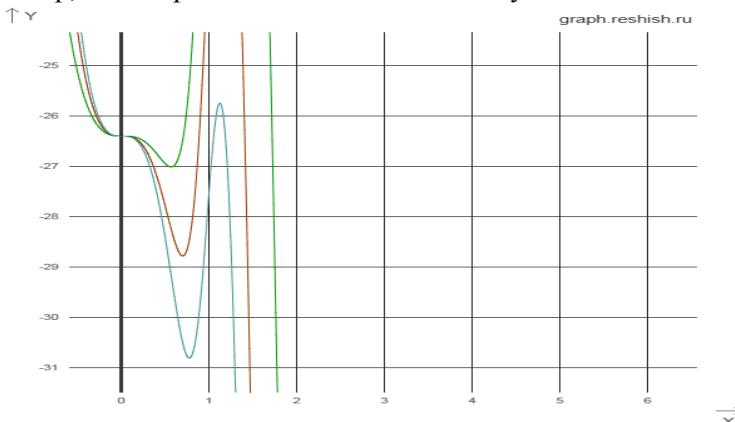


Рис. Вид потенциальных функций при $\gamma = 0,2$ $40 \leq \beta \leq 65$

Вывод

Рассмотрена модель пространственного распределения концентрации электронов в одномерном случае. Уравнение движения сводится к уравнению нелинейного осциллятора. Такое уравнение можно получить при решении различных задач нелинейных колебаний во многих разделах физики – радиофизике, механике, астрофизике, квантовой механике. Механизм расслоения плазмы СВЧ-разряда в данной работе основан на том, что в области значений концентрации электронов, близких к критическому происходит усиление поддерживающего разряд электрического поля в области плазменного резонанса, что компенсирует объемные процессы гибели электронов в результате рекомбинации.

Литература

1. Вихарев А.Л., Горбачев А.М., Иванов О.А., Кольско А.Л., Кузнецов О.Ю. Термодиффузионное расслоение плазмы непрерывного СВЧ-разряда // Письма в ЖЭТФ. 1998. Т. 67, вып. 8. С. 537 – 542.
2. Вихарев А.Л., Горбачев А.М., Иванов О.А., Кольско А.Л., Кузнецов О.Ю. Пространственные структуры непрерывного СВЧ-разряда // ЖЭТФ. 2001. Т. 120, вып. 2(8). С. 366 – 378.
3. Гильденбург В.Б., Ким А.В. Ионизационные неустойчивости электромагнитной волны // ЖЭТФ. 1978. Т. 74, Вып.1. С. 143 – 146.
4. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 592 с.

Установление зависимости кинетической энергии капли дождя от ее диаметра и высоты падения

Копьева Анна Олеговна
9 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель М.С. Рябкова,
стажер-исследователь ИПФ РАН



Данные дистанционного зондирования океана позволяют определять скорость ветра над океаном и высоту волн в океане, однако все стандартные алгоритмы дают значительную ошибку при определении параметров волнения и ветра в условиях дождя. Мы изучили зависимость кинетической энергии капли от ее размеров и высоты падения для определения коэффициента перехода между энергией капли и энергией расходящейся от нее волны. Выбранный метод – измерение времени, за которое капля пролетит небольшое расстояние, при помощи фотодетектора. Установлено, что зависимость энергии от высоты падения стремится к линейной, как и зависимость энергии капли от ее диаметра.

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

Ряд исследований [2, 3] посвящены определению зависимости коэффициента перехода между кинетической энергией капли и энергией волны от высоты, с которой падает капля, и ее размеров, другие исследования направлены на определение зависимости кинетической энергии капли от высоты падения и размеров капли.

Известно, что капля жидкости в невесомости приобретает форму шара под действием силы поверхностного натяжения (опыт Плато). Несмотря на то, что в нашем эксперименте на каплю, помимо силы поверхностного натяжения, действуют силы тяжести и сопротивления воздуха, маленькую каплю можно считать сферической и не меняющей форму при падении [1, с. 11]. Для этого диаметр капли должен быть меньше 6 мм.

Рассмотрим задачу о падении сферической недеформируемой капли в воздухе в различных приближениях.

1. Предполагая отсутствие силы трения, скорость капли в момент падения в воду можно вычислить по формуле:

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (1)$$

2. При учете силы трения скорость капли в момент соприкосновения с водой при устоявшемся падении:

$$v = \sqrt{\frac{4D\rho g}{3C_x\rho_b}}, \quad (2)$$

где C_x – коэффициент гидродинамического сопротивления, ρ_b – плотность воздуха.

3. С учетом того, что на достаточно большие капли (диаметром более 1 мм) силы вязкого сопротивления среды оказывают малое влияние, и сила сопротивления связана в основном с гидродинамическим сопротивлением среды [4], а падение происходит с ненулевым ускорением, скорость капли в момент падения в воду может быть вычислена по формуле:

$$v(h) = \frac{1}{\beta} \left[1 - \frac{1}{e^{\beta^2 gh}(e^{\beta^2 gh} + \sqrt{e^{\beta^2 gh} - 1})} \right], \quad \text{где } \beta = \sqrt{\frac{C_x \rho_{\text{возд}} S}{2gm}}. \quad (3)$$

Формула действительна для капель диаметром от 1 мм до 6 мм.

Целью экспериментальной части работы было определение зависимости кинетической энергии капли от ее размера и высоты падения. Для этого необходимо измерить объем капли и скорость. В используемой нами установке, созданной в 2016 году в ШЮИ Д.А. Ковалдовым [3], капли генерируются с помощью клапана Airtac 2V025, клапаном можно управлять с компьютера с помощью программы Dropplet, время открытия клапана определяет размер получающейся капли. Было проведено несколько серий измерений объема и скорости капли для разного времени открытия клапана. Диаметр одной капли рассчитывался следующим образом: $D = 2 \sqrt[3]{\frac{3V_{\text{капли}}}{4\pi}}$. Результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Схема экспериментальной установки по измерению скорости капель представлена на рисунке 1. В ходе эксперимента фиксировалась высота, на которой находилась капельница (H).

Таблица 1. Измерение диаметра капли по времени открытия клапана

| t открытия клапана, мс | кол-во капель | V общий, мл | V капли, мл | D, мм |
|------------------------|---------------|-------------|-------------|-------|
| 15 | 100 | 5,1 | 0,051 | 4,6 |
| 20 | 100 | 7,5 | 0,075 | 5,2 |
| 25 | 100 | 10,0 | 0,100 | 5,7 |
| 30 | 100 | 12,5 | 0,125 | 6,2 |

Производился пуск 10 – 20 капель, их замечали два фотодетектора, установленные на $h=5$ см один ниже другого. Сигнал с фотодетекторов шел на компьютер. По записи мы определяли время τ , которое капля была между фотодетекторами, и вычисляли ее скорость при пролете между ними. Мы предположили, что на столь небольшом перемещении скорость капли можно считать постоянной и определили ее как $v=h/\tau$.

Для высот меньше метра оценки по теоретическим формулам (1) и (3) совпадают, при больших высотах (больше 10 м) формула (3) переходит в формулу (2). Среднеквадратичное отклонение экспериментально измеренных скоростей капель и вычисленных по теоретическим формулам (1, 3) составляют от 7 до 28 %. Таким образом, показано, что каплю диаметром меньше 6 мм с достаточной точностью можно считать сферической и не меняющей формы.

Таблица 2. Скорости капель в зависимости от высоты для разных диаметров

| D, мм\H, см | 59,8 | 68,6 | 72,6 | 81,6 | 90,6 | 96,7 | 100 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 4,6 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 3,5 | 3,7 | 3,6 | 4,0 |
| 5,2 | 3,0 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,8 | 4,0 | 4,0 |
| 5,7 | 3,1 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 3,9 | 4,1 | 4,2 |
| 6,2 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,7 | 3,9 | 4,2 | 4,2 |

В экспериментах стандартное отклонение значений скорости от средней по всем измерениям колеблется в пределах от 4 до 25 %. Из рисунка 2 видно, что скорости, вычисленные теоретически и полученные экспериментально, хотя и различаются по величине, но поддерживают одинаковую зависимость: скорость капли монотонно возрастает с увеличением высоты падения (при малых высотах корневая зависимость схожа с линейной). Заметим, что нижняя кривая на высоте 96,7 см резко падает. Это произошло из-за того, что при падении большие капли распадались на маленькие.

На рисунке 3 представлена зависимость кинетической энергии капли от высоты падения и диаметра капли. Сплошные линии – теоретический расчет, точки – экспериментальные данные. Видно, что

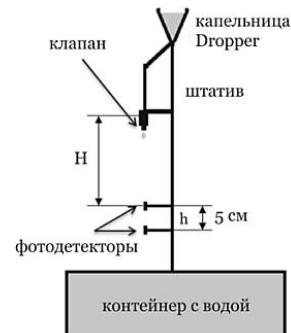


Рис. 1. Схема экспериментальной установки [3, с. 84]

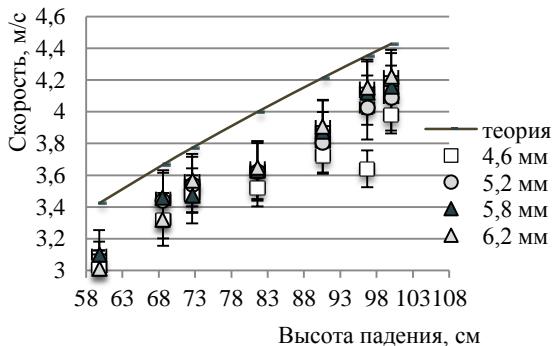


Рис. 2. Зависимость скорости капли от высоты, вычисленная по формуле (3)

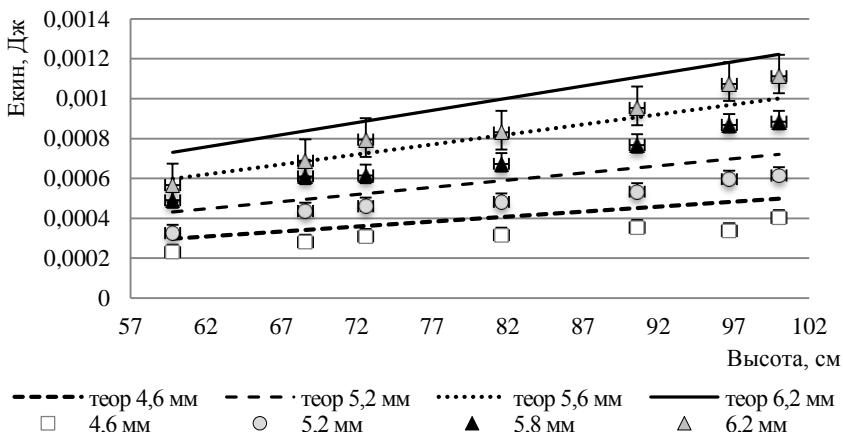


Рис. 3. Зависимость кинетической энергии от высоты падения и диаметра капли

Исследование показало, что действие силы сопротивления воздуха на капли дождя при малых высотах падения (не более 2 м согласно теоретическим расчетам) пренебрежимо мала, и их скорость близка к скорости свободного падения. Показано качественное соответствие экспериментальной и теоретической зависимостей скорости и кинетической энергии капли от высоты падения и диаметра капли, количественные различия требуют дальнейшего исследования. Следующей задачей будет определение энергии волн, возбуждаемых каплями разного диаметра, падающими с разных высот, и оценка коэффициента перехода кинетической энергии капли в энергию возбуждаемой ею волны.

для капель диаметром до 6 мм тренды кривых, соответствующих теоретическим расчетам (формула (3)) и экспериментальным данным, хорошо согласуются, различие наблюдается лишь для капель диаметром 6,2 мм.

Литература

1. Гегузин Я.Е. Капля - М: Наука, 1973. – 11 с.
2. Ковалдов Д.А. Исследование кольцевых волн, генерируемых водными каплями на поверхности воды // Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 8 / Под. общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; ФГБНУ «ФИЦ ИПФ РАН». – Н.Новгород: Гладкова О.В., 2015. – 192 с. – С. 73 – 77.
3. Ковалдов Д.А. Моделирование установки для создания дождя и расчет ее характеристик // Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 9 / Под. общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; ФГБНУ «ФИЦ ИПФ РАН». – Н.Новгород: Гладкова О.В., 2016. – 264 с. – С. 82 – 86.
4. Митрофанов А.А. Полеты в струе и наяву [Электронный ресурс] // Школа Квант // Научно-популярный физико-математический журнал «Квант»: сайт. URL: kvant.mccme.ru

Разработка чувствительного элемента детектора наличия флуорофора в биоткани

Краснокутский Артем Иванович
11 класс, Лицей № 40, ШНОИ ИПФ РАН

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



Разработано и создано устройство, позволяющее визуализировать наличие 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, алгоритм для выявления батохромного сдвига. Продемонстрирована работоспособность 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), возможность нахождения численного значения батохромного сдвига.

В современной медицине используются фотосенсибилизаторы – химические вещества, обладающие способностью поглощать излучение определенного спектра и преобразовывать это излучение в энергию химических реакций, либо переизлучать в виде света пониженной частоты. Частным случаем 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 фрагментов 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.

Цель работы – разработать устройство, позволяющее визуализировать наличие излучения флуоресценции в определенном спектральном диапазоне и производить оценку интенсивности излучения по сравнению с опорным уровнем, определяемым для здоровой биологической ткани.

Выделение сигнала флуоресценции осуществляется с использованием разработанного для этой цели спектрометра, спроектированного и изготовленного на базе дифракционной решетки (GT25-12) и камеры DCC1545M. Ширина полосы регистрации излучения спектрометра 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.

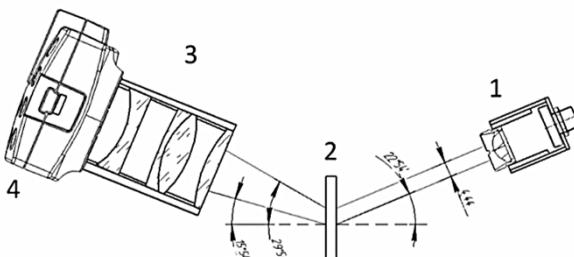


Рис. 1. Чертеж установки

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

на накачки. Чертеж разработанного спектрометра представлен на рисунке 1. Излучение, доставленное по волоконному тракту в спектрометр, через коллиматор (1) подается на дифракционную решетку (2) и через объектив (3) проецируется на фотоприемное устройство (4). На основе этого на опытном производстве ИПФ РАН были изготовлены компоненты устройства.

Волоконное исполнение оптического зонда позволяет разместить блок анализа (спектрометр,

чувствительный элемент детектора излучения флуоресценции (рис. 1) представляет собой спектрометр на дифракционной решетке, суммирующий излучение, принимаемое шестью оптоволоконными каналами, расположенными в зонде вокруг волок-

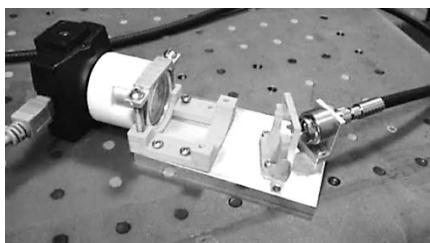


Рис. 2. Фотография устройства

источник излучения и монитор) на удалении от операционного стола.

Возможность использования спроектированного и изготовленного детектора для определения наличия флуоресцентного препарата в ткани была подтверждена экспериментальным образом. Для проверки была создана программа, которая давала четкий и информативный график спектра флуоресценции. При освещении препарата, введенного в черную пористую структуру (черный поролон) был зарегистрирован сигнал флуоресценции, визуализируемый на экране в виде колоколообразного графика зависимости принимаемой интенсивности от длины волны. При использовании в качестве основы для нанесения препарата биологических структур наличие флуоресценции регистрировалось, но не было явным, как в случае использования структур, не обладающих собственными флуоресцентными свойствами. Для выделения сигнала в таких условиях был разработан алгоритм, предусматривающий полуавтоматическую калибровку устройства, заключающуюся в предварительной записи формы сигнала автофлуоресценции от образца ткани или среды, не содержащей фотосенсибилизатор. Рабочее окно этого алгоритма представлено на рисунке 3. Далее проведена 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 фотодиазина без примесей (кривая 3). Дано оценка общей интенсивности разностного распределения путем суммирования всех компонент разностного распределения, что эквивалентно нахождению площади под кривой 3 (рис. 3).

В результате работы алгоритма пользователь имеет возможность оценить относительную величину интенсивности излучения флуоресценции, регистрируемого от

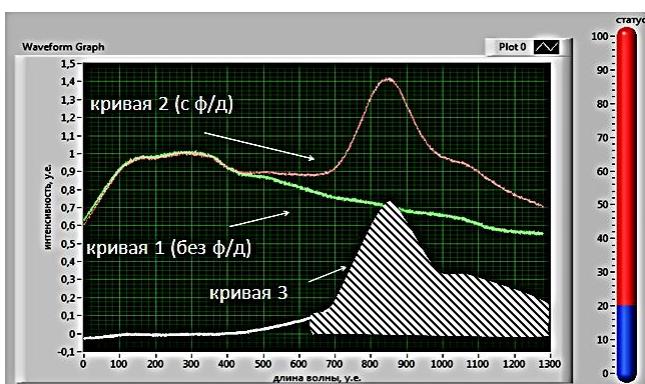


Рис. 3. Рабочее окно программы

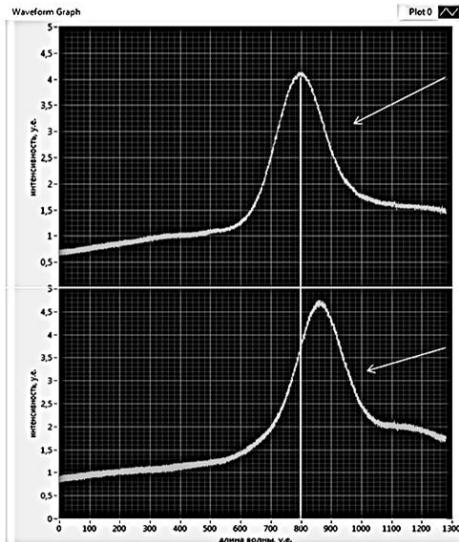


Рис. 4. Батохромный сдвиг

того или иного образца ткани.
Флуоресценция вещества уникальна, но в некоторых случаях она может зависеть от окружающей среды. В присутствии некоторых веществ может происходить смещение пиков флуоресценции по

длине волны излучения. Это

явление называется сальватохромизмом. В нашем исследовании мы заметили, что фотодитазин испытывает смещение в более длинноволновую область спектра (батохромный сдвиг) в присутствии биологических тканей (рис. 4).

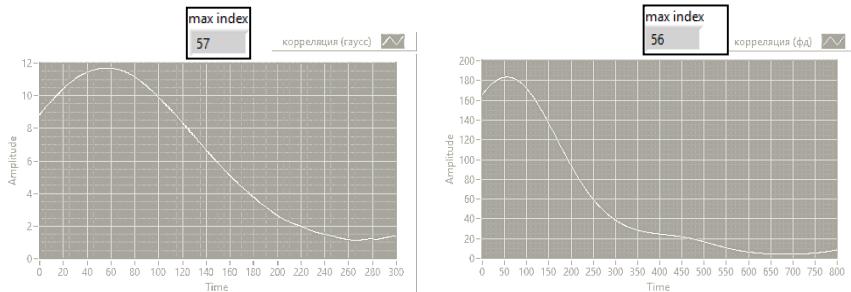


Рис. 5. Результат применения свертки

Перед нами встало задание исследования этого явления, а именно его численной оценки. Для этого было необходимо найти точное положение пика флуоресценции, определение которого даже после многократного усреднения было затруднено ввиду наличия шумовой составляющей сигнала при относительно протяженном «плато» в

максимуме на графике. Для снижения влияния шума мы вычисляли свертку регистрируемого спектра с модельным, смещаемым на каждом шаге на определенную величину (строили корреляционную функцию). Было опробовано два варианта модельных сигналов: экспериментально зарегистрированное спектральное распределение интенсивности флуоресценции фотодитазина в чистом виде и узкую (по сравнению с шириной отображаемого спектра) функцию Гаусса. В результате получалось гладкое распределение, у которого можно было определить точку максимума с минимальной ошибкой. В обоих случаях получались примерно одинаковые результаты (рис. 5). Пока не известно, какой из представленных методов будет оптимальным (метод с использованием функции Гаусса потенциально быстрее из-за меньшего количества обрабатываемой информации, а метод с использованием распределения фотодитазина более «честный»), но оба представленных метода оценки батохромного сдвига приемлемы.

В ходе работы был создан прибор для локальной интраоперационной диагностики наличия флуорофора в биоткани. Основное преимущество устройства перед имеющимися детекторами заключается в высокой скорости ответа – десять кадров в секунду, по сравнению с частотой в несколько секунд у предыдущих разработок, что имеет огромное значение в условиях нейрохирургических операций, поскольку операционное поле остается чистым очень короткое время. Также разработанное устройство позволяет заглянуть 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. Наличие полуавтоматической калибровки позволяет учитывать возможное накопление фотосенсибилизатора здоровыми тканями и исключать его при последующем анализе. Эта функция необходима, поскольку автофлуоресценция тканей мозга высока и мешает определению флуоресценции фотодитазина. При необходимости прибор возможно перенастроить на другое флуоресцирующее вещество, а также прибор позволяет визуализировать наличие фотосенсибилизатора в тканях в режиме *on-line*, оценить уровень накопления фотосенсибилизатора в тканях опухоли, определить целесообразность проведения фотодинамической терапии на завершающем этапе операции в каждом индивидуальном случае, зарегистрировать и оценить батохромный сдвиг.

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. Сибухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Физматлит, 2005. – 792 с.
3. Характеристики дифракционной решетки GT25-12 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=GT25-12>
4. Характеристики камеры DCC1545M [Электронный ресурс]. URL: https://www.thorlabs.com/newgroupage9.cfm?objectgroup_id=4024&pn=DCC1545M#5316. (дата обращения 10.01.2016)

Измерение колебательной температуры азота по относительной интенсивности спектральных линий в плазме индукционного разряда

Лазарев Даниил Витальевич
10 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель С.В. Синцов,
стажер-исследователь ИПФ РАН



Проведено измерение колебательной температуры в азотной плазме индукционного разряда на имеющемся индукционном плазмотроне с частотой 13.56 МГц. Сделан вывод о количестве колебательно-возбужденных молекул азота, пригодных для участия в реакции обмена с атомами индия. В экспериментах менялись следующие параметры плазмы: мощность, вводимая в плазму, давление, поток азота, поступающий в газовую камеру.

Современную технику сложно представить без полупроводниковых элементов. Однако получение необходимых высококачественных соединений нередко связано с технологическими трудностями. Например, нитрид индия – сравнительно новое полупроводниковое соединение, обладающее многообещающими свойствами. Нитрид индия может быть использован в производстве высокочастотных приборов, в изготовлении светодиодов и лазеров, в инфракрасной оптике, в производстве оптоэлектронных приборов. Однако его получение возможно только путем плазменного послойного нанесения – эпитаксии. В связи с этим, существует необходимость построения стабильных источников плазмы, в которых было бы возможным осуществить управляемый рост такого соединения и исследовать основные параметры такого источника для оценки возможности роста полупроводниковых соединений. [1]

Для получения нитрида индия в плазме доминируют два канала роста [2].

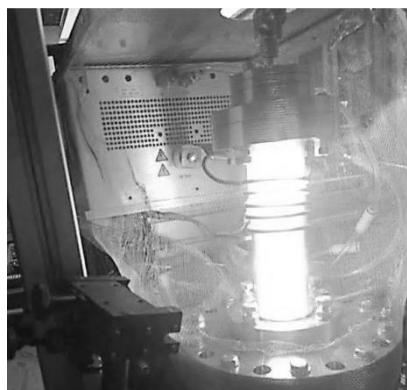
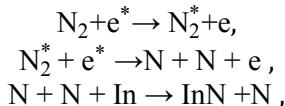


Рис. 1. Газовая камера стенда

1. Ступенчатая диссоциация молекул азота с последующей реакцией соединения с атомами индия:



2. Реакция обмена: $\text{N}_2 + \text{e}^* \rightarrow \text{N}_2^* + \text{e}$. $\text{N}_2^* + \text{In} \rightarrow \text{InN} + \text{N}$.

Для измерения колебательной температуры азота нами был использован метод, основанный на регистрации излучения, соответствующего колебательным и электронно-колебательным переходам молекул. Интенсивность излучения такого электронно-колебательного перехода с одного заданного уровня на другой задается следующей формулой:

$$\ln\left(\frac{I_{v'v''}}{v_{v'v''}^4 q_{v'v''}}\right) = -\frac{G(v')}{0,6925T_{vib}} + C,$$

где $I_{v'v''}$ – измеренная относительная интенсивность перехода $v' \rightarrow v''$, $G(v')$ – значение колебательной энергии в см^{-1} , $q_{v'v''}$ – коэффициент Франка-Кондона с данного перехода, $v_{v'v''}^4$ – соответствующая переходу частота излучения, C – постоянная.

Снимая относительную интенсивность излучения необходимых линий, по графику зависимости

$$\ln\left(\frac{I_{v'v''}}{v_{v'v''}^4 q_{v'v''}}\right)$$
 от

$G(v')$ определен угловой коэффициент прямой, равный $-\frac{1}{0,6925T_{vib}}$. По значению коэффициента была определена колебательная температура [2].

В экспериментах менялись следующие параметры плазмы: источник переменного магнитного поля (от 100 Вт до 600

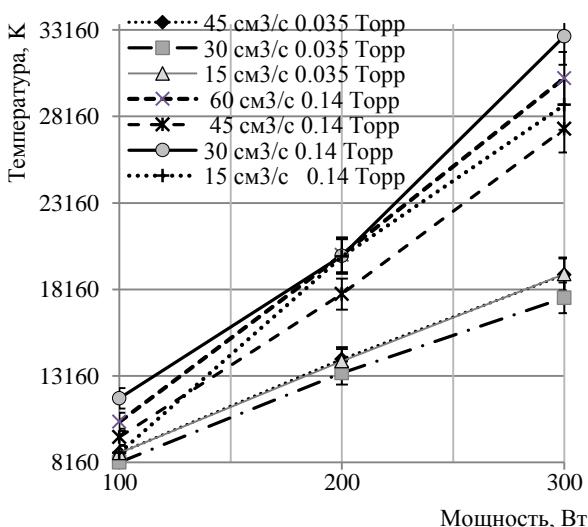


Рис. 2. Зависимость колебательной температуры при разных давлениях и потоках от мощности

Вт), давление (от 0,04 Торр до 1 Торр), потока азота, поступающего в газовую камеру (от 15 см³ молекул в секунду до 60 см³ молекул в секунду) (рис. 2).

Исходя из проведенных экспериментов, сделаем следующие выводы по динамике колебательной температуры в зависимости от внешних параметров разряда: при увеличении мощности, вводимой в плазму, колебательная температура увеличивается (рис. 3). При увеличении давления в газоразрядной камере уменьшается колебательная температура. При различных потоках газа колебательная температура не изменяется.

Для увеличения скорости роста нитрида индия необходимо увеличивать количество колебательно-возбужденных молекул. Энергетический порог протекания реакции обмена составляет 3 эВ. Исходя из проведенных измерений было оценено количества колебательно возбужденных молекул, имеющих энергию, достаточную для участия в реакции обмена с атомами индия. При колебательной температуре 32783 К поток таких возбужденных молекул индия составляет $6 \cdot 10^{20}$ молекул в секунду, что может внести вклад порядка 20 % от общей скорости роста epitаксиальных пленок нитрида индия [3].

Литература

1. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. – М.: Энергатомиздат, 1989. – 328 с.
2. Рusanov В.Д., Friedman A.L., Sholin G.B. Физика химически активной плазмы с неравновесным колебательным возбуждением молекул // Успехи физических наук. 1981. Т. 134, вып. 2. С. 185 – 231.
3. Vodopyanov A., Mansfeld D., Dubinov I., Sidorov A. Features of the reactive nitrogen source based on ECR discharge sustained by 24 GHz radiation for metal organic vapour phase epitaxy // International Symposium on Plasma Chemistry. July 5-10, 2015. Antwerp, Belgium.

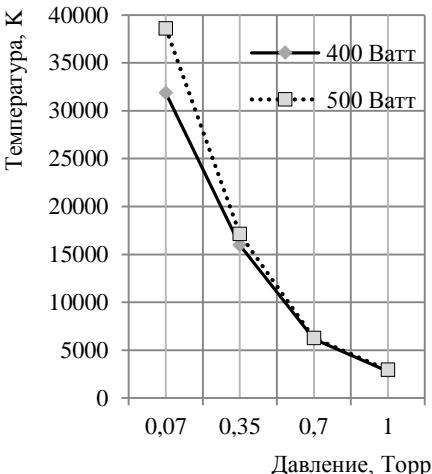


Рис. 3. Зависимость колебательной температуры азота от давления при разных мощностях

Исследование влияния магнитного поля на колебания нитяного маятника

Лебедев Евгений Игоревич
8 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель О.Ю. Кузнецов,
учитель физики МБОУ Школа 113



Исследованы колебания нитяного маятника при воздействии на стальной грузик дополнительной силы притяжения со стороны постоянного магнита. Построены графики зависимости силы притяжения к магниту от расстояния до него и зависимости периода колебаний от длины нити при разных расстояниях от магнита до грузика и от массы груза. Обнаружено влияние на период колебаний нитяного маятника в магнитном поле постоянного магнита массы грузика. Выявлено увеличение с ускорением силы притяжения к магниту при уменьшении расстояния до него. Сделана попытка теоретического объяснения полученных закономерностей и сравнение данных теории и эксперимента.

Колебания распространены во многих физических явлениях и часто применяются в технике, поэтому всякое исследование по данной теме крайне важно. Цель работы – исследовать колебания нитяного маятника с различными телами в виде грузиков (стальных) в магнитном поле сильного постоянного магнита с величиной поля около 0,1 Тл. Объект исследования – нитяной маятник (стальной грузик на нити) в магнитном поле постоянного магнита; предмет исследования – его колебания.

Наблюдения и измерения проводились на следующей экспериментальной установке: на штатив прикреплялась нить с грузом, под которым располагался неподвижный магнит (диаметр диска 5 см, толщина 1,5 см). Период колебаний измерялся делением общего времени колебаний (около одной минуты), измеренного электронным секундомером, имевшим точность 0,01 с, на количество колебаний. Расстояние от груза до магнита и длину нити измеряли линейкой с ценой деления 1 мм. Силу притяжения груза к магниту измеряли с использованием пружины (жесткость $k=3,1 \text{ Н/м}$).

Известно, что период колебаний нитяного математического маятника зависит лишь от длины нити и описывается формулой:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

где l – длина нити, g – ускорение свободного падения.

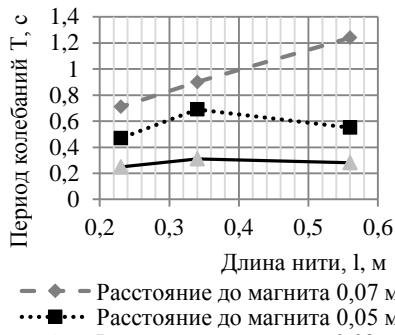


Рис. 1. Зависимость периода колебаний от расстояния до магнита

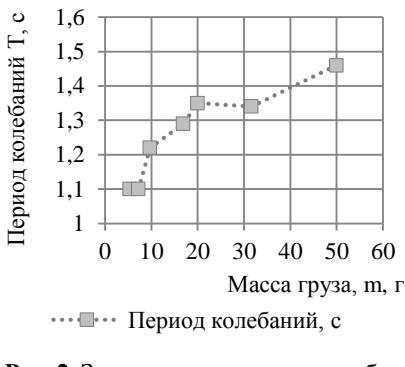


Рис. 2. Зависимость периода колебаний маятника в магнитном поле от массы груза

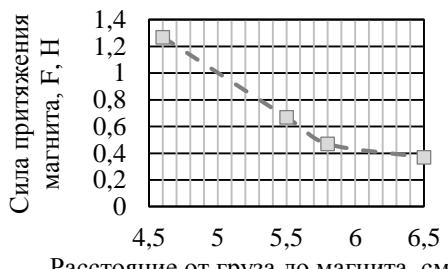


Рис. 3. Зависимость силы притяжения магнита от расстояния до него

Была проведена серия опытов по изучению зависимости периода колебаний от длины нити. Обнаружено, что на достаточно близком к магниту расстоянии, когда сила притяжения груза к нему сравнима с силой тяжести груза, зависимость становится иной (рис. 1). Если груз колеблется на большом расстоянии от магнита, где притяжение к магниту слабо, то зависимость возрастающая, а при расстояниях от магнита менее 5 см период от длины нити почти не зависит. Оказывается, влияние магнитного поля на колебания маятника приводит к их незначительному увеличению колебаний с ростом массы груза (рис. 2).

При проведении экспериментов по нахождению зависимости силы притяжения от расстояния между грузиком и магнитом и от массы груза выяснено, что если грузы из одного материала с одинаковыми магнитными свойствами, то сила притяжения зависит от расстояния (рис. 3), но не зависит от массы груза. Для этого использовалась пружина с жесткостью $k=3,1$ Н/м. По дополнительному удлинению пружины Δx в магнитном поле по формуле $F = k\Delta x$ и силе тяжести груза вычислялась сила притяжения на конкретном расстоянии от груза до магнита.

Теория вопроса

Рассмотрим уменьшение периода колебаний при уменьшении расстояния от груза до магнита. В случае, когда груз стальной, сила притяжения груза к магниту направлена в ту же сторону, что его сила тяжести, и действует так, как если бы увеличивалось ускорение свободного падения g . Период малых колебаний соответственно, уменьшался. Приближение математического маятника в данном случае работает, так как отклонение колеблющихся грузов составляло несколько градусов (до 10) и длина нити (40 – 80 см) существенно превышала размеры грузов (2 – 3 см).

Второй закон Ньютона для смещения груза x в горизонтальном направлении запишем следующим образом (затуханием будем пренебречь, так как в наблюдаемых экспериментах колебания долго не затухали):

$$x'' + \left(\frac{g}{l} + \frac{F(x)}{ml}\right)x = 0, \quad (2)$$

где $\frac{g}{l} = \omega^2$, ω – собственная частота колебаний нитяного математического маятника в отсутствии магнитного поля; g – ускорение свободного падения; l – длина нити; $F(x)$ – сила притяжения груза к магниту, m – масса груза.

Считая неоднородность магнитного поля вблизи магнита слабой, получим, что сила притяжения к магниту величина постоянная, тогда формула примет следующий вид:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + \frac{F}{m}}}. \quad (3)$$

Сравнение экспериментальных данных с теоретической моделью

Таблица. Зависимость периода колебаний маятника от массы груза

| | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| m, г | 5,3 | 7,2 | 9,7 | 16,9 | 20 | 50 |
| T _{эксп} , с | 1,12 | 1,1 | 1,22 | 1,29 | 1,35 | 1,46 |
| T _{теор} , с | 1,03 | 1,11 | 1,19 | 1,30 | 1,33 | 1,43 |

Основная ошибка при измерении времени связана с реакцией экспериментатора при пуске и остановке секундомера (отводится 0,3 секунды). Так как количество колебаний было от 20 до 50, а промежутки времени около 30 – 60 с, то максимальная относительная погрешность при измерении периода колебаний составила не более 2%, при измерении длины нити погрешность составила 0,5%. Масса грузов измерялась при помощи электронных

весов с точностью до 0,1 грамма. Погрешность при измерении массы была примерно 0,3%. При использовании пружины жесткостью $k=3,1$ Н/м точность измерения силы притяжения к магниту составила 2%.

Выводы

- 1) Период колебаний нитяного маятника (груз стальной) уменьшался в вертикальном магнитном поле постоянного магнита;
- 2) колебания затухают медленно;
- 3) найдена зависимость периода колебаний от массы груза. Это вызвано превышением на малых расстояниях между грузом, магнитом, силой притяжения к нему силы тяжести, пропорциональной массе груза, а сила притяжения груза к магниту от массы не зависит и в формуле для периода колебаний появляется слабая зависимость от массы груза (формула (3));
- 4) поведение графика периода колебаний на расстоянии 0,05 м до магнита связано, вероятно, с ошибкой при измерениях.

Литература

1. *Магнус К.* Колебания и характеризующие их величины // Колебания. – М.: Мир, 1982. С. 11 – 12.
2. *Трубецков Д.И., Рожнев А.Г.* Общие замечания и определения // Консервативный осциллятор // Примеры осцилляторов в физике, химии, биологии // Линейные колебания и волны. – М.: Физматлит, 2001. С. 14 – 23.
3. *Эрик Роджерс* Колебания маятника и измерение времени / Простое гармоническое движение / Механика движения маятника // Физика для любознательных. – М: Мир, 1972, Т.1, № 2. С. 385 – 389.

Исследование способов повышения теплопроводных свойств природного льда

Логинов Александр Михайлович
8 класс, Школа № 85, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель А.А. Ермолаев,
программист МФИ СОФТ



Вода, несмотря на то, что она самое распространенное вещество на земле, является уникальным объектом для исследований. Имея возможность принимать разные агрегатные состояния в удобном для человеческого восприятия диапазоне температур и поддержания функционирования организма, она обладает множеством полезных химических и физических свойств.

Проблема, которая стояла перед нами, заключается в том, что лед теряет свои свойства твердости и прочности при тепловом воздействии солнечных лучей, когда температура льда поднимется до 0°C . Цель исследования – получить лед с необходимыми свойствами, чтобы он сохранял свои признаки в течение долгого времени в природных условиях зон с холодным климатом для возможности использования его в качестве строительного материала. Гипотеза заключается в том, что если изменить теплопроводящие свойства льда, то он может стать более устойчивым к температурному воздействию солнца по сравнению с обычным льдом. Оказать воздействие на теплопроводящие свойства льда можно путем изменения химических или физических свойств исследуемых образцов. Таким образом, температура плавления получившегося вещества может измениться, а значит и его теплопроводящие свойства. Свойства льда можно изменить с помощью примесей. Добавляя различные вещества перед заморозкой или изменяя внешнее покрытие кусков льда, возможно повысить отражающие способности, тем самым отводя часть тепла, поступающую на него от солнца вместе с излучением.

К настоящему времени уже были проведены некоторые исследования со льдом, в результате которых свойства льда менялись. Известно 14 кристаллических модификаций воды, самая распространенная из которых – природный лед I. Большинство из них образуется при очень низких температурах от -150°C до -170°C . Такие условия приближены к космическим и не встречаются на Земле [1]. Поэтому в своих исследованиях мы использовали природный лед I.

Пути решения проблемы изменения теплопоглощающих свойств:

1. Увеличение отражающих способностей. Увеличить отражающие способности льда можно с помощью добавления в воду перед заморозкой отражающих нерастворимых частиц или отражающих растворимых красок. Так же мы можем обработать поверхность куска льда или покрыть ее отражающими красками.

– Использование растворимых красок. В образцы перед заморозкой были добавлены растворимая белая краска (гуашь) и растворимая акриловая серебряная краска (100 мг).

– Использование отражающих нерастворимых частиц. В образцы перед заморозкой были добавлены частички фольги в форме квадратиков (5 – 5мм) и полосок (3 – 25 мм) и частички фольгированной пленки или отражающих полосок в форме полосок (3 – 25 мм) и загнутых квадратиков (5 – 5 мм).

– Обработка поверхности куска льда. У одного из образцов после заморозки были выровнены поверхности. У других образцов поверхности были покрыты белой краской (гуашь) и акриловой серебряной краской (3 слоя).

2. Увеличение способности рассеяния света. Рассеяние света происходит при прохождении света через вещество. При рассеянии лучей света их энергия равномерно распределяется по объему вещества, в котором он рассеивается. Если свет будет больше рассеиваться в куске льда, то энергия будет равномерно распределяться по всему его объему, если свет не будет рассеиваться, то один край льда будет нагреваться сильнее и больше разрушаться, а значит здание, построенное из таких кирпичей, прослужит меньше из-за разрушения ближней к солнцу части стены. Поэтому рассеяние света – это еще один способ увеличения долговечности кирпичей из льда. Чтобы увеличить рассеяние света в кирпичике льда, нужно использовать нерастворимые примеси с хорошим коэффициентом отражения.

Мы изготовили 12 образцов с различными отражающими и рассеивающими примесями. Внутри каждого образца поместили кончик термометра для фиксирования изменения температуры. Эксперимент проводился в помещении, где сохранялась отрицательная температура, но образцы были защищены от потоков холодного воздуха, то есть рассеяние тепла практически исключалось. На расстоянии 18 см от образцов помещалась лампа накаливания с диаметром абажура 14,5 см и светила на образцы, передавая им тепло с излучением. Чтобы получить эталонные значения, мы сначала поместили под лампу термометр, размещенный не внутрь льда, и фиксировали из-

менение температуры на нем в зависимости от времени. После этого помещали образцы под лампу, засекали время воздействия теплового излучения и фиксировали изменение температуры на один градус Цельсия в зависимости от времени. Эксперимент продолжался до тех пор, пока образец не начинал образовывать воду. Тогда таймер останавливался, и работа с образцом прекращалась.

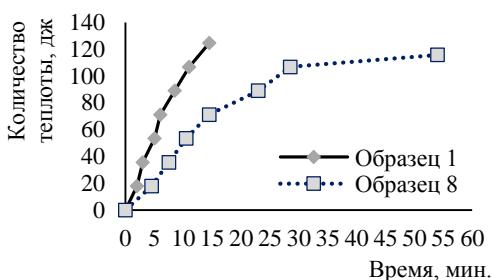


Рис. График зависимости количества теплоты образцов 1 и 8 от времени

42,5 минуты, а обычный лед растаял за 21 минуту (рис.). На графике видно увеличение продолжительности процесса таяния образца 8 по сравнению с обычным льдом.

Температуру в количество теплоты пересчитывали так: формула количества теплоты $Q=cm\Delta t$, поэтому мы взяли с льда и умножили на m образца (m всех образцов равна $8,5\text{г}=0,0085\text{кг}$), получили $c \cdot m = 2100\text{Дж/кг}\cdot\text{С}^{\circ}\cdot 0,0085\text{кг} \approx 17,8\text{Дж/С}^{\circ}$. После этого умножали это число на Δt образцов 1 и 8 и получали количество теплоты, которое получили образцы.

Лучшим оказался образец 8. Вероятно такой результат обусловлен присутствием в образце сразу двух способов повышения стойкости льда к оптическому нагреву: повышение его отражающих способностей и рассеяния света в нем с помощью добавления большого количества отражающих полосок, расположенных хаотично. Поверхность куска льда была ровной, позволяющей ей лучше отражать свет.

В дальнейшем темой исследований может стать изучение комбинирования способов изменения теплопоглощающих свойств, а также рассмотрение изменения теплопоглощающих свойств на уровне целого здания, а не отдельного кирпичика.

Литература

- Удивительная структура льда [Электронный ресурс] // www.o8ode.ru: сайт. URL: <http://www.o8ode.ru/article/learn/life/udiv.htm>

В результате исследования мы выяснили, что самым лучшими среди образцов с добавлением нерастворимых частиц стал образец 8 «Лед, наполненный отражающими полосками», он не таял 54 минуты. Лучшим среди образцов с отражающими поверхностями стал образец 7 «Лед с белой краской», который не таял

Использование сферического акустического резонатора для определения скорости звука и малых затуханий в жидкости

Покровский Максим Павлович

9 класс, «Лицей» г. Бор, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Д.И. Яснов,
лаборант-исследователь ИПФ РАН



Исследованы явления распространения акустических волн в жидкости и их малых затуханий с помощью экспериментальной установки. Разработана модель сферического акустического резонатора. Сделано предположение о форме волн, их свойствах и излучении наружу. Зарегистрированы излучаемые наружу волны и зависание пузырьков в центре, на основе чего подтверждена приближенная правильность модели. Оценена скорость звука в жидкости. Качественно описаны возможные уточнения модели и предполагаемые нелинейные эффекты.

Коэффициент малых затуханий γ и скорость распространения c – важные характеристики жидкой среды, которые могут быть использованы в гидрофизических и геологических исследованиях. Если определение скорости можно произвести с большой точностью, то способы определения коэффициента затуханий обычно имеют немалую погрешность. Цель работы – разработка метода с возможно меньшей ошибкой.

Как основу метода мы использовали модель сферического акустического резонатора, представляющего собой заполненную жидкостью жесткую сферу, внутри которой при установлении резонанса возникают сферические стоячие волны большой амплитуды. Преимущество методики состоит в применении явления резонанса, позволяющего существенно повысить точность определения γ и c . Сточные сферические волны могут применяться для создания так называемого «холодного термояда».

В реальной ситуации мы использовали сферическую стеклянную колбу, стенки которой не абсолютно жесткие, поэтому часть энергии излучалась с поверхности резонатора. Зная, как именно волны проходят через стенки, мы можем связать поток уходящей энергии с энергией внутри резонатора и амплитудами волн, а также можем составить модель, позволяющую найти скорость звука в жидкости.

Мы предполагаем, что внутри резонатора образуется сферическая стоячая волна, описываемая уравнением $P(r) = A \times \sin(kr)/r$,

где A – амплитуда волны в центре резонатора. Используя приближение и считая стенки жесткими, можем записать граничное условие для стенок:

$$v_r(r)|_{r=R} = \frac{dP}{dr} = 0.$$

Из этих двух уравнений получим: $kR = 4.49, 7.72, 10.90$. (1)

Значения kR теоретически соответствуют разным частотам, которые, возможно, наблюдаются и на практике.

Экспериментально мы нашли значение резонансной частоты, для этого использовали УЗ-микрофоны. Микрофоны находились около стенок снаружи колбы. Подключая микрофоны к компьютеру, мы измеряли показываемую ими громкость ультразвука в дБ и исследовали спектр. Частота, при которой показания микрофонов наибольшие, то есть наблюдается пик, и является резонансной. Для колбы объемом 250 мл она равна $\nu = 20.3 \pm 0.1$ кГц. Подобных частот несколько, но показания микрофонов на них намного ниже, чем на пикивой, при этом и некоторые теоретические значения из равенств (1) и соответствующие им частоты почти наблюдаются, из чего можно сде-

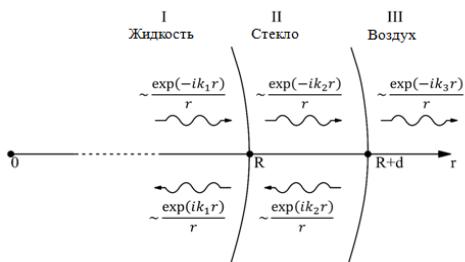


Рис. Модель прохождения волны через стенки колбы

лать вывод, что эти моды не возбуждаются.

На рисунке представлена модель прохождения волны через стенки колбы, тогда:

$$\begin{aligned} P^{(I)}|_{r=R} &= P^{(II)}|_{r=R} \\ P^{(II)}|_{r=R+d} &= P^{(III)}|_{r=R+d} \\ v^{(I)}|_{r=R} &= v^{(II)}|_{r=R} \\ v^{(II)}|_{r=R+d} &= v^{(III)}|_{r=R+d} \end{aligned}$$

Подставляя P в урав-

нения и приравнивая к нулю, получаем коэффициенты отражения и поглощения на границах стенок, с помощью которых связываем амплитуду внутри резонатора с амплитудой волн, покидающих резонатор, и находим скорость звука.

При использовании колбы объемом 250 мл, диаметром 81.5 ± 1 мм и дистиллированной водой при $T = 20^\circ\text{C}$ получили $c = 1158 \pm 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Это является решением задачи для колбы с жесткими стенками. Оно имеет большую неточность вследствие использования нами упрощенной и приближенной модели. Если же мы немного изменим граничные условия для них, то получим другие значения коэффициен-

тов отражения и поглощения и другую скорость звука. Таким образом, корректируя граничные условия и частично приближая их к настоящим, мы получим значение скорости звука, более близкое к истинному. Например, реальная скорость звука в рассмотренной ситуации такова: $c = 1480 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, что позволяет корректировать модель, приближая получаемое значение к табличному.

Для накачки энергии внутрь резонатора использовали пьезоэлементы, мощность которых можно найти, добившись резонанса напряжений в используемой электрической цепи и зная действующее напряжение и ток в ней. Механическая мощность, развиваемая пьезоэлементом, находится как $P_{in} = U \times I \times k_{33}^2$, где k_{33} – точно известный нам коэффициент электромеханической связи, U и I – действующие значения тока и напряжения в цепи.

Найдя поток уходящей из резонатора энергии, можно связать эти значения с энергией, поглощаемой жидкостью. Действительно, $P_{in} = P_{out} + P_{cons}$ – баланс поступающей, излучаемой и поглощаемой энергии, где P_{in} – энергия, накачиваемая через пьезоэлементы, P_{out} – энергия, излучаемая с поверхности резонатора, P_{cons} – энергия, поглощаемая жидкостью.

Чтобы найти поток уходящей энергии, мы использовали УЗ-микрофоны. Однако чувствительность этих микрофонов непредсказуемо зависит от частоты, поэтому, найдя по их показаниям резонансную частоту – частоту с резко большими амплитудами излучения, мы должны были откалибровать наши микрофоны на этой частоте, чтобы связать их показания с амплитудами волн. Задача осложнилась тем, что изначально эта частота нам неизвестна. Найденное ее значение мы привели выше.

Для калибровки использовали одно из нелинейных явлений – сонолюминесценцию, которая возникает лишь на определенном диапазоне амплитуд волн [3]. Таким образом, наблюдая за появлением и исчезновением сонолюминесценции, мы могли откалибровать микрофоны. Это значит, что мы можем найти амплитуду A и значения P_{out} и P_{cons} и при меньших амплитудах. Тогда можно найти энергию, поглощаемую жидкостью, и коэффициент малых затуханий. Отметим, как поглощаемая энергия и энергия, запасенная в резонаторе, связаны с A :

$$w(r) = \frac{\beta P(r,t)^2}{2} + \frac{\rho v(r,t)^2}{2} = \frac{A^2 \sin^2(kr)}{r^2},$$

где $W = \int_0^R 4\pi r^2 w(r) dr = 4\pi A^2 \beta \int_0^R \sin^2(kr) dr$ – энергия, запасенная в резонаторе, $P_{const} = W \times e^{-2\gamma T}$ – энергия, поглощаемая за пе-

риод времени T , $P_{cons} = Wv \times e^{-2\gamma T}$ – энергия, поглощаемая за единицу времени. Из этих уравнений можно найти искомое значение γ .

Чтобы подтвердить тот факт, что наша модель верно описывает происходящее внутри резонатора, можем воспользоваться явлением кавитации и возникновения так называемой силы Бьеркнеса, которая, в случае установления стоячей сферической волны внутри резонатора будет затягивать пузырьки газа в центр сферы, что и наблюдается в эксперименте. Также в пользу правильности модели говорят показания УЗ-микрофонов, соответствующие примерно одинаковым значениям амплитуды в разных точках около резонатора.

Конечно же, метод использует такие приближения, как пренебрежение собственными колебаниями стенок колбы, наличие у нее горлышка, сферические волны, бегущие от пьезоэлементов, нелинейные эффекты и случайные ошибки: в частности, показания микрофонов немного зависят от углов, причем механизмы образования этих зависимостей и их суть нам неизвестны.

В планах дальнейших исследований работа с колбами других размеров и другими жидкостями, усовершенствование методики, использование нелинейных эффектов, в частности сонолюминесценции, и нелинейных зависимостей, что является очень перспективной областью развития гидрофизики.

Литература

1. Семенов Э. Электроакустические устройства. Конспект лекций. 2001.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1990, – 478 с.
3. D. Felipe Gaitan, Lawrence A. Crum, Charles C. Church, Ronald A. Roy Sonoluminescence and bubble dynamics for a single, stable, cavitation bubble//The Journal of the Acoustical Society of America, 1992, 91, 3166 () .
4. Single Bubble Sonoluminescence HOWTO [Электронный ресурс]. URL: <http://www.macgeisler.de/nld/sbsl-howto.html> (дата обращения 29.03.2018)
5. Sonoluminescense [Электронный ресурс]. URL: <http://techmind.org/sl/> (дата обращения 29.03.2018)

Измерение импульсных токов и напряжений большой величины

Тютин Евгений Викторович

9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.Н. Леонтьев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Разработана, реализована и экспериментально испытана система измерения выходных характеристик высоковольтного модулятора М14, предназначенного для питания импульсного магнетрона W-диапазона. Система состоит из делителя напряжения и низкоиндуктивного токового шунта и позволяет измерять импульсы тока и напряжения длительностью от 200 нс и выше и величиной до 20 А и 20 кВ соответственно. В контексте поставленной задачи система измерения не уступает дорогостоящим коммерческим аналогам и позволяет значительно оптимизировать работу с магнетроном.

Измерение импульсных токов и напряжений большой величины является достаточно актуальной задачей в современной экспериментальной физике. Например, в электронике высоких мощностей часто необходимо измерять токи электронных пучков и выходные характеристики систем питания импульсных приборов большой мощности. Привычный бытовой мультиметр для таких задач не подходит, поскольку он предназначен для измерения постоянных или переменных токов и напряжений и отследить на нем короткий импульс невозможно. Бытовые приборы, как правило, рассчитаны на существенно меньшие измеряемые величины по сравнению с теми, которые могут встретиться в эксперименте. По этим же причинам не подходят и стрелочные вольтметры и амперметры. Целью настоящей работы является разработка системы измерения выходных характеристик модулятора М14, предназначенного для питания импульсного магнетрона в составе ускорителя электронов «Сатурн-Ф» [2]. Ожидаемые параметры выходного импульса модулятора: напряжение $U \approx 10 - 15$ кВ, ток через полезную нагрузку $I \approx 10 - 15$, длительность импульса $\tau \approx 200$ нс.

Высоковольтные делители напряжения

Основным методом измерения параметров коротких импульсов является их фиксация и визуализация с помощью осциллографа [1, 3]. В современных цифровых осциллографах частота дискретизации достигает сотен ГГц, что вполне достаточно для работы с наносекундными импульсами. Однако большинство осциллографов не рас-

считаны на работу с входными сигналами больше 100 В, поэтому измеряемый сигнал перед подачей на осциллограф необходимо уменьшить в известное число раз, сохранив при этом его форму. Для этих целей используются делители напряжения [1].

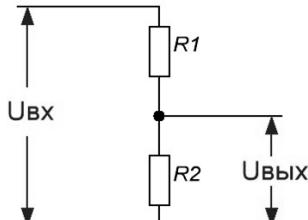


Рис. 1. Принципиальная схема идеального омического делителя напряжения



Рис. 2. Внешний вид омического делителя напряжения, созданного в процессе выполнения работы

Делитель представляет собой четырехполюсник входной сигнал, в котором подается на два последовательных участка, называемых плечами делителя, а выходной сигнал снимается с одного из них. В простейшем случае омического делителя (рис. 1) роль плеч играют резисторы. Из закона Ома следует, что отношение входного и выходного напряжений, называемое коэффициентом деления, для такой системы выглядит следующим образом:

$$K = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{R_2 + R_1}{R_2}.$$

Для того, чтобы делитель не оказывал существенного влияния на исследуемую схему, суммарное сопротивление его плеч должно быть значительно больше сопротивления полезной нагрузки, а чтобы выходной сигнал передавал форму входного без искажений, паразитные параметры используемых резисторов должны быть минимальными. Исходя из требований и ожидаемых параметров измеряемого сигнала, для создания делителя были использованы композиционные резисторы ТВО-20 с номинальным сопротивлением 20 кОм и ТВО-5 с номинальным сопротивлением 30 Ом для большого и малого плеч соответственно. С учетом сопротивления согласования 50 Ом, что соответствует коэффициенту деления $K \approx 1000$. Точные значения использованных сопротивлений были измерены с помощью универсального LCR-измерителя Е7-11[3], в результате точный коэффициент деления составил $K=992.35$.

Полученные осциллограммы сигналов с делителя напряжения показаны на рисунке 6. Измерения показали, что «полочка» выходного импульса напряжения модулятора имеет величину 12.9 кВ и длительность 180 нс. Характерный выброс в начале «полочки» импульса предположительно обусловлен паразитными индуктивностями плеч делителя.

Токовые шунты

Шунт является простейшим преобразователем силы тока в напряжение и представляет собой низкоомное сопротивление, включаемое в разрыв цепи преимущественно в точке заземления (рис. 3). При этом на концах шунта возникает разность потенциалов $U_w(t)$, пропорциональная измеряемому току $i(t)$, протекающему через шунт, которая может быть визуализирована с помощью осциллографа.

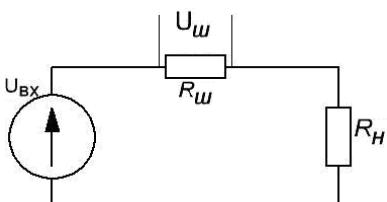


Рис. 3. Схема включения шунта

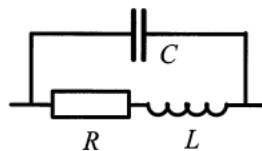


Рис. 4. Схема замещения шунта

Любой шунт создает вокруг себя электрическое и магнитное поле, обладая паразитными параметрами, которые могут быть учтены в схеме замещения шунта (рис.4), типичной для любого активного сопротивления, в действительности имеющего еще и паразитные индуктивность и емкость.

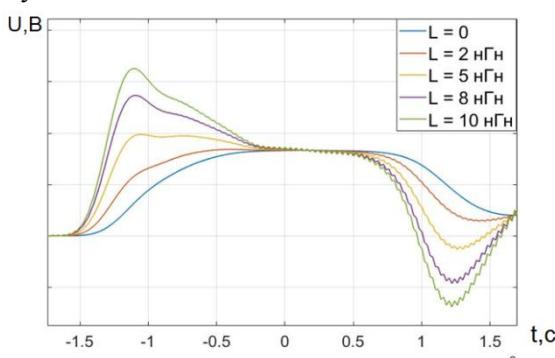


Рис. 5. Сигнал с коллекtorного шунта ускорителя «Синус-6» при различных величинах паразитной индуктивности

При длительностях импульса порядка десятков и сотен наносекунд и небольших сопротивлениях шунта паразитная емкость не оказывает значительно го влияния на форму импульса, в то время как паразитная индуктивность, напротив, может значительно деформировать измеряемый сигнал (рис.5).

Опыт показал, что при отсутствии возможности экранировать измерительную систему от внешних наводок оптимальная величина сопротивления шунта, при которой снимаемый сигнал получается не сильно зашумленным – порядка $0.5\text{--}1 \text{ Ом}$. Таким образом, учитывая требования низкой паразитной индуктивности, для изготовления шунтов были использованы различные типы низкоиндуктивных резисторов [4] и прямой отрезок никромовой ленты.

Осциллограммы сигналов с шунтами представлены на рисунке 6. По форме снятых импульсов наименее удачно показал себя шунт из отрезка никромовой ленты. Вероятно, сильная изрезанность осциллограммы обусловлена как паразитной индуктивностью, так и внешними наводками, экранировать от которых измерительную систему не представлялось возможным. Шунты из низкоиндуктивных резисторов оказались более устойчивы к наводкам в связи с меньшими геометрическими размерами.

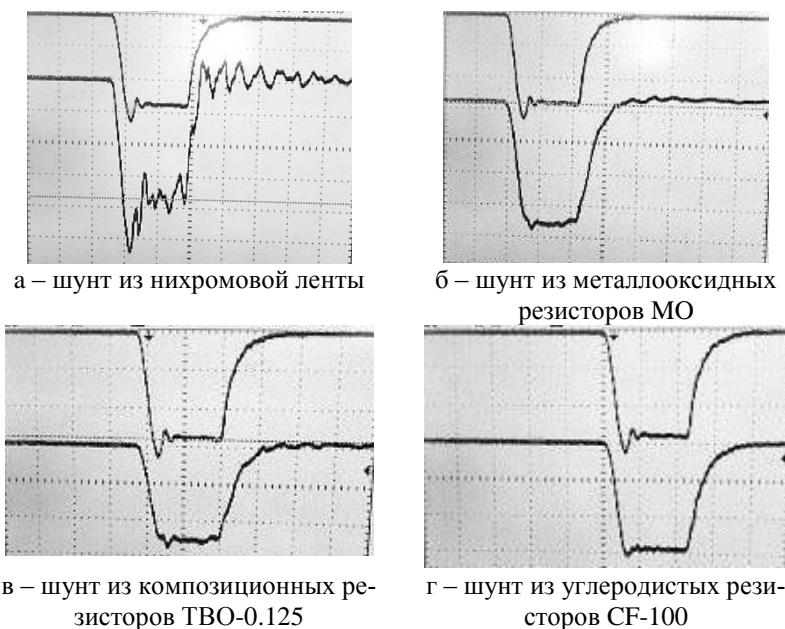


Рис. 6. Осциллограммы сигналов с делителя напряжения (верхняя кривая на каждом рисунке) и токовых шунтов

Сигнал с наиболее ровной «полочкой» был получен с шунта из резисторов CF-100. Его сопротивление, измеренное с помощью уни-

версального LCR-измерителя Е7-11, составило 0.9 Ом. Таким образом, экспериментальной осциллограмме соответствует ток 15.5 А, что близко к ожидаемому результату.

Вывод

В результате работы были рассмотрены некоторые методы измерения импульсных токов и напряжений большой величины, активно применяющиеся в современной экспериментальной физике. На основании изученного была создана и экспериментально испытана система измерения выходных параметров высоковольтного модулятора М14 для импульсного магнетрона трехмиллиметрового диапазона. Результаты измерений оказались близки к ожидаемым и в целом вызывают доверие. Эта система позволит более точно узнать характеристики модулятора М14, что позволит оптимизировать работу установки ускорителя электронов «Сатурн-Ф». В дальнейшем исследовании планируется улучшить параметры системы и изготовить пояс Роговского, предназначенный для конкретной установки.

Литература

1. Климов А.И. Экспериментальные методы в сильноточной электронике. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 238 с.
2. Zaitsev N.I., Zapevalov S.A., Pyakov E.V. 500 keV, 200A microsecond electron accelerator with a repetition rate of 10 Hz // Proceedings of XXI Russian Accelerator Conference, 2008, Zvenigorod, P. 339 – 341.
3. Измеритель LCR универсальный Е7-11. Руководство пользователя.
4. Классификация резисторов по используемым материалам и технологии изготовления [Электронный ресурс] // Школа для электрика: сайт. URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/59-klassifikacija-rezistorov-po.html>
5. Осциллографы. Основные принципы измерений. Учебное пособие [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tektronix.com/oscilloscopes/>

Оценка точности методов измерения коэффициента поверхностного натяжения

Хитрин Дмитрий Максимович

8 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.Н. Зотова,

научный сотрудник ИПФ РАН,

кандидат физико-математических наук



Исследована точность методов измерения коэффициента поверхностного натяжения. Для расчета этой величины был рассмотрен процесс отделения капли воды от капилляра. На основе второго закона Ньютона, записанного для капли, измерив тремя различными способами массу капли и радиус ее перемычки, рассчитан коэффициент поверхностного натяжения воды. Расчеты погрешности и результаты сравниены с табличными. Данные, полученные при измерении массы капли с помощью весов, оказались наиболее точными.

Информация о коэффициенте поверхностного натяжения различных веществ играет важную роль в различных областях науки, техники и инженерии. Однако представлено недостаточно данных о преимущественных методах измерения данного показателя в лабораторных условиях. Цель работы – получить знания о точности методов измерения коэффициента поверхностного натяжения.

В работе рассмотрен процесс отделения капли воды от капилляра. По записанному для капли второму закону Ньютона (1) и измеренным значениям массы и радиуса перемычки капли рассчитан коэффициент поверхностного натяжения воды:

$$mg = 2\pi R\sigma. \quad (1)$$

Радиус перемычки капли определен по видеозаписи процесса отрыва капли от капилляра. Для наших расчетов необходимо значение радиуса в момент начала быстрого сужения перемычки, так как его мы считаем моментом отрыва капли.

Масса капли измерялась тремя различными методами:

1) в стакан наливали определенное количество капель, затем их взвешивали вместе со стаканом, массу стакана вычитали, для вычисления массы одной капли общую массу делили на количество капель;

2) считали количество капель, вытекших из капилляра, на шкале масштабированного капилляра фиксировали объем убывшей жидкости. Полученные значения объема делили на количество капель, а объем одной капли, в свою очередь, подставляли в формулу $m = \rho * V$ для расчета массы одной капли.

3) Для проведения эксперимента была создана установка:

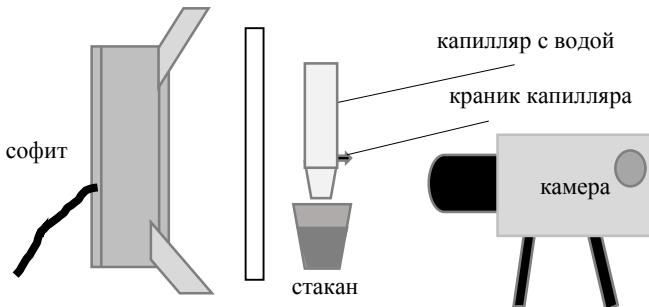


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

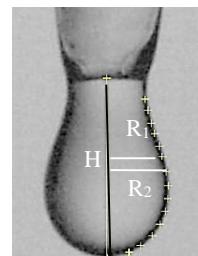


Рис. 2.
Изображение капли

Софит мощностью 600 Вт устанавливался за матовым стеклом, чтобы рассеять поступающий свет. Из капилляра, закрепленного на штативе, в стакан капала вода. На высоте, соответствующей высоте места отрыва капли, была установлена скоростная камера.

На изображении, полученном с помощью скоростной камеры, мы разбили половину капли на усеченные конусы (рис. 2), нашли их объемы по формуле:

$$(V = \frac{1}{3} \pi H (R_1^2 + R_1 * R_2 + R_2^2)). \quad (2)$$

Результаты

Взвесив капли электронными весами, мы получили следующие результаты:

Таблица 1. Результаты измерения массы первым методом

| Общая масса, г | Масса стакана, г | Количество капель | Масса одной капли, г |
|----------------|------------------|-------------------|----------------------|
| 3.630 | 1.27 | 50 | 0.047 |

Весы позволяли нам округлять результаты до тысячных долей грамма.

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi R} = \frac{0.047*10^{-3}*9.81}{2*3,141592*0.00106} = 69 * 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

Таблица 2. Результаты измерения масса капли вторым методом

| Количество капель | Объем всех капель, см ³ | Объем одной капли, см ³ |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 130 | 6 | 0.046 |

Таблица 3. Масса капли, рассчитанная по формуле $m = \rho * V$

| Количество капель | Масса всех капель, г | Масса одной капли, г |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| 130 | $6 * 0.9982 = 5.989$ | 0.046 |

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi R} = \frac{0.046 * 10^{-3} * 9.81}{2 * 3.141592 * 0.00106} = 68 * 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Таблица 4. Результаты измерения масса капли третьим методом

| Объем капли, пиксели ³ | Объем капли, см ³ | Масса капли, г |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 1438156 | 0.037 | 0.037*0.9982=0.037 |

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi R} = \frac{0.037 * 10^{-3} * 9.81}{2 * 3.141592 * 0.0012} = 48 * 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Таблица 5. Расчет погрешностей в первом методе измерения массы

| Прибор | Цена деления | Инструментальная погрешность | Личная погрешность |
|---------------------|--------------|------------------------------|--------------------|
| Электронные весы, г | 0.001 | 0.0005 | 0 |
| BagFinder, пиксели | 1=0.029мм | 0.5=0.0145мм | 0 |

Погрешность электронных весов и программы Bagfinder, то есть погрешность, обусловленная степенью внимательности экспериментатора, равна нулю, так как регистрация данных с помощью таких приборов не требуют вмешательства человека.

$$\varepsilon m = 0.0005/3.63 = 1.4 * 10^{-4},$$

$$\varepsilon R = 0.0145/77 = 1.9 * 10^{-4},$$

$$\varepsilon\sigma = \varepsilon m + \varepsilon R = 0.00014 + 0.00019 = 0.00033 = 0.033\%,$$

$$\Delta\sigma = \varepsilon\sigma * \sigma = 2.28 * 10^{-5} \text{ Н/м}.$$

Таблица 6. Расчет погрешностей во втором методе измерения массы

| Прибор | Цена деления | Инструментальная погрешность | Личная погрешность |
|--|--------------|------------------------------|--------------------|
| Масштабированный капилляр, см ³ | 0.01 | 0.05 | 0.05 |

$$\varepsilon m = \varepsilon V = 0.1/6 = 0.0167,$$

$$\varepsilon R = 0.0145/77 = 0.00019,$$

$$\varepsilon\sigma = \varepsilon m + \varepsilon R = 0.0167 + 0.00019 = 1.689 * 10^{-2} = 1.69\%,$$

$$\Delta\sigma = \varepsilon\sigma * \sigma = 1.1485 * 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

Таблица 7. Расчет погрешностей в третьем методе измерения массы

| Прибор | Цена деления | Инструментальная погрешность | Личная погрешность |
|--------------------|--------------|------------------------------|--------------------|
| BagFinder, пиксели | 1 = 0.029мм | 0.5 = 0.0145мм | 0 |

Мы считаем, что у всех усеченных конусов примерно одинаковая абсолютная погрешность, поэтому рассчитали одну и умножили на 14.

$$\begin{aligned}\varepsilon V &= \left(\frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) 14 = \left(\frac{0.0145}{22} + \frac{0.0145}{56} + \frac{0.0145}{44} \right) 14 \\ &= (0.00066 + 0.00026 + 0.00033) 14 = 0.00125 * 14 \\ &= 1.75 * 10^{-2}; \\ \varepsilon R &= 0.0145/77 = 1.9 * 10^{-4}; \\ \varepsilon \sigma &= (\varepsilon m + \varepsilon R) * 100\% = (0.0175 + 0.00019) * 100\% = 1.769\%; \\ \Delta \sigma &= \varepsilon \sigma * \sigma = 8.491 * \frac{10^{-4} \text{ Н}}{\text{м}}.\end{aligned}$$

Выводы

Измерения массы капли двумя способами дали нам близкие результаты, кроме того, погрешности этих методов сравнительно невелики. Измеренное третьим методом значение массы меньше двух предыдущих на 20%. Такое значительное отличие свидетельствует о том, что к моменту времени, для которого была рассчитана масса, капля еще не перестала формироваться, и дальше ее масса увеличивалась.

Можно сделать вывод о том, что наиболее точным из рассмотренных является метод измерения, в котором масса капли определяется при помощи весов. Для того чтобы понять, какой именно радиус капли необходимо использовать в наших расчетах, необходимо провести дополнительные исследования, например, найти зависимость от времени массы жидкости, находящейся ниже перемычки.

Литература

1. Асламазов Л.Г. Поверхностное натяжение // Квант. 1973, № 7. С. 1.
2. Поверхностное натяжение [Электронный ресурс] // Solver book: сайт. URL: <http://ru.solverbook.com/spravochnik/molekulyarnaya-fizika-i-termodynamika/poverxnostnoe-natyazhenie/>
3. Хайдаров Г.Г., Хайдаров А.Г., Машек АЧ. Физическая природа поверхностного натяжения жидкости // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4 (Физика, химия). 2011. Выпуск 1. С. .3 – 8.

Исследование взаимодействия магнитных диполей

Шагалов Никита Алексеевич

9 класс, Школа № 102, ШЮИ ИПФ РАН

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



Проблема научной работы заключается в обеспечении стабильности магнитных систем, создающих эффективную магнитную левитацию. Нами были проведены численные расчеты схемы магнитного подвеса, была собрана модель магнитного подвеса и проведены эксперименты с ней. В результате исследования выявлены эффективные параметры системы магнитного подвеса.

Сложные магнитные системы позволяют создавать магнитную левитацию – технологию поднятия объектов с помощью магнитного поля. На ее основе можно построить эффективную транспортную инфраструктуру. Уже сейчас магнитную левитацию широко используют для создания сверхскоростных поездов на магнитных подушках. Несмотря на то, что активное изучение магнитных систем происходит уже больше ста лет, интерес к исследованиям различных особенностей подобных систем сохраняется и в настоящее время [1, с. 75]. Это связано с разработкой более результативных систем с бесконтактными магнитными подвесами. Цель работы – разработать магнитный подвес на постоянных неодимовых магнитах для исследования эффекта магнитной левитации. Мы попытались разработать простую и надежную конструкцию магнитного подвеса, провести эксперименты с ним, выявить его характеристики.

Для начала мы рассмотрели простую систему, состоящую из трех магнитных диполей (рис. 1) с сонаправленными магнитными моментами P_m , где два нижних диполя закреплены. На верхний диполь действует сила отталкивания F строго вверх. Такой силой можно воспользоваться для создания эффекта магнитной левитации. Если верхний магнит сместить из равновесной плоскости, то на него начнет действовать сила вдоль оси OY . Магнит начнет движение и будет удаляться от равновесной точки. Во время смещения магнита вдоль оси OY появится вращающий момент M , который будет стремиться перевернуть магнит, и впоследствии магнит притягнется к магнитам основания. В итоге простая система из трех магнитов имеет устойчивость в двух направлениях OX и OZ , но не является

устойчивой в направлении ОY. Для создания устойчивого подвеса на основе рассмотренной системы было необходимо устраниТЬ врачающий момент M и неустойчивость в направлении оси ОY.

Для устранения врачающего момента мы предусмотрели две системы из трех магнитных диполей, где четыре нижних зафиксированы, а два верхних соединены металлическим стержнем (рис. 2). Жесткая связь между двумя верхними диполями позволяет компенсировать врачающиеся моменты действующие на верхние диполи. На получившуюся левитирующую ось, состоящую из двух магнитов скрепленных металлическим стержнем, будет действовать лишь сила, направленная вдоль оси ОY.

В XIX веке английский ученый Ирншоу сформулировал теорему, которая утверждает, что невозможно создать устойчивую систему зарядов на одних кулоновских силах. Теорема Ирншоу верна для магнитостатики в случае магнитных неподвижных диполей. Это значит, что мы не можем добиться левитации, используя лишь силы магнитостатики, нужна еще как минимум одна дополнительная сила [2, с.22], [3, с.82]. Для устранения врачающего момента, мы предусмотрели две системы из трех магнитных диполей, где четыре нижних зафиксированы, а два верхних соединены металлическим стержнем для компенсации врачающего момента каждого из диполей. Магнитный момент не действует на стержень. На него действует только сила, направленная вдоль оси ОY, которая компенсируется опорой-стенкой (рис. 2).

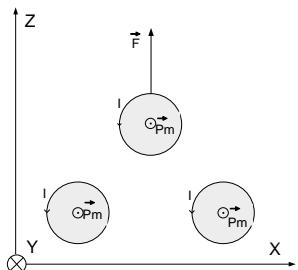


Рис. 1. Система из трех магнитных диполей

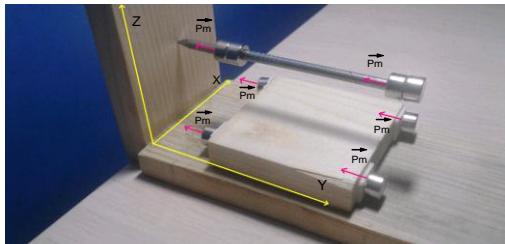


Рис. 2. Система магнитных диполей из 6 магнитов

Для численного расчета схемы магнитного подвеса была разработана программа на языке программирования Python, с помощью которой мы рассчитали энергию взаимодействия U магнитного диполя с магнитным моментом Pm и массой m , находящихся в системе, состоящей из произвольно расположенных магнитных диполей [5, с. 21].

$$U = -(\vec{p}_m, \vec{B}) + mgz.$$

Расчет энергии производился с учетом потенциальной энергии сил гравитации, где \overrightarrow{Pm} – магнитный момент; \vec{B} – магнитное поле; m – масса; g – ускорение свободного падения; z – координата магнитного диполя по оси о_z.

Для расчета энергии взаимодействия необходимо знать магнитную индукцию B , то есть магнитное поле в создаваемой системой диполей точке, где расположен диполь. Данное магнитное поле является суммой полей от каждого диполя. Вычислив зависимость энергии взаимодействия диполя с магнитной системой и силой гравитации от координат, мы определили силу, действующую на магнитный диполь $\vec{F} = -\nabla U$.

Сила F определяется через изменение энергии взаимодействия U в пространстве. Если энергия не изменяется, например, по оси OX, то на диполь действует нулевая сила вдоль оси OX. Если энергия возрастает (убывает) по оси OX, то на диполь действует сила, направленная против (вдоль) оси OX. Если в зависимости энергии взаимодействия от координаты наблюдается потенциальная «яма», это означает, что диполь, находящийся в ней, будет находиться в устойчивом положении, так как при смещении от точки равновесия, где энергия не меняется от координаты, возникает сила, противоположно направленная смещению, которая возвращает диполь в точку равновесия. Если в зависимости энергии взаимодействия от координаты наблюдается «кочка», то это означает, что диполь не будет находиться в устойчивом положении. При смещении от точки равновесия возникает сила, сонаправленная направлению смещения, которая выталкивает диполь из точки равновесия.

Мы определили устойчивость схемы. Для этого рассчитали энергию взаимодействия одного из магнитов верхней оси с магнитами всей системы. Расстояние между магнитами основания по оси OY равно 5 см, остаточная индукция магнитов равна $1,3 \cdot 10^4$ Гс, размеры магнитов: высота 0,5 см, радиус 0,4 см, в основании используются по два магнита. На основе расчетов мы построили графики зависимости энергии взаимодействия верхнего магнита с магнитами основания от координат по осям OX, OY, OZ, представленные ниже, для оси OY (рис. 3), при $l = 3$ см, для осей OX и OZ для шести значений (рис. 4, 5), где l – расстояние между магнитами основания.

На графике для оси OY (рис. 3) мы заметили «кочку». Было замечено только одно положение равновесия – при $l = 0$ см, но оно неустойчиво. Устойчивость не зависит от расстояния между магнитами

основания. Для достижения устойчивости мы использовали стенку-опору и металлическую ось для левитирующих магнитов.

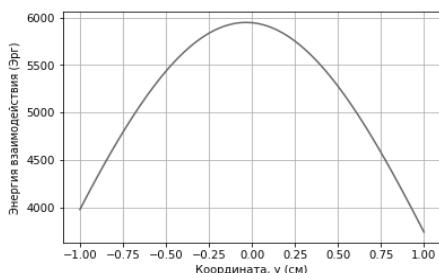


Рис. 3. График зависимости энергии взаимодействия верхнего магнита с магнитами основания от координаты y верхнего магнита

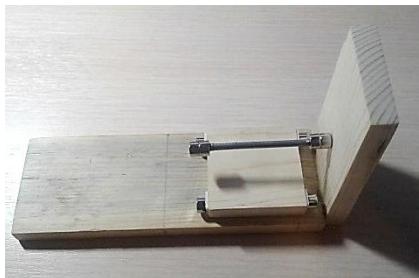


Рис. 6. Фотография готового подвеса

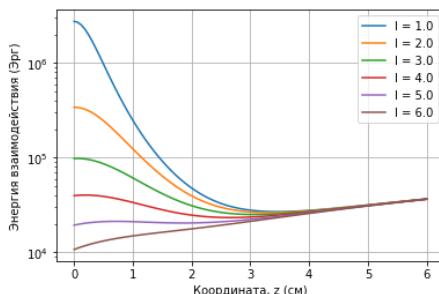


Рис. 4. График зависимости энергии взаимодействия верхнего магнита с магнитами основания от координаты z верхнего магнита для различных значений расстояний l между магнитами основания

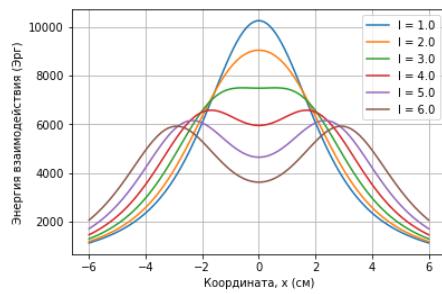


Рис. 5. График зависимости энергии взаимодействия верхнего магнита с магнитами основания от координаты x верхнего магнита для различных значений расстояний l между магнитами основания

Было замечено, что подвес является устойчивым по оси OZ при $l < 4$ см (рис. 4). 3 см – равновесная точка для всех устойчивых размерностей l .

Подвес достигает устойчивости по оси OX при $l > 3$ см (рис. 5). 0 – равновесная точка для устойчивых размерностей l . При $l < 3$ равновесная точка неустойчива.

Данные графики были построены, чтобы найти наиболее эффективные и рабочие конструкции подвесов. Так, в теории, рабочими оказались конструкции подвеса с расстояниями между магнитами

основания по оси ОХ больше 3 см и меньше 6 см, то есть при наличии потенциальных ям.

Для создания магнитного подвеса (рис. 6) мы использовали восемь круглых магнитов, небольшой деревянный брускок, железный гвоздь, двусторонний скотч. Для изготовления основания нам понадобились четыре магнита и деревянный брускок, на котором надо было отметить 4 места крепления магнитов. На эти места прикрепили двусторонний скотч и закрепили на нем наши магниты. К основанию с торца прикрепили вертикальную планку, которая устранила неустойчивость подвеса по оси ОY. Мы отпилили от гвоздя заготовку нужного размера, закрепили на его концах по два магнита. Потом аккуратно поднесли подвес к основанию и опустили.

В первом эксперименте с подвесом мы исследовали зависимость высоты левитирующей оси над основанием подвеса от расстояния между магнитами основания по оси ОХ. Для этого меняли расстояние между магнитами основания по оси ОХ, замеряя на каждом этапе высоту левитирующей оси над основанием подвеса. Самым выгодным расстоянием между магнитами основания оказались 4 см, так как мы достигли наибольшей высоты, но проиграли в устойчивости. Увеличив расстояние между магнитами основания до 6 см, мы повысили устойчивость подвеса. Результаты эксперимента представлены на графике (рис. 7), который подтвердил, что при расстоянии между магнитами основания по оси ОХ меньше 3,75 см подвес не будет находиться в устойчивом положении. Наибольшая высота левитирующей оси над основанием подвеса равняется 4 см (рис. 6). В этом случае нижние магниты сильнее отталкивают подвес, а потенциальная яма по оси ОХ небольшая. При больших возмущениях по оси ОХ подвес может выйти из устойчивого состояния. 4 см – самое эффективное расстояние между магнитами основания, потому что тогда достигается наибольшая высота левитирующей оси над основанием подвеса при ее достаточной устойчивости.

Во втором эксперименте исследовали зависимость высоты левитирующей оси над основанием подвеса от веса дополнительного груза. Мы прикрепляли к оси подвеса дополнительный груз и на каждом этапе замеряли высоту левитирующей оси. При прикреплении к подвесу по 0,25 г, он опускается на 1 мм (рис. 8). Было замечено, что при опускании системы кончик подвеса, опирающийся в стенку, может застревать. Это связано с тем, что сила Ампера выталкивает подвес вдоль оси ОY. Эта сила действует на опору-стенку, создавая тем самым силу ре-

акции опоры. При этом условии возникает сила трения между кончиком гвоздя и стенкой. На графике имеется ступенька, что объясняется застреванием кончика левитирующей оси и неточностью измерений.

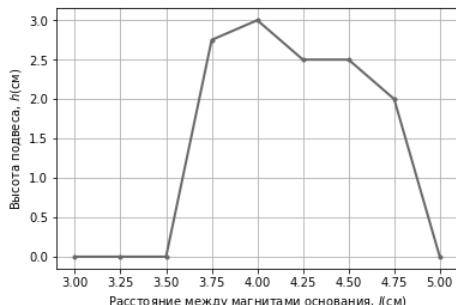


Рис. 7. График зависимости высоты левитирующей оси над основанием подвеса от расстояния между магнитами основания

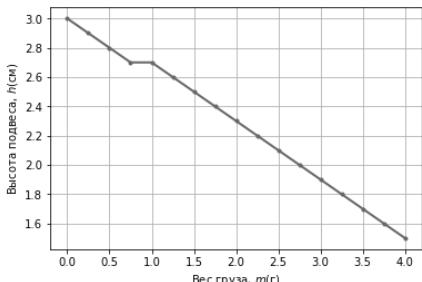


Рис. 8. График зависимости высоты левитирующей оси над основанием подвеса от веса дополнительного груза

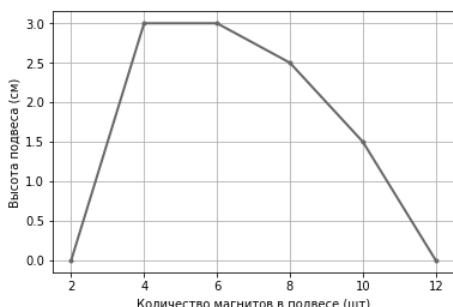


Рис. 9. График зависимости высоты левитирующей оси над основанием подвеса от количества магнитов в подвесе

В третьем эксперименте мы исследовали зависимость высоты левитирующей оси над основанием подвеса от количества магнитов в подвесе. Мы прикрепляли к каждой стороне подвеса по 1 магниту и на каждом этапе замеряли высоту левитирующей оси. При четырех и шести магнитах в левитирующей оси она достигала одинаковой высоты, но более эффективно было использовать

четыре магнита, так как мы использовали меньшее количество магнитов, достигая при этом той же высоты левитирующей оси (рис. 9).

Вывод

Разработан магнитный подвес на постоянных неодимовых магнитах и исследован эффект магнитной левитации. Рассмотрены теоретические основы магнитного поля и взаимодействия двух магнитных диполей; разработана программа для численного расчета магнитного поля и сил, создаваемых любой конфигурацией магнитных

диполей; разработана устойчивая схема магнитного подвеса и создан опытный образец; проведено исследование устойчивости разработанной схемы на опытном образце. В созданном подвесе мы определили оптимальное расстояние между магнитами основания по оси ОХ – 4 см; высоту левитирующей оси над магнитами основания – 3 см; критический дополнительный вес – 12 г при собственном весе левитирующей оси 8 г, а это значит, что наш подвес эффективен по выдерживанию дополнительного веса.

Разработанная программа для численного расчета магнитного поля и сил, создаваемых любой конфигурацией магнитных диполей, а также собранный опытный образец магнитного подвеса послужит выявлению более эффективных и устойчивых магнитных систем, обеспечивающих магнитную левитацию.

Литература

1. Изменяемое тяготение // Юный Техник. 2017, № 6. – 79 с.
2. Ландсберг С.Г. Элементарный учебник физики. Т. 2. – М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 1984. – 486 с.
3. Мартыненко Ю.Г. О проблемах левитации тел в силовых полях // Соросовский образовательный журнал. 1996, № 3.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. – М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004. – 656с.
5. Сэнд У., Сэнд К. Hello World. Занимательное программирование. – СПб.: Питер, 2016. – 400 с.

Автоматизация экспериментального исследовательского стенда для определения электрических и оптических свойств кристаллов KDP и DKDP

Штокман Алексей Ильич

9 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель А.И. Павликова,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



В ходе работы был создан экспериментальный стенд для исследования электрооптических свойств кристаллов типа KDP, DKDP. Создано и протестировано программное обеспечение для стенда. Были проведены несколько пробных экспериментов, результаты которых совпали с теоретическими.

Кристаллы группы KDP и DKDP используются при создании экспериментальной установки по управляемому лазерному термо-ядерному синтезу. Исследование свойств широкоапертурных кристаллов необходимо для реализации проекта. Один из побочных эффектов метода выращивания кристаллов этого типа методом «скоростного профилированного роста» происходит при возникновении механических напряжений кристаллической решетки. Механические напряжения в кристалле вызывают анизотропный эффект. Анизотропия – это различие скорости распространения света по различным направлениям в кристалле. Анизотропия в оптике проявляется в виде эффекта двулучепреломления, то есть в наличии двух главных направлений распространения света, имеющих разную скорость. В одноосном кристалле существуют два особенных направления, скорость распространения света относительно которых различна. Если поляризация падающего излучения не совпадает с одним из направлений, то излучение делится на две компоненты с ортогональными поляризациями. Одна из них называется обыкновенной, другая – необыкновенной, они распространяются с разными скоростями. При выходе из кристалла волны складываются, но из-за различия в скорости приводят к сдвигу фаз. Сдвигом фаз объясняется изменение поляризации излучения. Анизотропный эффект требует дополнительного исследования, чтобы при выпиливании элемента из кристаллической заготовки (були) обеспечить необходимые оптические свойства. Размеры выращиваемых заготовок варьируются от 100*100*100 мм до 620*650*70 мм, что делает затруднительным ис-

следование в «один кадр». По этой причине приходится сканировать покоординатно. При этом, для получения пространственного разрешения хотя бы в 1 мм необходимо проводить тысячи отдельных измерений, что труднореализуемо вручную и требует огромных временных затрат. Поэтому было решено создать установку, которая способна сканировать кристаллы данных размеров автоматически.

Все эксперименты проводились в два этапа. Сначала собирались экспериментальные данные, после чего они обрабатывались. Для каждой задачи была написана собственная программа.

Для сбора экспериментальных данных была собрана экспериментальная установка (рис. 1).

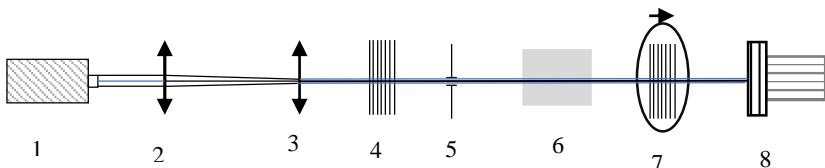


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

1 – генератор электромагнитного излучения, 2 и 3 – телескоп, 4 – статический поляризатор, 5 – диафрагма, 6 – экспериментальный образец, 7 и 8 – анализатор сигнала, состоящий из врачающегося поляризатора с энкодером, поворачивающимся с шагом $\pi/500$ (7), детектора сигнала (8)

Собранные экспериментальные данные обрабатывали, чтобы определить сдвиг фаз, произошедший во время прохождения пучка света через экспериментальный образец. Зафиксированные в тот момент, когда датчик угла поворота (энкодер) не давал напряжение, не фиксировал шаг. После отсеивания лишних данных, зная угол поворота и интенсивность на детекторе сигнала, данные переводили в декартову систему координат, полученные графики аппроксимировали следующей функцией: $a * \sin^2 x + b$.

Были проведены два эксперимента для двух образцов, сосчитан сдвиг фаз, произошедший при прохождении излучения через исследуемый образец, построены графики поляризации после экспериментального образца.

Теоретически было рассчитано, что в ходе первого эксперимента поляризация стала равна 0,4 радиана. После проведения эксперимента теоретические данные были сопоставлены с полученными, расхождение с теорией было минимально.

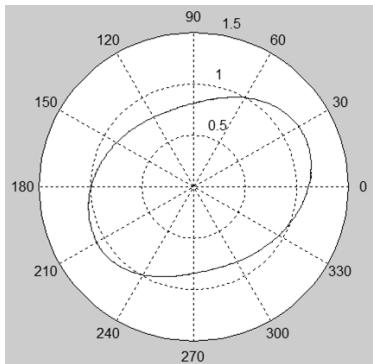


Рис. 2. График по полученным данным в полярных координатах (эксперимент 1)

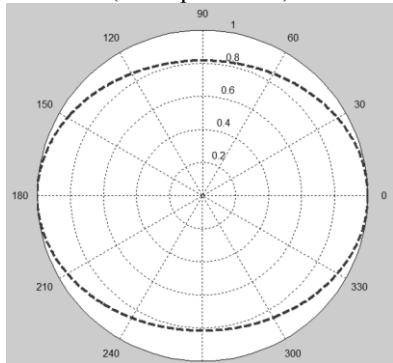


Рис. 4. График поляризации после образца

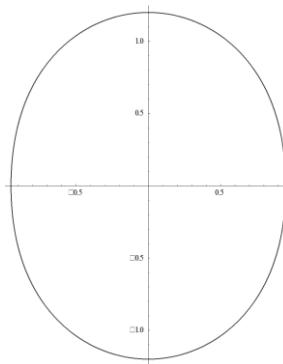


Рис. 3. График аппроксимирующий (экспериментальные данные)

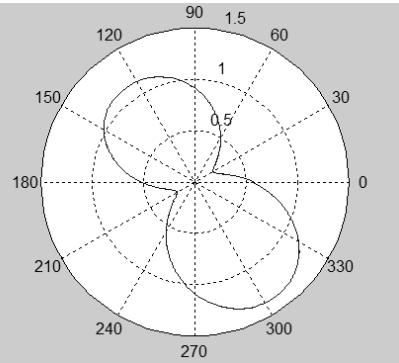


Рис. 5. График по полученным данным в полярных координатах (эксперимент 2)

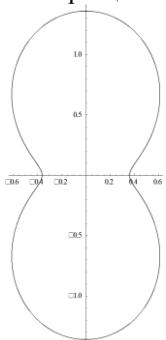


Рис. 6. График, аппроксимирую- щий экспериментальные данные

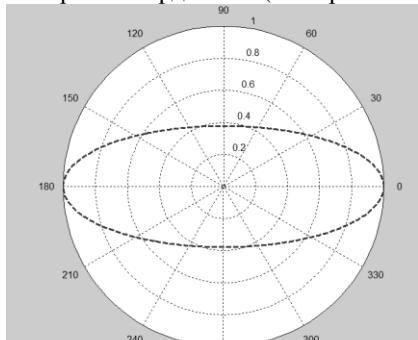


Рис. 7. График поляризации после образца

Для второго эксперимента был выбран такой образец, чтобы поляризация изменилась незначительно и осталась близка к линейной. После проведения эксперимента и сопоставления расчетных данных с теоретическими было вновь выявлено минимальное расхождение.

В результате работы был создан экспериментальный стенд для оценки электрооптических свойств кристаллов типа KDP и DKDP и разработан пакет программного обеспечения к нему. Были проведены два пробных эксперимента, результаты которых совпадают с теорией.

Литература

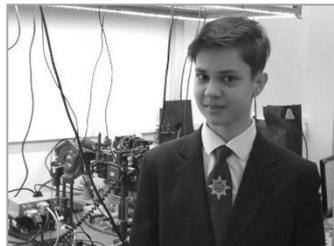
1. *Ландсберг Г.С.* Оптика. – М.: Наука, 1976. – 451 с.
2. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Наука, 1985. – 768 с.

Визуализация прозрачных объектов методами линейного и нелинейного фазового контраста

Яковлев Михаил Иванович

9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель И.В. Кузьмин,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Исследованы методы линейного и нелинейного фазового контраста и визуализация с их использованием прозрачных (фазовых) объектов. Получены зависимости величины контраста визуализации от мощности лазерного излучения и концентрации раствора в жидкостной нелинейной ячейке. Проведены эксперименты по визуализации модельных объектов при помощи полимерных и жидкостных нелинейных фильтров Цернике. Проведена визуализация человеческих волос с помощью нелинейного фильтра из светофильтра СЗС-16.

Описание линейной фазово-контрастной схемы

Объект, вносящий фазовые искажения, изображается микроскопическим объективом (линзой), давая действительное изображение на камере. На рисунке 1 показана схема метода визуализации фазовых объектов.

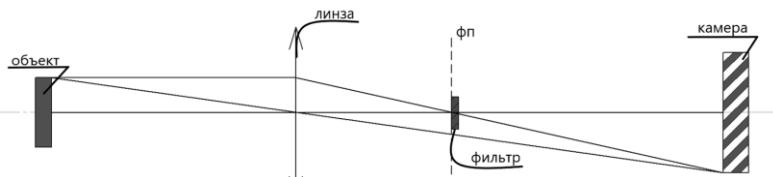


Рис. 1. Схема визуализации объекта методом фазового контраста

В фокальную плоскость ФП объектива вводится перекрывающая малую приосевую часть этой плоскости так называемая «фазовая пластина» (фильтр). Как правило, это отверстие в диэлектрической пластинке определенной толщины, дающей дополнительный набег фазы $\pi/2$ ($3\pi/2$) излучения, проходящего через нее. Передаточная функция фильтра выглядит следующим образом:

$$F = \begin{cases} e^{\pm i \frac{\pi}{2}}, \vec{q} \neq 0, \\ 1, \vec{q} = 0 \end{cases}$$

где \vec{q} – поперечный волновой вектор. Интенсивность в плоскости изображения для малых фазовых неоднородностей в объекте может быть представлена в таком виде:

$$I \sim [1 \mp 2\varphi(\vec{r}) + \varphi^2(\vec{r})],$$

где $\varphi(\vec{r})$ – функция распределения фазовых неоднородностей в плоскости объекта. Если предмет представлял собой фазовый кружок, то и в плоскости изображения будет кружок, интенсивность которого пропорциональна в пренебрежении малым квадратичным членом фазовому набегу в кружке.

Особенность фазово-контрастной схемы на основе тепловой нелинейности

В методе Цернике объектом может быть как прозрачный микробиогорганизм в воде, так и, например, прогретая лазерным лучом локальная область в исследуемой среде, которую, например, можно использовать для измерения слабого поглощения жидкостей. В то же время нагрев среды меняет показатель ее преломления:

$$n(\Delta T) = n_0 + n_1 \Delta T,$$

$$L(\Delta T) = L_0 + L_1 \Delta T,$$

где n_0, L_0 – невозмущенные значения показателя преломления и линейного размера, n_1, L_1 – коэффициенты пропорциональности. Следовательно, излучение, прошедшее через нагретую область, приобретет дополнительную fazу:

$$\Delta\Phi(\Delta T) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_0 L_1 + n_1 L_0) \Delta T,$$

где λ – длина волны освещдающего лазерного излучения. Это позволяет использовать широкий диапазон сред в качестве ячеек и изучать их свойства. К тому же, фазово-контрастные схемы на основе нелинейной ячейки Цернике обладают нечувствительностью к смещению перетяжки пучка в Фурье-плоскости, а сами фильтры не требуют прецизионной обработки.

Экспериментальные результаты по визуализации различных объектов

Для исследования нелинейного метода фазового контраста и визуализации прозрачных объектов была создана экспериментальная установка. Основные узлы установки представлены на рисунке 2: лазер 1 мощностью 25 мВт на длине волны 532 нм (при необходимости менялся на лазер мощностью 300 мВт на длине волны 880 нм), расширяющий телескоп, образованный линзами 2 и 3 с фокусными расстояниями 2.3 см и 7 см, нелинейный фильтр Цернике 7. Изображение исследуемого объекта 6 линзой 4 с $F=3.5$ см переносилось на камеру 5.

Для определения качества контраста использовалась программа, которая определяла яркость пикселей в оттенках серого (0 – 255) справа от объекта, на самом объекте и слева от него. Затем программа

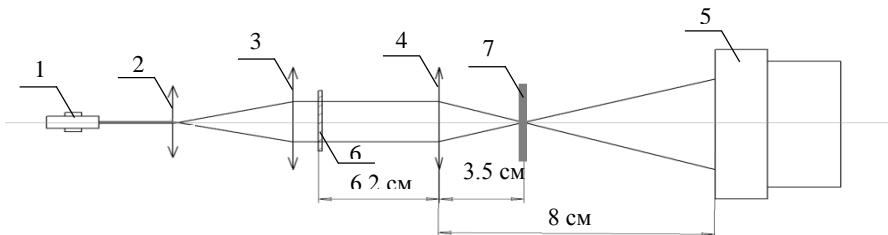


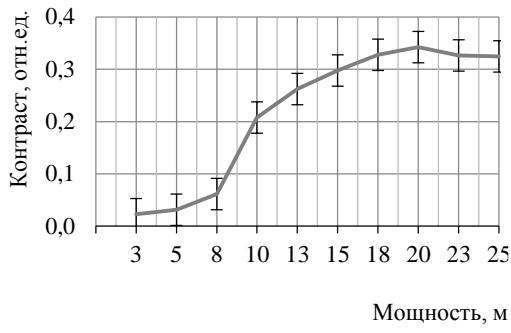
Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки

вычисляла среднее значение справа и слева (I_{min}) от объекта и на самом объекте (I_{max}), после чего определила величину относительного контраста по формуле:

$$\eta = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}.$$

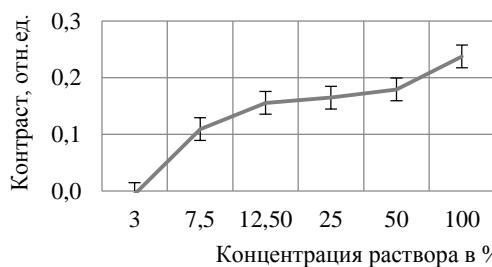
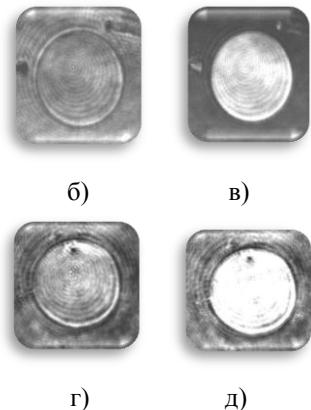
Сначала в качестве фильтра был взят образец промышленного пластика, вырезанного из бутылки. Для визуализации были выбраны фазовые микрообъекты: кружки размером 260 мкм и толщиной 200 нм. Механизм визуализации в данном случае был основан на тепловой нелинейности, зависимости показателя преломления среды от ее температуры. В эксперименте использовался лазер с длиной волны 532 нм и мощностью 25 мВт. Выходная мощность лазера регулировалась с помощью поляризатора. На рисунке 4а представлен график зависимости величины контраста от мощности излучения. На рисунках 4 б – д представлена визуализация с помощью линейного фильтра, выполненная для сравнения, и с использованием нелинейного фильтра при двух разных величинах мощности. Максимум контрастности соответствует необходимой величине наведенной в фильтре фазы. Поэтому разные материалы будут давать разную величину мощности, необходимую для наведения такой фазы, что делает выбранный метод удобным для исследования различных сред в твердом состоянии.

Выясним, насколько хорошо можно осуществить визуализацию в жидкой среде. На рисунке 5а представлен график зависимости контраста от концентрации раствора «вода – газированный напиток», использованного в качестве нелинейного фильтра Цернике при визуализации фазовых микрокружков. В качестве источника излучения был использован лазер с длиной волны 880 нм. Для сравнения на рисунке 5 б – д приведена визуализация с помощью светофильтра ТС-6 и пример визуализации с помощью жидкостной ячейки.



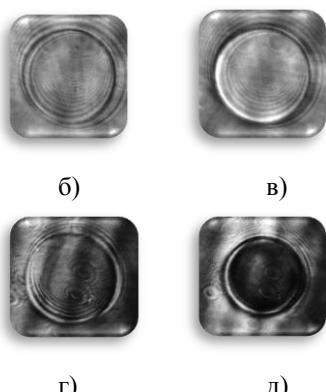
а – зависимость контраста от мощности излучения

Рис. 4. Изображение фазового кружка без фильтра (б), с линейным фильтром (в), при разной мощности лазерного излучения (г, д)



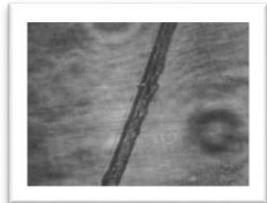
а – зависимость контраста от концентрации раствора

Рис. 5. Изображение фазового кружка без фильтра (б), с нелинейным жидкостным фильтром (в), без фильтра (г) и с фильтром из ТС-6 (д)

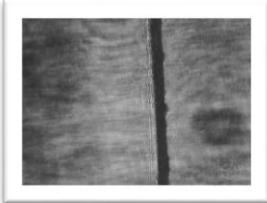


Из рисунка 5 можно определить предельную величину концентрации раствора, при которой начинается визуализация. Результат эксперимента показывает, что данный метод применим и для исследования жидкостей.

Был выполнен эксперимент по визуализации реального объекта, для этого был выбран человеческий волос (рис. 6), мелкомасштабную структуру которого с применением данного метода (в качестве нелинейного фильтра был выбран светофильтр СЗС-16) также можно хорошо рассмотреть.



а – визуализированный «здоровый» волос



б – «больной» волос без фильтра



в – визуализированный «здоровый» волос



г – «здоровый» волос без фильтра

Рис. 6. Визуализация волоса

Мы можем увидеть структуру волоса, определить его состояние и получить консультацию у специалиста.

Заключение

Проведенные исследования показывают применимость метода нелинейного фазового контраста к исследованию различных сред, используемых в качестве нелинейных фильтров. При помощи данного метода можно изучать строение

различных объектов (волосы, клетки, и другие тонкие или прозрачные объекты).

Литература

1. Бубис Е.Л., Матвеев А.З. Анализ процесса визуализации прозрачных объектов при использовании фазоконтрастного метода с фототермической ячейкой Цернике // Квантовая электроника, 2012, № 42 (4). С. 361 – 366.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976. – 451 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Наука, 1985. – 768 с.
4. Физика. Большой энциклопедический словарь. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – С. 90, 460.

Астрономия



Магнитные плазменные структуры в потоках астрофизической и лазерной плазмы

Андриянычева Ксения Дмитриевна,
11 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель В.М. Губченко,
старший научный сотрудник ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Магнитные структуры лазерной плазмы высокой плотности энергии, сформированные амбиполярным разлетом от сложных электродинамических мишеней, подобны магнитным структурам (магнитосферам, корональным стримерам, релятивистским джетам) в потоках астрофизической плазмы. Магнитная структура и мишень характеризуются импедансными характеристиками $Z(L, C, R)$. В работе вычислены эти характеристики и на их основе рассчитаны характерные осцилляторные и релаксационные времена сложных мишеней, планируемых для экспериментов на сверхмощных лазерах.

Явления, приводящие к появлению магнитных структур при взаимодействии магнитоактивной области с потоком плазмы и описываемые полями вида $\vec{B}(\vec{x}, t)$, несмотря на большой диапазон масштабов в развитии структур во времени и пространстве, могут быть геометрически подобными и характеризоваться общими безразмерными параметрами. Наблюдаются три основных типа астрофизических объектов с магнитной структурой, подобной структуре в лазерном эксперименте.

1. Магнитосфера – асимметричные структуры магнитного поля, тока и плазмы вокруг планет, наблюдаемые магнитными датчиками спутников (рис. 1, 4). В основании структуры хвоста находится на масштабе $|\Delta\vec{X}|$ дипольная намагниченность.

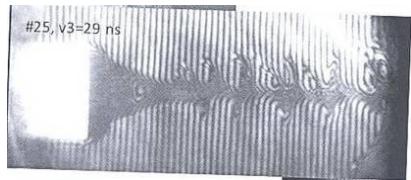
2. Стримеры и стримерный пояс – магнитные структуры солнечной короны. В настоящее время данные структуры непрерывно наблюдаются посредством искусственного затмения на специальных спутниках (рис. 2). В основании стримера есть шлемовидная намагниченность.

3. Джеты – протяженные структуры вблизи звезд, наблюдаемые в радиодиапазоне, оптике и рентгене. Скорости потоков в джетах могут достигать релятивистских значений (рис. 3). В основании джета – тороидальная намагниченность.

Новый этап в изучении магнитных структур начался с появлением сверхмощных лазеров. При воздействии такого лазера на мишень формируется магнитоактивная «область $\Delta\vec{X}$ намагниченности» $\bar{\mu}(\vec{X})$,



а – Магнитосфера Земли. Четыре спутника миссии MMS, находящиеся в магнитной структуре геомагнитного хвоста



б – Магнитный хвост, формируемый в лазерном эксперименте с взрывным «диамагнитным» облаком

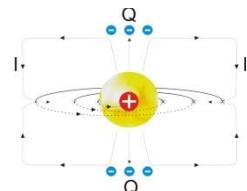
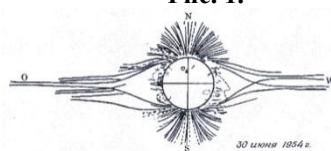
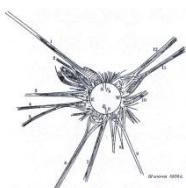
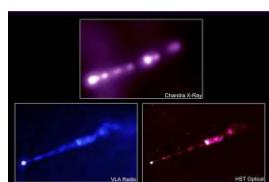
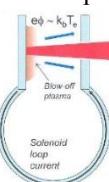
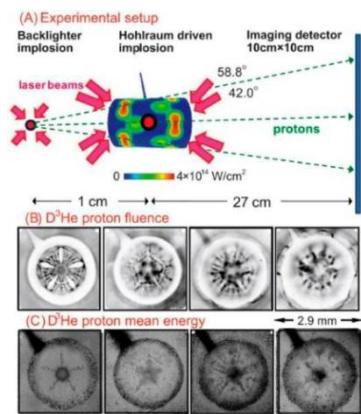
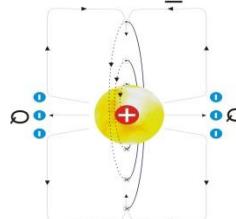
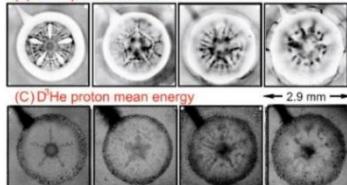


Рис. 2. Солнечная корона в максимуме и минимуме и ее альвеновская токовая система с дипольной и тороидальными компонентами тока и с амбиополярным зарядом



(B) D³He proton fluence



(C) D³He proton mean energy

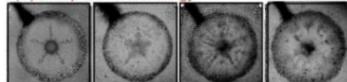


Рис. 3. Схема лазерного эксперимента NIF(LLNL-USA) и магнитные структуры, наблюдаемые при разлете методами протонной томографии. Структура мишени, где внешние пластины и соленоид замыкают токи и заряды в ее связи с джетами и альвеновской токовой системой

находящаяся в основе, и сопряженный с ней разлет амбиополярного облака горячей бесстолкновительной токонесущей плазмы, характеризуемый ЭДС E_a тепловой природы. В мощных лазерах магнитные поля достигают экстремальных значений и влияют на разлет, что приводит к

положительному эффекту для задач удержания плазмы и негативному эффекту для задач ускорения частиц электрическим полем $\vec{E}(\vec{x}, t)$ [1, 2].

Формируемые потоком магнитные структуры асимметричны. Перестройка исходной дипольной структуры магнитоактивной области в асимметричную связана с «магнитным пересоединением», а обратный переход в симметричную структуру с «диполизацией». Определяющим кинетическим параметром перестройки служит электромагнитная добротность G_v потока горячей плазмы, которая характеризует близость потока по свойствам к проводнику или диамагнетику [1].



$G_v >> 1$ $G_v \sim 1$ $G_v << 1$

Рис. 4. Перестройка магнитной структуры в зависимости от добротности потока

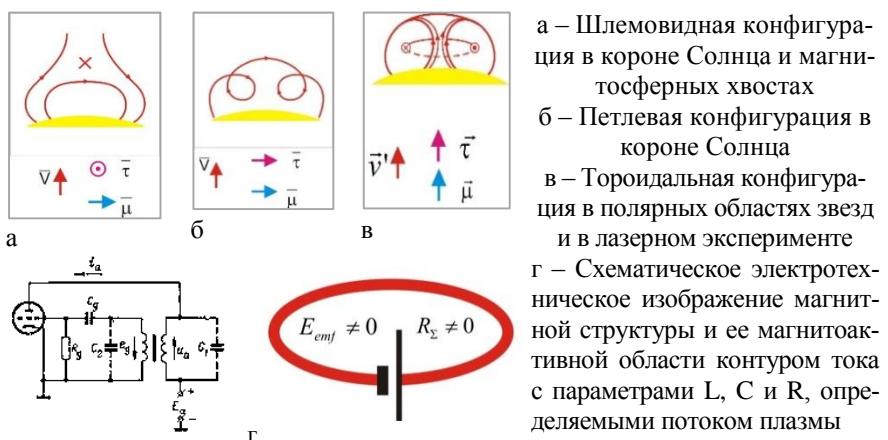


Рис. 5. Типовые конфигурации магнитоактивной области, составленные из различных комбинаций, в ориентации векторов тороидальной и магнитодипольной намагниченностей

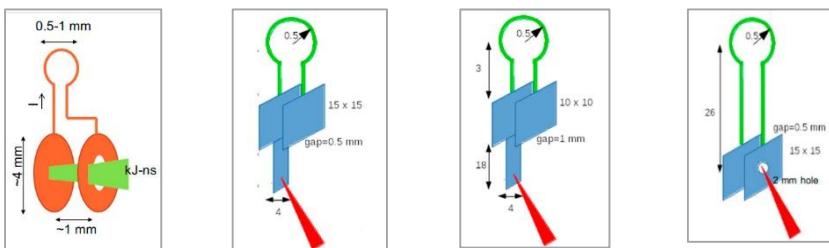


Рис. 6. Конструкции экспериментальных мишеней

В основе магнитной структуры находится магнитоактивная область (в лазерном эксперименте представлена областью мишени), формируемая в результате ЭДС E_{emf} магнитного динамо-процесса для поддержания в ней тока $I = \sqrt{I_d^2 + I_\tau^2}$. Характеристикой магнитоактивной области являются ее магнитные моменты $\vec{\mu}_0$ и $\vec{\tau}_0$, которые отражают распределение возбуждаемых в ней интегральных колышевых I_d и тороидальных I_τ токов по площади S и по объему V области [1].

Магнитная структура, включающая магнитоактивную область и амбиполярный разлет плазмы, описывается схематически (интегрально) двумя контурами токов, индукционно связанных посредством двух элементов: «триод» и «трансформатор» (рис. 5). «Анодный контур» соответствует разлету плазмы, а «сеточный контур» – магнитоактивной области. «Сетка» показывает «запирающее» воздействие поперечного магнитного поля $\vec{B}(\vec{x}, t)$ на разлет. «Трансформатор» и его «сердечник» характеризуют магнитную проницаемость потока и обратное активное и реактивное воздействие потока на магнитоактивную область [2]. Сеточный контур характеризуется импедансом $Z(L, C, R)$. Такая магнитная структура в процессе разлета при определенных значениях $Z(L, C, R)$ положительной обратной связи становится генератором.

Альвеновская токовая структура моделирует лазерный разлет посредством ее «горячего» импеданса $Z(L, C, R)$; при отсутствии источника плазмы $Z = Z_v(L_v, C_v, R_v)$ – холодный импеданс (рис. 3). Особенностью лазерного эксперимента является присутствие внешних проводников, вводимых для решения задач удержания плазмы или получения сверхсильных магнитных и электрических полей [2,3]. Проводники в виде плоскостей, сфер, проводников и соленоидов характеризуют холодный импеданс $Z_v(L_v, C_v, R_v)$ в описании магнитных структур разлета. Мы решаем вопрос о соотношении параметров L, C, R и L_v, C_v, R_v для задач планируемого лазерного эксперимента.

Импедансная характеристика $Z(L, C, R)$ определяется самоиндукцией «сеточного» контура L , его эффективной емкостью C и активным сопротивлением R . Активное сопротивление R определяет мощность джоулевых потерь в контуре. Джоулевы потери, помимо тепловых потерь в металлических проводниках мишени $\propto R_v$, включают в себя работу вихревых электрических полей, связанную с

ускорением электронов и ионов в магнитной структуре ($R > R_v$), то есть L, C, R зависят от параметров потока плазмы.

Наши вычисления L, C, R направлены на получение характерных времен осцилляций T и релаксации $\tau = \tau_{L,C}$ магнитной структуры.

Период осцилляций $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Периоды релаксации $\tau_c = RC$ (разрядка на конденсаторе) и $\tau_L = L/R$ (затухание тока в соленоиде) связаны соотношением $T^2 = (2\pi)^2 \tau_c \tau_L$.

Были рассчитаны внутренние импедансные характеристики для четырех мишней (таблица), использовавшихся в экспериментах [3] (рис. 6). В момент попадания лазером по мишени в кольцевом витке возникают сверхсильные магнитные поля. Структура в области разлета плазмы сходна с магнитными полями звезд в полярных областях.

Таблица. Импедансные характеристики холодных мишней в вакууме

| Мишень № | Индуктивность L , нГн | Электроемкость C , пФ | Активное сопротивление R , Ом | Период осцилляции T , нс | Период релаксации τ_c , фс |
|----------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1 | 20,0434 | ≈0.503 | 0.2748 | ≈0.6309 | 138.2 |
| 2 | | 4.5 | 0.26 | ≈1.887 | 1200 |
| 3 | | 1 | 0.26 | ≈0.8895 | 300 |
| 4 | | ≈4.5 | 2.21 | ≈1.887 | 9950 |

Из таблицы следует, что время релаксации τ для всех четырех мишней меньше, чем период осцилляций T примерно на три порядка – низкая добротность $Q = \tau/T \ll 1$, то есть ни одна из мишней не проявляет себя как осциллятор, а лишь как импульс релаксации. Однако представленные в таблице результаты – характеристики для элементов в вакууме без учета влияния плазмы. Полученные результаты мы используем как исходные, для вычисления значений $Z(L,C,R)$ при учете плазмы. Возможно, что при разете плазмы $L, C, R \approx L_v, C_v, R_v$. Однако, возможно, появится существенное различие параметров $L, C, R \neq L_v, C_v, R_v$, то есть возможен режим осциллятора $Q >> 1$. Выяснение этих вопросов станет предметом дальнейших исследований.

Литература

1. Губченко В.М. О кинетическом описании крупномасштабных токонесущих электромагнитных структур, возбуждаемых в движущейся горячей бесстолкновительной плазме // Проблемы физики высоких плотностей энергии. XII Харитоновские тематические научные чтения. Труды. –

- Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010. С. 239 – 246. [Электронный ре-
сурс] URL: <http://www.vniif.ru/images/zst/2012/s3/3-13.pdf>.
2. *Fiksel G., Fox W., Gao L., Hantao Ji* A simple model for estimating a magnetic field in laser-driven coils // Appl. Phys. Lett., 2016, 109.
 3. *Deepak Kumar* Generation of sub-MG quasi-stationary magnetic field using cm scale capacitor-coil targets. Workshop: Magnetic Fields in Laboratory High Energy Density Plasmas (LaB). [Электронный ресурс] URL: http://www.nwp.sci-nnov.ru/workshops_presentation.html

Получение спектра звезд и его обработка

Домбек Евгений Максимович
10 класс, Школа № 55, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель П.М. Землянуха,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



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

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

Цель работы – изучить и практически применить методики дистанционного анализа состава космических объектов.

Наша установка обеспечивает разложение пришедшего пучка света в спектр и его регистрацию для дальнейшего анализа спектра. Оптическая схема установки представлена на рисунке 1.

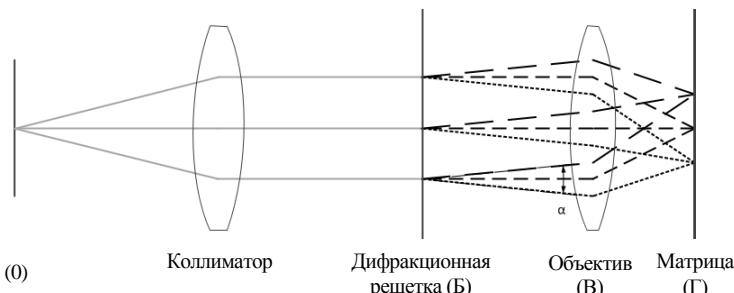


Рис. 1. Оптическая схема

В качестве регистрирующего устройства используется фотоаппарат, на схеме условно разделенный на две составляющие:

объектив (В) и матрицу (Г). Для получения изображения спектра требуется, чтобы все пучки света равных длин волн (от одного источника) были сфокусированы в одну полоску на матрице. Для того чтобы изображение было сфокусированным, в объектив фотоаппарата (В) должны входить параллельные пучки света (Б – В) на всех длинах волн. Матрица (Г) камеры при этом должна располагаться в фокальной плоскости объектива (В).

Для получения параллельных пучков (Б - В) равных длин волн на выходе дифракционной решетки (Б) падающий пучок света (А – Б) должен быть тоже параллельным. Это обусловлено тем, что отклонение пучка света для разных длин волн при прохождении дифракционной решетки, одинаково. Однако пучок света (0 – А) телескопа – сходящийся. Между телескопом и дифракционной решеткой (Б) мы установили специальную линзу (А) (коллиматор, ахроматическую склейку). Коллиматор устанавливается таким образом, чтобы фокальные плоскости телескопа и коллиматора совпадали. При выполнении условия совпадения фокусов пучок, падающий на дифракционную решетку, будет параллельным.

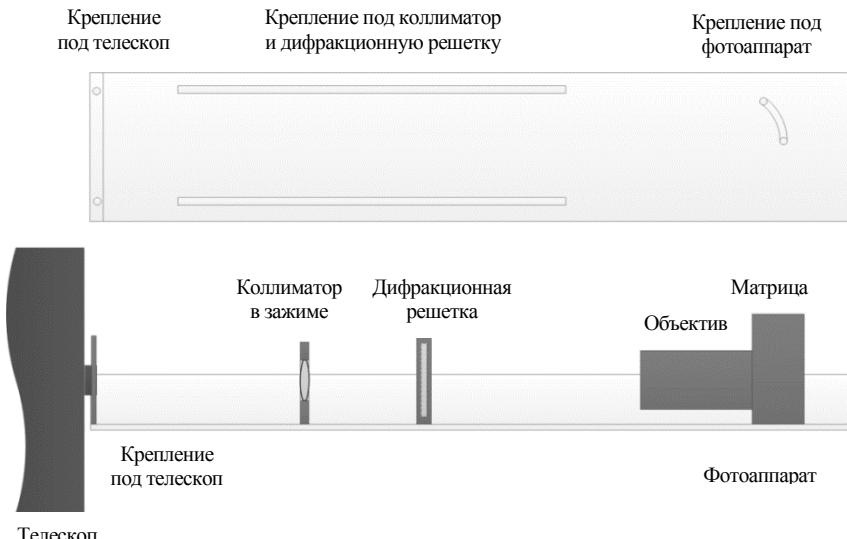


Рис. 2. Схема установки

В фокусе Кассегрена телескопа через переходник крепится каркас (уголок шириной 10 см), после которого подвижно

закрепляются на оптической оси телескопа коллиматор и дифракционная решетка. На этом же каркасе устанавливается фотоаппарат, с возможностью поворота от оптической оси порядка 10° в плоскости преломления. Поворот позволяет выбрать наиболее яркий максимум дифракционной решетки.

Нам известен размер матрицы (22 мм), фокусное расстояние объектива (50 мм) и угол расхождения пучков света, преломляющийся на дифракционной решетке. На основе этих параметров рассчитаем разрешающую способность установки (количество пикселей, на которые проецируется спектральная полоска шириной 1 нм).

$$R = \frac{F \sin \alpha c}{w \Delta \lambda},$$

где F – фокусное расстояние (50 мм), α – угол между лучами крайних длин волн требуемого диапазона (2.2°), $\Delta\lambda$ – расхождение длин волн требуемого диапазона (118 нм), c – ширина матрицы в пикселях (6000 px), w – ширина матрицы (22 мм).

Для нашей установки отрезок красно-зеленого спектра (650 нм – 532 нм) занимает 524 пикселя. Это означает, что спектральная полоска шириной 1 нм будет проецироваться на 4.8 пикселя матрицы. Такое разрешение, при условии полной фокусировки системы, позволит наблюдать спектральные линии шириной в 0.5 нм. Подобные ширины линий характерны для фотосфер звезд, пылевых и планетарных туманностей [3].

Для обработки фотографий спектров была разработана оригинальная программа. Основная функция программы – преобразовать фотографию в спектр, то есть зависимость интенсивности принимаемого излучения от частоты. Код написан на C++ с использованием библиотеки gd [4]. Программа позволяет автоматически кадрировать фотографию по пятикратному уровню шумов. Шумы в основном являются тепловыми и определяются выбором светочувствительности матрицы фотоаппарата. Интенсивность излучения вычисляется по сумме RGB каналов пикселя, а также усредняется для каждой длины волны по всему спектру. По этим данным строится график интенсивности излучения в неградуированной шкале.

В составе большинства космических объектов присутствует водород, в том числе в фотосферах звезд [6]. Водород поглощает излучение только на нескольких характерных длинах волн. Одна из

серий таких линий приходится на видимый диапазон излучения и называется серией Бальмера (рис. 3).

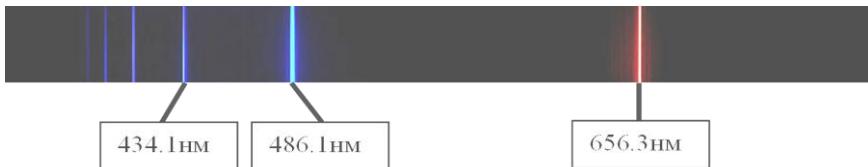


Рис. 3. Серия Бальмера

Таблица. Проведенные наблюдения

| Объект | Индекс по каталогу HIP | Дата/время | Параметры съемки |
|-------------|------------------------|----------------|---------------------|
| Сириус | 32349 | 12.04.18/19:04 | ISO-100, T-5сек |
| Регул | 49669 | 12.04.18/19:29 | ISO-800, T-1/2сек |
| Бетельгейзе | 27989 | 12.04.8/21:19 | ISO-1600, T-1/13сек |
| Процион | 37279 | 28.03.18/21:12 | ISO-400, T-1сек |

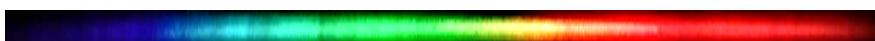


Рис. 4. Фотография спектра Бетельгейзе

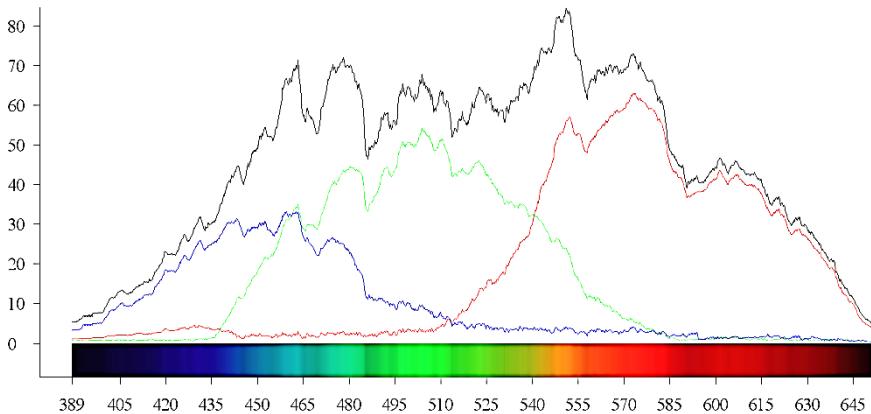


Рис. 5. Спектр Бетельгейзе. По горизонтали на графике отложены, длины волн в нм, по вертикали интенсивности (по отдельности для каждого канала RGB и суммарная)

Сопоставляя положение линий поглощения на фотографиях спектров с длинами волн серии Бальмера [1] (434.1нм, 486.1нм,

656.3нм), мы градуируем шкалу длин волн в нанометрах. Так как для всех фотографий величина дифракции неизменна, мы привязали полученные нами спектры к линии поглощения на длине 486.1нм. В ходе работы был проведен ряд наблюдений (таблица).

На рисунке 4 представлена фотография спектра Бетельгейзе и результат его обработки (Рис. 5).

На графике (рРис. 4) присутствует характерная изрезанность. Часть провалов является особенностью излучения, свойственного звездам класса «M» [5] (Красный гигант), к которому относится Бетельгейзе [2]. Спектр отличается от чернотельного, свойственного для большинства других классов звезд.

В ходе работы была разработана и собрана установка, теоретические и практические характеристики которой сошлись. Разработана программа для обработки полученных снимков спектров. Проведены первые успешные наблюдения.

Литература

- 1) *Bohr N. The Spectra of Helium and Hydrogen // Nature volume, 92. 23 October 1913. P. 231 – 232.*
- 2) *Tsuji T. Atmospheres of red supergiant stars. II. The M2 supergiant Betelgeuse // Publications of the Astronomical Society of Japan. Vol. 28. 1976. P. 567 – 586.*
- 3) *Ferreira J. Livermore CA Special Interest Spectroscopy // PHOTOGRAPHY by Jim Ferreira. – San Francisco Bay Area [Электронный ресурс]. URL: http://www.lafterhall.com/Special_Interest_Spectroscopy.html (дата обращения 18.04.18)*
- 4) *GD Graphics Library // Docs [Электронный ресурс]. URL: <http://libgd.github.io/pages/docs.html> (дата обращения 21.04.17)*
- 5) *Спектральные классы звезд // Астронет [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1201949> (дата обращения 17.03.18)*
- 6) *Фотосфера // Астронет [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1188589> (дата обращения 17.03.18)*

Построение карты Луны в поляризованном свете

Жаркова Арина Максимовна
8 класс, Школа № 19, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин,
доцент НГПУ им. К. Минина, заведующий
научно-исследовательским отделом

Нижегородского планетария,
кандидат физико-математических наук



Проведены наблюдения Луны с использованием фотоаппарата и поляризатора. На полученных снимках выбраны несколько точек на поверхности Луны. В программе VIEW – NX получены значения яркостей выбранных областей при всех поворотах поляризатора. Поворот поляризатора не выявил изменений в поляризованном свете. Предполагаем, что при отражении от поверхности Луны свет поляризуется, но в незначительной степени, поэтому при проведении исследований мы не смогли обнаружить изменения направления вектора электрического поля.

Все, что человек воспринимает глазами в окружающем мире, воспринимается в отраженном свете. При отражении свет поляризуется (рис. 1).

Исследовав отраженный луч, можно идентифицировать многие вещества. Для этого необходимо определить угол Брюстера. Математическая формула данной зависимости: $\operatorname{tg} \alpha = n$, где α – угол падения света на диэлектрик, при котором отраженный луч становится полностью поляризованным, n – относительный показатель преломления.

На основе данного подхода можно построить карту Луны в поляризованном свете. Для решения данной задачи была разработана установка (рис. 2), в которой к объективу было присоединена трубка с поляризатором. Трубка свободно вращалась в устройстве, что позволяло менять угол поляризатора. При повороте поляризатора изображение Луны фиксировалось фотоаппаратом. В ходе проведения наблюдений были получены 10 фотографий (рис. 3).

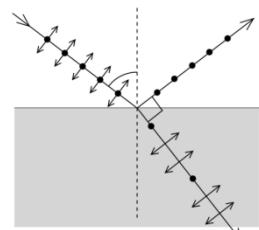


Рис. 4. Поляризация света при отражении

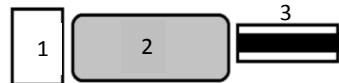


Рис. 2. Схема установки
1 – фотоаппарат, 2 – телескоп,
3 – трубка с поляризатором

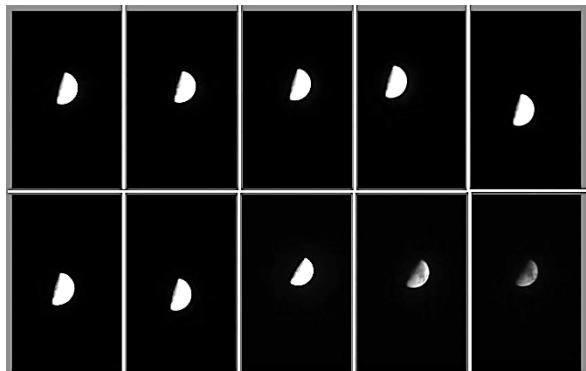


Рис. 3. Фотографии Луны

Таблица. Яркость точек на фотографиях Луны

| Поворот поляризатора | Серия | |
|-------------------------|--------|--------|
| | Первая | Вторая |
| Без фильтра | 1 | 392 |
| | 2 | 642 |
| | 3 | 610 |
| | 4 | 503 |
| | 5 | 384 |
| Угол 0° | 1 | 397 |
| | 2 | 637 |
| | 3 | 568 |
| | 4 | 450 |
| | 5 | 375 |
| Угол 45° | 1 | 393 |
| | 2 | 620 |
| | 3 | 567 |
| | 4 | 441 |
| | 5 | 371 |
| Угол 90° | 1 | 426 |
| | 2 | 635 |
| | 3 | 595 |
| | 4 | 457 |
| | 5 | 372 |

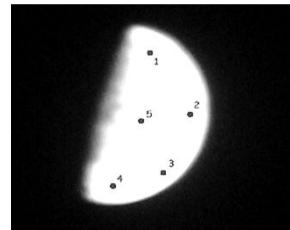


Рис. 4. Точки на фотографии Луны

Все фотографии были получены в формате NEF (формат максимального сохранения информации на кадре, который позволяет получать значение яркости каждой точки изображения). В основу обработки была положена следующая гипотеза. Если при повороте поляризатора яркость одинаковых точек изменяется, то свет от данной точки лунной поверхности поляризован в определенной плоскости. Для подтверждения данной гипотезы мы отметили на фотографиях пять точек в одних и тех же местах (рис. 4). После этого мы измерили яркость каждой точки на всех фотографиях в приложении ViewNX-1. Полученные результаты представлены в таблице.

Каждое раздел в таблице получается путем суммирования значений по каждому показателю в RGB. Результаты представлены на графиках. По горизонтали откладывается номер точки, а по вертикали – значение суммарной яркости в условных единицах.

На рисунке 3 приведены фотографии Луны, полученные с помощью цифровой зеркальной камеры Canon EOS 5D Mark II. На рисунке 4 показаны пять точек на фотографии Луны, из которых измерялись яркости.

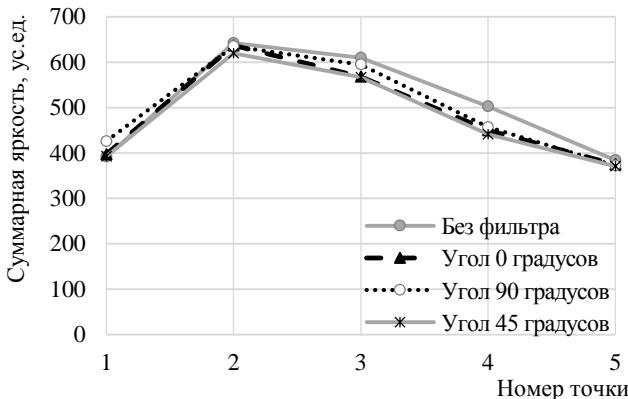


Рис. 5. Первая серия

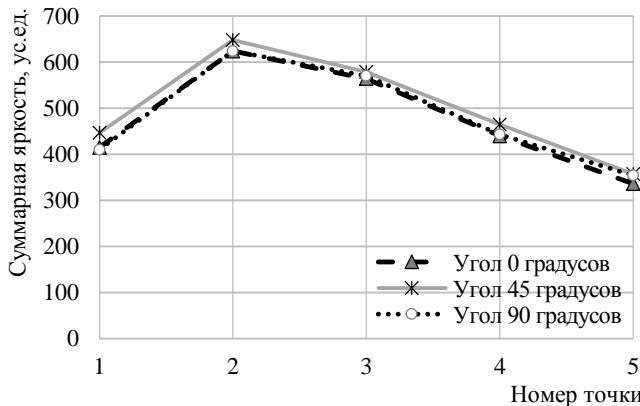


Рис. 6. Вторая серия

Поворот поляризатора не выявил изменений в поляризованном свете. Мы предполагаем, что при отражении от поверхности Луны свет поляризуется незначительно, поэтому при проведении исследований мы не смогли обнаружить изменения направления вектора электрического поля.

Литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М.: Физматлит, 2005. – 792 с.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.

Высокоточные измерения скоростей газа в областях звездообразования

**Золотавин Михаил Александрович
10 класс, ШКОЛА № 45, ШПОИ ИПФ РАН**

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



Исследовано влияние на точность наземных радиоастрономических измерений скоростей газа в областях звездообразования таких планет, как Юпитер и Сатурн, а также эффективность провала Лэмба при измерении частот поглощения молекул межзвездного газа при помощи субдоллеровского спектрометра ИПФ РАН. После проведения необходимых расчетов установлены значения смещений барицентров систем Солнце – Юпитер и Солнце – Сатурн относительно центра Солнца, а также орбитальная скорость движения Солнца в каждой из систем. При проведении лабораторных измерений частот молекул дейтерированного аммиака сделан следующий вывод: провал Лэмба помогает значительно повысить точность измерения центральной частоты перехода молекул только при определенных значениях давления.

На сегодняшний день точность радиоастрономических измерений скоростей далеких астрономических объектов может достигать 1 м/с. Радиоастрономические измерения проводятся при помощи одиночных радиотелескопов или радиоинтерферометров.

Измерения скоростей газа в областях звездообразования по линиям межзвездных молекул необходимы для детального изучения структуры и физических условий областей звездообразования. Кроме этого, сравнение частот переходов молекул разного типа, наблюдаемых в межзвездной среде и в лабораторных условиях, дает важную информацию о возможных вариациях фундаментальных констант.

Цель работы – исследовать влияние на точность наземных радиоастрономических измерений скоростей газа в областях звездообразования таких планет, как Юпитер и Сатурн, а также повысить точности лабораторных измерений частот молекул межзвездного газа.

На данный момент все радиоастрономические измерения скоростей производятся относительно центра Солнца и при этом учитывается влияние Земли на его смещение. Однако не учитывается влияние таких планет, как Юпитер и Сатурн, масса которых значительно больше массы Земли. Чтобы учесть влияние данных планет необхо-

димо определить смещение барицентров данных планет с Солнцем относительно центра Солнца.

Барицентр – это центр масс системы двух или большего количества тел [3]. Чтобы определить значения смещения барицентров систем Солнце – Юпитер и Солнце – Сатурн относительно центра Солнца мы воспользовались следующей формулой: $MR = mr$, где M и R – масса Солнца и расстояние от центра Солнца до центра масс с планетой соответственно, m и r – масса планеты и расстояние от центра планеты до центра Солнца соответственно.

Проведя необходимые расчеты, мы установили, что смещение барицентра системы Солнце – Юпитер относительно центра Солнца составляет 779 тыс. км, а смещение барицентра системы Солнце – Сатурн относительно центра Солнца составляет 433 тыс. км. Смещение барицентра относительно центра Солнца соответствует радиусу орбиты Солнца вокруг барицентра в данной системе. Зная радиус орбиты, мы узнали длину орбиты Солнца в каждой из двух систем, а затем вычислили орбитальную скорость Солнца в данных системах: значение орбитальной скорости Солнца в системе Солнце – Юпитер составило 14,3 м/с, в системе Солнце – Сатурн – 2,8 м/с.

Чтобы определить скорость газа в области звездообразования необходимо знать, молекулы каких газов входят в его состав. Хорошим зондом физических условий в центральных наиболее холодных областях межзвездного газа на ранней стадии эволюции являются молекулы дейтерированного аммиака. Далее необходимо определить центральную частоту перехода молекул данного газа. Поскольку межзвездные облака газа движутся относительно нас, наблюдаемая частота излучения молекул газа не соответствует их частоте в покоящейся лабораторной системе. Это происходит в результате эффекта Доплера.

Эффект Доплера – кинематическое смещение спектральных линий [3]. Данный эффект заключается в изменении частоты излучения наблюдаемого объекта вследствие его движения относительно наблюдателя. Так как меняется частота излучения, то меняется и длина волны. Зная, насколько изменилась длина волны, можно определить скорость наблюдаемого объекта.

При наших лабораторных исследованиях дейтерированный аммиак наблюдался в поглощении. Это значит, что при попадании на него излучения от источника молекулы поглощают фотоны на частоте поглощения молекул данного газа. При этом молекула совершает переход на более высокий энергетический уровень.

Для определения центральной (истинной) частоты перехода молекул дейтерированного аммиака использовался субдоплеровский спектрометр ИПФ РАН (рис. 1). В качестве источника излучения использовалась лампа обратной волны (ЛОВ).

В ячейке спектрометра были созданы физические условия, максимально приближенные к условиям в областях звездообразования – низкая температура и низкое давление (5 миллиторр).

Представлена схема распространения излучения от ЛОВ в ячейке спектрометра (рис. 2).

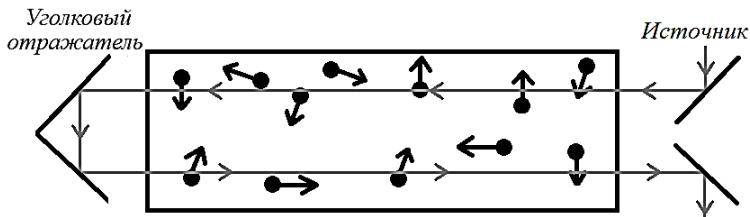


Рис. 2. Распространение излучения от источника (ЛОВ) в ячейке спектрометра (показано стрелками)

Излучение от ЛОВ совершает проход через ячейку в обоих направлениях. Так как число молекул, движущихся в одном направлении равно числу молекул, движущихся в обратном направлении, то с фотонами будут взаимодействовать две группы молекул: сначала будет взаимодействовать та группа молекул, которая движется по направлению от ЛОВ, затем – по направлению к ЛОВ, или наоборот. При этом, в результате эффекта Доплера, частота источника будет сдвинута в область более низких частот, для движущихся к источнику – в область более высоких. При взаимодействии молекулы газа с фотоном молекула поглощает фотон, переходя при этом на более высокий энергетический уровень. Таким образом, выходная мощность ЛОВ меньше входной. Поскольку излучение от ЛОВ совершает проход через ячейку в обоих направлениях, то таких поглощений

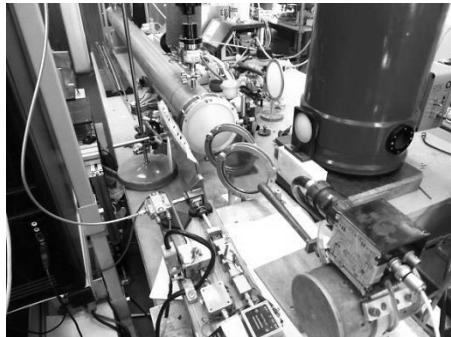


Рис. 1. Субдоплеровский спектрометр

произойдет два: при прохождении излучения в одном направлении, а затем – в обратном. Если какая-либо группа молекул неподвижна относительно ЛОВ, то поглощение произойдет только один раз, поэтому общий вклад молекул в выходную мощность ЛОВ будет меньше, чем в случае если бы поглощение произошло дважды. В таком случае на вершине графика, отражающего зависимость выходной мощности источника от центральной частоты перехода молекул, появится визуальный «провал». Данное явление позволяет значительно повысить точность измерений центральной частоты перехода молекулы и получило название «провал Лэмба» [4].

В нашей работе мы изучали эффективность данного явления, проводя эксперимент на субдоплеровском спектрометре ИПФ РАН.

Сосуд с дейтерированным аммиаком был предварительно охлажден при помощи жидкого азота, после чего охлажденный газ попал в ячейку спектрометра с начальным давлением в 5 миллиторр, которое мы на протяжении эксперимента постепенно понизили до двух миллиторр.

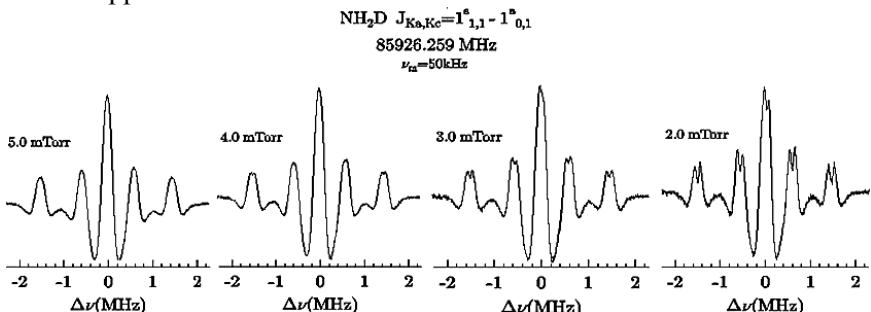


Рис. 3. Графики зависимости изменения частоты перехода молекул газа от выходной мощности ЛОВ

На приведенных графиках, получившихся в результате эксперимента (рис. 3), провал Лэмба становится визуально заметным при давлении от трех миллиторр и ниже. Поскольку субдоплеровский спектрометр ИПФ РАН обладает одной из самых высоких в мире точностей по измерению центральной частоты перехода молекул, то можно утверждать, что провал Лэмба позволяет значительно повысить точность определения центральной частоты перехода молекул при давлении не выше трех миллиторр.

Таким образом, в процессе работы было получено, что наибольшее влияние на ошибки радиоастрономических измерений скоростей

газа в областях звездообразования при выборе системы отсчета оказывают планеты Юпитер и Сатурн, влияние которых при проведении радиоастрономических измерений скоростей не учитывается. Данные планеты оказывают намного большее влияние на смещение Солнца относительно центра масс Солнечной системы, чем Земля из-за значительно большего значения массы. На следующем этапе работы были проведены лабораторные измерения центральной частоты перехода молекул аммиака при помощи субдоплеровского спектрометра ИПФ РАН с целью проверки эффективности провала Лэмба при повышении точности определения центральной частоты перехода молекулы. Был сделан вывод, что провал Лэмба помогает значительно повысить точность определения центральной частоты перехода молекулы при использовании спектрометра при давлении не выше трех миллиторр.

Повышение точности радиоастрономических измерений скоростей и лабораторных измерений частот перехода молекул может дать нам более подробную и точную характеристику физических условий в областях звездообразования. Это дает важную информацию о возможных вариациях фундаментальных констант (например, отношение массы электрона к массе протона), что в дальнейшем может помочь объяснить такие загадочные явления, как темная материя и темная энергия.

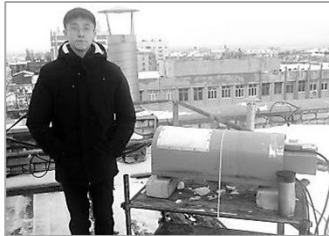
Литература

1. Голубятников Г.Ю., Белов С.П., Леонов И.И., Андриянов А.Ф., Зинченко И.И., Лапинов А.В., Марков В.Н., Шкаев А.П., Гварнери А. Прецизионный субдоплеровский спектрометр миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн на основе эффекта провала Лэмба // Известия вузов. Радиофизика. 2013, № 8 – 9. С. 666 – 676.
2. Куликовский П.Г. Звездная астрономия. – М.: Наука. 1985. – 256 с.
3. Сурдин В.Г. Вселенная от А до Я. – М.: Эксмо, 2013. – 473 с.
4. Шавлов А.Л. Спектроскопия в новом свете. – УФН, 1982. Т. 138. С. 205 – 222.

Исследование астроклимата в окрестностях Нижнего Новгорода

Ильичев Евгений Сергеевич
9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель С.Ю. Дрягин,
ведущий инженер ИПФ РАН



В результате работы были получены значения атмосферного поглощения (t) и влагосодержания (w) для Нижнего Новгорода. Сравнены со значениями, полученными из других мест (Восточная Якутия – вершина Мус-Хая, Средняя Азия – плато Суффа, Крым – подножье горы Кара-Даг).

Вопрос о создании дорогостоящей наземной радиоастрономической обсерватории является сверхактуальным в современной астрономии. Основным требованием к установке радиотелескопа, работающего в мм- и субмм-диапазоне длин волн электромагнитного излучения, является радиопрозрачность атмосферы. В работе мы хотели узнать, как сильно атмосфера над Нижним Новгородом влияет на радионаблюдения. Цель работы – изучение атмосферного поглощения в мм-диапазоне длин волн в Нижнем Новгороде с помощью комплекса МИАП-2.

МИАП-2 (двухканальный микроволновый измеритель атмосферного поглощения) – это радиометрический комплекс, предназначенный для измерения атмосферного поглощения в миллиметровом диапазоне длин волн (2 и 3 мм).

Измеритель представляет собой радиометрическую систему, включающую в себя два радиометра (в общем корпусе на диапазоны частот 84 – 99 ГГц и 132 – 148 ГГц), опорно-поворотное устройство и систему управления, сбора и обработки данных на основе персонального компьютера и модуля USB-4716 фирмы Advantech с ЦАП-АЦП и цифровыми вводами и выводами. Оба радиометра оснащены линзовыми антennами с коническим облучателем. Линзы изготовлены из фторопласта и ограничены поверхностями: с одной стороны гиперболической, с другой – плоской. Апертуры линз – $\varnothing 100$ мм и $\varnothing 65$ мм, а фокусное расстояние – 178.5 и 115.5 мм для трех и двух-миллиметровых каналов соответственно. Каждая из граничных поверхностей имеет просветление, которое выполнено в виде периодических круговых концентрических канавок (гофр), обеспечивающих коэффициент отражения во всем рабочем диапазоне каждого из ра-

диаметров не более 0.5%. Рупорные облучатели представляют собой расфазированные рупоры конической формы с изломом. Ширина диаграммы направленности антенн (с линзой) по половинному уровню мощности в обоих диапазонах составляет около 2.5° [3].

В качестве метода измерения оптической толщины с помощью МИАП-2 берется метод «разрезов».

Метод «разрезов». Метод «разрезов» для миллиметрового диапазона основан на сравнении приращений яркостных температур двух участков атмосферы при различных зенитных углах относительно известной температуры некоторой опорной области. В качестве опорной области обычно используют излучение атмосферы в направлении на горизонт, то есть чтобы яркостная температура атмосферы в направлении антенны была близка к температуре приземного слоя воздуха.

В технической реализации этого метода определение оптической толщины атмосферы (с помощью МИАП-2) происходит двумя способами: по двум углам и по пяти углам. Определение атмосферного поглощения (τ) по двум и пяти углам сводится к итеративному аппроксимированию зависимости выходного напряжения УПТ от угла места [1].

Эксперимент. Перед началом эксперимента вся аппаратура (МИАП-2, персональный компьютер, роутер) прогревалась около двух – трех часов для нормальной работы. Аппаратура была вынесена на крышу ИПФ РАН, и работала там на протяжении двух дней в дежурном режиме. Наблюдения проводились с 02.02.2018 по 03.02.2018, в погоду с повышенной облачностью, но без осадков.

Полученные значения оптической толщины атмосферы $\tau(v)$ для двух диапазонов длин волн (2 и 3 мм), определяются по формуле:

$$\tau(v) = (\alpha(v) + \alpha'(v) * w^2) * \exp\left(\frac{-h}{h_0}\right) + \beta(v) * w,$$

где h – высота точки наблюдения, $h = 0,813$ км (над уровнем моря), h_0 – характеристическая высота кислорода над уровнем моря, $h_0 = 5,3$ км, α – поглощение из-за содержания кислорода на уровне моря, β – удельное поглощение на единицу PWV (Neper / mm), W – влагосодержание атмосферы.

Таблица. Значения некоторых физических величин

| Длины волн | β , (Neper / mm) | α (на уровне моря), Nep | α' (на уровне моря), Nep |
|------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 2 мм | $8.3 * 10^{-3}$ | 0.089 | $3.3 * 10^{-4}$ |
| 3 мм | $1.7 * 10^{-3}$ | 0.11 | $1.4 * 10^{-4}$ |

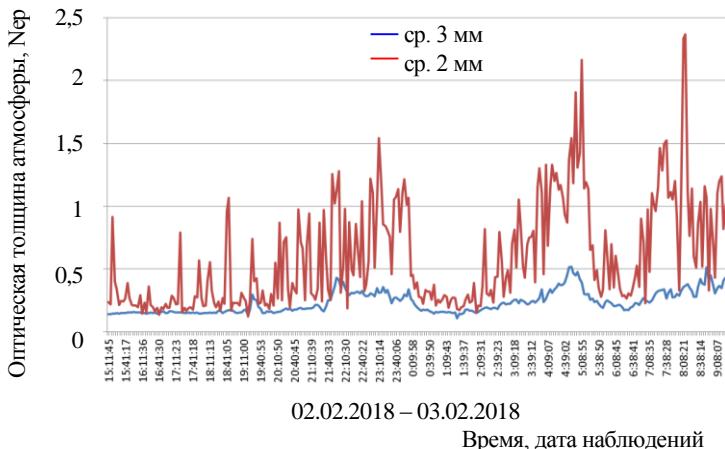


Рис. 1. Значение $\tau(v)$ для длин волн в двух и трехмиллиметровом диапазоне

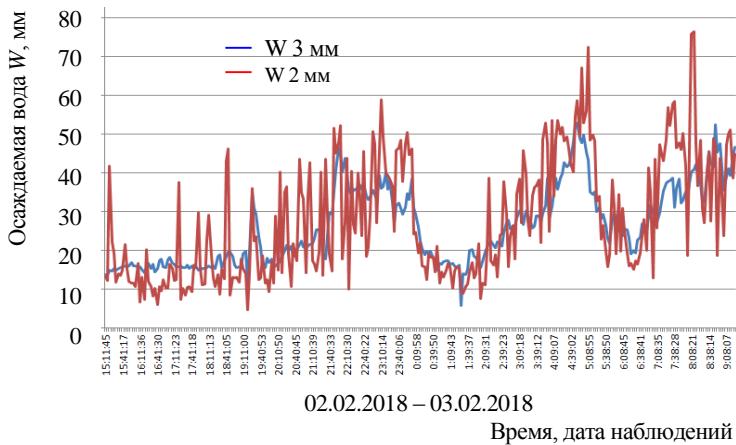


Рис 2. Значения W для волн в двух и трехмиллиметровом диапазоне

Значения некоторых величин были взяты из таблицы. Усредненные результаты в программе Excel представлены на рисунке 1. На графике красным и синим цветами выделены значения атмосферного поглощения для двух и трехмиллиметровых окон прозрачности.

Значение влагосодержания атмосферы W , в отличие от других величин, не является постоянной, а нахождение ее сводится к решению квадратных уравнений:

$$0 = \alpha'(v) \exp\left(\frac{-h}{h_0}\right) w^2 + \beta(v) * w + \left(\exp\left(\frac{-h}{h_0}\right) * \alpha(v) - \tau \right).$$

Так как от значения W в большей степени зависит атмосферное поглощение, то можно сделать вывод, что по значению этой переменной можно судить о количестве воды в атмосфере. Результаты вычислений представлены на рисунке 2.

Выводы

1. Вид кривой поглощения $\tau(v)$ вполне прогнозируемый для этого времени года в Нижнем Новгороде.

2. Большой разброс значений для двухмиллиметрового канала свидетельствует о большом уровне шума аппаратуры, что подтверждается предыдущими наблюдениями.

3. Характерные значения $\tau(v)$ составляют в среднем 0,3 Нер. Для сравнения измерения, выполненных в других местах, даже в летние месяцы дают следующие значения:

- Восточная Якутия (вершина Мус-Хая), $\tau(v) = 0.1$ Нер;
- Средняя Азия (плато Суффа), $\tau(v) = 0.1$ Нер;
- Крым (Кара-Даг), $\tau(v) = 0.3$ Нер.

4. Это же доказывают данные для осажденной воды (PWV), которые составляют в среднем 30 мм. Для сравнения:

- Восточная Якутия (вершина Мус-Хая), PWV=5мм;
- Средняя Азия (плато Суффа), PWV=10мм;
- Крым (Кара-Даг), PWV=20мм.

5. Наш эксперимент еще раз доказывает, что радиоастрономические наблюдения в окнах прозрачности 2 и 3мм в условиях Нижнего Новгорода проводить значительно хуже, чем в условиях высокогорья и резко континентального климата.

Литература

1. Абашин Е.Б., Бубнов Г.М., Вдовин В.Ф., Галанин И.И., Дрягин С.Ю., Зинченко И.И., Носов В.И. // Тезисы докладов 17-й научной конференции по радиофизике. 13–17 мая 2013. – Н. Новгород. 2013. – С. 68.
2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 751 с.
3. Носов В.И., Большаков О.С., Бубнов Г.М., Вдовин В.Ф., Зинченко И.И., Марухно А.С., Никифоров П.Л., Федосеев Л.И., Швецов А.А. Двухвольновой измеритель радио-прозрачности миллиметрового диапазона // Приборы и техника эксперимента. 2016, № 3. С. 49 – 56.

Расчет температурных характеристик аппарата для его введения в атмосферу Солнца

Литвиненко Артем Юрьевич
8 класс, Лицей № 87, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин, доцент
НГПУ им. К. Минина, заведующий научно-
исследовательским отделом Нижегородского
планетария, кандидат физико-математических наук



Проведено теоретическое и практическое исследование изменения температуры космического аппарата при его сближении с Солнцем. Построены две кривые, характер поведения которых сопоставим. На основе полученных результатов сделан вывод о возможности использования предложенной модели при расчетах.

Исследование Солнца – одна из актуальных проблем в настоящее время. Сегодня на околосолнечной орбите работает несколько групп спутников, которые дают почти полное представление о процессах, протекающих в верхних слоях атмосферы светила. Изучение нижележащих слоев и процессов, протекающих в них, представляет серьезную задачу. Особое внимание в таких исследованиях уделяется изучению магнитного поля.

Процесс движения вблизи твердого тела (планета, астероид, комета, спутник планеты) представляет задачу, решение которой известно с поправкой на возмущение. Движение вблизи Земли не позволяет в полной мере оценить процессы, протекающие в непосредственной близости от звезды. Спутники Stereo, SDO, Tesis запущены на орбиты вблизи Земли, а спутники, которые работали бы рядом со звездой, отсутствуют. NASA представила программу ближайших запусков космических аппаратов, среди которых представлен спутник Solar Probe Plus [6]. Его основной задачей является сближение со звездой. Планируемое рабочее расстояние не более девяти радиусов Солнца.

Рассмотрим возможность сближения спутника с Солнцем. Допущения, принимаемые в модели: форма спутника – сфера.

Цель исследования – определение минимального расстояния от фотосфера Солнца, на котором спутник сможет передавать телеметрию, то есть иметь температуру плавления. В рассматриваемом случае уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$Q = Q_1, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, поглощаемое спутником в единицу времени, Q_1 – количество теплоты, которое излучает спутник при определенной температуре. Поглощаемое и излучаемое количество теплоты рассчитывается согласно закону Стефана-Больцмана [5].

Энергия, излучаемая Солнцем, в единицу времени:

$$\sigma T^4 S = E, \quad (2)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, T – температура объекта и S – площадь видимой атмосферы Солнца.

Учтем то, что спутник не находится в верхних слоях атмосферы Солнца, поэтому количество теплоты, приходящее на спутник на определенном расстоянии в единицу времени рассчитывается следующим образом. На квадратную единицу площади сферы радиуса $R_{op\bar{b}}$ – радиус орбиты спутника, то есть расстояние до объекта, будет приходить энергия, равная:

$$\frac{\sigma T^4 4\pi R_{sol}^2}{4\pi R_{op\bar{b}}^2} = E_1, \quad (3)$$

где R_{sol} – радиус Солнца. Спутник перехватывает тепло только площадью поперечного сечения, тогда количество теплоты, поглощаемое спутником в единицу времени, равно:

$$\frac{\sigma T^4 4\pi R_{sol}^2}{4\pi R_{op\bar{b}}^2} \pi R^2 = Q. \quad (4)$$

Полученное тепло идет на излучение при текущей температуре. Тепло, излучаемое спутником при заданной температуре T_{cn} , происходит со всей поверхности и определяется следующим выражением:

$$\sigma T_{cn}^4 4\pi R^2 = Q_1. \quad (5)$$

В итоге имеем общее выражение для теплового баланса для единицы времени:

$$\frac{\sigma T^4 R_{sol}^2}{R_{op\bar{b}}^2} \pi R^2 = 4\pi R^2 \sigma T_{cn}^4. \quad (6)$$

Решение находим в численном виде. Результаты численного счета отражены на графике (рис. 1).

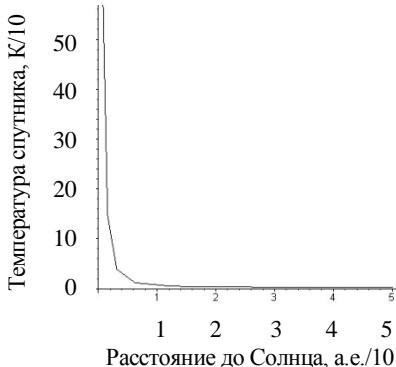


Рис. 1. Зависимость температуры спутника от расстояния до Солнца

Полученная зависимость носит сугубо теоретический характер. Для ее подтверждения был проведен эксперимент. К штативу прикрепили металлический шарик, который выступал в качестве модели исследуемого спутника. Поднося газовую горелку на определенное расстояние, нагревали шарик в течение одной минуты (рис. 2) и определяли его температуру. Для этого использовали калориметр и цифровой термометр. В калориметре находилась вода, температура которой была измерена с помощью термометра. При помещении металлического шарика в воду, температура воды изменилась. Как только изменение температуры заканчивалось, фиксировалось значение, на основе которого вычисляли первоначальное значение температуры шарика. Результаты представлены на графике (рис. 4).

Теоретическая и экспериментальная кривые имеют похожий профиль. Это можно использовать для оценки расстояний. Но в данном случае

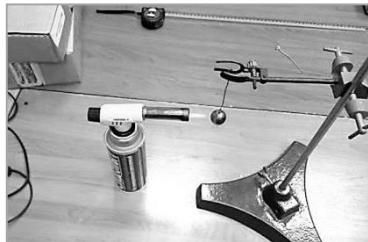


Рис. 2. Фотография эксперимента

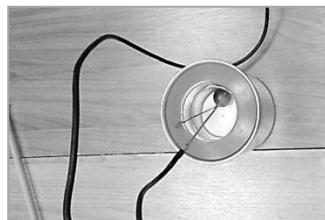


Рис. 3. Фотография измерения температуры воды с помощью цифрового термометра



Рис. 4. График зависимости изменения температуры шарика от расстояния

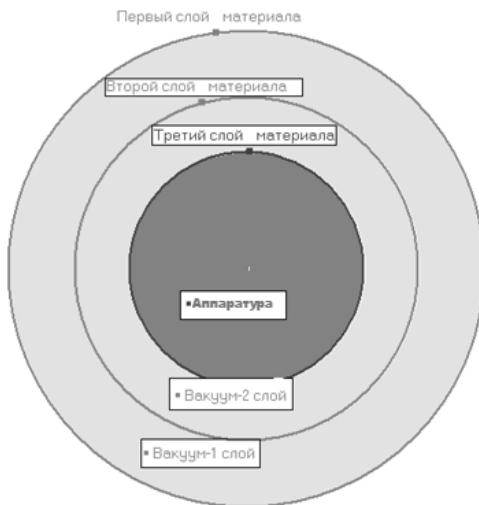


Рис. 5. Вид спутника в разрезе

ратуры объекта от расстояния до Солнца и проведен эксперимент, который подтвердил справедливость теоретических рассуждений. Необходимы глубокие практические и дополнительные теоретические исследования данной проблемы.

Литература

- 1) Жирифалько Л. Статистическая физика твердого тела. – М.: Мир, 1975. – 15 с.
- 2) Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. – М.: УРСС, 2011. – 544 с.
- 3) Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия. Химия металлов. Т. 2. – М.: Мир, 1972. – 347 с.
- 4) Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 5. – М.: Астрель, 2001. – 368 с.
- 5) Солоницына А.А., Лапин Н.И. Распределение солнечной энергии для объектов пояса Койпера (на примере Эриды). Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной; Научно-образовательный центр ИПФ РАН – Выпуск 1. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 2008. – 180 с. – С. 128 – 131.
- 6) Solar Probe Plus [Электронный ресурс]. URL: <http://solarprobe.jhuapl.edu/> (дата обращения 12.05.2015)

это сделать сложно, так как необходимо определиться с параметрами спутника и его конструкцией. Здесь мы только предлагаем конструктивную модель спутника, расчеты которой будут проведены в следующих работах.

Конструкция спутника представляется «слоенным пирогом», где между вставками вакуум, представлена на рисунке 5.

В работе была рассчитана зависимость темпе-

Изучение спектра звезд рассеянного

звездного скопления Плеяды

Яишенкина Ольга Дмитриевна
8 класс, Школа № 44, ШОИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин,
доцент НГПУ им. К. Минина, заведующий
научно-исследовательским отделом
Нижегородского планетария,
кандидат физико-математических наук



Предлагается простейший способ получения спектра звезд. Для этого используется дифракционная решетка, которая размещается на объективе фотоаппарата. Эксперимент показал, что данная схема хоть и работоспособна, но в условиях городской засветки (рядом с астроплощадкой Нижегородского планетария) требуется дополнительное оборудование и программное обеспечение.

Сегодня спектральный анализ используется практически во всех астрономических наблюдениях. С его помощью открывают новые экзопланеты и расширяют границы Вселенной. Спектрометры используются на марсоходах и межпланетных зондах, космических телескопах и исследовательских спутниках. Фактически без спектрального анализа не было бы современной астрономии.

Спектральный анализ открыл нам великое разнообразие звезд, рассказал об их рождении, эволюции и смерти. Этот метод лежит в основе практически всех современных и даже грядущих астрономических открытий.

Цель работы – получить и исследовать спектр рассеянного звездного скопления Плеяды. Задачи: разработать экспериментальную установку для получения спектра звезд и провести анализ полученных данных.

Плеяды (M45) находятся в созвездии Тельца – это самое яркое рассеянное скопление на небе, его можно увидеть невооруженным глазом из любой точки северного полушария. Лучшим временем для наблюдений является зима. Известно, что Плеяды являются физически связанный группой звезд, а не отдельными звездами, удаленными от Земли на разное расстояние. Диаметр скопления имеет 12 световых лет и содержит около 1000 преимущественно горячих голубых звезд. Рассеянные звездные скопления – важные объекты для изучения звездной эволюции. Благодаря тому, что звезды скопления имеют одинаковый

возраст и химический состав, эффекты от других характеристик легче определять именно для скоплений, чем для отдельных звезд.

Для проведения эксперимента было подготовлено следующее оборудование: телескоп, фотоаппарат, дифракционная решетка, изготовленная насадка с дифракционной решеткой.

Для изготовления насадки потребовался лист формата А1. Из него был сделан цилиндр диаметром 28 см и высотой 50 см. В крышке цилиндра вырезано окно (4×4 см), в которое вклеена дифракционная решетка.

Одной из главных характеристик дифракционной решетки является ее период d . Часто также пользуются термином «плотность штрихов» – это количество штрихов на один миллиметр. Известно, что d выражается через N (число штрихов на 1 мм) следующим образом:

$$d = \frac{1}{N} \text{ мм.}$$

Период решетки, с которой проводился эксперимент:

$$d = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ мм} = 2 \mu\text{мм}.$$

Насадка была установлена на телескоп. К телескопу был подключен фотоаппарат для получения фотографий спектра звезд.

В течение нескольких вечеров были проведены наблюдения в обсерватории Нижегородского планетария. Благодаря изготовленной насадке на телескоп и подключенному к телескопу фотоаппарату удалось получить фотографии звезд рассеянного звездного скопления Плеяды. Съемка производилась с выдержкой последовательно в течение 10, 15, 20 секунд. Чувствительность матрицы фотокамеры фотоаппарата (ISO) 200.

Во время проведения опыта была сделана попытка получить фотографии без изготовленной насадки, прикрепляя дифракционную решетку непосредственно на объектив фотоаппарата.

Если перед объективом телескопа поместить дифракционную решетку, то на экране мы получим спектр, который можно сфотографировать. Мы поместили дифракционную решетку перед объективом фотоаппарата. На матрице должен был получиться спектр.

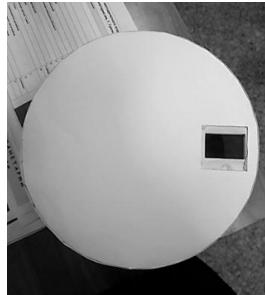


Рис. 1. Насадка для телескопа с дифракционной решеткой

На фотографии с изготовленной насадкой спектр звезд скопления Плеяд получился не очень четким, на них видны преимущественно голубые цвета (рис. 3). Фотографии без насадки получились с более четким изображением спектра (рис. 4).

Эксперимент был также проведен для ярчайшей звезды неба – Сириуса. Интересно, что изображение Сириуса умножилось, мы получили спектр голубого цвета, на нем отчетливо видны линии поглощения (темные на ярком фоне) (рис. 5).



Рис. 3. Фотография спектра Плеяд с насадкой

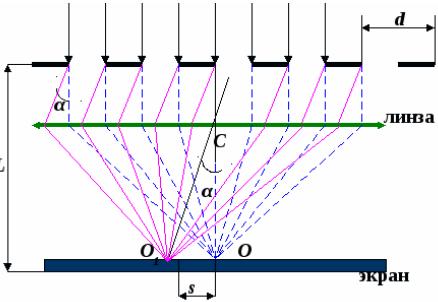


Рис. 2. Схема работы дифракционной решетки



Рис. 4. Фотография спектра Плеяд без насадки



Рис. 5. Фотография спектра Сириус

Во время проведения эксперимента возникли сложности. На астроплощадке была большая за светка от фонарей. Яркость ртутных ламп велика, поэтому полученные фотографии не принесли желаемого результата.

Динамические особенности матрицы фотоаппарата не позволили получить четкий спектр звезд рассеянного звездного скопления

Плеяды. Использование дифракционной решетки с фотоаппаратом в данном эксперименте не дает возможность получать и детально исследовать спектры звезд. При обработке данных мы потеряли всю важную информацию о спектре, так как при вычитании фона, который получился очень ярким, удалились данные о составе спектра. На фотографиях остались только главные максимумы.

С помощью самодельного оборудования удалось получить фотографии спектра звезд. К сожалению, мощность фотоаппарата не позволила получить очень четкие снимки. Но, сделав фотографии, можно оценить полученный спектр звезд в Плеядах и сделать вывод, что данные звезды имеют одинаковое происхождение.

Литература

1. *Вибе Д.* От радиоволн до гамма- лучей [Электронный ресурс]. Сайт: Элементы. URL: <http://elementy.ru>.
2. *Кононович Э.В., Мороз В.И.* Общий курс астрономии. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с.
3. *Мякишев Г.Я., Буховцев Б.В., Чаругин В.М.* Физика. 11 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни. – М.: Просвещение, 2008. – 399 с.
4. *Сурдин В.Г.* Астрономия. Популярные лекции. – М.: Литео, 2017. – 288 с.

Химия



Синтез металлорганических соединений висмута и исследование их фоторазложения методом ЭПР

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

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



В работе были синтезированы и очищены дибромид трифенилвисмута и дихлорид трифенилвисмута. Изучен фотораспад данных вещества методом ЭПР с использованием спиновой ловушки С-фенил-N-третбутилнитрон. Подтверждена гипотеза, что металлоорганические соединения висмута разлагаются под действием света с образованием фенильных радикалов.

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

Актуальность: синтезированные соединения Ph_3BiX_2 , где $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$, можно будет использовать в качестве радикальных инициаторов полимеризации взамен традиционных пероксидов в случаях, когда не допускается выделение газа при полимеризации [2].

Цель – синтез Ph_3BiX_2 , где $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$. Синтез спиновой ловушки – С-фенил-N-трет-бутилнитрон. Исследование реакций фотораспада полученных Ph_3BiX_2 методом спектроскопии ЭПР.

Объекты исследования: производные трифенилвисмута(V) типа Ph_3BiX_2 , где $\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}$, а также С-фенил-N-трет-бутилнитрон (ФБН).

Предмет исследования: металлоорганический синтез соединений висмута. Органический синтез ФБН. Реакция фотораспада металлоорганического соединения висмута с выделением радикалов. Получение прозрачного металлоксодержащего пластика.

Задачи: очистка растворителей и исходных реагентов для синтеза; синтез металлоорганических соединений и ФБН; ЭПР изучение реакции фотораспада.

Применение висмута в настоящее время очень распространено. Данный элемент используют в разных сферах. Висмут ценится за

легкоплавкость. Кроме этого, висмут используют как материал для обработки прочных сплавов, применяют его в ядерной энергетике и изготовлении топливных элементов [4].

Металлоорганические соединения (МОС) – соединения углеводородных радикалов с металлами, которые вступают во всевозможные реакции и представляют в руках химика незаменимое средство для введения углеводородных остатков при синтезе органических соединений [3].

Электронный парамагнитный резонанс – это физическое явление, суть которого заключается в резонансном поглощении электромагнитного излучения неспаренными электронами.

Одним из наиболее эффективных способов анализа радикалов методом ЭПР является метод спиновых ловушек. Данный метод заключается в стабилизации радикалов на молекулах акцепторов (на спиновых ловушках), при этом короткоживущий радикал в результате химического превращения с акцептором становится структурным фрагментом стабильного радикала.

Очистка и определение температуры плавления Ph_3BiCl_2

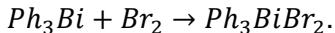
Сначала приготовили дихлорид трифенилвисмута. Для этого в колбу насыпали 4.44 г исследуемого вещества, затем добавили 14 мл растворителя (хлороформа). Из фильтровальной бумаги сделали складчатый фильтр, с помощью которого нагретый раствор отфильтровали от примесей в колбу. В получившийся раствор добавляли петролейный эфир до выпадения осадка. В мерный стакан наливали холодную воду. Поставили в него колбу с раствором, предварительно закупорив ее. Остужали 20 минут. Полученный чистый реагент дихлорид трифенилвисмута взвесили, масса после перекристаллизации равна 2.33 г.

В два капилляра помещали дихлорид трифенилвисмута. Капилляры с помощью резиночки прикрепили к термометру, который помещали в сосуд с двойными стенками. Под установкой ставили электрическую плитку. Включали плиту на максимальную мощность и замечали момент, когда вещество в капилляре начинало плавиться и стекало в каплю. $T_{пл} = 145^{\circ}\text{C}$ (с разложением).

Синтез и определение температуры плавления Ph_3BiBr_2

Сначала проводили синтез дибромида трифенилвисмута. Для этого создали установку для очистки брома перегонкой. В установку поместили неочищенный бром. Перегоняли при температуре 30 –

40°C (температура кипения брома) из колбы Вюрца с помощью холодильника. Затем растворили 2.01 г брома в хлороформе и добавили к 5.54 г трифенилвисмута, растворенного в хлороформе.



После реакции добавили гексана для полного осаждения продукта и взвесили Ph_3BiBr_2 , масса которого составила 3.16 г (выход реакции составил 48%). Температуру плавления определяли тем же методом, что и у дихлорида трифенилвисмута.

Исследование фоторазложения полученных веществ методом ЭПР

В одно колено ампулы, имеющей капиллярный отвод для ЭПР эксперимента, помещали 0.1 ммоль ФБН и трубку запаивали. Во второе колено помещали 0.1 ммоль МОС, а в третье колено 1 мл бензола, это колено дегазировали 4-кратным замораживанием жидким азотом и вакуумированием до $3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст., затем запаивали, оборачивали черной изолентой и хранили в темноте на льду при 0°C. Для ЭПР-эксперимента содержимое двух колен ампулы перемешивали, раствор заливали в капилляр, снимали спектр ЭПР дважды: сразу после перемешивания и после выдерживания в течение двух минут при облучении УФ.

Результаты и их обсуждение

График ЭПР-спектра Ph_3BiCl_2 сразу после перемешивания содержал пики, которые были всего лишь в 2.5 раза больше помех, а это свидетельствовало, что распад МОС висмута еще не начался. После облучения УФ зафиксировали 300-кратное возрастание интенсивности сигнала.

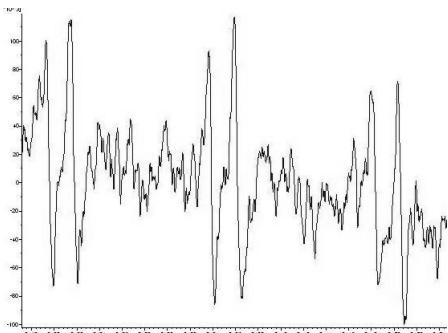


Рис. 1. ЭПР-спектр системы
 $Ph_3BiCl_2 + \text{ФБН} + \text{бензол}$
сразу после смешивания

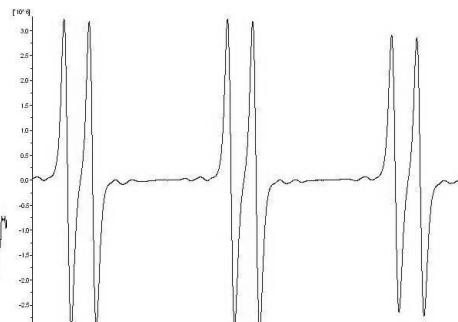


Рис. 2. ЭПР-спектр системы
 $Ph_3BiCl_2 + \text{ФБН} + \text{бензол}$
после облучения

Ph_3BiCl_2 после облучения УФ обработали с помощью программы «Биоспин» и получили константы, равные $a_N = 14.4 \text{ Э}$, $a_h = 2.2 \text{ Э}$, $g = 2.0059$, которые сравнили с литературными данными и подтвердили, что это спектр стабильного радикала $\text{Ph}_2\text{CH-N(O•)Bu-t}$.

Затем получили ЭПР-спектр Ph_3BiBr_2 сразу после смешивания. На нем пики были больше шумов, что свидетельствует о том, что реакция происходит, но с малой интенсивностью, некритичной для опыта. После облучения УФ пики были больше, чем на ЭПР-спектре Ph_3BiCl_2 . Очевидно, что дигромид более активен в реакции разложения. С помощью программы «Биоспин» получили константы, равные $a_N = 14.4 \text{ Э}$, $a_h = 2.2 \text{ Э}$, $g = 2.0059$, которые сравнили с литературными данными и подтвердили, что получили стабильный радикал $\text{Ph}_2\text{CH-N(O•)Bu-t}$.

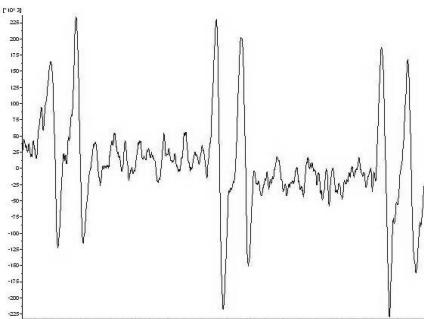


Рис. 3. ЭПР-спектр системы
 $\text{Ph}_3\text{BiBr}_2 + \text{ФБН} + \text{бензол}$
сразу после смешения

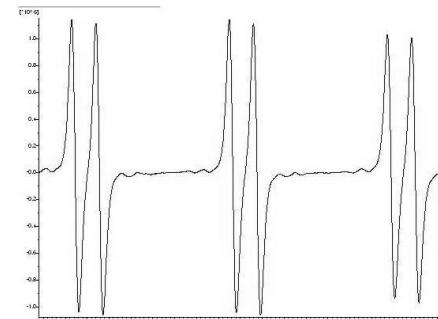


Рис. 4. ЭПР-спектр системы
 $\text{Ph}_3\text{BiBr}_2 + \text{ФБН} + \text{бензол}$
после облучения

На обоих спектрах после облучения УФ кроме сильных сигналов наблюдаются слабые сигналы справа и слева от основных – сателлиты или спутники основных пиков, за счет участия ядер атомов ^{13}C , которые сопутствуют изотопу ^{12}C .

В результате работы была подтверждена гипотеза, что при фотораспаде МОС висмута образуются фенильные радикалы, которые фиксируются ловушкой ФБН с образованием стабильных нитроксильных радикалов. Важно, что в наших опытах при использовании черных ампул до начала облучения фотораспад не наблюдался. Хотя раньше [1], когда снимали спектры в прозрачных ампулах, получались спектры с достаточно сильными сигналами до начала облучения.

Литература

1. Гущин А.В., Калистратова О.С., Малеева А.И., Додонов В.А., Косов Д.Ю., Емельянов Д.Н., Куропатов В.А. Образование нитроксильных радикалов металлоорганическими соединениями Bi(V) в присутствии 2-метил-2-нитрозопропана и С-фенил-N-трет-бутилнитрона под действием света // Журнал общей химии. 2017. Т. 87. Вып. 7. С. 1154 –1156.
2. Кнорре Д.Г., Крылова Л.Ф., Музыкантов В.С. Физическая химия; Учеб. для биол. ф-тов университетов и пед. вузов. – М.: Выш. шк., 1990. – 416 с. – С. 178 – 181.
3. Металлорганические соединения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.brocgaus.ru/text/065/324.htm>
4. Что такое висмут, его свойства, соединения и получение [Электронный ресурс] // SYL, сайт. URL: <https://www.syl.ru/article/365281/chto-takoe-vismut-ego-svoystva-soedineniya-poluchenie-i-primenenie>

Исследование возможности чувствительного определения некоторых неорганических веществ методом микрокристаллоскопии

Загородников Никита Владимирович
9 класс, Лицей № 38, ШЮИ ИПФ РАН
Научный руководитель П.В. Мосягин,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,
кандидат химических наук



Исследована возможность обнаружения ионов калия, меди, никеля, цинка, хрома и серебра с помощью метода микрокристаллоскопии. В результате проведенных микрокристаллоскопических реакций изучен цвет и форма полученных кристаллов, сделаны микрофотографии и систематизированы данные. Установлена предельная концентрация для ионов цинка, выявлено влияние скорости испарения гидроксид аммония на размеры кристаллов хлорида серебра, вычислена средняя площадь кристаллов $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и AgCl . В исследованных образцах реальных водных объектов обнаружены ионы цинка и никеля. Результаты исследования могут быть использованы для усовершенствования и расширения возможного применения методик микрокристаллоскопического анализа.

Тенденция развития современной науки и техники к миниатюризации процессов повышает интерес к микрокристаллоскопии, как миниатюризации в аналитической химии. Микрокристаллоскопия находит применение преимущественно для качественного анализа очень небольших по размерам объектов (включения в металлы и минералы, мельчайшие металлические частицы, пыль, содержимое растительных и животных клеток). Применение специфических реакций делает микрокристаллоскопию очень удобным методом анализа в судебно-медицинской практике, в металлургии, в медицинских и экологических исследованиях. Однако возможности такого метода, а также влияние различных факторов на использование этого метода в различных случаях недостаточно изучены. В связи с этим целью работы стало исследование возможности обнаружения некоторых ионов неорганических веществ с помощью метода микрокристаллоскопии.

Микрокристаллоскопия – метод качественного анализа, основанный на реакциях образования характерных кристаллических осадков, которые рассматривают под микроскопом и на основании

внешнего вида кристаллов делают заключение о наличии искомых ионов [2].

Микрокристаллоскопический метод имеет ряд достоинств. Для анализа с помощью этого метода требуются малые количества исследуемых веществ. Выполнение качественных реакций в этом случае осуществляется легко и быстро. Указанный метод может быть использован для обнаружения взрывчатых и ядовитых веществ, работа с большими количествами которых небезопасна. При обнаружении химических соединений с помощью этого метода в большинстве случаев исключаются громоздкие операции (фильтрование, выпаривание, прокаливание).

В качестве анализаторов для микрокристаллоскопического исследования были выбраны катионы следующих металлов: калия, меди (II), никеля (II), цинка, хрома (III), серебра. Калий в организме животных и человека является основным внутриклеточным катионом. Цинк, хром, никель, медь относятся к тяжелым металлам. Накопление этих металлов может привести к изменению состояния живого организма. Серебро – драгоценный металл, который имеет довольно разнообразную сферу применения, поэтому важно контролировать отходы производства на наличие в них серебра.

При проведении микрокристаллоскопического анализа одну каплю анализируемого раствора помещают на чистое сухое предметное стекло, рядом помещают одну каплю реагента. Расстояние между каплями составляет около 2 мм. Капли осторожно соединяют палочкой с оттянутым кончиком и рассматривают под микроскопом края капли. Образующиеся кристаллы приобретают характерную форму и цвет.

В результате проведенных микрокристаллоскопических реакций были изучены цвет и форма полученных кристаллов, сделаны микрофотографии, данные систематизированы в таблице 1.

Выявлено, что при проведении микрокристаллоскопического определения ионов серебра скорость испарения гидроксид аммония влияет на размеры кристаллов хлорида серебра. Если проводить данную реакцию при нагревании, то NH_4OH быстрее испаряется, это приводит выпадению меньшего количества мелких кристаллов или к образованию аморфного осадка. При замедленном испарении NH_4OH хлористое серебро выпадает медленно, кристаллы образуются более крупными. Рекомендуем проводить эту реакцию, прикрыв реагенты часовым стеклом.

Таблица 1. Результат эксперимента по исследованию микрокристаллоскопических реакций обнаружения разных ионов металлов

| Аналит | Реагент | Состав осадка | Форма и цвет кристаллов | Фотография |
|------------------|--|--|--|------------|
| K ⁺ | Na ₂ Pb[Cu(NO ₂) ₆] | K ₂ Pb[Cu(NO ₂) ₆] | Кубическая форма коричневого или черного цвета | |
| Cu ²⁺ | K ₄ [Fe(CN)] ₆ | Cu ₂ [Fe(CN)] ₆ | Светло-желтые или красноватые дендриты или пластинки | |
| Cu ²⁺ | CH ₃ COOH + Pb(CH ₃ COO) ₂ + KNO ₂ | K ₂ Pb[Cu(NO ₂) ₆] | Черные кубы | |
| Ni ²⁺ | CH ₃ COOH + Pb(CH ₃ COO) ₂ + KNO ₂ | K ₂ Pb[Ni(NO ₂) ₆] | Желтые или буроватые кубы | |
| Ni ²⁺ | Аммиачный раствор диметилглиоксима | (C ₄ H ₇ O ₂ N ₂) ₂ Ni | Красные иглы | |
| Ni ²⁺ | Пиридин + NH ₄ CNS | [Ni(C ₅ H ₅ N) ₄](CNS) ₂ | Мелкие кристаллические кубы | |
| Zn ²⁺ | Пиридин + NH ₄ CNS | [Zn(C ₅ H ₅ N) ₄](CNS) ₂ | Тонкие иглы | |
| Zn ²⁺ | Na ₂ CO ₃ | 3Na ₂ CO ₃ ·8ZnCO ₃ ·8H ₂ O | Тетраэдры и треугольные призмы | |
| Zn ²⁺ | H ₂ C ₂ O ₄ + NH ₄ OH | ZnC ₂ O ₄ ·2H ₂ O | Пучки игл и розетки | |

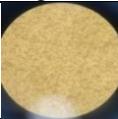
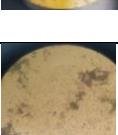
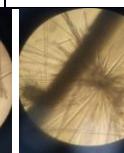
| Аналит | Реагент | Состав осадка | Форма и цвет кристаллов | Фотография |
|------------------|---|---|--|---|
| Zn ²⁺ | Пиридин + K ₂ Cr ₂ O ₇ | [Zn(C ₅ H ₅ N) ₂]Cr ₂ O ₇ | Желтые мелкие призмы и кубы |  |
| Cr ³⁺ | H ₂ C ₂ O ₄ + NH ₄ OH | Cr ₂ (C ₂ O ₄) ₃ ·nH ₂ O | Темные иглы в лимонно-желтом осадке |  |
| Ag ⁺ | KI + NH ₄ OH | Ag(NH ₃) ₂ I | Кристаллы в форме ромбов и прямоугольников |  |
| Ag ⁺ | K ₂ Cr ₂ O ₇ | Ag ₂ Cr ₂ O ₇ | Буро-красные кристаллы в форме прямоугольников и шестиугольников |  |
| Ag ⁺ | KIO ₃ | AgIO ₃ | Мелкие кристаллы в виде игл и многоугольниковых звезд |  |
| Ag ⁺ | HCl + NH ₄ OH | AgCl | Серые звездочки и дендриты |  |

Таблица 2. Результаты установления предела обнаружения ионов цинка методом микрокристаллоскопии

| Кратность разбавления исходного раствора | Исходный раствор | 1:10 | 1:100 | 1:1000 | 1:3000 |
|--|---|---|---|---|---|
| Концентрация цинка в растворе, г/л | 1 | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0003(3) |
| Фотография |  |  |  |  |  |

Установлено, что предельное разбавление для реакции на Zn^{2+} с $H_2C_2O_4$ и NH_4OH составляет 1:1000. Рассчитан предел обнаружения цинка для этой реакции, который составил 0,001 (г/л). Результаты реакций занесены в таблицу 2. Отметим, что при разбавлении 1:10 образуются более крупные кристаллы, которые можно лучше разглядеть в микроскоп. В связи с этим можно рекомендовать увеличить чувствительность данной реакции путем разбавления 1:10.

По микрофотографии кристаллов и проволоки диаметром 0,36 мм вычислена площадь кристаллов при помощи формулы Пика ($S = B + \frac{\Gamma}{2} - 1$).



Рис. 1. Микрофотография кристаллов $Ag_2Cr_2O_7$



Рис. 2. Микрофотография кристаллов $AgCl$

В исследованных образцах реальных водных объектов обнаружены ионы цинка и никеля.

Таблица 3. Результаты исследования реальных образцов водных объектов

| Образцы воды | Наличие ионов | | | | | |
|---|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| | K^+ | Cu^{2+} | Ni^{2+} | Zn^{2+} | Cr^{3+} | Ag^+ |
| Вода с территории Нижегородского машиностроительного завода | - | - | - | + | - | - |
| Вода с промзоны города Дзержинска | - | - | + | + | - | - |
| Вода из Черного моря (г. Сочи) | - | - | - | + | - | - |
| Вода из чайника из нержавеющей стали | - | - | + | - | - | - |

Данную работу можно продолжить, расширив круг анализаторов, определив для каждой микрокристаллоскопической реакции предел обнаружения и условия протекания.

Из проделанной работы можно сделать вывод о том, что аналитическая ценность микрокристаллоскопических реакций состоит в простоте и быстроте выполнения, а также наглядности микроскопической картины и высокой чувствительности, позволяющей идентифицировать микроколичества исследуемого вещества. Специфичность микрокристаллоскопических реакций нередко зависит от условий их проведения. На форму кристаллов - иногда влияют условия кристаллизации: концентрация исследуемого раствора, наличие посторонних компонентов в растворе и техника проведения реакций.

Результаты исследования могут быть использованы для усовершенствования и расширения возможного применения методик микрокристаллоскопического анализа.

Литература

1. Алексеев В.Н. Качественный анализ. – М.: Госхимиздат, 1960. – 595 с.
2. Коренман И.М. Микрокристаллоскопия. – М.: Госхимиздат, 1955. – 432 с.
3. Маляров К.Л. Качественный микрохимический анализ: учеб. пособие - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1951. – 240 с.
4. Микрокристаллоскопия [Электронный ресурс] // Сайт «Большая энциклопедия нефти и газа». URL: <http://www.ngpedia.ru/id156140p1.html>
5. Столяров К.П. Руководство по микрохимическим методам анализа: учеб.пособие. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 248 с.
6. Юрчук-Зултар О.А., Смирнова В.В. Оптимизация условий проведения микрокристаллоскопических реакций // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам VIII междунар. науч.-практ. конф. № 7(8). – М.: Изд. «МЦНО», 2017. С. 86 – 90.

Гидрогели на основе крахмала и акриламида

Иванова Дарья Вадимовна

10 класс, Лицей № 40, ШПОИ ИПФ РАН

Научный руководитель С.З. Зейналова,
магистр ННГУ им. Н.И. Лобачевского



В работе синтезированы гидрогели на основе крахмала и акриламида с различным содержанием исходных компонентов. Изучена зависимость степени набухания полученных гидрогелей от их состава и температуры набухания. На основе полученных результатов выявлен оптимальный состав гидрогелей.

Создание биоразлагаемых материалов на основе синтетических и природных полимеров, которые могут под действием факторов окружающей среды распадаться на безвредные для природы вещества, является одной из приоритетной задач современной химии. Особый интерес среди природных полимеров представляет крахмал и его производные. Однако крахмал является водонерастворимым и поэтому нуждается в модификации. Перспективным направлением использования водорастворимых форм крахмала являются гидрогели. Области применения гидрогелей постоянно расширяются, особенно интенсивно растет их использование в медицине и фармакологии, в сельском хозяйстве и ландшафтном дизайне, в косметологии и пищевой промышленности. Полимерные гидрогели представляют собой гидрофильные сшитые макромолекулярные системы, способные удерживать значительное количества воды с сохранением при этом упругих свойств.

Цель работы – синтез привитых сополимеров крахмала с акриламидом и изучение степени набухания гидрогелей на их основе.

Синтез образцов гидрогелей с разным соотношением КР:АА (крахмал:полиакриламид) осуществляли по следующей методике: навеску крахмала растворяли в растворе NaOH, перемешивали, повышали температуру до 60⁰С и при ее достижении добавляли растворенную в растворе NaOH навеску акриламида с бис-акриламидом, затем добавляли в качестве инициатора персульфат аммония и все это перемешивали в течение 1 – 1,5 ч. После синтеза полученные сополимеры отправляли на сушку. Таким образом были приготовлены образцы гидрогелей с соотношением крахмала и акриламида 1:3, 1:2, 1:1,75. Во всех синтезах количество бис-

акриламида составляло 1% от количества акриламида, количество персульфата аммония – 0,25г.

Кинетику и степень набухания исследовали гравиметрическим методом. Сухие образцы гидрогелей взвешивали и погружали их в воду с заданной температурой. Через определенное время их вынимали и взвешивали. Степень набухания рассчитывали по формуле: $(m_{\text{обр.}} - m_{\text{влажн.ткани}} - m_0)/m_0$, где m_0 – масса сухого образца. Результаты измерений представлены в таблице и на графиках.

Таблица 1. Зависимость степени набухания от температуры и состава сополимера

| N п/п | Состав КР:АА | T°, C | a | | |
|----------|-----------------|-------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | | Время набухания 20 мин | Время набухания 48 час | Время набухания 72 часа |
| 1 | 1:3 | 8 | 4 | 58 | 65 |
| 2 | 1:3 | 25 | 1 | 72 | 73 |
| 3 | 1:3 | 60 | 5 | 30 | 32 |
| 4 | 1:2 | 8 | 1 | 58 | 82 |
| 5 | 1:2 | 25 | 2 | 95 | 114 |
| 6 | 1:2 | 60 | 7 | 37 | 56 |
| 7 | 1:1,75 | 8 | 4 | 94 | 130 |
| 8 | 1:1,75 | 25 | 1 | 83 | 111 |
| 9 | 1:1,75 | 60 | 1 | 54 | 83 |

Из данных таблицы и графиков видно:

1) наибольшую степень набухания при всех исследованных температурах имеют гидрогели состава КР:АА= 1:1,75. Из этого следует, что повышение содержания акриламида в сополимере не приводит к повышению степени набухания гелей. Так как стоимость акриламида (40 руб. за кг) выше

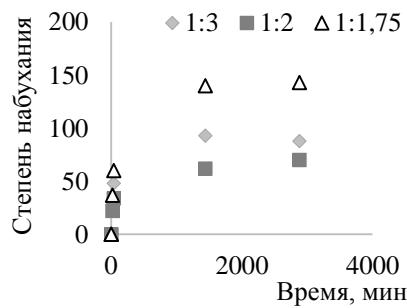


Рис. 1. График зависимости степени набухания порошка гидрогеля от времени при $T=25^{\circ}\text{C}$

стоимости крахмала (цена за кг 28 – 30 руб.), то полученные результаты открывают возможности создания более дешевых гидрогелей;

2) при меньших температурах процесс набухания достигает более высоких максимальных степеней набухания;

3) при любом соотношении крахмала и акриламида степень набухания значительно зависит от дисперсности исследуемого сополимера. Для всех исследуемых образцов наибольшая степень набухания была получена для гидрогелей в порошкообразном состоянии.

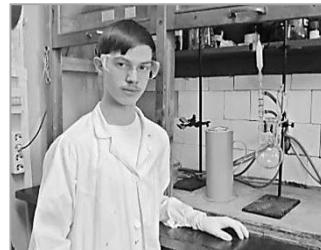
Литература

1. *Баттерд Г., Трэгер Д.У.* Свойства привитых и блок-сополимеров. – Л.: Химия, 1970. – 216 с.
2. *Кряжев В.Н., Романов В.В., Широков В.А.* Последние достижения химии и технологии производных крахмала // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 5 – 12.
3. *Максимова Ю.Г., Максимова А.Ю., Демакова В.А., Будников В.И.* Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы // Вестник Пермского университета. 2010. № 1. С. 45 – 49.
4. *Павлюченков В.Н., Иванчев С.С.* Композиционные полимерные гидрогели // Высокомолекулярные соединения. 2009. Т. 51 № 7. С. 1075 – 1095.
5. Полиакриламид / Под ред. В.Ф. Куренкова. – М.: Химия, 1992. – 192 с.
6. Энциклопедия полимеров. Т. I. – М., 1972. С. 29 – 32.

Синтез метакрилата тетрафенилсурьмы для синтеза прозрачного металлоорганического стекла

Кипелкин Евгений Валерьевич
9 класс, Школа № 44, ШГОИ ИПФ РАН

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

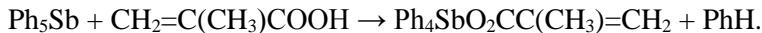


Взаимодействием пентафенилсурьмы с метакриловой кислотой в толуоле при комнатной температуре получен метакрилат тетрафенилсурьмы $\text{Ph}_4\text{SbO}_2\text{CC}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$, строение которого подтверждено данными РСА, ИК и ^1H -ЯМР спектроскопии. Проведена оценка растворимости полученного соединения в органических растворителях и мономерах. Методом блочной полимеризации осуществлен синтез металлокодержащего полистирола. При этом получены твердые, прозрачные, невспененные материалы с максимальным содержанием МОС 5%, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве сцинтиляционных детекторов.

Полимерные материалы на основе металлоорганических соединений сурьмы представляют большой интерес для прикладной и фундаментальной науки. Они обладают рядом интересных свойств (термическая стабильность, способность задерживать ультрафиолетовое и рентгеновское излучение), что позволяет использовать их в качестве сцинтиляционных детекторов, устойчивых в условиях мощных излучений в современных ускорителях.

Цель работы – синтез метакрилата тетрафенилсурьмы, изучение его свойств и строения, а также получение на его основе растворимого металлокодержащего оргстекла.

Синтез $\text{Ph}_4\text{SbO}_2\text{CC}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$ проводился по методике, применявшейся ранее для аналогичных ацилатов тетрафенилсурьмы [2] по уравнению:



В качестве растворителя использовали толуол. Синтез проводили при комнатной температуре в атмосфере аргона. Полученный продукт очищали перекристаллизацией. Выход 80,4%. Температура плавления 140°C.

Для подтверждения строения полученный метакрилат тетрафенилсурьмы был исследован с помощью физико-химических методов анализа (ИК- и ЯМР спектроскопии), а также методом РСА.

ИК-спектр метакрилата тетрафенилсурьмы содержит полосу поглощения средней интенсивности при 450 см^{-1} , соответствующую валентным колебаниям связи Sb–C, полоса поглощения 690 см^{-1} относится к валентному колебанию связи Sb–O. Полосы с высокой интенсивностью с максимумами 1590 см^{-1} и 1340 см^{-1} отнесены к антисимметричным валентным и симметричным валентным колебаниям COO-группы. Полоса поглощения с максимумом 3060 см^{-1} соответствует валентным колебаниям C–H связей фенильных групп. Аналогичные полосы присутствуют в ИК-спектре диакрилата тетрафенилсурьмы [2].

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

- в области слабого поля сигналы протонов фенильных групп:
 $\delta = 7.65\text{--}7.69$ (m, 8H) – соответствует *ортопротонам* фенильных групп;
- $\delta = 7.36\text{--}7.45$ (m, 12H) – соответствует *пара-* и *метапротонам* фенильных групп;
- в области более сильного поля сигналы протонов акрилатной группы:
 $\delta = 5.72, 5.15$ (s, 2H) – соответствуют протонам метиленовой группы метакрилатного остатка,
- $\delta = 1.71$ (s, 3H) – соответствует протону метильной группы.

По данным рентгеноструктурного анализа монокристаллов продукта, выращенных из смеси бензола и гексана, атом сурьмы в метакрилате тетрафенилсурьмы имеет тригонально-бипирамидальную координацию, которая типична для соединений пентакоординированной сурьмы (рис.). В экваториальных положениях находятся три фенильные группы, в аксиальных – метакрилатный и один фенильный лиганд.

Сумма углов $\text{C}(\text{Ph})\text{SbC}(\text{Ph})$ в экваториальной плоскости составляет $356,6^\circ$ (близка к 360°). Аксиальный угол $\text{C}^{18}\text{-Sb-O}^{25}$ равен $172,32^\circ$ (близок к значению 180°). Углы между экваториальными фенильными лигандами $\text{C}^{20}\text{-Sb}^1\text{-C}^{18}$, $\text{C}^{18}\text{-Sb}^1\text{-C}^1$, $\text{C}^1\text{-Sb}^1\text{-C}^{20}$ неравноценны.

Большой интерес представляют полимерные материалы на основе металлоорганических соединений сурьмы.

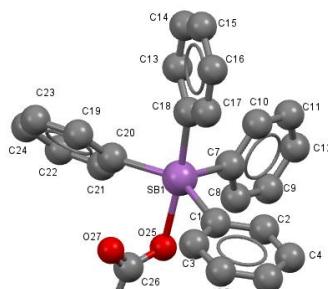


Рис. Строение молекулы $\text{Ph}_4\text{SbO}_2\text{CC}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$

Для оценки максимально возможного содержания металлоорганических соединений в полимере была определена растворимость метакрилата тетрафенилсурьмы в органических растворителях и мономерах (таблица).

Таблица. Растворимость метакрилата тетрафенилсурьмы в органических растворителях и мономерах

| Растворитель | Этилацетат | MMA | Бензол | Стирол |
|-------------------------|------------|-----|--------|--------|
| Растворимость, мг/мл | 43 | 68 | 293 | 167 |

На основе полученных данных, возможно получить полиметилметакрилат с максимальным содержанием метакрилата тетрафенилсурьмы 7% и полистирол с содержанием МОС 17,5%.

Сравнение полученных значений растворимости с растворимостью диметакрилата трифенилсурьмы [4] показало, что метакрилат тетрафенилсурьмы в 3,5 раза лучше растворяется в бензоле и в 1,5 раза хуже в этилацетате. Это можно объяснить тем, что тетрафенильное производное является менее полярным соединением по сравнению с производным трифенилсурьмы.

Был осуществлен синтез металлокомплексных полимеров методом блочной полимеризации при 80°C в течении 30 ч в дегазированных ампулах с пероксидом бензоила (0,3% масс.) в качестве инициатора, с последующей дополимеризацией при 100°C (2 ч). Концентрации метакрилата тетрафенилсурьмы изменялись в диапазоне от 0 до 5% масс. Для сравнения использовался чистый полистирол. При этом получены прозрачные, твердые, невспененные материалы, что и являлось основной целью данной работы.

В результате осуществлен синтез неизвестного ранее акрилата тетрафенилсурьмы, подтверждено строение продукта методами ИК- и 1Н-ЯМР-спектроскопии, изучено молекулярное кристаллическое строение вещества методом РСА. Проведена сополимеризация данного соединения со стиролом.

Литература

- Гущин А.В. Автореф. диссертация доктора хим. наук. – Н.Новгород, 1998. – 48 с.
- Гущин А.В., Шашкин Д.В., Щербакова Т.С., Сомов Н.В., Баранов Е.В., Фукин Г.К., Шавырин А.С., Рыкалин В.И., Додонов В.А. Синтез,

- строение акрилата тетрафенилсурьмы и введение его в полиметилметакрилат // Вестник ННГУ. 2010. №. 6. С. 68 – 72.
3. Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н. Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут. – М.: Наука. 1976. – 483 с.
 4. Шашкин Д.В. Диметакрилат трифенилсурьмы и диметакрилат трифенилвисмута как мономеры для получения металлоксодержащего полистирола и полиметилметакрилата. Дипломная работа. ННГУ. 2010.

Влияние условий заваривания на содержание витамина Р(рутин) в разных сортах чая

Крюченкова Алина Александровна
11 класс, Школа № 37, Нижний Новгород

Научный руководитель З.В. Цверова,
учитель химии МБОУ Школа № 37,
Нижний Новгород



Исследовано влияние условий заваривания черного и зеленого чая марки «Greenfield» на содержание в нем витамина Р (рутин). Определено количественное содержание витамина Р в исследуемых чаях в зависимости от температуры заваривания чая, времени заваривания, размеров чайного листа и кратности заварок. На основе полученных данных выданы рекомендации по оптимизации условий заваривания чая, с целью сохранению в нем максимального содержания витамина Р.

Чай – один из самых распространенных напитков. Процесс его заваривания не так уж сложен, но все целебные свойства чая сохраняются только при условии его правильного употребления. Надо уметь правильно заваривать чай, чтобы в нем сохранились полезные для организма вещества, в частности, витамины, главным из которых является витамин Р (рутин), который регулирует проницаемость стенок капилляров кровеносных сосудов, уменьшает их ломкость, особенно в сочетании с аскорбиновой кислотой (витамином С).

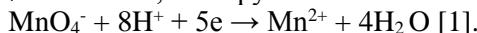
Цель работы – определить влияние условий заваривания на содержание витамина Р в разных сортах чая. Задачи: овладеть методикой количественного определения витамина Р в разных сортах чая, исследовать влияние условий заваривания чая на содержание витамина Р в черных и зеленых видах чая, разработать рекомендации по оптимизации условий заваривания чаев при максимальном сохранении в них веществ, обладающих Р-витаминной активностью.

Для определения витамина Р навеску чая 1 г заливали 200 мл горячей дистиллированной воды и экстрагировали в термосе пять минут; фильтровали в колбу через вату и остужали при комнатной температуре. Отбирали 10 мл настоя и переносили в стаканчик, добавив 10 мл дистиллированной воды и пять капель индигокармина (появилось синее окрашивание), титровали 0,05 Н раствором КМнO₄ с синей окраской до появления устойчивой желтой окраски. Фиксировали объем КМнO₄, использованной для титрования, после

трех проб находили среднее арифметическое. Количественное содержание (мг%) витамина Р определялось по формуле:

$$Q \text{ (мг\%)} = \frac{k * A * V_1 * 100}{V_2 * P * 1000},$$

где Q (мг%) – количественное содержание витамина Р (рутин), А (мл) – объем раствора KMnO₄, затраченного на титрование; V₁(мл) – объем, в котором растворена навеска, взятая для анализа; V₂(мл) – объем раствора, взятого для титрования; P – масса навески, мг; k – стандартный пересчетный коэффициент титрования; 1 мл 0,05 Н раствора KMnO₄ окисляет 3,2 мкг рутин.



Содержание витамина Р в зеленых чаях больше, чем в черных (табл. 1). В черных чаях с увеличением размеров листа содержание витамина Р уменьшается примерно в два раза, так как степень экстракции в пакетированных (мелколистовых чаях) больше. Однако в зеленом чае размер листа незначительно влияет на содержание витамина Р.

Таблица 1. Определение влияния размера чайного листа на содержание витамина Р (рутина) ($t = 80^\circ\text{C}$, время заваривания 5 мин.)

| Вид чая | Размер листа | V(р-ра KMnO ₄), мл | Содержание витамина Р мг/100г продукта |
|---------|----------------|-----------------------------------|---|
| Черный | Крупнолистовой | 0,86 | 5,5 |
| | Среднелистовой | 1,5 | 9,6 |
| | Пакетированный | 1,6 | 10,24 |
| Зеленый | Крупнолистовой | 2,56 | 16,38 |
| | Среднелистовой | 2,6 | 16,64 |
| | Пакетированный | 2,67 | 17,1 |

Таблица 2. Исследование содержания витамина Р в черном чае в зависимости от кратности заварок чая ($t=80^\circ\text{C}$, время заваривания 5 минут)

| Вид чая | Количество заварок | V(р-ра KMnO ₄), мл | Содержание витамина Р мг/100г продукта |
|----------------|--------------------|-----------------------------------|---|
| Крупнолистовой | 1 | 0,73 | 4,67 |
| | 2 | 0,73 | 4,67 |
| | 3 | 0,53 | 3,39 |
| Среднелистовой | 1 | 1,43 | 9,15 |
| | 2 | 1,1 | 7,04 |
| | 3 | 0,7 | 4,48 |
| Пакетированный | 1 | 2,4 | 15,36 |
| | 2 | 0,9 | 5,76 |
| | 3 | 0,53 | 3,39 |

Таблица 3. Исследование содержания витамина Р в зеленом чае в зависимости от кратности заварок чая ($t=80^{\circ}\text{C}$, время заваривания 5 мин.)

| Вид чая | Количество заваривания | V(р-ра KMnO ₄), мл | Содержание витамина Р мг/100г продукта |
|----------------|------------------------|--------------------------------|--|
| Крупнолистовой | 1 | 2,56 | 16,38 |
| | 2 | 1,33 | 8,51 |
| | 3 | 0,96 | 6,14 |
| Среднелистовой | 1 | 2,6 | 16,64 |
| | 2 | 2 | 12,8 |
| | 3 | 0,53 | 3,39 |
| Пакетированный | 1 | 2,66 | 17,02 |
| | 2 | 1,5 | 9,6 |
| | 3 | 0,5 | 3,2 |

Таблица 4. Содержание витамина Р в чае в зависимости от времени заваривания (80°C)

| Вид чая | Время заваривания, мин. | V(р-ра KMnO ₄), мл | Содержание витамина Р мг/100г продукта |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|
| Черный среднелистовой | 1 | 1 | 6,4 |
| | 3 | 2 | 12,8 |
| | 5 | 2,4 | 15,36 |
| | 7 | 2,2 | 14,08 |
| Зеленый среднелистовой | 1 | 1,2 | 7,68 |
| | 3 | 1,83 | 11,71 |
| | 5 | 2,2 | 14,08 |
| | 7 | 2 | 12,8 |

Таблица 5. Определение содержания витамина Р в чае в зависимости от температуры заваривания (время заваривания 5 мин.)

| Вид чая | Температура заваривания, $^{\circ}\text{C}$ | V(р-ра KMnO ₄), мл | Содержание витамина Р мг/100г продукта |
|------------------------|---|--------------------------------|--|
| Черный среднелистовой | 80 | 2,3 | 14,72 |
| | 90 | 2,3 | 14,72 |
| | 100 | 2,9 | 18,56 |
| Зеленый среднелистовой | 80 | 2,33 | 14,91 |
| | 90 | 2,5 | 16 |
| | 100 | 2,73 | 17,47 |

Количество заварок одной и той же навески чая резко уменьшает содержание витамина Р в чае, причем это особенно заметно в зеленом чае, где с увеличением числа заварок содержание витамина Р падает в 3 – 5 раз (табл. 2, 3). В пакетированных чаях после

третьей заварки практически не остается витамина Р. Таким образом, оптимальная кратность заваривания черного и зеленого чаев ограничивается одной заваркой, при этом содержание витамина Р в чае остается максимальным.

С увеличением времени заваривания увеличивается содержание витамина Р примерно в два раза (табл. 4), так как увеличивается полнота экстракции водорастворимых компонентов чая. Однако при увеличении времени заваривания до семи минут содержание витамина Р снижается. Таким образом, оптимальное время заваривания чая составляет пять минут.

Наибольшее содержание витамина Р в экстракте достигается при температуре воды равной 100° С (табл. 5).

Выводы

1. Исследовано влияние условий заваривания чая на содержание витамина Р в черных и зеленых сортах чая: размер чайного листа, время, температура и кратность заваривания. В черном чае с увеличением размеров чайного листа содержание витамина Р уменьшается примерно в два раза, а в зеленом чае размер листа незначительно влияет на содержание витамина Р.

2. С каждой последующей заваркой наблюдается резкое уменьшение витамина Р, что особенно заметно в зеленом чае (содержание витамина Р падает в 3 – 5 раз).

3. С увеличением времени заваривания до пяти минут содержание витамина Р увеличивается примерно в два раза. При дальнейшем увеличении времени заваривания (до 7 мин.) содержание витамина Р снижается.

4. Наибольшее содержание витамина Р в экстракте достигается при температуре воды 100° С.

Можно рекомендовать оптимальные условия заваривания чая, при которых содержание витамина Р максимальное, а значит и полезность его для организма наибольшая: температура 100° С, время заваривания – не больше пяти минут, кратность заваривания – один раз, так как с каждой последующей заваркой наблюдается резкое уменьшение витамина Р, размер чайного листа для зеленых сортов чая не имеет значения, а черные сорта чая предпочтительно использовать со средним размером листа.

Литература

1. Ким Д.Г., Вершинина Е.А., Рыбакова А.В., Фролова Т.В. Лабораторная работа по органический химии: Учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010.

Антигололедные реагенты и окружающая среда

Недопивцева Екатерина Александровна
9 класс, Воротынская СШ

Научный руководитель Т.В. Недопивцева,
учитель химии МБОУ Воротынская СШ
п. Воротынец Воротынского района
Нижегородской области



Исследовано влияние антигололедных реагентов на окружающую среду (зеленые растения, кожу и лапы животных, кузова автомобилей). Проведены опыты и эксперименты, в результате которых установлено различное влияние жидких и твердых реагентов на окружающую среду. Доказан практический вред самого популярного реагента (ПСС – песко-соляной смеси) применяемого в настоящее время в Воротынском районе.

К антигололедным реагентам прибегают практически во всех городах и поселках. В них добавляют поверхностно-активные вещества, так как это практически единственный способ защиты граждан от падения, а автомобилей от столкновения [2]. Загрязнение среды антигололедными веществами прямо и косвенно влияет на живую и неживую природу.

Проблема исследования – загрязнение среды антигололедными реагентами. Объект исследования – живая и неживая природа (металл, кожа, зеленые растения). Предмет – антигололедные реагенты.

Цель работы – исследовать влияние химических реагентов на живую и неживую природу. Методы: анализ литературных источников и ресурсов сети интернет по теме, эксперимент, статистический метод обработки данных.

Согласно распоряжению Минтранса России от 16.06.2003 № ОС-548-р утверждено «Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах» и применяются жидкие и твердые антигололедные средства. Жидкие – хлористый кальций модифицированный (ХКМ), содержащий ингибитор коррозии. Твердые – хлористый кальций, ингибированный фосфатами (ХКФ), «Биомаг» – хлористый магний модифицированный, соль техническая (NaCl), гранитная крошка [3]. В состав антигололедных реагентов входят хлорид кальция, хлорид магния и хлорид натрия.

Мы посетили несколько служб, ответственных за состояние дорог и территорий Воротынского района, и выяснили, что организа-

ции в основном использует песко-соляную смесь (92% – песок, 8% – техническая поваренная соль).

Чтобы установить действие реагента, изготовленного по ГОСТу [4], на элементы неживой природы (металлы и кусочки кожи с обуви), мы приготовили 20%-ные растворы реагентов (хлорида натрия, хлорида магния, хлорида кальция) и испытали действие этих реагентов на металлы (кузова автомобилей) (рис. 1). Поместили в растворы три металлических ключа. Исследование проводили в течение четырех дней. В растворе хлорида магния существенных изменений не произошло. В растворе хлорида кальция образовалось незначительное количество ржавчины. В растворе хлорида натрия ключ заржал в полностью. На металлы большее действие окказал хлорид натрия, незначительный вред нанес хлорид магния.

В растворы этих реагентов поместили кусочки кожи (имитация обуви и лап животных). После трех дней в растворе хлорида натрия произошли изменения: кусочек кожи съежился, на ощупь стал жестким и ломким, цвет стал более бледным.

Мы взяли также пробы снега: проба №1 с поля в селе Ахпаевка Воротынского района (там естественные осадки не должны содержать реагентов, так как поле находится далеко от проезжей части), проба №2 с улицы Космонавтов 8. Эта проба может содержать остатки антигололедных реагентов, потому что находится недалеко от проезжей части. Для каждой пробы снега в три стаканчика поместили ключ, кусочек кожи и проростки гороха. Через неделю в первом случае ключ и кусочки кожи остались без изменения, горошек полностью пророс, и на нем образовались зеленые листочки. Во второй пробе ключ покрылся ржавчиной, кожа съежилась и изменила цвет, а проростки гороха потеряли свою жизнеспособность. На металлы, кусочки кожи и проростки гороха большее негативное действие оказала проба снега № 2, взятая с улицы Космонавтов. Чтобы объяснить, почему так повели себя проростки во втором эксперименте, мы провели анализ данных проб снега.

1. Метод качественного определения цветности рекомендован ГОСТ 1030. Этот метод является наиболее простым: определяется цветность воды при рассматривании пробирки сверху на белом фоне



Рис. 1. Испытание действия реагентов на металл

при достаточном боковом освещении. Вода в пробе № 1 бесцветная, в пробе № 2 – светло-желтоватая.

2. Метод определения запаха воды. Запах определяют при нормальной (20°C) и при повышенной (60°C) температуре воды. Описывают его субъективно по ощущениям. Интенсивность запаха оценивают по пятибалльной шкале. Итог – запах отсутствует.

3. Для оценки мутности (прозрачности) использован качественный метод определения визуальным способом. Заполнив пробирку водой до высоты 10 см, рассматривали ее сверху на темном фоне при достаточном боковом искусственном освещении. В исследуемой пробе № 1 мутность отсутствует, в пробе № 2 мутность присутствует в небольшом количестве.

4. Для определения кислотности использовали индикаторную полоску. Опустили его в пробу на 10 с., через 3 мин. сравнили окраску участка с образцами контрольной шкалы и определили pH. В пробе № 1 pH соответствовала 7 (среда нейтральная), в пробе № 2 – 7,9 (среда слабощелочная).

Таблица. Сводные значения проб снега

| Определяемые показатели | Проба №1 | Проба №2 |
|-------------------------|----------------|------------------------|
| Цветность | 1 (бесцветная) | Светло-желтоватая |
| Запах | 0 | 0 |
| Мутность | Не заметна | В небольшом количестве |
| pH | 7 | 7,9 |

Мы исследовали пробы снега на содержание в них различных ионов. В пробе № 2 обнаружены хлорид- и сульфат-ионы, а также ионы меди и железа. В пробе № 1 этих ионов не обнаружено.

Выводы

1. Пескосоляная смесь – самый популярный способ избавления от наледи. Среди преимуществ использования данного состава – доступная стоимость, простота использования, быстрое действие на дорожное полотно и использование в любых условиях. Однако подобный реагент имеет множество существенных экологических недостатков [1].

2. В результате исследования выяснено, что этот самый популярный реагент приносит наибольший вред металлам автомобилей, безжалостно действует на кожу и убивает зеленые растения.

3. Наши предположения о вредном влиянии реагентов на окружающую среду обрели практическое подтверждение. Самым эколо-

гически вредным реагентом оказался хлорид натрия, который в нашем поселке используют наиболее часто.

Литература

1. Как противогололедные реагенты вредят окружающей среде [Электронный ресурс]. URL: http://www.gazeta.ru/science/2016/01/18_a_8023121.shtml (дата обращения 19.02.2018).
2. Противогололедные реагенты: виды, история применения, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autoshcool.ru/3929-protivogololednye-reagenty-vidy-istoriya-primeneniya-zarubezhny> (дата обращения 19.02.2018).
3. Противогололедные реагенты: состав, преимущества и недостатки, [Электронный ресурс]. URL: <http://ria.ru/spravka/20121016/903105508.html> (дата обращения 19.02.2018).
4. Требования к противогололедным материалам ГОСТ ОДН 218.2.027-2003. Утверждено распоряжением Минтранса России № ОС-548-р от 16.06.03 [Электронный ресурс]. URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/odn/2.pdf.

Определение содержание витамина С (аскорбиновой кислоты) в овощах и фруктах

Пигиданова Анна Вадимовна
9 класс, Школа № 37, Нижний Новгород

Научный руководитель З.В. Цверова, учитель
химии МБОУ Школа № 37, Нижний Новгород



Методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) и йодометрии определено содержание витамина С в различных овощах и фруктах в осенне-зимний период года. Показано, что содержание аскорбиновой кислоты в овощах и фруктах с октября по февраль значительно уменьшается. При заморозке и сушке продуктов потеря витамина С составляют незначительную величину. На основании проведенных исследований выданы рекомендации о возможности восполнения потребности организма в витамине С в этот период времени.

Снижение иммунитета осенью и зимой – следствие авитаминоза, который начинается на фоне нехватки витаминов в продуктах питания. Витамины не могут синтезироваться нашим организмом, поступая с пищей. Они обеспечивают процессы жизнедеятельности, влияют на общее самочувствие. Все витамины можно разделить на две большие группы. Жирорастворимые витамины могут усваиваться организмом только при поступлении вместе с жирами. К этой группе относятся витамины А, Д, Е, К. Водорастворимые витамины могут растворяться с помощью воды, поэтому каких-то особенных условий для их усвоения не существует. К этой группе относятся витамины В₁, В₂, В₆, В₁₂, С, РР, фолиевая кислота, пантотеновая кислота, биотин.

Аскорбиновая кислота (витамин С) помогает бороться с вирусными заболеваниями и способствует укреплению иммунитета. Интересно проведение мониторинга содержания витамина С в овощах и фруктах с ноября по февраль, что является актуальным так как дефицит витаминов в это время года особенно ощущим.

Цель работы – определить содержание витамина С в овощах и фруктах в осенне-зимний период.

Качественное обнаружение витамина С в овощах и фруктах проводили с помощью метода ТСХ [4], который является разновидностью хроматографии, где разделение смеси веществ происходит на плоской поверхности адсорбента. Использовали пластины марки Sorbfil.

Элюент – этанол: гексан (предварительно перегнанный) в соотношении 3:1, проявление хроматограмм производили в парах йода. В качестве свидетеля использовали 1%-ый раствор аскорбиновой кислоты, который наносили капилляром на пластинки, таким же образом параллельно наносили и сок, выделенный из овощей и фруктов [1].

Белое пятно свидетеля по высоте соответствует белому пятну в соках, выделенных из овощей и фруктов (рис. 1). Таким образом, если стандарт и какой-либо компонент пробы двигаются на одном уровне, поэтому можно сделать вывод о наличии аскорбиновой кислоты в исследуемых овощах и фруктах.

С помощью метода йодометрии [5] (рис. 2) определено количественное содержание витамина С в исследуемых продуктах. В основе метода реакция окисления аскорбиновой кислоты ионом йода до дегидроаскорбиновой. Расчет содержания аскорбиновой кислоты (мг/100г продукта) проводили по формуле [2]:

$$X = \frac{V \times T \times 100}{m},$$

где V – объем раствора йода,

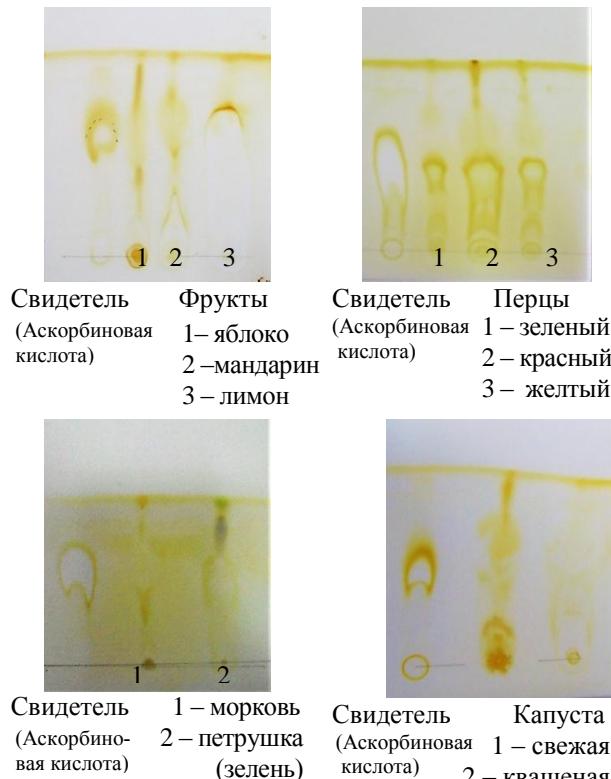


Рис. 1. Хроматограммы овощей и фруктов

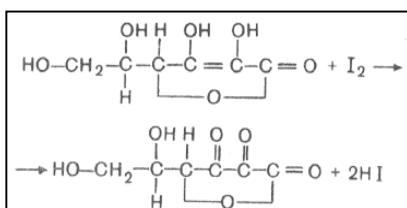


Рис. 2. Метод йодометрии

последующего на титрование (мл), Т – титр раствора йода (0,088г/мл), m – масса образца (г).

С течением времени наблюдается снижение витамина С в яблоках почти в два раза, в лимоне содержание витамина С уменьшается незначительно (рис. 3). Однако содержание витамина С в мандаринах в январе достаточно высокое, что можно объяснить поставками свежего урожая мандаринов из Абхазии и стран зарубежья [3].

Несмотря на небольшое снижение витамина в осенне-зимний период, перец может обеспечить суточную норму потребления витамина С (рис. 4). Особенно заметно снижение витамина С со временем в моркови, а в петрушке его содержание довольно высокое, менее 100г петрушки могут обеспечить суточную норму (рис. 5). Петрушка – лидер по содержанию витамина С среди овощей зимой.

На свежей и подвергнутой замораживанию моркови, свежих и сушеных яблоках исследовано влияние на содержание витамина С способов хранения продуктов (замораживание и сушка) (рис. 6, 7).

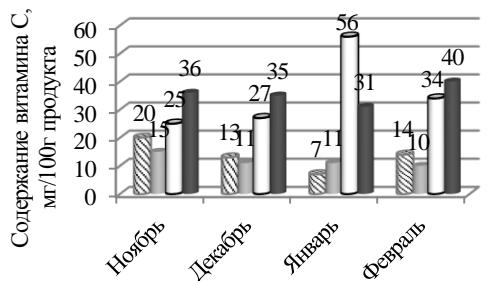


Рис. 3. Содержание витамина С в фруктах

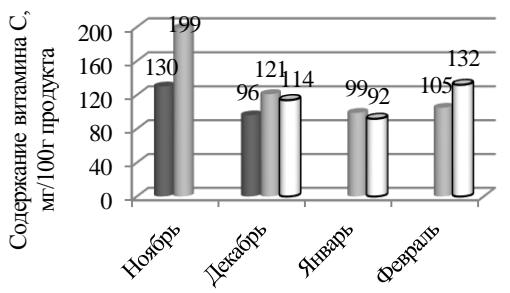


Рис. 4. Содержание витамина С в болгарских перцах



Рис. 5. Содержание витамина С в овощах

При замораживании содержание витамина С сохраняется почти полностью, а при сушке витамин С теряется, так как аскорбиновая кислота разрушается при нагревании.

Выводы

– методом ТСХ показано, что во всех исследуемых овощах и фруктах содержится аскорбиновая кислота;

– методом йодометрии определено количественное содержание витамина С, установлено, что наибольшее его количество содержится в красных и желтых болгарских перцах (120 мг) и зелени петрушки (150 мг);

показано, что количество витамина С с течением времени снижается. Наиболее это заметно в моркови и яблоках.

На основании полученных данных можно рекомендовать с целью обеспечения суточной потребности организма в витамине С включать в рацион питания продукты, наиболее богатые витамином С – сладкий болгарский перец, зелень петрушки, а также цитрусовые, лимоны и мандарины, квашенную капусту.

Литература

1. *Кибарин С.А., Макаров К.А.* Тонкослойная хроматография в органической химии. – М: Химия, 1978. – 126 с. – С. 13 – 22.
2. *Куприянова Н.С.* Лабораторно-практические работы по химии 10 – 11 класс. – М.: Владос, 2007. – 239 с. – С. 174.
3. *Кучеренко Н.Е.* Биохимический практикум. – Киев, 1982. – 270 с.
4. *Нифантьев Э.Е., Верзилина М.К., Котлярова О.С., Нифантьев Э.Е.* Внеклассная работа по химии с использованием хроматографии. – М: Просвещение, 1983. – 141 с. – С. 11 – 29.
5. *Тяглова Е.В.* Исследовательская деятельность учащихся по химии. – М: Глобус, 2007. – 224 с. – С. 159 – 172.

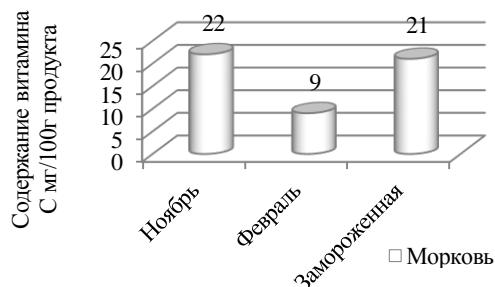


Рис. 6. Влияние заморозки на содержание витамина С

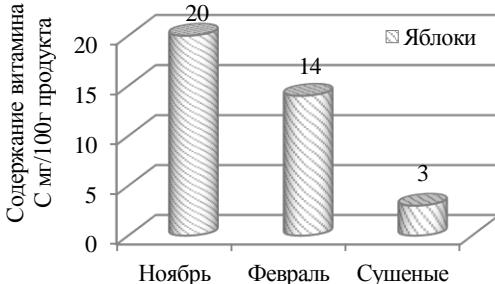


Рис. 7. Влияние сушки на содержание витамина С

**Вязкостно-температурные
характеристики раствора сополимера
бутилакрилата с винилбутиловым
эфиром в диоктилсебацинате в
сравнении с коммерческими
загущающими присадками**

Попова Мария Сергеевна
11 класс, Лицей № 40, ШКОИ ИПФ РАН

Научный руководитель Ю.О. Часова, магистрант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



В связи с недостаточной выгодностью использования существующих промышленных загущающих присадок актуально получение полимеров, которые могут являться потенциальными заменителями этих присадок. В данной работе был синтезирован сополимер бутилакрилата с винилбутиловым эфиром. Сополимеризация проводилась компенсационным способом. Методом вискозиметрии были исследованы вязкостно-температурные характеристики полученного сополимера и коммерческих загущающих присадок. Сравнение результатов показало, что сополимер бутилакрилата с винилбутиловым эфиром является хорошим загустителем смазочных масел с высокой устойчивостью к механической деструкции, поэтому им вполне можно заменить дорогостоящие импортные присадки или недостаточно стойкие отечественные.

Вязкостно-температурные свойства являются важными характеристиками смазочных масел. От этих свойств зависят потери мощности на трение, а также способность масла удерживаться в смазываемом узле. Для того, чтобы масло имело определенные вязкостно-температурные характеристики при данной температуре, вводят загущающие присадки с заданной вязкостью. В настоящее время отечественные акрилатные присадки обладают недостаточно высокой устойчивостью к механической деструкции, а импортные присадки довольно дорогие. Актуальной задачей является разработка новых загущающих присадок, которые будут превосходить по своим свойствам отечественные присадки подобного назначения и ни в чем не уступать импортным аналогам.

Цель работы – синтез сополимера бутилакрилата с винилбутиловым эфиром и испытание его раствора в диоктилсебацинате, как синтетической основе современных смазочных масел по вязкостно-температурным характеристикам и устойчивости к механической деструкции в сравнении с коммерческими загущающими присадками.

Нами был синтезирован сополимер бутилакрилата с винилбутиловым эфиром компенсационным способом в присутствии триэтилбора как инициатора. Компенсационная сополимеризация является одним из способов получения композиционно-однородных чередующихся сополимеров, который заключается в дозировании активного мономера (бутилакрилата) в неактивный (винилбутиловый эфир) при избытке последнего. В качестве оборудования для синтеза сополимера использовалась установка, состоящая из трехгорлой колбы, снабженной обратным холодильником, лопастной мешалкой, нагревателем и капельной воронкой. Полученный сополимер был высущен методом вакуумной перегонки от избытка растворителя. Методом ИК-спектроскопии был проведен анализ состава сополимера [3]. Затем методом вискозиметрии была определена кинематическая вязкость растворов коммерческих загущающих присадок, а также полученного сополимера в диоктилсебацинате – синтетической основе смазочных масел, при различных температурах [1]. Также был проведен анализ присадок на устойчивость к механической деструкции методом озвучивания их на ультразвуковой установке [2]. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица. Вязкостно-температурные характеристики растворов образцов в диоктилсебацинате (5 мас.%)

| № | Образец | Кинематическая вязкость при температуре, мм ² /с | | | | Деструкция, % |
|---|---|---|------|-------|--------|---------------|
| | | 40°C | 50°C | 100°C | -40°C | |
| 1 | Диоктилсебацинат | 12,2 | 9,2 | 3,2 | – | – |
| 2 | 5% раствор Viscoplex 7302 в диоктилсебацинате | 19,5 | 14,8 | 5,1 | 2034,3 | 12 |
| 3 | 5% раствор Viscoplex 0-101 в диоктилсебацинате | 16,4 | 12,3 | 4,2 | 1904,9 | 0 |
| 4 | 5% раствор Винипола ВБ-2 в диоктилсебацинате | 19,8 | 14,7 | 4,9 | 2487,5 | 28 |
| 5 | 5% раствор сополимера бутилакрилата с винилбутиловым эфиром в диоктилсебацинате | 35,2 | 24,3 | 7,2 | 4042,1 | 15 |

Вязкостно-температурные свойства полученного сополимера бутилакрилата с винилбутиловым эфиром были сравнены с аналогичными свойствами промышленных загущающих присадок. Как видно из таблицы, вязкость раствора сополимера бутилакрилата с винилбутиловым эфиром в диоктилсебацинате значительно больше вязкости растворов коммерческих загущающих присадок. Также было выяснено, что полученный сополимер по устойчивости к механической деструкции уступает импортным аналогам загущающих присадок, но в то же время в большей степени превосходит по своим свойствам отечественные присадки подобного назначения.

Таким образом, сополимер бутилакрилата с винилбутиловым эфиром является хорошим загустителем смазочных масел с высокой устойчивостью к механической деструкции, поэтому им вполне можно заменить дорогостоящие импортные присадки или недостаточно стойкие отечественные.

Литература

1. ГОСТ 33-2000. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости. – М.: Стандартинформ, 2006. – 19 с.
2. ГОСТ 6794-75. Масло АМГ-10. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 6 с.
3. Замыслеева О.Г. Учебно-методическое пособие «Методы исследования современных полимерных материалов». – Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 90 с.

Термодинамические свойства блок-сополимера хитозана с полилактидом

Пряжникова Мария Игоревна
10 класс, Школа № 30, ШНОИ ИПФ РАН

Научный руководитель П.Е. Горюнова,
аспирант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Впервые методами адиабатической вакуумной калориметрии исследованы термодинамические свойства блок-сополимера хитозана с полилактидом, содержащим 30 мол.% полилактида; изучены температурные зависимости теплоемкостей в области 7 – 350 К, определены термодинамические характеристики стеклования и стеклообразного состояния. По полученным экспериментальным данным рассчитаны стандартные термодинамические функции в области $T \rightarrow 0$ до 350 K, а также стандартные энтропии и функции Гиббса образования при $T = 298.15$ K. Выявлены и обсуждены зависимости полученных характеристик от состава блок-сополимера.

Актуальной задачей современного материаловедения является создание биоразлагаемых полимеров, способных при соответствующих условиях биодеградировать на безвредные для окружающей среды компоненты. Данные соединения широко применяются в медицине и используются для изготовления перевязочных, ранозаживляющих материалов, создания имплантов и носителей лекарственных препаратов пролонгированного действия. Кроме того, получение и использование подобных материалов может способствовать улучшению экологической обстановки [2].

Среди природных биополимеров предпочтение отдается хитозану. Это экологически чистый полисахарид, биоразлагаемый, нетоксичный, гипоаллергенный, получаемый путем переработки хитина ракообразных, растворяющийся во многих органических и неорганических растворителях [3]. Многообразие сырьевых источников и уникальные свойства определяют большой потенциал крупномасштабного использования хитозана, однако его применение затруднено в связи с низким уровнем физико-механических свойств. Наличие реакционноспособных групп (гидрокси- и амино-) в макромолекуле полисахарида позволяет проводить его химическую модификацию и совмещать с синтетическими полимерами, например, полилактидом. Подобное изменение структуры улучшает

свойства хитозана и открывает возможности его применения в широких областях: пищевой, деревообрабатывающей, легкой промышленности, очистке сточных вод и процессах водоподготовки. Поэтому синтез блок-сополимеров хитозана с полилактидом, в котором могут сочетаться полезные свойства каждого из компонентов, а также создание новых материалов на их основе представляет особый интерес для исследования.

Задачи работы: изучить температурную зависимость теплоемкости блок-сополимера хитозана с полилактидом в интервале температур 7–350 К методом адиабатической вакуумной калориметрии; расчет стандартных термодинамических функций в области температур от $T \rightarrow 0$ до 350 К, выявить возможные физические переходы и определить их термодинамические характеристики, рассчитать стандартные параметры образования при $T = 298.15$ К, а также выявить практически важные зависимости термодинамических свойств сополимера от его состава. Полученные значения термодинамических функций блок-сополимера были сопоставлены с теми же литературными данными для хитозана и полилактида. Таким образом, данная работа является продолжением комплексного изучения сополимеров хитозана и синтетических полимерных материалов, что позволяет использовать новые систематизированные знания в научных и прикладных целях.

Нами был изучен блок-сополимер хитозана с полилактидом, содержащий 30 мол. % полилактида ($M=80\,000$). Образец получили методом ультразвукового воздействия на смеси растворов гомополимеров с различным соотношением компонентов в течение 30 минут при $v = 21.5$ кГц.

Образование блок-сополимера подтверждено методом ИК-спектроскопии. Анализ пленок методом рентгенофазного анализа (diffractometer «BrukerD8 Discover») показал, что изученный образец аморфный, в результате чего увеличиваются его деформационные свойства. Термическую устойчивость блок-сополимера исследовали с помощью термомикровесов TG209F1 фирмы Netzsch Gerätebau, Германия, в итоге в инертной атмосфере соединение термически устойчиво вплоть до 480 К (210°C).

Аппаратура и методики измерения. Для исследования температурной зависимости теплоемкости C_p° блок-сополимера в области 6 – 350 К использовали полностью автоматизированный адиабатический вакуумный калориметр (АС) БКТ-3 [1]. Конструкция

калориметра и методика работы аналогичны описанным в работе [13]. Использованная калориметрическая установка и методика измерений позволяют определить теплоемкость веществ с погрешностью около $\pm(1.5 - 2) \%$ в интервале 6–15 К, $\pm 0.5 \%$ в области 15 – 40 К и $\pm(0.2 - 0.3) \%$ в интервале 40 – 350 К. Полученные значения сглаживали с помощью степенных и полулогарифмических полиномов таким образом, чтобы отклонение экспериментальных точек не превышало погрешности измерений в соответствующем температурном интервале.

Обсуждение результатов. Теплоемкость блок-сополимера хитозана с полилактидом изучена в области 6 – 350 К. Перед началом калориметрических исследований изученный образец откачивали в вакууме при $T = 400$ К до постоянной массы для удаления связанной и адсорбционной воды.

До 270 К теплоемкость плавно увеличивается с ростом температур, в интервале 270 – 330 К наблюдается более резкое изменение теплоемкости, связанное с расстеклованием полимера. Температура расстеклования $T_g^\circ = 310$ К. Выше 330 К теплоемкость сополимера также плавно увеличивается с ростом температуры.

Авторы работ [9, 11, 12] установили, что теплоемкость аморфного хитозана в области 7 – 300 К и полилактида, аналогичных структуры и состава, плавно увеличивается с ростом температуры. В интервалах 300 – 330 К, 340 – 360 К и 400 – 420 К у хитозана и в интервале 260 – 300 К у полилактида наблюдается резкое изменение теплоемкости с ростом температуры. Первое превращение у хитозана авторы [4, 8, 10, 14] относят к β -переходу, обусловленному либрацией пиранозных колец вокруг глюкозидной связи, два вторых – к расстеклованию двух его частей. Исходя из литературных данных и полученных нами экспериментальных результатов, было логично предположить, что изменение теплоемкости блок-сополимера в области 280 – 310 К обусловлено расстеклованием блока полилактида и β -переходом в блоке хитозана.

Термодинамические функции. Для расчета стандартных термодинамических функций (табл. 1) изученного блок-сополимера значения их теплоемкостей экстраполировали от температуры начала измерений до 0 К по функции теплоемкости твердых тел Дебая [6]:

$$C_p^\circ = nD \left(\frac{\theta_D}{T} \right), \quad (1)$$

где D – символ функции теплоемкости Дебая, n и θ_D – специально подобранные параметры, с которыми уравнение (1) описывает

экспериментальные значения C_p° блок-сополимера в интервале 6 – 13 К с погрешностью $\pm 1.4\%$ ($n = 3$, $\theta_D = 83.7$).

Таблица 1. Стандартные термодинамические функции блок-сополимера хитозана с полилактидом (30 мол.%)

| T, K | C_p° , Дж/(моль·К) | $H^\circ(T) - H^\circ(0)$, кДж/моль $H^\circ(T) - H^\circ(0)$ | $S^\circ(T) - S^\circ(0)$, Дж/(моль·К) $S^\circ(T) - S^\circ(0)$ | $-(G^\circ(T) - H^\circ(0))$, кДж/моль $-(G^\circ(T) - H^\circ(0))$ |
|------------------------------|------------------------------|--|---|--|
| Стеклообразное состояние | | | | |
| 5 | 0.253 | 0.000324 | 0.842 | 0.000105 |
| 10 | 1.89 | 0.00512 | 0.662 | 0.00159 |
| 15 | 4.966 | 0.02174 | 1.977 | 0.007962 |
| 20 | 8.672 | 0.05561 | 3.898 | 0.0223 |
| 25 | 12.84 | 0.1093 | 6.274 | 0.4759 |
| 50 | 35.08 | 0.7099 | 22.04 | 0.3922 |
| 100 | 76.29 | 3.508 | 59.20 | 2.411 |
| 150 | 111.0 | 8.228 | 96.99 | 6.321 |
| 200 | 141.3 | 14.53 | 133.1 | 12.07 |
| 250 | 174.3 | 22.39 | 168.0 | 19.61 |
| 273.15 | 196.3 | 26.67 | 184.4 | 23.69 |
| 298.15 | 223.2 | 31.91 | 202.7 | 28.52 |
| 310 | 237.0 | 34.63 | 211.6 | 30.98 |
| Высокоэластическое состояние | | | | |
| 310 | 342.4 | 34.63 | 211.6 | 30.98 |
| 350 | 344.3 | 48.37 | 253.3 | 40.29 |

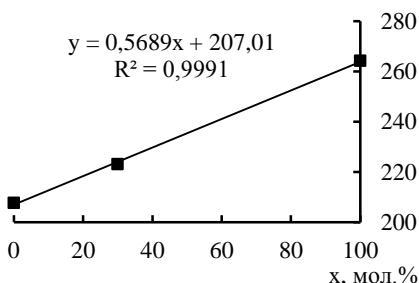


Рис. 1. Зависимость теплоемкости сополимера ХТЗ/ПЛ от мольного состава сополимера при $T=298.15$ К

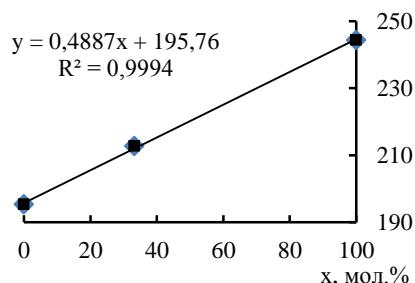


Рис. 2. Зависимость энтропии сополимера ХТЗ/ПЛ от мольного состава сополимера при $T=298.15$ К

По полученным значениям величин термодинамических функций были построены их зависимости от состава блок-сополимера при

различных температурах в одинаковых физических состояниях (рис. 1, 2). В качестве примера приведены значения C_p° хитозана, полилактида и блок-сополимера при $T = 298.15$ К (рис. 1), аналогичные зависимости для энтропии нагревания при той же температуре (рис. 2). Значения данных величин увеличиваются по абсолютной величине от хитозана к полилактиду и аддитивны относительно функций исходных мономеров. Таким образом, полученные зависимости позволяют нам оценить соответствующие свойства сополимеров еще неизученных составов.

Термодинамические характеристики образования. Представлены термодинамические характеристики образования сополимера хитозана с полилактидом (табл. 2). Энтропии образования рассчитаны по значениям энтропий нагревания блок-сополимера с учетом абсолютных энтропий соответствующих простых веществ: С(графит), $\text{H}_2(\text{г})$, $\text{O}_2(\text{г})$, $\text{N}_2(\text{г})$ [5] при $T = 298.15$ К. Значение стандартной энталпии образования изученного образца сополимера было опубликовано ранее в работе [7]. Стандартную энергию Гиббса образования при $T = 298.15$ К вычисляли по уравнению Гиббса-Гельмгольца. Полученные значения соответствуют уравнению реакции (2):

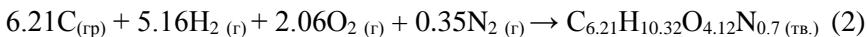


Таблица 2. Стандартные термодинамические параметры образования сополимера ХТЗ/ПЛ

| Образец | $-\Delta_f H^\circ$, кДж/моль* | $-\Delta_f S^\circ$, Дж/(моль·К) | $-\Delta_f G^\circ$, кДж/моль |
|---------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| ХТЗ/ПЛ | 798.6 ± 2.3 | 995.1 ± 0.6 | 502.1 ± 1.2 |

Выводы

1. Изучена температурная зависимость теплоемкости сополимера хитозана с полилактидом в интервале температур 7–350 К.

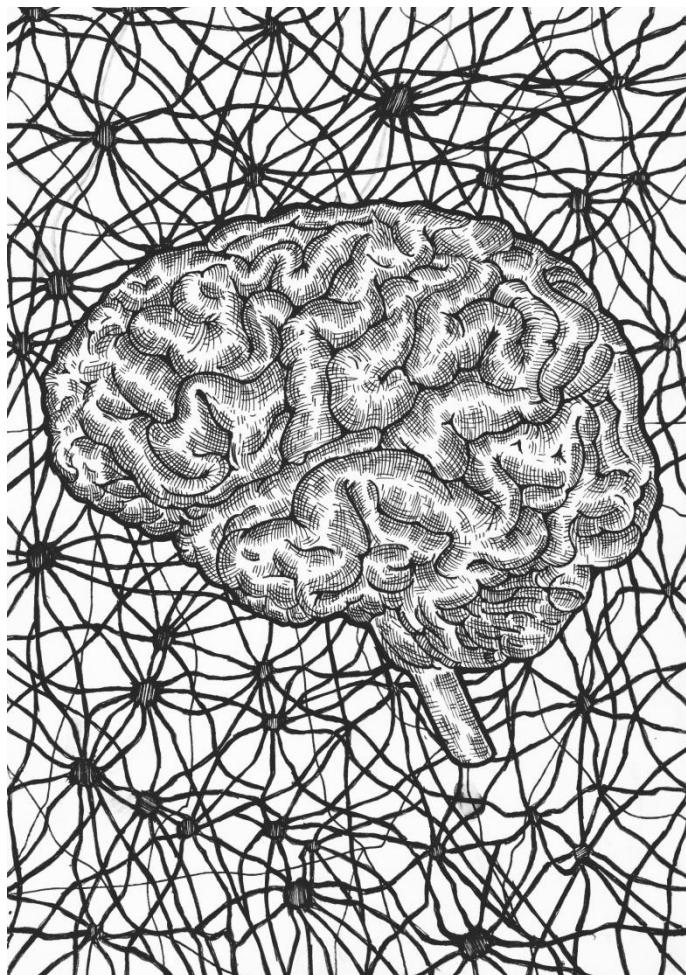
2. Получен комплекс стандартных термодинамических функций, включающий энталпии, энтропии и энергии Гиббса нагревания в широком диапазоне температур для различных физических состояний, стандартные энтропию и функцию Гиббса образования в конденсированном состоянии при $T = 298.15$ К.

3. Установлены практически важные зависимости «термодинамическое свойство – состав» в изученном ряду соединений, позволяющие прогнозировать свойства композиций на их основе.

Литература

1. Лебедев Б.В., Смирнова Н.Н. Термодинамика полимеров: учебное пособие. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. – 95.
2. Легонькова О.А. Сухарева Л.А. Тысяча и один полимер от биостойких до биоразлагаемых. – М.: РадиоСофт, 2004. – 272 с.
3. Клинков А.С., Беляев П.С., Соколов М.В. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: Учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2005. – 80 с.
4. Bartenev G.M., Sanditov D.S. Relaxation processes in glassy systems. – Novosibirsk, 1986.
5. Chase M.W. NIST-JANAF Thermochemical Tables // J. Phys. Chem. Ref. Data 9, 1998. P. 1 – 1951.
6. Debye P. Zur theorie der spezifischen waerme // Ann. Phys. 1912, 39. P. 789 – 839.
7. Goruyanova P.E., Larina V.N., Smirnova N.N., Tsverova N.E., Smirnova L.A. Thermochemical characteristics of chitosan–polylactide copolymers // Russian Journal of Physical Chemistry, Vol. 90. 2016, № 5. P. 903 – 906.
8. Hoffman J.D., Williams G., Passaglia E. Analysis of a-, b- and g-relaxation processe in polychlorotrifluoroethylene and polyethylene: dielectric and mechanical properties // Transition and Relaxations in Polymers. Ed., R.F.Boyer. NY, 1966. P. 193 – 272.
9. Pal A.K., Katiyar V. Nanoamphiphilic chitosan dispersed poly(lactic acid) bionanocomposite films with improved thermal, mechanical, and gas barrier properties // Biomacromolecules, 2016, 17. P. 2603 – 2618.
10. Perez J. Study of polymer materials by method of mechanical spectrometry. Vysokomol. Soed., B40, 1998, № 1. P. 102 – 135.
11. Tsvetkova L.Ya., Novoselova N.V., Golitsin V.P., Ivanov A.V., Khlyustova T.B., Uryash V.F. Thermodynamic characteristics of chitin and chitosan. Zh. Khim. Termodinam. i Termokhim., 2 (1993), № 1. P. 88 – 93.
12. Uryash V.F. Thermodynamics of chitin and chitosan. – Moscow, 2002. P. 119 – 129.
13. Varushchenko R.M., Druzhinina A.I., Sorkin E.L. Low-temperature heat capacity of 1-bromoperfluorooctane // J. Chem. Thermodyn. 1997, № 29. P. 623 – 637.
14. Zakaria Z., Islam Md.S., Hassan A., Haafiz M.K.M., Arjmandi R., Inuwa I.M., Hasan M. Mechanical properties and morphological characterization of PLA / Chitosan/Epoxydized natural rubber composites, Advances in Materials Science and Engineering, 2013, 1 – 7.

Биофизика и биология



Влияние свинца на всхожесть семян и состояние проростков гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*)

Архипов Виктор Алексеевич

11 класс, Лицей № 40, ШКОЛ ИПФ РАН

Научный руководитель Е.А. Ерофеева,
доцент ННГУ им. Н.И. Лобачевского,

доктор биологических наук



Изучено хроническое воздействие нитрата свинца (0,5; 1; 1,5 г/л) на всхожесть семян, линейные размеры корневой системы и побега, интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) у проростков пшеницы мягкой и гороха посевного. Установлено, что проростки гороха были более устойчивыми к действию токсиканта. Изученные концентрации нитрата свинца не влияли на всхожесть семян, высоту побега у гороха и снижали данные показатели у пшеницы по сравнению с контролем. Все изученные концентрации соли свинца значительно уменьшали длину корневой системы как у пшеницы, так и у гороха, относительно контроля. Нитрат свинца в наименьшей изученной концентрации (0,5 г/л) увеличивал интенсивность ПОЛ у проростков пшеницы и снижал данный показатель у гороха относительно контроля, а более высокие концентрации не влияли на данный параметр.

В связи с бурным развитием промышленности и быстрым ростом количества автотранспортных средств наблюдается значительное увеличение содержания тяжелых металлов в окружающей среде [3]. 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]. Немонотонные ответы в диапазоне летальных и сублетальных доз являются малоизученной проблемой для эволюционно отдаленных видов растений.

Целью работы являлось изучение возможности немонотонного изменения показателей роста, прорастания семян, интенсивности перекисного окисления липидов у эволюционно отдаленных видов (на примере гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*)) при воздействии сублетальных и летальных концентраций свинца, а также последующее сравнение этих показателей у данных видов растений.

Материалы и методы. В эксперименте было четыре группы: три опытные и одна контрольная. Каждая группа содержала 5 контейнеров с 50 семенами на одном слое фильтровальной бумаги в каждом. В опытных группах в контейнеры наливали по 10 мл раствора нитрата свинца разной концентрации (0.5; 1; 1.5 г/л). В контейнеры контрольной группы наливали по 10 мл дистиллированной воды. Контейнеры закрывали прозрачными крышками и помещали на стеллаж с фитолампами. Каждый день растворы заменяли. Через неделю измеряли показатели. Длину корневой системы и высоту побега измеряли линейкой ($n=30$). Всходесть семян рассчитывали как долю проросших семян от общего количества семян в данной группе. Для оценки интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) использовали общепринятую методику с модификациями [2]. Методика основана на образовании окрашенного триметинового комплекса с максимумом поглощения 532 нм при взаимодействии продукта ПОЛ малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой. Измеряли оптическую плотность супернатанта при 532 и 600 нм, используя спектрофотометр СФ 2000 (ОКБ Спектр, Россия), с помощью программы «Сканирование».

Результаты и их обсуждение. Все изученные концентрации нитрата свинца приводили к снижению всхожести пшеницы по сравнению с контролем. Однако данные концентрации не влияли на всхожесть семян гороха (рис. 1).

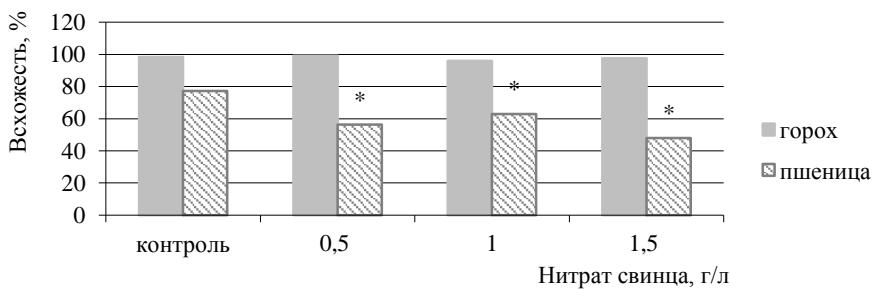


Рис. 1. Влияние нитрата свинца на всхожесть семян пшеницы и гороха
* – отличается от контроля при $p<0.05$.

При действии нитрата свинца отмечалось практически линейное уменьшение длины побега пшеницы и отсутствие влияния на данный показатель у гороха (рис. 2).

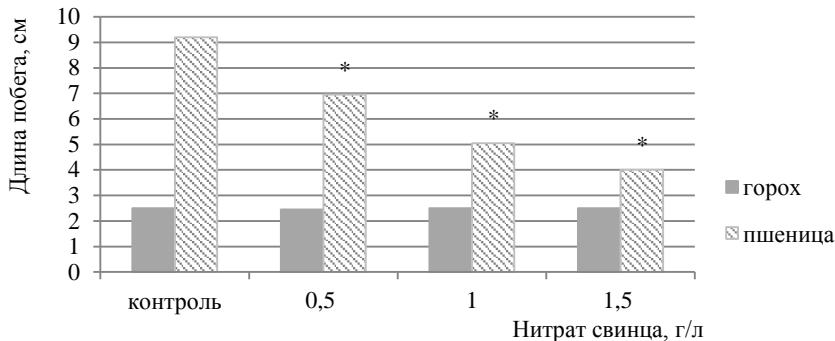


Рис. 2. Влияние нитрата свинца на длину побега проростков пшеницы и гороха
* – отличается от контроля при $p < 0.05$

Изученные концентрации нитрата свинца вызывали уменьшение длины корня как у пшеницы, так и у гороха (рис. 3).

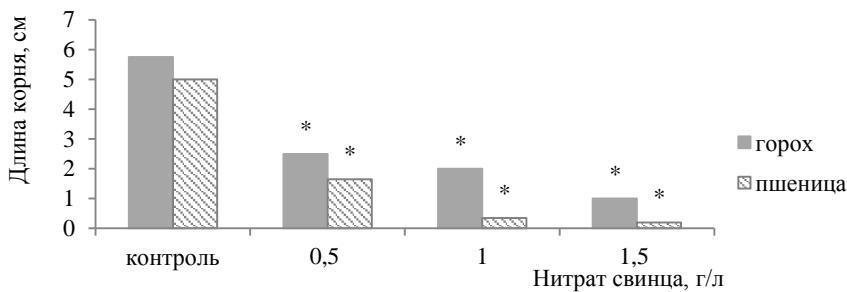


Рис. 3. Влияние нитрата на длину корневой системы проростков пшеницы и гороха
* – отличается от контроля при $p < 0.05$.

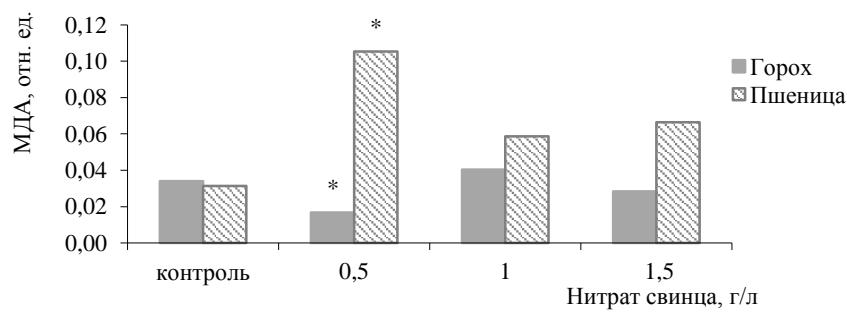


Рис. 4. Влияние свинца на интенсивность перекисного окисления липидов в побеге гороха и пшеницы
* – отличается от контроля при $p < 0.05$

Для гороха и пшеницы было показано немонотонное изменение интенсивности ПОЛ в побеге проростков. Наименьшая концентрация нитрата свинца увеличивала данный показатель у пшеницы и уменьшала его у гороха по сравнению с контрольным уровнем. Более высокие концентрации не влияли на интенсивность ПОЛ (рис. 4).

Выводы

Таким образом, пшеница была более чувствительна к действию изученных концентраций нитрата свинца по сравнению с горохом. Среди изученных показателей негативный эффект нитрата свинца был наиболее выражен в отношении длины корневой системы. Немонотонные ответы были получены только для биохимического показателя – интенсивности перекисного окисления в побеге проростков. Этот показатель отличался от контрольного уровня только при действии наименьшей концентрации и нормализовался при действии высоких концентраций токсиканта. Данный факт указывает на то, что для выживания растения в условиях воздействия тяжелых металлов поддержание биохимических показателей более актуально, чем показателей роста и прорастания семян.

Литература

1. *Батян А.Н., Фрумин Г.Т., Базылев В.Н.* Основы общей и экологической токсикологии. – СПб.: СпецЛит., 2009. – 352 с.
2. *Камышников В.С.* Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. – Мин.: Беларусь, 2002. Т.2. – 495 с.
3. *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.

Воздействие карбамилированного дарбэпоэтина на когнитивные функции мозга в норме и после нарушения мозгового кровообращения в эксперименте

Баранова Александра Николаевна
11 класс, Лицей № 28, ШНОИ ИПФ РАН

Научный руководитель М.М. Глявина,
магистрант ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Изучение механизмов полноценного восстановления функциональной активности головного мозга после острого инсульта является важнейшей задачей медицины и нейробиологии. Один из таких препаратов – карбамилированный дарбэпоэтин (CdEPO). В работе исследовано его воздействие на память, способность к обучению и моторную активность мышей линии C57BL/6 в норме и после моделирования ишемии. С помощью иммуногистохимии[6] оценивали распределение рецепторов к эритропоэтину в соматосенсорной коре головного мозга мыши. Поведение интактных мышей после однократного введения препарата и мышей после моделирования ишемии проводили с помощью поведенческих тестов. Расчет объема ишемического очага по МРТ-изображениям производился в программе IMAGEJ. По итогам исследования выяснили, что CdEPO улучшает ассоциативное обучение интактных мышей и положительно влияет на решение задачи в тесте « поиск входа в укрытие»; после моделирования ишемии CdEPO снижает выраженность неврологического дефицита, нормализует двигательную и исследовательскую активность животных, а также эффективно сохраняет память.

В России ежегодно происходит более 450 тыс. инсультов [3], поэтому ишемия – серьезная медицинская и социальная проблема. Ишемия головного мозга – это состояние, развивающееся в ответ на кислородное голодание из-за недостаточного мозгового кровообращения. В настоящее время идет поиск нового препарата для лечения ишемии.

Цель работы – исследование влияния CdEPO на память, способность к обучению и моторную активность мышей линии C57BL/6 в норме и после моделирования ишемии. Задачи: рассмотреть распределение рецепторов к эритропоэтину (EpoR) в коре интактного мозга мыши; установить влияние CdEPO на когнитивные способности и базовую активность интактных мышей, на объем ишемического очага; изучить влияние CdEPO на общее функциональное состояние нервной системы мышей после тОСМА; сравнить действие CdEPO с

цераксоном на объем ишемического очага, моторные функции и когнитивные способности мышей.

Эритропоэтин – это гликопротеин, регулирующий пролиферацию и созревание клеток-предшественников эритроидного ряда. Receptory k эритропоэтину (EpoR) обнаружены не только на клетках эритроидного ряда, он и на нейронах, поэтому EpoR можно использовать в качестве терапевтической мишени. Карбамилированная форма эритропоэтина (CdEPO), присоединяясь к EpoR, запускает процессы защиты нейронов, игнорируя эритропоэз. В данной работе в качестве препарата-сравнения использовался цераксон, который является предшественником ацетилхолина.

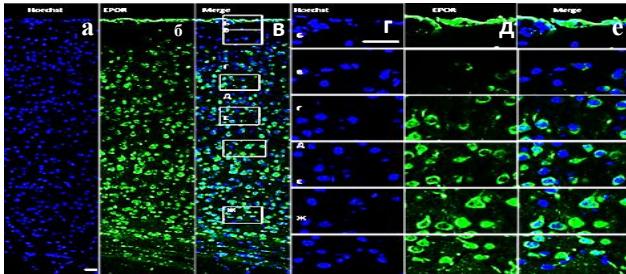
Принцип иммуногистохимии [2] обеспечивает специфичное выявление в тканях искомых веществ. В основе этого метода лежит реакция антиген-антитело. Антитела можно соединять с флюорохромами, это позволяет определять место связывания и количество связанных антил и антигенов. В данной работе использован метод непрямого окрашивания: первичные антитела (Anti-EpoRabbit polyclonal) присоединяются к EpoR, а вторичные с флуоресцентной меткой (Alexafluor) – к первичным. Флуоресцентные микроскопы позволяют на фоне огромного числа молекул избирательно наблюдать флуоресцирующие.

Резкое прерывание кровоснабжения в головном мозге приводит к необратимому повреждению тканей, образуя зону ишемического ядра. Периферийные области, с менее серьезным дефицитом перфузии крови, содержат потенциально поддающуюся восстановлению ишемическую ткань – ишемическую полутень. Примерно 80% тромботических или тромбоэмболических инсультов происходят на территории средней мозговой артерии (СМА)[6]. Эта модель заключается в ведении окклюзера через общую сонную артерию в среднюю мозговую артерию головного мозга в течение часа. При помощи метода МРТ подтверждают модели окклюзии, отслеживают развивающуюся ишемию.

Перейдем к результатам. С помощью иммуногистохимии продемонстрировали EpoR в головном мозге интактной мыши. Для визуализации был выбран участок соматосенсорной коры. Визуализируется распределение EpoR в соматосенсорной коре интактного головного мозга мыши (рис. 1а).

Чтобы оценить влияние однократного введения CdEPO на когнитивные функции интактных мышей, мыши были разделены на 3 группы: «интактная» (здоровые мыши), «контрольная» (0,9%р-р NaCl), «CdEPO» (вводили CdEPO). В каждой группе – по 8 мышей. Для

оценки базовой активности использовали тест «открытое поле», в котором учитывали время реакции замириания (связана с наличием страха) и время вертикальной двигательной активности (связана с исследовательской активностью), а для оценки когнитивных функций – тест «распознавание нового объекта» и тест «поиск входа в укрытие»[1].



соматосенсорной коры головного мозга соответственно. Шкала – 20 мкм.

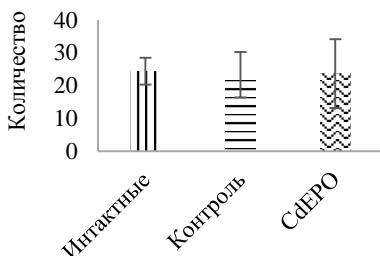


Рис. 2. Количество вертикальных стоек

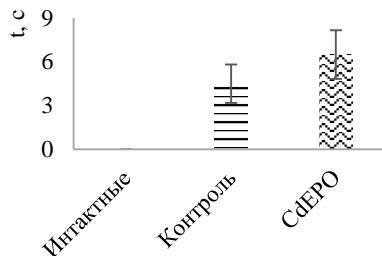


Рис. 3. Продолжительность реакции замириания

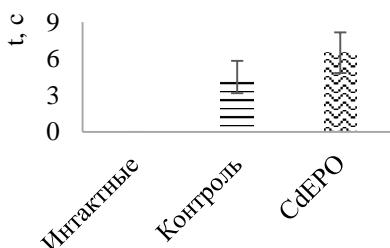


Рис. 4. Ассоциативное обучение

увеличивает время нахождения мышей у нового объекта, то есть улучшает ассоциативное обучение (рис. 4). В teste «поиск входа в укрытие» оценивали способность к решению задач. Задача мышей заключалась в поиске входа в темный отсек, когда «лаз» установки

Рис. 1. а – Распределение EpoR в соматосенсорной коре интактного головного мозга мыши.
б – е – увеличение зон, выделенных на рисунке а, расположенных в 1 – 6 слое

Результаты показали, что CdEPO не воздействует на вертикальную двигательную активность (рис. 2), незначительно повышает время реакции замириания в teste (рис. 3). Тест «распознавание нового объекта» направлен на изучение ассоциативной памяти у мышей. CdEPO

был открыт, закрыт пробкой, опилками. CdEPO положительно влияет на решение задачи, когда «лаз» был засыпан опилками вровень с полом (день 1) (табл.1).

Таблица 1. Тест «Поиск входа в укрытие»

| Серии | Проход открыт | Опилки вровень с полом (день 1) | Опилки вровень с полом (день 2) | Опилки на высоте 5 – 6 см | «Лаз» закрыт пробкой |
|-----------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Интактная | 106,2±8,6 | 96,3±5,3 | 86,7±4,1 | 120±6,1 | 132,4±7,1 |
| Контроль | 73,4± 5,1 | 106,8±7,2 | 67±6,4 | 183±7,2 | 100,33±8,3 |
| CdEPO | 103,5±7,35 | 79,1±5,66 | 75,5±8,33 | 175,5±7,19 | 105,5±4,51 |

Следующая часть работы заключалась в исследовании нейропротекторных свойств CdEPO после моделирования ишемии.

Все мыши были разделены на 4 группы: «интактная», «контрольная» (после моделирования ишемии вводили 0,9% р-р NaCl), CdEPO (после операции вводили CdEPO), «Цераксон» (после операции вводили цераксон).

После моделирования ишемии через 6 и 24 часа вводили препараты внутривенно: CdEPO в концентрации 50 мкг/кг и цераксон в концентрации 169 мг/кг. С помощью МРТ получали диффузионно-взвешенные изображения головного мозга мышей на четвертый день после операции. В каждой группе было по 3 мыши. Объем ишемического очага рассчитывали в программе IMAGEJ. Исследование моторной активности у мышей проводилось на четвертый день после операции, для этого использовали тест по шкале выраженности неврологического дефицита и тест «открытое поле», а для оценки сохранности памяти – тест «воспроизведение условного рефлекса пассивного избегания» (УРПИ). В каждой группе было по 8 мышей. Выраженность неврологического дефицита оценивалась по двигательным функциям мышей. Тест «воспроизведение УРПИ» заключался в формировании УРПИ перед операцией. На этапе обучения мышь переходила из ярко освещенного отсека в темный (так как мышь – норное животное) и там подвергалась воздействию электрического тока, то есть мышь обучалась избегать «темный отсек». Полученные результаты показали, что CdEPO снижает объем ишемического очага относительно контрольной группы на 47% (рис. 5). CdEPO и цераксон приближают все значения к показателям интактных мышей в сравнении с контрольной группой (рис. 5 – 9). В teste

«воспроизведение УРПИ» минимальное время нахождения в светлом отсеке было у контрольной группы и группы мышей, которым вводили цераксон, а после введения CdEPO время нахождения мышей в светлом отсеке было максимальным (рис. 9), следовательно, CdEPO эффективнее сохраняет память в период после ишемии, чем цераксон.

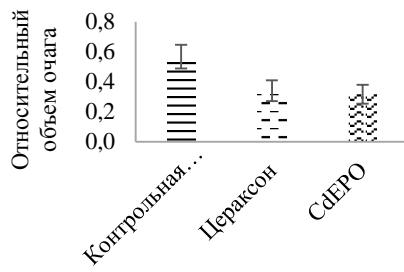


Рис. 5. Оценка объема ишемического очага

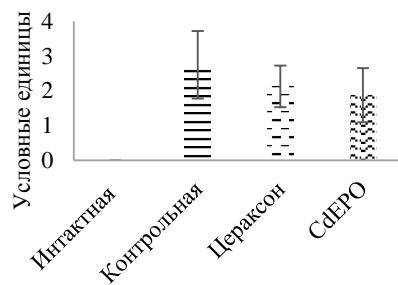


Рис. 6. Шкала выраженности неврологического дефицита для мышей (NSS)

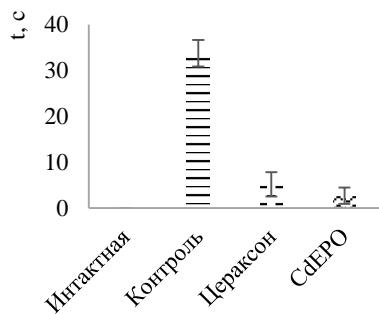


Рис. 7. Продолжительность реакции замирания

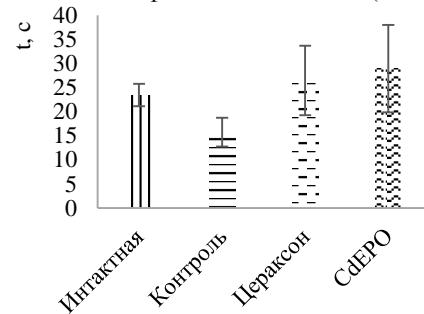


Рис. 8. Продолжительность вертикальной двигательной активности



Рис. 9. Воспроизведение условного рефлекса пассивного избегания

Выводы

1. Однократное введение CdEPO незначительно увеличивает продолжительность реакции замирания и не влияет на вертикальную двигательную активность.
2. Однократное введение CdEPO положительно влияет на ассоциативное обучение и решение задачи по нахождению «лаза», когда опилки находятся вровень с полом, в teste «поиск входа в укрытие».
3. Введение CdEPO после часовой окклюзии эффективно снижает объем ишемического очага.
4. CdEPO снижает выраженность неврологического дефицита, приближая его к интактным значениям, нормализует двигательную и исследовательскую активность животных, эффективно сохраняет память в постишемическом периоде.
5. При сравнении введения цераксона и CdEPO различий в двигательной активности у мышей выявлено не было, однако введение CdEPO эффективнее сохраняет память мышей.

Таким образом, установлено положительное действие CdEPO на организм мыши в постишемический период. Поэтому CdEPO можно рассматривать как перспективный нейропротектор, 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. *Ведунова М.В., Щелкова Н.А.* Иммуноцитохимические методы исследований в клеточных культурах и тканях: учебно-методическое пособие. – Н.Новгород: ННГУ, 2013. – 64 с.
3. *Гусев Е.И.* Проблема инсульта в Российской Федерации: время активных совместных действий // Журн. неврол. и психиатр. им. С.С. Корсакова. 2007. Т. 107, № 8. С. 4 – 10.
4. *Муравьева М.С., Клюев Е.А., Каткова М.А., Мухина И.В.* Использование различных методик высокопольной магнитно-резонансной томографии для исследования ишемического инсульта // Магнитный резонанс и его приложения. 2015. № 12. С. 200 – 202.
5. *Debeljak N., Solár P., Sytkowski A.J.* Erythropoietin and cancer: the unintended consequences of anemia correction [Электронный ресурс] // Сайт. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25426117>
6. *Koizumi J, Yoshida Y, Nakazawa T,* Experimental studies of ischemic brain edema: a new experimental model of cerebral embolism in rats in which recirculation can be introduced in the ischemic area // Stroke Jpn J.1986. № 8. Р. 1 – 8.

Изучение параметров функционального состояния обучающихся с составлением карты здоровья

Герасимова Екатерина Сергеевна

11 класс, Лицей № 2, г.о. Нальчик

Научный руководитель М.Х. Циканова,
педагог дополнительного образования ГКУ ДО
«Эколого-биологический центр» Министерства
образования, науки и по делам молодежи КБР



В статье излагаются данные о состоянии здоровья и функциональных особенностях кардиореспираторной системы по адаптационному потенциалу, дыхательным пробам, индексу Руфье и ряду других показателей. С помощью функциональных проб можно проанализировать уровень работы систем организма и сообщить обучающимся в случае выявления отклонений результатов от нормы.

Резервы организма истощаются под воздействием факторов окружающей среды, а также режима учебной деятельности школьников, что впоследствии приводит к развитию заболеваний. Поэтому необходимо выявить изменения функционального состояния организма, а также проводить общие и специально направленные тренировки, которые не только восстановят уровень резервов, но и значительно его повысят.

На формирование уровня адаптационного потенциала влияют изменения физиологических систем организма (гормоны гипофиза и надпочечников, нервная, сердечно-сосудистая, дыхательная системы), происходящих под влиянием стресс-факторов (физическая и умственная работа, изменения атмосферного давления, температуры) [3]. В период обучения в школе организм ребенка чутко реагирует как на неблагоприятные, ухудшающие здоровье факторы, так и на благоприятные, оздоравливающие [4]. В качестве благоприятного фактора мы используем пробы Штанге и Генча (максимальная задержка дыхания на вдохе и выдохе), с их помощью создается кратковременная гипоксия [2]. Тонким индикатором, отражающим динамику вегетативной регуляции функций в процессе любой деятельности, является состояние показателей сердечно-сосудистой системы – ЧСС и АД, на основе которых вычисляются различные индексы [1].

Проблема – каковы параметры, позволяющие оценить функциональное состояние обучающихся?

Цель работы – исследование параметров физиологического состояния организма для составления карты здоровья обучающихся.

Методы исследования. Исследование проводилось на базе ГКУ ДО ЭБЦ среди обучающихся 8 – 10 классов. Адаптационный потенциал рассчитывали по формуле Баевского, с учетом следующих параметров: ЧСС, АД, рост, вес, возраст. Для оценки дыхательной системы проводили пробы Штанге и Генча, характеризующие кислородное обеспечение и уровень тренированности. Применили формулы для определения состояния сердечно-сосудистой системы: индекс Руфье, вегетативный индекс Кердо, коэффициент выносливости Кваса, ортостатическую пробу. Вычисления проводились с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты исследования. При изучении параметров адаптационного потенциала (АП), индекса Руфье и коэффициента выносливости имеется закономерность: чем ниже значения, тем выше резервы организма. Результаты АП в пределах удовлетворительной адаптации (таблица 1), выявляют функциональное напряжение. Параметры индекса Руфье показывают высокий, средний, низкий уровни работоспособности ССС, так как в подростковый период ССС недостаточно развита.

Таблица 1. Карта здоровья обучающихся в 8 классе (2016/17 гг.)

| № | АП (баллы) | Штанге (сек.) | Генча (сек.) | Индекс Руфье (баллы) | ВИК | КВ | ИК | Ортостатиче- ская проба (уд/мин) |
|----|---------------|------------------|-----------------|----------------------------|-------|-------|-------|--|
| 1 | 1,65 | 64 | 14 | 4,8 | 26,25 | 22,86 | 20,54 | |
| 2 | 2,38 | 42 | 35 | 3 | 9,30 | 19,11 | 26,89 | 6 |
| 3 | 1,88 | 62 | 74 | 7,9 | 9,64 | 26,77 | 17,18 | 4 |
| 4 | 2,00 | 62 | 21 | 2 | 7,50 | 18,60 | 18,13 | 11 |
| 5 | 1,97 | 50 | 48 | 7,8 | 16,28 | 22,63 | 19,51 | 8 |
| 6 | 2,25 | 52 | 26 | | 27,66 | 19,58 | 23,95 | 11 |
| 7 | 2,04 | 57 | 20 | 2,8 | 9,64 | 15,66 | 14,33 | 5 |
| 8 | 1,94 | 42 | 30 | 7,2 | 46,38 | 33,66 | 16,61 | 15 |
| 9 | 2,56 | 36 | 36 | 9,4 | 12,50 | 17,02 | 15,42 | 32 |
| 10 | 1,93 | 83 | 37 | 1,6 | 19,32 | 26,67 | 20,08 | 24 |
| 11 | 2,21 | 53 | 37 | 2,2 | 21,88 | 22,86 | 18,83 | 30 |
| 12 | 1,93 | 42 | 24 | 2,6 | 10,00 | 22,22 | 21,34 | 30 |
| 13 | 1,69 | 24 | 24 | 2,4 | 32,22 | 26,47 | 17,69 | 34 |
| 14 | 1,96 | 65 | 25 | 2,5 | 30,21 | 25,26 | 18,44 | 35 |

Продолжение таблицы 1

| | | | | | | | | |
|----|------|----|----|-----|-------|-------|-------|----|
| 15 | 1,78 | 27 | 45 | 4,2 | 20,00 | 18,60 | 17,58 | 14 |
| 16 | 2,43 | 64 | 35 | 0,3 | 25,26 | 18,27 | 27,22 | 30 |
| 17 | 1,81 | 84 | 65 | 2,5 | 26,51 | 18,44 | 17,33 | 26 |
| 18 | 2,02 | 43 | 23 | 8,7 | 31,03 | 16,11 | 21,64 | 20 |
| 19 | 2,36 | 53 | 30 | 7,6 | 8,24 | 15,45 | 22,4 | 17 |
| 20 | 2,47 | 52 | 26 | 12 | 16,35 | 28,89 | 17,85 | 20 |
| 21 | 2,65 | 54 | 53 | 9,1 | 25,00 | 22,98 | 24,3 | 37 |

Таблица 2. Карта здоровья обучающихся в 9-м классе (2016 г.)

| № | АП (баллы) | Штанге (сек.) | Генчча (сек.) | Индекс Руфье (баллы) | ВИК | КВ | ИК | Ортостатиче- ская проба (уд/мин) |
|----|---------------|------------------|------------------|----------------------------|--------|-------|-------|--|
| 1 | 1,82 | 41 | 22 | 7,8 | 42,45 | 34,19 | 16,45 | |
| 2 | 2,34 | 12 | 18 | 9,2 | 27,08 | 16 | 19,00 | 36 |
| 3 | 2,33 | 19 | 13 | 5,6 | 26,92 | 24,19 | 19,61 | 31 |
| 4 | 2,18 | 32 | 26 | 6,4 | 25 | 16,3 | 23,52 | 13 |
| 5 | 2,15 | 60 | 30 | 5,3 | -2,35 | 30,36 | 19,59 | 25 |
| 6 | 2,26 | 22 | 19 | 3 | 11,11 | 23,08 | 20,70 | 20 |
| 7 | 2,11 | 28 | 19 | 1,4 | 7,32 | 20 | 22,16 | 28 |
| 8 | 2,16 | 51 | 27 | 3,2 | -1,25 | 16,67 | 16,61 | 6 |
| 9 | 2,15 | 36 | 30 | 0,7 | 16,87 | 14,82 | 19,20 | 8 |
| 10 | 2,67 | 58 | 62 | 1,1 | -47,69 | 11,61 | 24,95 | 16 |
| 11 | 2,37 | 45 | 31 | 6,3 | 27,27 | 19,8 | 21,48 | 21 |
| 12 | 1,51 | 39 | 25 | 0,3 | 30,99 | 14,2 | 17,17 | 1 |
| 13 | 1,64 | 33 | 14 | 0,7 | 2,82 | 28,4 | 21,76 | 18 |
| 14 | 1,94 | 18 | 18 | 9,2 | 16,67 | 12,2 | 22,15 | 17 |
| 15 | 2,71 | 55 | 28 | 11 | 11,22 | 18,15 | 22,07 | 33 |
| 16 | 1,96 | 54 | 18 | 2,5 | 6,56 | 7,63 | 20,07 | 1 |
| 17 | 2,14 | 37 | 32 | 3,3 | 5,88 | 22,37 | 18,83 | 21 |
| 18 | 2,16 | 37 | 37 | 3 | 14,44 | 23,68 | 20,52 | 11 |
| 19 | 2,59 | 38 | 38 | 3,3 | 17,2 | 16,32 | 26,29 | 13 |
| 20 | 1,93 | 38 | 38 | 0,1 | -7,04 | 19,19 | 19,15 | 11 |
| 21 | 2,47 | 35 | 35 | 11,2 | 32,41 | 20,77 | 21,40 | 43 |
| 22 | 2,27 | 36 | 36 | | -17,33 | 16,67 | 17,85 | 48 |

Результаты адаптационного потенциала выявили напряжение механизмов адаптации среди большинства обучающихся: только шесть

параметров показывают удовлетворительную адаптацию (таблица 2). Преобладают нормальные значения индекса Кетли, имеется дефицит и избыток массы тела.

Выводы

1. Значения адаптационного потенциала находятся в пределах удовлетворительной адаптации и напряжения механизмов, что указывает на начало нарушений в работе организма. Пробы с задержкой дыхания характеризуют низкие значения пробы Генча (на выдохе) по сравнению с пробой Штанге.

2. Данные индекса Руфье показывают высокий, средний, низкий уровни, характеризующие снижение работоспособности ССС.

3. Параметры индекса Кердо в 8-м классе – нормотония и симпатикотония, в 9-м классе имеется еще парасимпатикотония. Коэффициент выносливости Кваса в 8-м классе выше нормы, а в 9-м классе 50% – норма и остальные превышают ее. По индексу Кетли наблюдаются нормальные значения, дефицит (14) и избыток (3) массы тела. В ортостатической пробе преобладают неудовлетворительные значения, разница пульса в 20 уд/мин и более может означать переутомление или заболевание.

4. Составлены сводные таблицы, характеризующие карту здоровья обучающихся.

Оригинальность и новизна работы. В комплексе с выявлением уровня функциональных особенностей обучающихся в ГКУ ДО ЭБЦ был применен принцип «равный обучает равного», позволяющий приобретать новые знания, развивать умения и навыки по выявлению физиологического уровня сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем организма, направленные на здоровый образ жизни.

Перспективы продолжения работы. С помощью различных простых в применении и неинвазивных функциональных проб можно проверить уровень работы систем организма и предупредить обучающихся в случае выявления отклонения показателей от нормы. Была проведена консультация по карте здоровья для обучающихся 10-го класса, были озвучены результаты различных проб по выявлению физиологического уровня сердечно-сосудистой, дыхательной систем, а также даны рекомендации по улучшению здоровья. Планируется проведение аналогичных консультаций для обучающихся 8 – 9 классов.

Литература

1. Грибкова О.В. Взаимосвязь между психологическими характеристиками и показателями работы сердечно-сосудистой системы у студентов-

- психологов при экзаменационном стрессе // Вестник Самарской гуманитарной академии. 2009, № 2. С. 144 – 150.
2. Солкин А.А., Беляевский Н.Н. Основные механизмы формирования защиты головного мозга при адаптации к гипоксии // Вестник ВГМУ. 2012. Т.11. № 1. С. 6 – 14.
 3. Цинкер В.М., Дугарова Д.В. Оценка адаптационного потенциала организма спортсменов на различных этапах спортивной тренировки // Вестник Бурятского государственного университета. 2011. С. 159 – 162.
 4. Чермит К.Д., Шаханова А.В. Исследование механизмов формирования, развития и сохранения психофизического здоровья учащихся в динамике обучения по инновационным образовательным и физкультурно-оздоровительным программам // Валеология. 2002, № 3. С. 9 – 15.

Исследование возможности оценки толщины флуоресцентного слоя и влияния на нее оптических свойств биоткани

Глявина Анна Михайловна
11 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

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

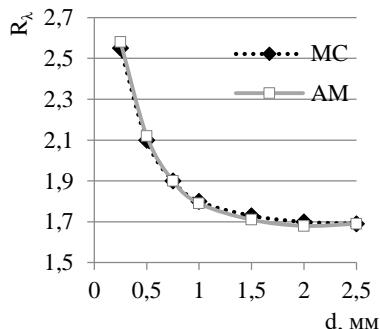


Фотодинамическая терапия является быстро развивающимся методом лечения различных патологий, в частности, рака. Для усовершенствования протоколов проведения процедуры необходимо знать распределение фотосенсибилизатора внутри облучаемой биоткани, в частности, толщину слоя, содержащего фотосенсибилизатор. Предложен метод оценки толщины слоя на основе двухволнового возбуждения флуоресценции и исследовано влияние оптических свойств биоткани на подобную оценку.

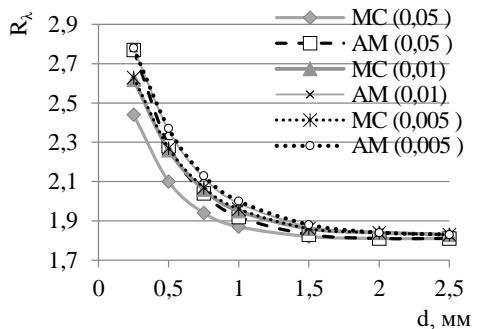
Фотодинамическая терапия является современным методом лечения злокачественных новообразований, основанным на цитотоксическом действии активных форм кислорода, генерирующихся при взаимодействии фотосенсибилизатора, селективно накопившегося в опухолевой ткани, со светом определенной длины волны. Преимуществами метода являются амбулаторный характер проведения процедуры, низкий уровень болевых ощущений, легкость при формировании фигурных полей для максимального экранирования окружающих 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.

Ранее была предложена аналитическая модель для описания флуоресцентных сигналов, регистрируемых при облучении флуоресцентного слоя заданной толщины светом различной длины волны, предложен способ мониторинга проникновения фотосенсибилизатора хлоринового ряда вглубь биоткани и оценки толщины флуоресцентного слоя, содержащего такой фотосенсибилизатор, на основе двухволнового возбуждения флуоресценции. Показано, что возможно различать толщины

флуоресцентных слоев до 1 – 2 мм. Результаты модельного эксперимента согласуются с результатами аналитического исследования.

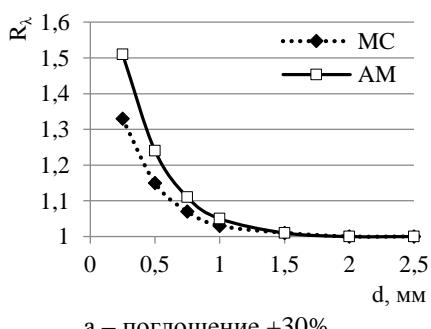


а – в однослоиной модели

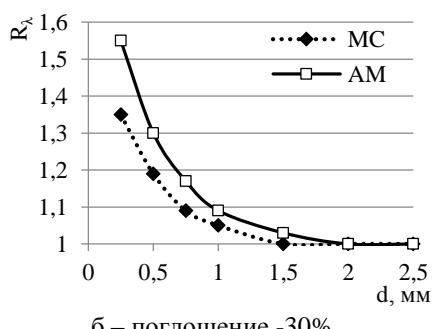


б – в двухслойной модели

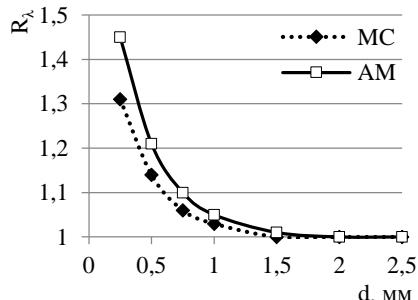
Рис. 1. Зависимости отношения флуоресцентных сигналов, вычисленных в аналитической модели (AM), и методом Монте-Карло моделирования (MC) от толщины флуоресцентного слоя



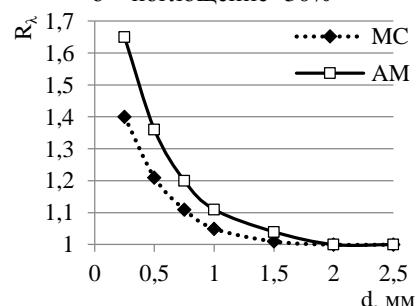
а – поглощение +30%



б – поглощение -30%



в – рассеяние +30%



г – рассеяние -30%

Рис. 3. Зависимости отношения флуоресцентных сигналов при изменении их свойств

Вариации оптических свойств биоткани могут достигать 30% в различных организмах. В связи с этим было исследовано влияние оптических свойств биоткани на применимость предложенного метода с помощью численного моделирования методом Монте-Карло. Показано, что влияние вариаций рассеяния в целом выше, чем влияние вариаций поглощения среды, что связано с собственным поглощением фотосенсибилизатора.

Результаты аналитического исследования хорошо согласуются с результатами численного моделирования, расхождение не превышает 20% для наименьших толщин флуоресцентного слоя при различных оптических свойствах. Предложенный алгоритм позволяет проводить мониторинг проникновения ФС внутрь биоткани при поверхностном нанесении, а также оперативную оценку толщины флуоресцентного слоя даже в условиях неизвестной концентрации накопленного фотосенсибилизатора, что является важным для *in vivo* экспериментов.

Литература

1. Логинова Д.А., Сергеева Е.А., Крайнов А.Д., Агрба П.Д., Кириллин М.Ю. Жидкие оптические фантомы, моделирующие спектральные характеристики 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. Р. 2795 – 2838.

Влияние дополнительного параметра «ритм» в протоколе нейробиоуправления на эффективность тенинга

Ершова Елена Дмитриевна

9 класс, Лицей № 36, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Л.В. Савчук,
младший научный сотрудник ЦНИЛ ПИМУ



В работе исследовалось влияние дополнительного параметра «ритм» в протоколе тренинга нейробиоуправления (НБУ) на его эффективность. Проведен сравнительный анализ эффектов при введении в музыкальную стимуляцию, формируемую на основе ЭЭГ осциллятора испытуемого, дополнительных ритмических звуковых сигналов, которые заведомо превышают (120 уд/мин), точно соответствуют или ниже (50 уд/мин) сердечного ритма человека. Наиболее выраженные изменения ЭЭГ показателей и показателей вариабельности сердечного ритма относительно фона отмечены в случаях, когда ритм дополнительных звуковых воздействий совпадал с собственным исходным сердечным ритмом испытуемого, кроме этого только при таких воздействиях выявлены значимые позитивные сдвиги оценок самочувствия и настроения, а также уменьшение уровня эмоциональной дезадаптации.

Многие факторы современной жизни – постоянные стрессы, недостаток сна и двигательных нагрузок, напряженный ритм работы и другие – вызывают нарушение механизмов адаптации и разнообразные функциональные нарушения, за которыми часто следует отказ защитных систем организма и болезнь. Поскольку медикаментозное лечение таких «дискомфортных синдромов» затруднено, особенно востребованными являются нелекарственные методы системного воздействия, направленные на своевременное возвращение организма к оптимальному состоянию. Среди таких средств сегодня наибольшее распространение имеет метод адаптивного биоуправления функциями с обратной связью по электроэнцефалограмме (ЭЭГ), получивший название «нейробиоуправление» (НБУ). Метод НБУ заключается в обучении пациента улучшать свое функциональное состояние, используя биоэлектрические потенциалы собственного мозга. Основой подхода является открытие, сделанное полвека назад: если информация о собственных мозговых потенциалах субъекта делается ему доступной, он может научиться изменять их, тем самым достигая требуемых лечебных эффектов [5, 6]. Явными достоинствами этой методологии являются неинвазивность, отсутствие противопо-

казаний, индивидуальная направленность и активное участие пациента в оптимизации собственного состояния. Метод НБУ постоянно совершенствуется. В настоящее время много внимания уделяется вопросам повышения его эффективности. Цель работы – выявление влияния дополнительного параметра «ритм» в протоколе НБУ на эффективность тренинга. Объектом исследования являлся метод адаптивного биоуправления функциями с обратной связью по электроэнцефалограмме (ЭЭГ), а предметом – дополнительный параметр «ритм» в протоколе НБУ и его влияние на эффективность тренинга.

Методы

Нейробиоуправление. В исследовании был использован прибор «BioFeedBack 2», в основу работы прибора положен оригинальный вариант метода НБУ – метод резонансного биоуправления с двойной обратной связью от ЭЭГ-осцилляторов пациента [4]. В первом традиционном контуре используются сигналы звуковой обратной связи от компонентов EEG в частотном диапазоне тета ритма (4 – 8 Гц). Звук подается через наушники и служит в качестве ссылки для сознательного подавления этого ритмического компонента ЭЭГ данного пациента. Одновременно пациент подвергается стимуляции светом, который воспринимается бессознательно. Такая ритмическая световая стимуляция выполняется с использованием светодиодных очков во втором дополнительном контуре обратной связи. Его параметры автоматически модулируются узкополосной составляющей ритма ЭЭГ в альфа-диапазоне (8 – 14 Гц), которая является доминирующей у данного пациента, с целью ее резонансной активации.

Кардиоинтервалография. Для динамического отслеживания текущего сердечного ритма каждого испытуемого был использован метод беспроводной кардиоинтервалографии [3].

Тест «САН» – разновидность опросников состояний и настроений. Разработан сотрудниками Московского медицинского института им. И.М. Сеченова В.А. Доскиным, Н.А. Лаврентьевой, В.Б. Шарапем и М.П. Мирошниковым в 1973 году [2]. В эксперименте использовалась компьютерная версия теста, реализованная в программной среде «HandTracker».

Тест «УЭД» – метод клинико-психологической диагностики. Способ оценки уровня эмоциональной дезадаптации, осуществляется путем предъявления пациенту четырех групп словесных характеристик, отражающих различные эмоциональные состояния и степень их выраженности [1].

Описание выборки и протокол эксперимента. В исследовании приняли участие 15 испытуемых, средний возраст которых составил 18.3 ± 0.8 лет. В начале каждого обследования для оценки психофизиологического состояния испытуемых проводился их краткий опрос и начальное тестирование с помощью тестов «САН» и «УЭД». Затем устанавливали ЭЭГ-датчики, оригинальную систему регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) и фиксировали наушники. Испытуемых просили сидеть спокойно с закрытыми глазами в течение всей процедуры и «слушать работу собственного мозга». Эксперимент начался с 30-секундной записи фоновых значений ЭЭГ и ЭКГ, затем на 5 мин включался рабочий режим, где текущая амплитуда выявленного ЭЭГ-осциллятора преобразовывалась в музикальные сигналы. Звуковые сигналы плавно варьировали по высоте тона и интенсивности в прямой зависимости от текущей амплитуды ЭЭГ осциллятора. Было проведено 4 эксперимента. В одном из них частота сигналов точно соответствовала исходному пульсу, регистрируемому у данного испытуемого. В двух других экспериментах эти звуковые сигналы подавались с частотой учащенного (120 в минуту) или уреженного пульса (50 в минуту), в четвертом эксперименте ритм отсутствовал. По окончании каждого эксперимента испытуемых спрашивали об отмеченных эффектах, а также повторно проводили тестирование с помощью тестов САН и УЭД.

Результаты. В связи с тем, что индивидуальные значения регистрируемых показателей значительно варьировались у различных испытуемых, для каждого показателя вычисляли его изменение (со знаком) при каждом воздействии относительно исходного уровня. Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета программ «Statistica 13.0», непараметрического критерия знаковых рангов Вилкоксона и дисперсионный анализ (Analysis of variance ANOVA).

Значимые эффекты были выявлены во всех контекстах с дополнительными ритмическими звуковыми сигналами, подаваемыми на фоне музикальной стимуляции и моделирующими ритм сердечных сокращений субъекта, в то время как в контексте без дополнительных ритмических звуковых сигналов значимых изменений мощности ритмов ЭЭГ выявлено не было. На основании этого можно заключить, что введение в протокол тренинга параметра «ритм» повышает эффективность протокола, однако характер ритма определяет специфику достигаемых эффектов (табл.).

Таблица 1. Результаты эксперимента

| | Контекст без ритма | Ритм собственной ЧСС | Ритм с частотой учащенного пульса (120 в минуту) | Ритм с частотой уреженного пульса (50 в минуту) |
|------------------|-----------------------|--|--|---|
| Значимые эффекты | Нет значимых эффектов | <ul style="list-style-type: none"> Увеличение мощности в альфа-диапазоне (8 – 14 Hz) Уменьшение мощности в тета-диапазоне (3,5 – 8 Hz) | <ul style="list-style-type: none"> Уменьшение мощности в альфа-диапазоне (8–14 Hz) Увеличение мощности в бета-диапазоне (14–20 Hz) | Увеличение мощности в бета-диапазоне (14 – 20 Hz) |

Наиболее выраженные объективные и субъективные эффекты отмечены в случаях, когда ритм дополнительных звуковых воздействий совпадал с собственным исходным ритмом сердца испытуемого.

Наблюдается снижение мощности в тета-диапазоне ($p<0,05$) и повышение мощности в альфа-диапазоне ($p<0,05$), таким образом оптимизируется функциональное состояние мозга, достигается состояние спокойного бодрствования без признаков когнитивной неэффективности и сноподобного состояния.

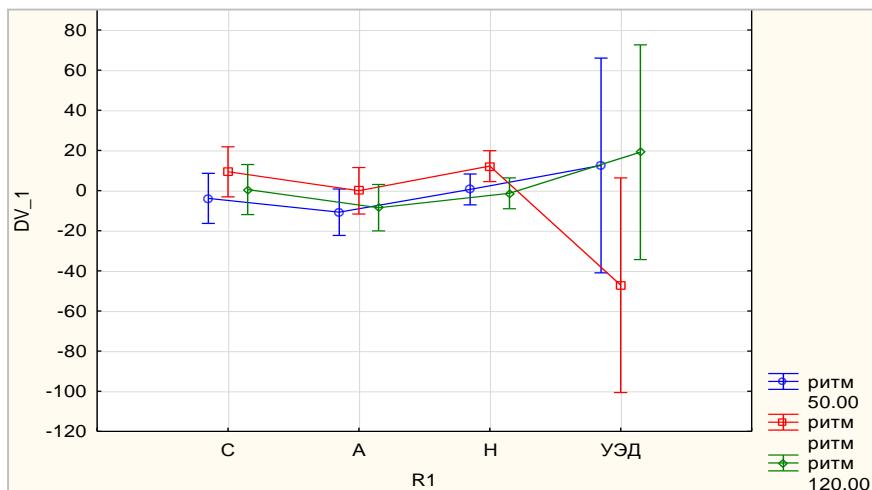


Рис. 1. Сдвиги оценок в тесте САН и изменение уровня эмоциональной дезадаптации в тесте УЭД, $p<0,05$

Только при воздействиях, сопровождаемых собственным ритмом сердцебиений испытуемого, наблюдались значимые позитивные сдвиги оценок самочувствия и настроения в тесте САН и уменьшение уровня эмоциональной дезадаптации в тесте УЭД (рис.1). Полученные данные свидетельствуют о том, что при таких воздействиях в полной мере проявляются преимущества взаимодействия музыкоподобных сигналов с характеристиками деятельности сердечно-сосудистой системы пациента.

В параметрах эмоционального состояния выявлены значимые эффекты, связанные с ритмом: рост настроения, самочувствия, активности и эмоциональной устойчивости проявляется, если ритмическое сопровождение совпадает с собственной ЧСС.

В контекстах с частотой учащенного или уреженного пульса наблюдается повышение мощности в бета-диапазоне ($p<0,05$), это может быть связано с вызываемой ритмом, не согласованным с частотой собственных сердечных сокращений, ориентировочной реакцией.

Выводы

В результате эксперимента значимые эффекты были выявлены во всех контекстах с дополнительными ритмическими звуковыми сигналами, подаваемыми на фоне музыкоподобной стимуляции и моделирующими ритм сердечных сокращений субъекта. Без дополнительных ритмических звуковых сигналов значимых изменений мощности ритмов ЭЭГ выявлено не было. На основании этого можно заключить, что введение в протокол тренинга параметра «ритм» повышает его эффективность, однако характер ритма определяет специфику достигаемых эффектов.

Наиболее выраженные объективные и субъективные эффекты отмечены в случаях, когда ритм дополнительных звуковых воздействий совпадал с собственным исходным ритмом сердца испытуемого. Наблюдается снижение мощности в тета-диапазоне и повышение мощности в альфа-диапазоне, таким образом оптимизируется функциональное состояние мозга, достигается состояние спокойного бодрствования без признаков когнитивной неэффективности и сноподобного состояния. Только при воздействиях, сопровождаемых собственным ритмом сердцебиений испытуемого, наблюдались значимые позитивные сдвиги оценок самочувствия и настроения в тесте САН и уменьшение уровня эмоциональной дезадаптации в тесте УЭД. Полученные данные свидетельствуют о том, что при таких

воздействиях в полной мере проявляются преимущества взаимодействия музыкоподобных сигналов с характеристиками сердечно-сосудистой системы пациента.

Литература

1. Григорьева В.М., Тхостов А.Ш. Способ оценки эмоционального состояния человека. Патент РФ № 2291720 С1. 20.01.2007.
2. Доскин В. А., Лаврентьева Н. А., Мирошников М. Н., Шарай В.В. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния // Вопросы психологии. 1973, № 6. С. 141 – 145.
3. Полевая С.А., Некрасова М.М., Рунова Е.В., Бахчина А.В., Горбунова Н.А., Брянцева Р.В., Кожевников В.В., Шишалов И.С., Парин С.Б. Дискретный мониторинг и телеметрия сердечного ритма в процессе работы на компьютере для оценки и профилактики утомления и стресса // Медицинский альманах. 2013, 2(26). С. 151 – 155.
4. Федотчев А.И. Об эффективности процедур биоуправления с обратной связью от ЭЭГ пациента при коррекции функциональных нарушений, вызванных стрессом // Физиология человека. 2010, 36(1). С. 100 – 105.
5. Федотчев А.И., Парин С.Б., Полевая С.А., Великова С.Д. Технологии «интерфейс мозг – компьютер» и нейробиоуправление: современное состояние и перспективы клинического применения // Современные технологии в медицине. 2017, 9(1). С. 175 – 184.
6. Hammond D.C. What is neurofeedback: an update // J Neurother 2011; 15(4). Р. 305 – 336 [Электронный ресурс]. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>

Возрастные и профессиональные особенности функциональной межполушарной асимметрии, порогов цветоразличения и решения когнитивных задач

Зорина Милана Борисовна
11 класс, Школа «Ор Авнер», ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Л.В. Савчук,
младший научный сотрудник ЦНИЛ ПИМУ



Изучены особенности функциональной межполушарной асимметрии, порогов цветоразличения и способов решения когнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий и возрастов. 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 (задачи, содержащей когнитивный конфликт, простых и сложных сенсомоторных задач) применялись компьютерные тесты, реализованные на базе платформы Arway. Выявлены особенности функционального доминирования полушарий, порогов цветоразличения и решения когнитивных задач у представителей разных профессий и возраста.

Когда мы исследуем особенности обработки информации людьми разных профессий и возрастов, чаще всего в голову приходит идея о межполушарной специализации, где левое полушарие решает задачи, а правое пишет картины. Как «работает мозг» у представителей разных профессий, успешно справляющихся со своей деятельностью? И отличается ли активность мозга у детей и людей, «перешагнувших» порог пенсионного возраста? Исследование особенностей функциональной межполушарной асимметрии и особенностей обработки информации является важной составляющей улучшения индивидуального подхода к обучению. Зная специфику обработки информации разными людьми, предположительно связанную с особенностями функционального межполушарного доминирования, возможна разработка персонифицированного 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 ко-

гнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий и возрастов.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 110 испытуемых в возрасте от 6 до 65 лет, из них: 30 студентов ФСН ННГУ; 25 аспирантов ИПФ РАН; 25 профессиональных художников; 15 детей младшего школьного возраста; 15 представителей пенсионного возраста.

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 была использована WEB-платформа Arway.ru, которая предоставила три теста, которые использовались для исследования испытуемых: компьютерная цветовая кампиметрия, тесты сенсомоторной активности и тест Струпа.

Тест Струпа – метод определения гибкости когнитивного мышления, основанный на противоречии между прочитанной информацией и увиденной. Тест состоит из четырех контекстов: 1) mono – на экране черными буквами высвечивается название цвета, от испытуемого требуется нажать на соответствующий цвет внизу; 2) color – слова цветные, смысл слова совпадает с цветом; 3) true text – окраска и смысл не совпадают, ориентироваться необходимо на смысл; 4) true color – окраска и смысл не совпадают, ориентироваться необходимо на цвет. В третьем и четвертом контекстах формируется рассогласование между информационными образами, активируемыми верbalным и цветовым зрительными стимулами. Благодаря контексту с когнитивным конфликтом удается получить объективное отображение разницы в активности верbalного и цветового информационных образов. Был использован также компьютеризированный тест Струпа, реализованный на многомодульной WEB-платформе. Измерялись время принятия решений и количество ошибок в четырех контекстах.

В основу компьютерных тестов для измерения сенсомоторной активности положен классический метод измерения простой сенсомоторной реакции и реакции выбора.

Для измерения дифференциальных порогов восприятия цвета был применен метод компьютерной кампиметрии [4], позволяющий получить распределения порогов цветоразличения по шкале оттенков в рамках компьютерной цветовой модели HSL. Результатом измерений является функция цветоразличения (ФЦР). ФЦР позволяет

получать информацию об уровнях эмоционального напряжения человека: повышение порога цветоразличения в красном диапазоне свидетельствует о преобладании астенических эмоций (тоскливость, страх), а повышение порога в синем – 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. В результате получаем количественную оценку возбудимости, лабильности и устойчивости каждого полушария и их межполушарных отношений. Результатом измерений является звуколокализационная функция (ЗЛФ).

Результаты и их обсуждение. Ранее нами были выявлены особенности порогов цветоразличения и способов решения когнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий [1]. В данной работе представлены результаты исследования возрастных особенностей функциональной межполушарной асимметрии, порогов цветоразличения и решения когнитивных задач, кроме этого была увеличена выборка в группах представителей разных профессий.

При увеличении выборки про-

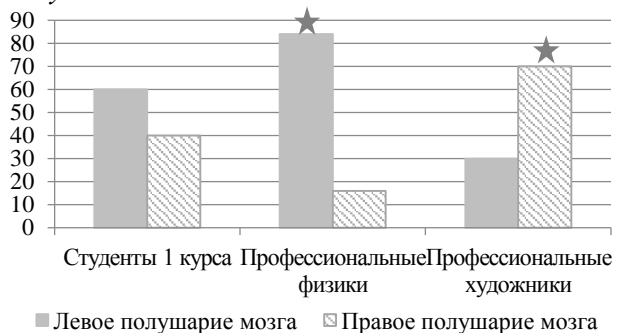


Рис. 1. Сравнение трех выборок по параметру лабильности

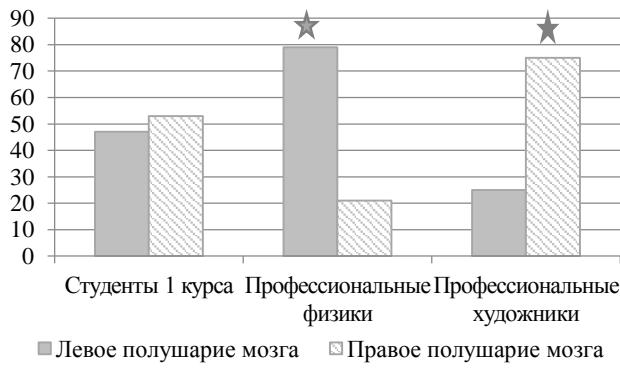


Рис. 2. Сравнение трех выборок по показателю устойчивости

явились значимые особенности межполушарной асимметрии у представителей разных профессий: среди профессиональных физиков достоверно больше людей с доминированием левого полушария как по показателю лабильности, так и по показателю устойчивости, а среди художников достоверно больше испытуемых с доминированием правого полушария (рис. 1, 2). Значимых особенностей межполушарной асимметрии, связанных с возрастом, не выявлено.

В младшей и средней возрастной группе наблюдается типичная картина интерференции, когда максимальное время принятия решения наблюдается в контексте, где необходимо ориентироваться на смысл слова и игнорировать цвет, однако в средней возрастной группе время принятия решения достоверно ниже во всех контекстах. В старшей возрастной группе наблюдается эффект обратной интерференции – вербальный образ настолько активен, что игнорировать его сложно (рис. 3).

Минимальное время сложной сенсомоторной реакции, а также ее моторного и латентного компонента наблюдается в возрастной группе 20 – 35 лет. Не выявлено достоверных отличий по времени СМР и латентному периоду в младшей и старшей группе, однако они достоверно отличаются по времени моторного компонента (рис. 4).

Значения порогов цветоразличения достоверно ниже во всех оттенках в средней возрастной группе (рис. 5), достоверных различий в функции цветоразличения по возрастным группам не выявлено.

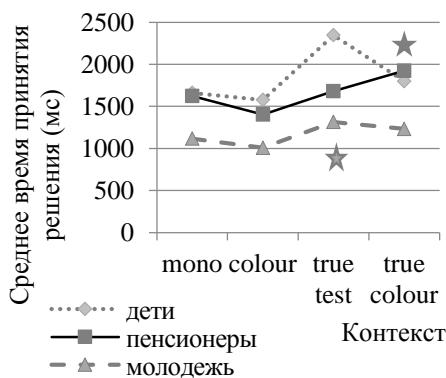


Рис. 3. Результаты по тесту Струпа
Звездочками обозначены достоверные
отличия $p \leq 0,01$

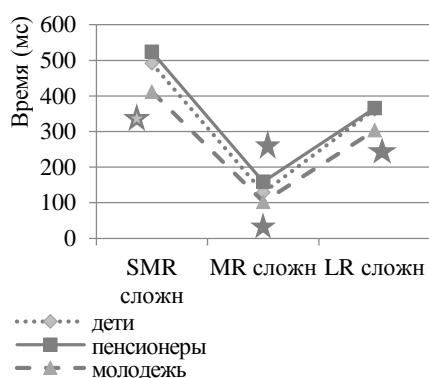


Рис. 4. Результаты измерения сложной сенсомоторной реакции, ее моторного и латентного компонента. Звездочками обозначены достоверные отличия $p \leq 0,01$

Выводы

В результате проделанной в течение двух лет работы были освоены заявленные методы, проведен сбор данных на контрольных и целевых выборках.

Выявлены следующие особенности порогов цветоразличения и способов решения когнитивных задач разной степени сложности людьми различных профессий и возрастов.

1) Профессиональные художники.

У художников разница во времени принятия решения в двух контекстах с когнитивным конфликтом достоверно ниже, что свидетельствует о равной активности вербального и цветового информационных образов. Художники имеют средний показатель сенсорной быстроты (средние значения времени латентного периода) и хорошую адаптацию в процессе решения сенсомоторных задач (при успешном решении время СМР реакции увеличивается). Среди художников достоверно больше испытуемых с доминированием правого полушария.

2) Профессиональные физики.

У физиков большее время принятия решения наблюдается в задаче, где необходимо игнорировать смысл, что говорит о большей активности верbalного образа. Физики демонстрируют наибольшую стабильность времени СМР, при наименьшем показателе сенсорной быстроты. Среди физиков достоверно больше испытуемых с доминированием левого полушария. Среди физиков достоверно больше испытуемых с максимальным дифференциальным порогом в оттенках красного диапазона.

3) Студенты.

У студентов большее время принятия решения наблюдается в задаче, где необходимо игнорировать смысл, что свидетельствует о большей активности цветового образа. Студенты демонстрируют высокий показатель сенсорной быстроты (наименьшие значения времени латентного периода) и наибольшую лабильность в процессе решения сенсомоторных задач (быстро подстраиваются под время межсти-

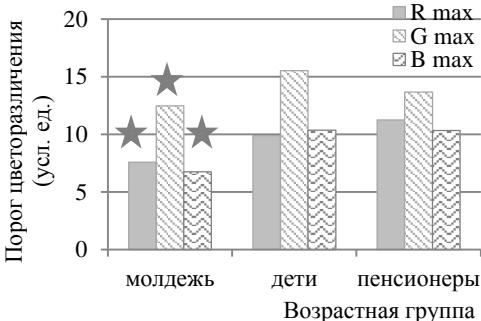


Рис. 5. Результаты измерения порогов цветоразличения. Звездочками обозначены достоверные различия $p \leq 0,01$

мульного интервала). Среди них достоверно больше испытуемых с максимальным дифференциальным порогом в оттенках зеленого диапазона. У студентов в равной степени доминируют оба полушария.

4) Средняя возрастная группа (20 – 35 лет).

В средней возрастной группе время принятия решения достоверно ниже во всех контекстах. Большее время принятия решения наблюдается в задаче, где необходимо игнорировать смысл, что говорит о большей активности цветового образа. Минимальное время простой и сложной сенсомоторной реакции, а также ее моторного и латентного компонента. Значения порогов цветоразличения достоверно ниже во всех оттенках. Особеностей межполушарной асимметрии не выявлено.

5) Младшая и старшая возрастные группы (6 – 11 и 55 – 65 лет).

Время принятия решения в обеих группах больше, чем в средней, однако в старшей возрастной группе наблюдается эффект обратной интерференции – вербальный образ настолько активен, что игнорировать его сложно. время простой и сложной сенсомоторной реакции больше, чем в средней группе, однако между собой они достоверно отличаются по времени моторного компонента – в младшей возрастной группе оно достоверно меньше. Пороги цветоразличения достоверно выше, чем в средней группе, во всех оттенках.

Литература

1. Зорина М.Б. Функциональное доминирование полушарий, пороги цветоразличения и особенности решения когнитивных задач профессиональными физиками-математиками, художниками и учащимися первого курса ФСН // Школа юного исследователя: сборник исследовательских работ учащихся. Вып. 10 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной, ИПФ РАН. – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2017. – 271с. – С. 209 – 215.
2. 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.
3. 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.
4. Щербаков В.И., Паренко М.К., Полевая С.А. Способ исследования цветового зрения человека. Российский Патент № 2222250, 2002.
5. Щербаков В.И., Полевая С.А., Паренко М.К. Способ исследования межполушарной сенсорной асимметрии. Российский Патент № 2198589, 1999.

Исследование чувствительности человеческого глаза к циркулярной поляризации света

Иванов Андрей Вадимович

7 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИФР РАН

Научный руководитель В.В. Иванов,

научный сотрудник ИФМ РАН,

кандидат физико-математических наук



Экспериментально исследована чувствительность человеческого зрения к циркулярной поляризации света. Произведено измерение относительной разности чувствительности глаза к право- и лево-поляризованному свету. Измененная относительная разность чувствительности к право- и лево- поляризованныму свету в синей и зеленой части спектра составляет +0.15% и +0.23% соответственно при доверительном интервале ($\pm 3\sigma$) 0.36% и 0.24%.

Считается, что человеческий глаз практически нечувствителен к поляризации воспринимаемого света, в отличие от глаз многих животных. При этом известно, что практически все белковые молекулы обладают циркулярным дихроизмом, то есть по-разному поглощают лево- и право-поляризованный свет [1]. Нашей целью было проверить, влияет ли циркулярный дихроизм зрительных пигментов сетчатки глаза на восприятие циркулярно-поляризованного света. Нам не удалось найти в литературе экспериментальных исследований на эту тему.

Циркулярный дихроизм зрительных пигментов в зависимости от длины волны света экспериментально исследован в ряде работ [2 – 4]. Все измерения проводились *in vitro* с пигментами, выделенными из глаз различных животных, в том числе быков и кальмаров. В видимом свете пик циркулярного дихроизма зрительных пигментов наблюдается около 500 нм.

В эксперименте участвовало восемь добровольцев в возрасте от 13 до 47 лет. Все, кроме одного, имеют зрение, близкое к нормальному. Один из испытуемых имеет зрение $-3.5D$ на обоих глазах и постоянно носит очки, но измерения он проводил без очков.

Экспериментальный стенд представляет собой компьютерный ЖК монитор, на который наклеены две полимерные четвертьволновые пластиинки (рис.). На участки монитора, покрытые четвертьволновыми пластиинками, компьютерная программа выводит изображение двух прямоугольников с общей границей на черном фоне. Медленные оси

четвертьволновых пластин ориентированы так, что один прямоугольник является источником лево-поляризованного света, другой – право-поляризованного. Оба прямоугольника имеют одинаковый цвет, но разную яркость. Яркости прямоугольников выбираются компьютерной

программой случайно, цвет – также случайно из трех чистых цветов: красного, зеленого и синего. Управляя яркостью левого прямоугольника, испытуемый должен выровнять яркости прямоугольников по своим субъективным ощущениям. После подтверждения испытуемым своего выбора, компьютерная программа сохраняет цвет прямоугольников и их яркость в условных единицах. За один сеанс испытуемый делает 16 – 18 измерений.

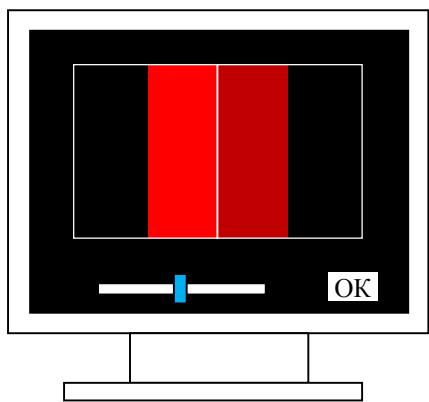


Рис. Экспериментальный стенд

Идея эксперимента состоит в том, что если глаза испытуемого имеют разную чувствительность к лево- и правополяризованному свету, он будет выставлять разные яркости прямоугольников, считая, что выровнял их. Но разница в восприятии яркостей прямоугольников может возникать не только из-за поляризации света. Чтобы выделить эффект, связанный с поляризацией, мы проводим эксперимент в два этапа. На первом этапе левый прямоугольник излучает право-поляризованный свет, правый – лево-поляризованный свет. На втором этапе разворачиваем медленные оси обеих четвертьволновых пластин на 90 градусов. В результате левый прямоугольник становится источником лево-поляризованного света, правый – право-поляризованного.

Относительную разность чувствительности глаза к право- и лево-поляризованному свету ΔS находим по результатам двух этапов эксперимента по формуле:

$$\Delta S = 2 \frac{S_R - S_L}{S_R + S_L} = \frac{\Delta b_2 - \Delta b_1}{2}. \quad (1)$$

где S_R , S_L – чувствительность глаза к право- (R) и лево- (L) поляризованному свету, $\Delta b_{1,2}$ – измеренная относительная разность яркости левого и правого прямоугольников на 1-м и 2-м этапах эксперимента.

$$\Delta b = 2 \frac{b^{(l)} - b^{(r)}}{b^{(l)} + b^{(r)}}, \quad (2)$$

где $b^{(l)}$, $b^{(r)}$ – яркость левого (l) и правого (r) прямоугольника. Под чувствительностью мы понимаем отношение выходного сигнала глаза, передаваемого в мозг, к световому потоку на входе глаза.

На обоих этапах измерений монитор был откалиброван с помощью оптического измерителя мощности, то есть было найдено соответствие между яркостями прямоугольников в условных единицах компьютерной программы и физической относительной разностью яркостей прямоугольников Δb (2).

Обработка результатов эксперимента производилась компьютерной программой, написанной на языке Wolfram Mathematica. Программа обработки читает данные из файлов и сортирует их по цветам, пересчитывает яркости прямоугольников из условных единиц в физическую относительную разность яркостей прямоугольников (2), отбрасывает заведомо ошибочные измерения, отличающиеся от среднего более чем на 4σ , и из отфильтрованных данных находит среднюю относительную разность чувствительности испытуемых к право- и лево- поляризованному излучению для каждого цвета по формуле (1), и стандартное отклонение этой разности, при этом учитывается стандартная погрешность калибровки.

Результаты эксперимента показаны в таблице, где приняты следующие обозначения: ΔS – относительная разность чувствительностей глаза к право- и лево-поляризованному свету, найденная по формуле (1); $3\sigma_{\Delta S}$ – половина доверительного интервала (3 стандартных отклонения) для относительной разности чувствительностей глаза к право- и лево-поляризованному свету ΔS ; P – вероятность существования эффекта при том условии, что погрешность ΔS имеет нормальное (гауссово) распределение; N – общее число измерений; Δb_1 , Δb_2 – средние относительные разности яркостей прямоугольников (2) для 1-го и 2-го этапа эксперимента.

Таблица. Результаты эксперимента

| Цвет | ΔS , % | $3\sigma_{\Delta S}$, % | P | N | Δb_1 , % | Δb_2 , % |
|---------|----------------|--------------------------|------|------|------------------|------------------|
| Красный | -0.0015 | 0.29 | 0.12 | 1172 | -2.0 | -2.0 |
| Зеленый | 0.23 | 0.36 | 0.94 | 1223 | -1.7 | -1.3 |
| Синий | 0.15 | 0.24 | 0.93 | 1207 | -0.9 | -0.6 |

Выводы

1. В красном свете не обнаруживается статистически значимой чувствительности глаза к циркулярной поляризации света. Это согласуется с экспериментальными данными [2 – 4] об отсутствии циркулярного дихроизма родопсина в красном свете.

2. В зеленом и синем свете измеренная относительная разность чувствительности человеческого глаза к право- и лево- поляризованию свету составляет $+0.23\% \pm 0.36\%$ и $+0.15\% \pm 0.24\%$ соответственно (доверительный интервал $\pm 3\sigma$). Хотя эффект меньше доверительного интервала, вероятность его существования составляет 94% для зеленого и 93% для синего цвета. Наличие эффекта согласуется с данными [2 – 4] о пике циркулярного дихроизма родопсина около 500 нм, но циркулярный дихроизм на пике примерно в 4 раза меньше наблюдаемого нами эффекта: не более 0.05% против наших 0.2%.

3. Все испытуемые систематически занижают яркость левого прямоугольника – эффект, не имеющий отношения к поляризации света, так как он наблюдался на обоих этапах эксперимента. Эффект максимален для красного света и минимален для синего.

Можно отметить, что с вероятностью свыше 90% нам удалось обнаружить эффект чувствительности человеческого глаза к циркулярной поляризации света в зеленой и синей области спектра. Существование эффекта согласуется с данными о пике циркулярного дихроизма родопсина около 500 нм. Однако эффект не выходит за пределы доверительного интервала, поэтому нельзя с полной уверенностью говорить о его обнаружении. Для подтверждения эффекта необходимо увеличить число данных испытуемых. Кроме того, обнаружился не объясненный нами эффект того, что вне зависимости от поляризации излучения прямоугольников, все испытуемые стабильно занижали яркость левого прямоугольника.

Литература

1. Волькенштейн М.В. Биофизика. – М.: Наука, 1981. – 151 с.
2. Burke M.J., Pratt D.C., Faulkner Th.R., Moscowitz A. An Analysis of the Absorption and Circular Dichroism of some Visual Pigments // Exp. Eye. Res., 1973, v. 17. P. 557 – 572.
3. Waggoner A.S., Stryer L. Induced Optical Activity of the Metarhodopsins // Biochemistry, 1971, v. 10. P. 3250 – 3254.
4. Wu S., El-Sayed M.A. CD spectrum of bacteriorhodopsin // Biophys. J., 1991, v. 60. P. 190 – 197.

Исследование возможности применения флуоресцеина как флуоресцентной метки патогенных грибов в тканях растений

Игнатьева Елизавета Михайловна
11 класс, Лицей № 86, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель В.С. Лиж,
студент ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Изучена возможность применения флуоресцеина в качестве флуоресцентной метки патогенных грибов в тканях растений. В рамках исследования были проведены два эксперимента «методом поля» с модификацией, позволяющие определить способность к транспорту флуоресцеина, поглощенного модельным грибом *T. Viride*, находящимся в средах с разной концентрацией сахараозы (0 г/л, 1 г/л, 30 г/л). Результаты второго эксперимента показали, что на среде с содержанием сахараозы 1 г/л *T. Viride* активно поглощает флуоресцеин и транспортирует его в растущие гифы.*

Обнаружение заражения растений патогенными грибами является одним из важнейших способов борьбы с растительными инфекциями, а также одним из методов лабораторного исследования взаимодействий «паразит – хозяин». Одним из методов оценки заражения растения мицелиальными грибами может стать прижизненная флуоресцентная окраска мицелия в ткани растения. Целью исследования стало изучение возможности применение флуоресцеина как флуоресцентной метки патогенных грибов в тканях растений.

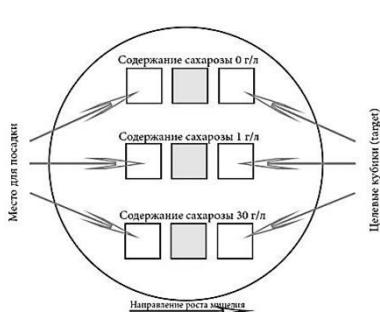
Для исследования был использован «метод поля» («метод полей») [5] с модификациями. В первом эксперименте использовались кубики агара размером 1*1 см (рис. 1а). На первый кубик высаживался мицелий. Второй кубик содержал исследуемое вещество, по скорости роста на этом кубике определялись токсичность исследуемого вещества и возможность его поглощения. Третий кубик целевой (target) состоял из стандартной среды, по нему оценивалась возможность транспорта исследуемого вещества в растущий мицелий. Также кубики различались концентрацией сахараозы (0г/л, 1 г/л, 30г/л) [3]. В итоге было получено шесть сред с одинаковым содержанием минеральных веществ и агара Чапека, но различных по содержанию флуоресцеина и сахараозы. Чашки помещались в термостат в темноте при 27°. Завершением эксперимента считался день заселения мицелием *T. viride* кубика среды с противоположного края ряда. Результаты эксперимента оценивались визуально и на конфокальном флуоресцентном микроскопе.

В процессе проведения полного эксперимента во избежание диффузии флуоресцина крышка, покрытая конденсатом, на второй день эксперимента была заменена на сухую. Данное действие привело к уменьшению количества влаги в среде и высыханию агара. Эксперимент не был закончен, поскольку гриб погиб, не дойдя до противоположного края ряда. Единственной пробой, где произошло произрастание гриба, оказалась среда с содержанием сахарозы в концентрации один грамм на литр.

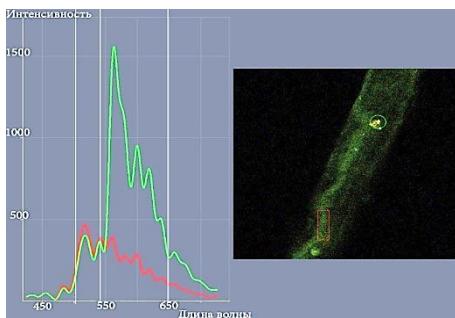
Для повышения удобства метода было решено модифицировать методику: среды заливались в чашки Петри с перегородкой (рис. 2) или в обычные чашки Петри с наклоном во время застывания разных сред (рис. 3). В чашки с перегородкой среды заливались: в одну половину – среда с флуоресцином, в другую – исходная. Расстояние между средами было около 1 – 3 мм. Посев спор производился на среду с флуоресцином. В нескольких средах произошло подкрашивание исходной среды флуоресцином в связи с попаданием конденсата на границу между средами, поэтому было принято решение отказаться от одноразовых с перегородкой в пользу обычных стеклянных чашек Петри.

В обычных чашках Петри при заливке среды чашку держали под наклоном до застывания среды, после чего чашку переворачивали и заливали среду с другим составом. Расстояние между средами было около 5 мм. Посев спор производился на исходную среду.

Чашки помещали в термостат в темноте при 27°C.



а – схема первого эксперимента;
белым обозначены кубики без флуоресцина, желтым обозначены кубики, содержащие флуоресцин



б – спектральный состав автофлуоресценции гифы гриба опытного образца, среда с содержанием сахарозы 1 г/л

Рис. 1. Схема проведения и результат первого эксперимента

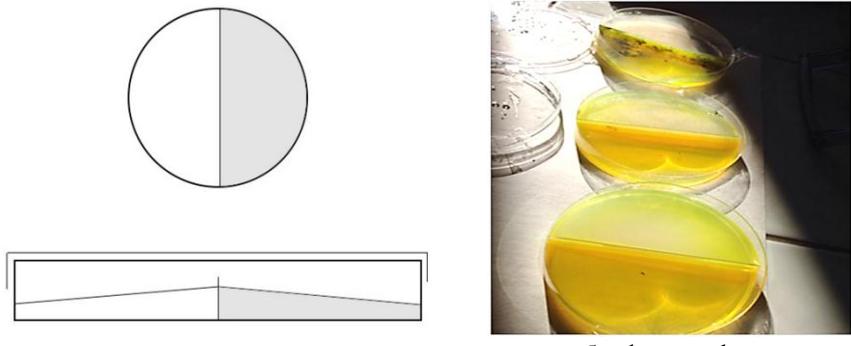
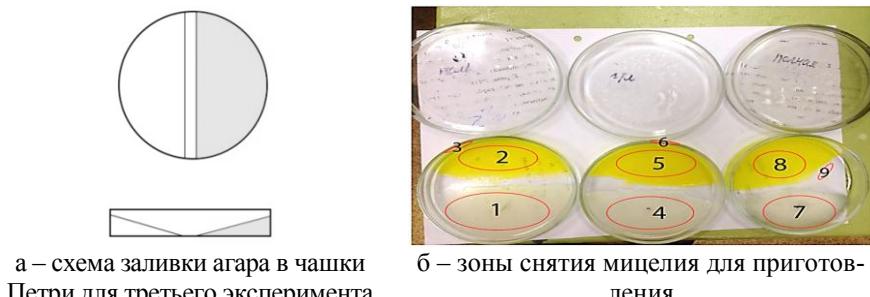


Рис. 2. Чашик Петри с обычной (светлая) и флуоресцентной средой (желтая) для второго эксперимента



а – схема заливки агара в чашки Петри для третьего эксперимента
б – зоны снятия мицелия для приготовления

Рис. 3. Схема заливки и зоны снятия мицелия

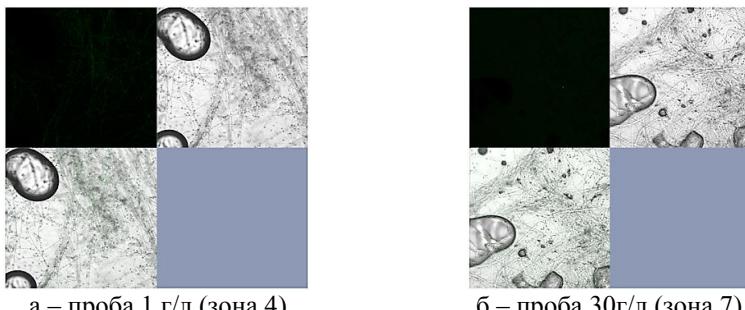
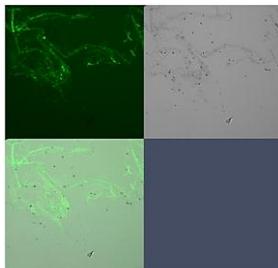
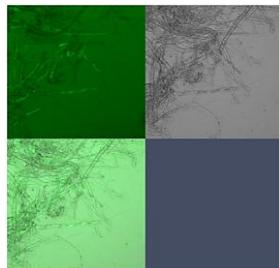


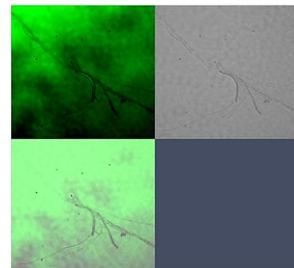
Рис. 4. Флуоресцентное, световое и совмещенное изображения мицелия *T. viride* на среде без флуоресцина, с разным содержанием сахараозы.
Автофлуоресценция мицелия практически отсутствует



а – проба 0г/л (зона 2),
в данной зоне наблюдается активная автофлуоресценция спор



б – проба 1 г/л (зона 5),
в данной области съемки
мицелия гифы испускают свет сильнее, чем
окружающая среда, что
свидетельствует об ак-
тивном поглощении
флуоресцеина

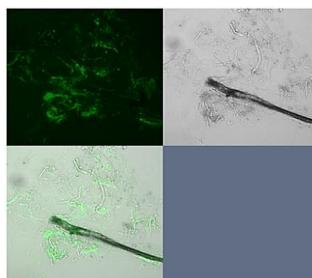


в – проба 30г/л (зона 8),
флуоресценция внутри
мицелия сопоставима
или даже ниже, чем в
окружающей среде, что
говорит об отсутствии
активного поглощения
флуоресцеина из среды

Рис. 5. Флуоресцентное, световое и совмещенное изображения мицелия *T. viride* на среде с содержанием флуоресцеина



а – проба г/л (зона 6), на фоне дистил-
лированной воды мицелий ярко флу-
оресцирует, значительно превышая
уровень автофлуоресценции на ис-
ходной среде, что говорит о транспор-
те флуоресцеина в молодой мицелий



б – проба 30г/л (зона 9), несмотря на
сложность приготовления препарата и
неоднозначность выбранного места
для анализа, флуоресценции значи-
тельно выше, что говорит о транспор-
те флуоресцеина в растущий мицелий

Рис. 6. Флуоресцентное, световое и совмещенное изображения мицелия *T. Viride*, вышедшего за пределы среды, содержащей флуоресцеин

Так как в части чашек Петри мицелий перешел в стадию спороношения, приготовление препарата в помещении с конфокальным микроскопом недопустимо. Препараты готовили в специализированном боксе, снимая участок мицелия с зон, указанных на рисунке 3б.

Результаты эксперимента с обычными чашками Петри оценивались на конфокальном микроскопе.

В связи со сложностью приготовления препаратов изображение с зон 1 и 3 (по рис. 3) отсутствуют.

Вывод: исходя из полученных данных можно заключить, что на среде с содержанием сахарозы 1 г/л мицелий *Trichoderma viride* активно поглощает флуоресцеин и транспортирует его в растущие гифы, что в перспективе дает возможность заражения растительного материала ярко флуоресцирующим патогеном.

Литература

1. Бурова Л.Г. Загадочный мир грибов. – М.: Наука, 1991. – 97 с.
2. Елина В.В., Овчарова Е.Н. Биология: растения, грибы, бактерии, вирусы: учебное пособие для поступающих в вузы. – М.: Изд-во Инфра-М, 2013. – 597 с.
3. Лазарева Е.С., Смирнов В.Ф., Стручкова И.В. Влияние компонентов среды культивирования на фенолоксидазную активность микромицетов *Trichoderma viride* и *Trichoderma lignorum* // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2008, № 1. С. 77 – 80.
4. Brand A., Gow N. Mechanisms of hypha orientation of fungi // Current Opinion in Microbiology, 2009, 12. P. 350 – 357.
5. Fomina M., Ritz K., Gadd G.M. Nutritional influence on the ability of fungal mycelia to penetrate toxic metal-containing domains // Mycol. Res. 107 (7), July 2003. P. 861 – 871.

Физиологическое обеспечение процесса научения

Ильина Полина Николаевна
11 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Л.В. Савчук,
младший научный сотрудник ЦНИЛ ПИМУ



В работе исследовалось физиологическое обеспечение процесса научения. С помощью метода беспроводной кардиоинтервалографии оценивалось функциональное состояние у 15 студентов, а симуляция процесса научения и его этапов осуществлялась за счет предъявления теста Струпта на иностранном языке, неизвестным испытуемым. Оценивались особенности вегетативных отображений успешности и неуспешности обучения. Успешность оценивалась, по количеству совершенных ошибок. В результате исследования выявлено то, что исходный функциональный статус связан с успешностью обучения, кроме того для успешного обучения требуется необходимый уровень активации на этапе освоения инструкции.

Образование в данный момент является одной из наиболее важных и нужных сфер жизни человека. Обучение – это естественная деятельность, которая сопровождает всю жизнь человека. Изучение закономерностей различных форм обучения и их физиологических механизмов включает фундаментальные принципы функционирования нервной системы, а понимание этих принципов дает представление о формировании индивидуальных адаптаций. Примерно с начала XX в. обучение впервые начали изучать с помощью физиологических методов и благодаря возрастанию его роли и расширению методологических возможностей, обучение стало одной из наиболее обширных областей исследования физиологии высшей нервной деятельности и других разделов нейробиологии [1, 5]. Пятидесятилетний опыт изучения вариабельности сердечного ритма (ВСР) как совокупности характеристик режима вегетативной регуляции демонстрирует чувствительность ВСР к разнообразным изменениям субъективного состояния человека. В исследованиях показано, что параметры динамики вегетативной регуляции кардиоритма чувствительны к изменениям в эмоциональной, когнитивной и физической активности, а также информативны для исследования адаптационных и дезадаптационных процессов [2, 3]. Практическая актуальность работы определяется высокой социальной значимостью исследований, направленных на развитие знаний о динамике адаптационных и дез-

адаптационных процессов человека в условиях естественной деятельности в целом и в процессе обучения в частности.

Цель работы – оценка функционального состояния в процессе обучения. Задачи: разработать экспериментальную модель; сделать запись ВСР каждого испытуемого в процессе решения задачи с когнитивным конфликтом на родном и иностранном языках для оценки функционального состояния; выявить физиологические маркеры процесса обучения.

Методы. Метод КИГ представляет собой анализ регуляции сердечного ритма, который дает возможность получения прогностической информации о функциональном состоянии и особенностях адаптивных реакций всего организма. Для оценки функционального состояния и количества стрессов использовался метод беспроводной кардиоинтервалографии, запись осуществлялась датчиком «Zephyr». Датчик фиксирует длительности между последовательными сердечными сокращениями в миллисекундах, данные по bluetooth передаются на смартфон, а со смартфона на сервер, где происходит их предварительная обработка и размечаются острые стрессы [4].

Тест Струпа – метод определения гибкости когнитивного мышления, основанный на противоречии между прочитанной информацией и увиденной. Тест состоит из четырех контекстов: 1) mono – на экране черными буквами высвечивается название цвета, от испытуемого требуется нажать на соответствующий цвет внизу; 2) color – слова цветные, смысл слова совпадает с цветом; 3) true text – окраска и смысл не совпадают, ориентироваться необходимо на смысл; 4) true color – окраска и смысл не совпадают, ориентироваться необходимо на цвет. В третьем и четвертом контекстах формируется рассогласование между информационными образами, активируемыми верbalным и цветовым зрительными стимулами. Благодаря контексту с когнитивным конфликтом удается получить объективное отображение разницы в активности верbalного и цветового информационных образов. Использован компьютеризированный тест Струпа, реализованный на многомодульной WEB-платформе. Измерялись время принятия решений и количество ошибок в четырех контекстах.

Выборка исследования на составила 15 человек. В течение всего эксперимента у испытуемых регистрировался сердечный ритм. В начале испытуемому предлагали пройти тренировочный тест Струпа для ознакомления с методикой, далее в соответствии с целями исследования эксперимент включал две серии измерений со словами на

русском и испанском языках. Выбранный нами иностранный язык ранее не был знаком испытуемым. Таким образом, осуществлялась симуляция процесса обучения и его этапов: 1-й контекст – ориентированная реакция, попытка решить задачу на основе имеющегося опыта; 2-й контекст – предлагается готовое решение, испытуемый узнавал названия цветов и должен был запомнить их в ограниченное время; 3-й и 4-й контекст – применение на практике усвоенного знания в условиях когнитивного конфликта, что повышало требования к его усвоению.

В результате исследования был выявлен характер принятия решения в разных контекстах на родном и незнакомом языках.

Для родного языка характерна классическая картина динамики времени принятия решения:

1. В контексте «color», где цвет букв совпадает со смыслом слова, время ответа минимальное. Верbalный и цветовой образы согласованы, что облегчает решение задачи.

2. В обоих контекстах с когнитивным конфликтом «true Text» и «true Color», где вербальный и цветовой образ противоречат друг другу (нужно либо игнорировать смысл слова и ориентироваться при ответе на цвет, либо наоборот) – время решения максимальное.

Характер принятия решения на незнакомом языке иной:

1. Максимальное время решения наблюдается в контексте «топо», где необходимо выбрать цвет по смыслу слова, написанного черными буквами, при попытке решить эту задачу на незнакомом языке возникает ситуация неопределенности, где каждый использует индивидуальную стратегию для нахождения правильного ответа.

2. Время решения в контексте «color» на незнакомом языке больше времени в аналогичном контексте на родном языке, в этом случае должно произойти освоение инструкции.

3. В контекстах с когнитивным конфликтом «true Text» и «true Color», время решения существенно различается. Это связано с тем, что вербальный образ на незнакомом языке еще очень неустойчив, и ориентироваться на смысл, игнорируя цвет, сложнее, чем решать обратную задачу, когда цветовой образ более активен (рис.1).

Выявлена связь между успешностью выполнения теста и уровнем острых стрессов в каждом контексте. Тест считается выполненным успешно, если количество ошибок в каждом контексте не превышает 3% (не более пяти ошибок на 150 предъявлений). На родном языке наибольшее напряжение вызывает контекст «true Text», а в остальных контекстах наблюдался средний уровень стресса, в то

время как у испытуемых, допустивших большое количество ошибок (20% и больше), наблюдается либо чрезмерный уровень стресса во всех контекстах, либо низкий (гипоактивация или гиперактивация). На незнакомом языке наибольшее напряжение вызывает контекст «color», так как для успешного решения теста, требуется максимальная концентрация на этапе освоения инструкции, а в контексте «true Color» стресс-эпизоды отсутствуют, что связано с предпочтением активного цветового образа верbalному (рис. 2).

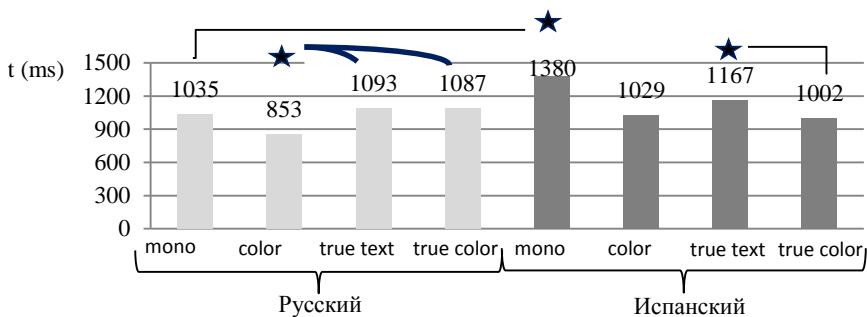


Рис. 1. Среднее время выбора в разных контекстах на родном и незнакомом языке

* Достоверные различия рассчитывали в программе Statistica Difference between two means

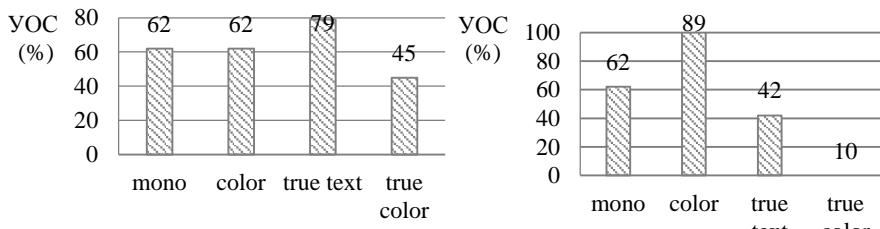


Рис. 2. УОС у испытуемых, наиболее успешно справившихся с заданием

Выявлена связь между успешностью выполнения теста и интегративными показателями вариабельности сердечного ритма. У испытуемых, успешно выполнивших тест, среднее значение индекса вегетативного баланса (соотношение между активностью симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы) составляет 2,7, что свидетельствует о доминировании симпатического отдела (человек мобилизован и усиленно расходует энергию). При этом

значение общей мощности спектра (ТР) находится в границах 2500 – 3000 мс², что свидетельствует о хорошем уровне адаптационной энергии. У испытуемых, допустивших максимальное количество ошибок, среднее значение индекса вегетативного баланса не превышает 1, что говорит об отсутствии достаточной активации, а значение общей мощности спектра (ТР) либо не поднимается выше 700 – 1500 мс² (тенденция к астении и снижению трудоспособности), либо превышает 7000 мс² – значительный дисбаланс расхода жизненных сил.

Выводы

Выявлено, что исходный функциональный статус связан с успешностью обучения, а особенности вегетативных отображений успешности обучения проявляются в значениях общей мощности спектра и индекса вегетативного баланса: у испытуемых, успешно выполнивших тест, наблюдается доминирование симпатического отдела вегетативной нервной системы при хорошем уровне адаптационной энергии; а у испытуемых, допустивших максимальное количество ошибок, не выражена активация симпатического звена и имеет место значительный дисбаланс расхода энергии – от астении до необоснованного перерасхода ресурсов. Для успешного обучения требуется необходимый уровень активации на этапе освоения инструкции, который проявляется в наличии большого количества стресс-эпизодов, что свидетельствует о стресс-активации, реализующей защитный механизм, нацеленный на устранения сигнала о рассогласовании между необходимостью решить задачу и отсутствием опыта решения такой задачи.

Литература

1. *Аткинсон Р.* Человеческая память и процесс обучения. – М.: Прогресс, 1980. – 526 с.
2. *Бахчина А.В.* Динамика вегетативной регуляции кардиоритма при когнитивных, эмоциональных и физических нагрузках: диссертация 19.00.02. 2014.
3. *Бахчина А.В., Серова М.С., Синеокова Т.Н., Буланов Н.А., Полевая С.А.* Билингвальный тест Струпа как способ отображения лингвистических функций мозга / Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях – 2017. Труды V Всероссийской конференции. – Н.Новгород: Изд-во ИПФ РАН. 2017. С. 27 – 29.
4. *Полевая С.А., Парин С.Б., Еремин Е.В., Буланов Н.А., Чернова М.А.* Разработка технологий 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.
5. *Савенков А.И.* Психологические основы исследовательского подхода к обучению. – М.: Ось-89, 2006. – 480 с.

Психофизиологические особенности школьников разных профильных групп

Кирюшина Ксения Дмитриевна
10 класс, Гимназия 13, ШЮИ ИПФ РАН

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



Исследованы психофизиологические особенности школьников в зависимости от профиля обучения (гуманитарного, технического и естественнонаучного). Выявлены различия в зависимости от профиля по трем параметрам: тип полушарного доминирования, гибкость познавательного контроля, скорость сенсомоторной и моторной реакций; по параметру лабильности нервной системы различий не обнаружено. По полученным данным были составлены рекомендации по профориентации для школьников с учетом различий в группах.

Актуальность темы связана с появлением разделения профилей обучения не только на уровнях среднего профессионального и высшего образования, но уже на уровне образования школьного. Основными профилями являются гуманитарный, технический и естественнонаучный. Считается, что человек, выбравший какой-либо профиль, обладает определенным набором психофизиологических характеристик, позволяющих достигать большего успеха в данной сфере профессиональной деятельности.

Оригинальность работы заключается в уточнении знаний о психофизиологических особенностях школьников. Применялось несколько методик для определения таких характеристик, как: полушарное доминирование, лабильность нервной системы, сенсомоторная и моторная реакция, гибкость познавательного контроля.

Цель работы – апробирование методики по выявлению психофизиологических особенностей у школьников в зависимости от технического, естественнонаучного и гуманитарного профилей обучения.

Данное исследование является предварительным. Проверялось наличие различий психофизиологических свойств в профильных группах. Также уточнялся набор методик – общее время эксперимента должно занимать не более 30 минут, а методики должны быть общедоступными и не требовать специального оборудования.

Экспериментальная выборка: n=15 (по 5 человек каждого профиля обучения, учащиеся 10 класса МБОУ «Гимназия № 13», 16 – 17

лет). Испытуемые не проходили предложенные им тесты ранее. Протокол эксперимента включал набор из четырех методик.

Для определения полушарного доминирования использовался тест Н.М. Тимченко [1]. Тест состоял из 20 утверждений, на которые испытуемые отвечали утвердительно или отрицательно. По полученным данным (табл. 1) был сделан вывод, что во всех группах школьники обладают левополушарным или смешанным типом, но в гуманитарной группе также было выявлено наличие правополушарного типа.

Таблица 1. Зависимость типа полушарного доминирования от профиля (%)

| Группа | Тип полушарного доминирования | Процент* (%) |
|--------------------|-------------------------------|--------------|
| Техническая | Смешанный | 60 |
| | Левополушарный | 40 |
| | Правополушарный | 0 |
| Гуманитарная | Смешанный | 60 |
| | Левополушарный | 20 |
| | Правополушарный | 20 |
| Естественнонаучная | Смешанный | 80 |
| | Левополушарный | 20 |
| | Правополушарный | 0 |

Исследование лабильности нервной системы проводилось с помощью методики «Интеллектуальная лабильность» В.Т. Козловой [3, 6], представлявшей собой тест из 47 заданий, выполнявшихся испытуемыми в ограниченный отрезок времени. По процентному содержанию и количеству ошибок (рис.1) достоверных отличий в группах не найдено. Гипотеза о наличии психофизиологических особенностей по типу профиля требует проверки на более широкой выборке.

Оценка гибкости познавательного контроля проводилась с помощью теста Струпа [2, 4]. Он состоял из четырех фаз, в которых испытуемым требовалось выбрать правильный ответ из цветовой палитры. Тест проводился на компьютерной платформе <http://platform.apway.ru/> [5]. По полученным данным (рис.

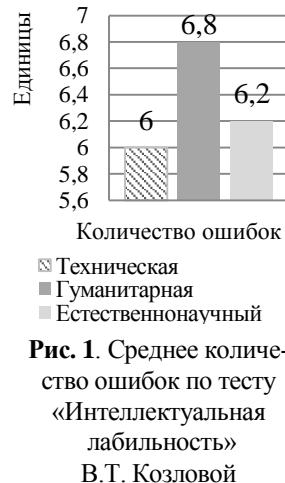


Рис. 1. Среднее количество ошибок по тесту «Интеллектуальная лабильность» В.Т. Козловой

2) был сделан вывод о том, что техническая и естественнонаучная группы обладают гибким познавательным контролем, а гуманитарная – ригидным.

Испытуемым предлагалось пройти тестирование сенсомоторной и моторной реакции (компьютерная платформа <http://platform.apway.ru/> [5]). Испытуемые должны были отреагировать на появление цветных кругов на экране нажатием «пробела». По полученным результатам (рис. 3, 4) был сделан вывод, что техническая группа обладает быстрой реакцией, естественнонаучная группа – медленной, а гуманитарная – реакцией средней скорости.

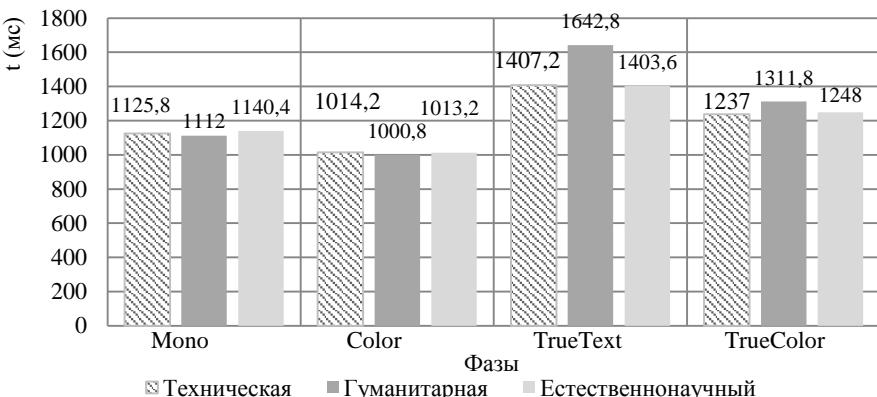


Рис. 2. Средние значения t (среднее время выбора ответа) по тесту Струпа (мс)



Рис. 3. Среднее время сенсомоторной реакции



Рис. 4. Среднее время моторной реакции

Полученные различия являются незначительными ($p>0.05$) в связи с малой выборкой. Таким образом, результаты требуют проведения дополнительной серии тестов с последующей статистической обработкой при большой выборке ($n=60$ и более.)

В результате проведенного исследования были выявлены следующие особенности, связанные с профилем обучения (допускаются исключения по значениям в каждом профиле):

- 1) во всех группах преобладает смешанный тип полушарного доминирования;
- 2) по параметру «лабильность нервной системы» различий в группах не обнаружено;
- 3) техническая и естественнонаучная группы имеют гибкий познавательный контроль, а гуманитарная группа – ригидный познавательный контроль;
- 4) техническая группа обладает быстрыми сенсомоторной и моторной реакциями, естественнонаучная группа – медленными, гуманитарная группа – реакциями средней скорости.

Полученные данные не имеют негативного характера. Выявленные особенности говорят о приспособлении представителей разных групп к выполнению определенных задач. Так, представители гуманитарной группы при наличии ригидного познавательного контроля более помехоустойчивы и проявляют более устойчивое внимание к выполнению поставленных задач. По своим показателям техническая группа более расположена к выполнению заданий, требующих быстрой реакции и активного переключения с одной задачи на другую. Естественнонаучная группа отличается точностью в моторных реакциях и плавностью в переключении от одной задачи к другой, что повышает их работоспособность и значимость полученных ими результатов в исследовании.

Предварительно выявленные у технической группы активное переключение внимания и быстрая реакция являются предпосылками к аналитической и логической работе. Особенности гуманитарной группы являются преимуществом для деятельности, связанной с концентрацией внимания, параллельной обработкой информации, высокой помехоустойчивостью. Особенности естественнонаучной группы считаются полезными для работы, требующей высокой работоспособности, аналитического склада ума и аккуратности. Проверка результатов на большей выборке позволит уточнить предварительные выводы.

Литература

1. Задание по дисциплинам «Психология» и «Психология и педагогика» [Электронный ресурс] // Файловый архив студентов: сайт. URL: <https://studfiles.net/preview/6152507/>
2. Методика словесно-цветовой интерференции [Электронный ресурс] // Файловый архив студентов: сайт. URL: <https://studfiles.net/preview/1778462/>
3. Методика «Интеллектуальная лабильность» [Электронный ресурс] // ТЕСТотека: сайт. URL: <http://testoteka.narod.ru/int/1/02.html>
4. Определить психофизиологические корреляты функции принятия решения в простых и сложных контекстах. [Электронный ресурс] // Мегапредмет: сайт. URL: <http://megapredmet.ru/1-69671.html>
5. 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.
6. Тест «Интеллектуальная лабильность» [Электронный ресурс] // Файловый архив студентов: сайт. URL: <https://studfiles.net/preview/976042/page:8/>

Анализ роли ионов Ca^{2+} в генерации электрических реакций в клетках высших растений

Козлова Елизавета Андреевна

10 класс, Лицей № 8, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель М.А. Гринбег,
магистрант кафедры биофизики Института
биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Рассмотрена роль ионов Ca^{2+} в формировании различных этапов вариабельного потенциала (ВП) – быстрого стрессового сигнала растений. Анализ проводился на двух – трехнедельных проростках гороха посевного (*Pisum sativum L.*) в условиях локального блокирования Ca^{2+} -каналов специфическим ингибитором хлоридом лантана (LaCl_3). Блокада Ca^{2+} -каналов не оказала влияния на распространение ВП, однако изменению подвергся процесс генерации сигнала. Было показано более выраженное подавление компонента, связанного с инактивацией H^+ -АТФазы, по сравнению с компонентом, за который отвечают Ca^{2+} -зависимые анионные каналы.*

В ответ на повреждающее раздражение высшие растения способны генерировать уникальный электрический сигнал – вариабельный потенциал (ВП), представленный переходной деполяризацией мембранны. Форма и длительность сигнала может различаться у разных растений и демонстрирует зависимость от природы и интенсивности повреждающего фактора. Ионная природа вариабельного потенциала на сегодняшний день остается не до конца изученной. При этом есть основания полагать, что решающую роль в механизме его генерации в клетках высших растений играют ионы Ca^{2+} [2], способные с одной стороны открывать Ca^{2+} -зависимые анионные каналы, с другой стороны – вызывать инактивацию H^+ -АТФазы [3]. Информация о значимости концентрации кальция для различных этапов формирования ВП в современной литературе отсутствует, данный вопрос требует изучения. Помимо этого, анализ ионного механизма развития электрических реакций может являться базой для изучения продуктов развития индуцируемых ими функциональных ответов.

Цель – изучение роли ионов кальция в генерации основных фаз ВП.

Исследования проводились на двух – трехнедельных проростках гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и трех – четырехнедельных проростках кукурузы сахарной (*Zea mays L.*). Электрические сигналы

(ЭС) на цитоплазматической мембране регистрировались при помощи микроэлектродной техники (электрофизиологическая установка SliceScope Pro 2000 (Scientifica, Великобритания)), на уровне целого растения – за счет поверхностного отведения потенциалов с применением стеклянных макроэлектродов ЭВЛ-1М3 (ООО «Гомельский завод измерительных приборов», Беларусь). При измерении данных методом поверхностной регистрации на растение последовательно устанавливались три макроэлектрода, электрод сравнения размещался в зоне корней. Данные поступали на многоканальную систему для измерения биопотенциалов и ионных токов Мультитест ИПЛ-113(ООО НПП «Семико», Россия). ЭС индуцировались 1) ожогом листа открытым пламенем (ожог 2 с, площадь повреждения 2 см²), 2) постепенным нагревом листа в кювете с водой (до 60–65 °C), 3) охлаждением листа водой с температурой 0 °C. Для выяснения роли изменения концентрации кальция при прохождении ВП проводился ингибиторный анализ. Для блокирования кальциевых каналов на участке стебля применялся ингибитор LaCl₃ в концентрации 5 мМ.

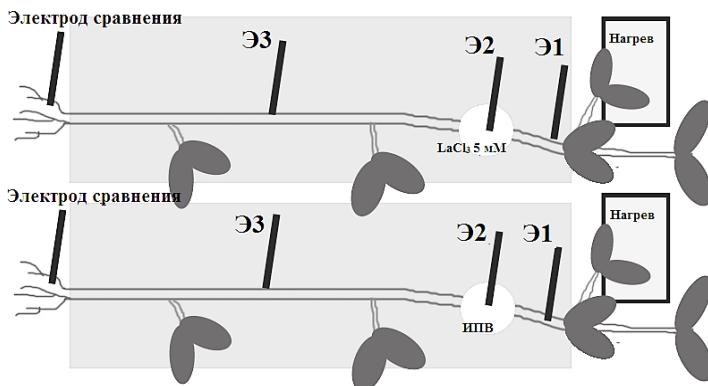


Рис. 1. Схема установки для регистрации поверхностных потенциалов (Э1 – электрод 1, Э2 – электрод 2, Э3 – электрод 3)

На предварительном этапе на основе характеристик ЭС, индуцируемых различными стимулами, был осуществлен выбор объекта для изучения ионной природы ВП. Кукуруза (представитель класса однодольные) представлялась перспективным объектом для исследования ВП, поскольку отсутствие узлов и параллельное жилкование потенциально позволяет получать ЭС с линейно изменяющимися параметрами, а крупные клетки облегчают регистрацию мембранныго потенциала.

Однако параметры ЭС данного объекта требовали дополнительного изучения, поскольку кукуруза имеет ограниченное использование в электрофизиологических исследованиях. Горох посевной (представитель класса двудольных), напротив, является классическим объектом, параметры электрических сигналов которого описаны в литературе.

В проростках кукурузы выраженной реакции на традиционный раздражитель, инициирующий ВП, – ожог открытым пламенем – обнаружено не было. Холодовой стрессор (вода, охлажденная до 0°C) индуцировала местную реакцию, не распространяющуюся из зоны раздражения. В проростках гороха ВП был получен при ожоге и постепенном нагреве листа в кювете с водой (рис. 2), что послужило основанием для выбора его в качестве объекта исследования.

На следующем этапе работы изучалась роль ионов Ca^{2+} в генерации ВП. Анализ проводился путем сравнения амплитуд фазы, связанной с открытием Ca^{2+} -зависимых анионных каналов (фаза 1), и фазы, за формирование которой отвечает Ca^{2+} -зависимая инактивация H^+ -АТФазы (фаза 2) в условиях блокирования Ca^{2+} -каналов специфическим ингибитором.

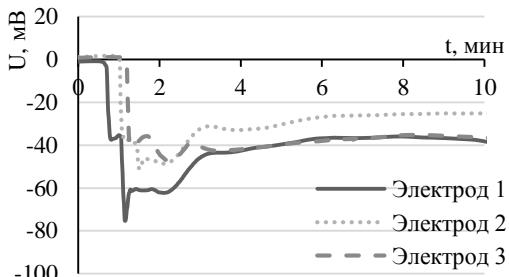


Рис. 2. Типичная запись ВП гороха, индуцированного постепенным нагревом листа

Таблица 1. Сравнение амплитуд фаз ВП, связанных с открытием ионных каналов (фаза 1) и инактивацией H^+ -АТФазы (фаза 2)

| № электрода | Группа | Амплитуда фазы 1, мВ | Амплитуда фазы 2, мВ | Отношение фаза 1/фаза 2 |
|-------------|----------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Электрод 1 | Опыт | 51,9±4,14 | 46,5±3,61 | 0,92±0,15 |
| | Контроль | 63,3±3,50 | 50,6±5,70 | 0,95±0,20 |
| Электрод 2 | Опыт | 44,4±4,12 | 39,8±3,64 | 1,10±0,04* |
| | Контроль | 43,4±4,81 | 44,2±4,69 | 0,98±0,03 |
| Электрод 3 | Опыт | 46,1±9,67 | 50,0±4,79 | 0,90±0,09 |
| | Контроль | 53,7±5,20 | 53,6±4,58 | 1,00±0,03 |

* – статистически значимое различие с контролем ($p < 0,01$)

Достоверных различий в амплитудах компонентов ВП получено не было, что, вероятно, объясняется большой вариабельностью ответов. Однако в области блокады каналов было обнаружено статистически значимое ($p<0,01$) возрастание значений отношений амплитуд каналов к амплитудам H^+ -АТФазы (таблица 1), что указывает на различную чувствительность процессов, участвующих в генерации ВП, к концентрации Ca^{2+} .

Помимо амплитуды важным параметром ВП является скорость распространения сигнала, оцениваемая по времени начала реакции на последовательно расположенных электродах. В нашей работе не было обнаружено статистически значимого изменения скорости распространения ВП в условиях блокирования Ca^{2+} -каналов (таблица 2).

Таблица 2. Скорость распространения ВП

| | Опыт | Контроль |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| До ингибитора (Э1-Э2), см/мин | $16,0 \pm 1,73$ | $11,2 \pm 2,17$ |
| После ингибитора (Э2-Э3), см/мин | $19,3 \pm 3,46$ | $20,8 \pm 3,20$ |

Отсутствие различий в скорости распространения ВП, а также в амплитудах и соотношениях фаз в области, следующей за участком стебля с заблокированными каналами, указывает на то, что блокада Ca^{2+} -каналов не влияет на процесс распространения ВП.

Полученные результаты демонстрируют большую чувствительность H^+ -АТФазы к концентрации Ca^{2+} , что, по-видимому, позволяет ей точнее подстраиваться под тип и интенсивность стрессора, вызвавшего электрический сигнал. Это представляется особенно важным, поскольку в преобразовании ЭС в функциональный ответ (изменение активности фотосинтеза, дыхания, экспрессии генов) изменение рН, вызванное инактивацией H^+ -АТФазы играет ключевую роль [1].

Литература

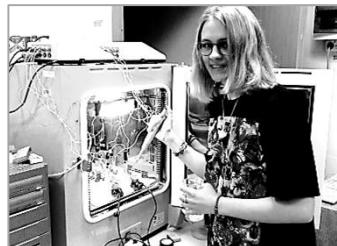
1. Воденеев В.А., Опритов В.А., Пятыгин С.С. Обратимое изменение внеклеточного рН при генерации потенциала действия у высшего растения *Cucurbita pepo* // Физиология растений. 2006. Т. 53. №. 4. С. 538 – 545.
2. Fromm J., Lautner S. Characteristics and functions of phloem-transmitted electrical signals in higher plants // Communication in plants. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. P. 321 – 332.
3. Vodeneev V.A., Katicheva L.A., Sukhov V.S. Electrical signals in higher plants: mechanisms of generation and propagation // Biophysics. 2016. Т. 61. №. 3. С. 505 – 512.

Сравнительный анализ методов решения проблемы цветения воды на основе лабораторных исследований

Козлова Елизавета Андреевна

10 класс, Лицей № 8, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель А.П. Патяев,
педагог дополнительного образования
ДЮЭЦ «Зеленый Парус»



В работе изучены и воспроизведены наиболее распространенные методики борьбы с цветением воды, проведен их сравнительный анализ, на его основе разработана новая потенциально эффективная методика борьбы с данной проблемой, производство и использование которой соответствует критериям устойчивого развития.

Вопрос о чистоте и доступности питьевой воды становится актуальнее. Пресноводные экосистемы подвержены различного рода загрязнениям. Многие водоемы эвтрофицированы, то есть перенасыщены биогенными элементами, часто по антропогенной причине. Это явление влечет за собой повышение биологической продуктивности водоема и ускоряет его эволюцию, что сопровождается обильным цветением воды. Совокупность различных процессов, происходящих при обильном развитии фитопланктона, приводит к существенной потере качества воды.

Цель работы – подобрать оптимальный способ борьбы с цветением воды не только по критерию эффективности, но и экологичности с возможным применением отходов производства, и экономичности. Работа проводилась в два этапа: первый – сравнительный анализ имеющихся в литературе методик, второй – исследование и улучшение методики, показавшей наибольшую эффективность в первом эксперименте на отдельном типе микроводорослей.

Материалом для исследования первого этапа являлись три лабораторные экосистемы (ЛЭ), созданные в лабораторных аквариумах. Первая ЛЭ – контрольная, в состав которой входили следующие компоненты: вода, культура фитопланктона, раствор минеральных удобрений, состав и концентрация которых имитировала смыв с полей N, P, K. Во вторую ЛЭ входили компоненты контрольной экосистемы с дополнительным внесением соломы, в третью – компоненты контрольной экосистемы с

дополнительным внесением макрофитов (вид рода *Lemna*). Объем каждой экосистемы составлял 6 литров. В культуру фитопланктона входили синезеленые водоросли родов *Anabaena*, *Gleocapsa* и *Microcystis*. Концентрация клеток в культуре позволяла обнаружить скопления фитопланктона невооруженным глазом – наблюдались хлопья водорослей. Все экспериментальные экосистемы находились в одинаковых условиях. Периодически проводился их визуальный осмотр. Результаты фиксировались в дневнике наблюдений.

Таблица. Дневник лабораторных наблюдений эксперимента первого этапа исследования

| № | Аквариум | | |
|----|---|--|--|
| | Контрольный | С соломой | С макрофитами |
| 1 | Старт опыта | Старт опыта | Старт опыта |
| 7 | Визуальный объем (хлопья) водорослей увеличился | Визуальный объем (хлопья) водорослей не увеличился. На поверхности воды появилась пленка | Визуальный объем (хлопья) водорослей увеличился |
| 14 | Добавлено 2л воды и 10г удобрений. Визуальный объем водорослей увеличился | Добавлено 2л воды и 10г удобрений. Визуальный объем водорослей не увеличился | Добавлено 2л воды и 10г удобрений. Визуальный объем водорослей увеличился |
| 21 | Визуальный объем водорослей не увеличился | Визуальный объем водорослей сократился | Визуальный объем водорослей увеличился |
| 28 | Визуальный объем (хлопья) водорослей заметно сократился | Водорослей визуально не наблюдалось | Визуальный объем (хлопья) водорослей заметно увеличился. Ряска начала отмирать |

Из результатов эксперимента следует, что стратегия создания конкурентной для фитопланктона среды путем внесения высших водных растений оказалась неэффективной по сравнению с ингибированием развития фитопланктона. Однако методика внесения соломы в водоем имеет серьезный недостаток: внесенную солому необходимо вылавливать из водоема для предотвращения повторного цветения воды, что представляется достаточно трудоемким процессом. Данная методика требует модификации.

Для проведения второго этапа эксперимента был создан субстратный раствор, имитирующий условия эвтрофикации водохранилища с наибольшей биологической продуктивностью зеленых водорослей [3] с пересчетом на объем экосистем (200 мл). Концентрация биогенных элементов в каждой ЛЭ составила 0.0108 мг/л (Р) и 0.02 мг/л (N). В соответствии с данными [2] была рассчитана «нормальная» концентрация гидролизного лигнина, считающегося основным ингибирующим веществом соломы (ГЛ), необходимая для эффективного действия на культуру фитопланктона ($1,85\text{г}/\text{м}^3$). Для выявления необходимой для воздействия на зеленые водоросли концентрации ГЛ в лабораторные экосистемы была внесена «нормальная» концентрация ГЛ ($3,75 \times 10^{-6}$ г на 200 мл), а также в 10 и 100 раз больше «нормальной». Контрольная экосистема не содержала ГЛ. Все ЛЭ находились в одинаковых условиях: были установлены в теплом помещении с искусственным освещением с фиксированной длиной светового дня. Раз в неделю проводилась визуальная оценка развития колоний культуры зеленых водорослей. В начале и конце эксперимента была произведена приблизительная оценка обилия и однородности культуры при помощи светового микроскопа, а также спектрофотометра (рис.).

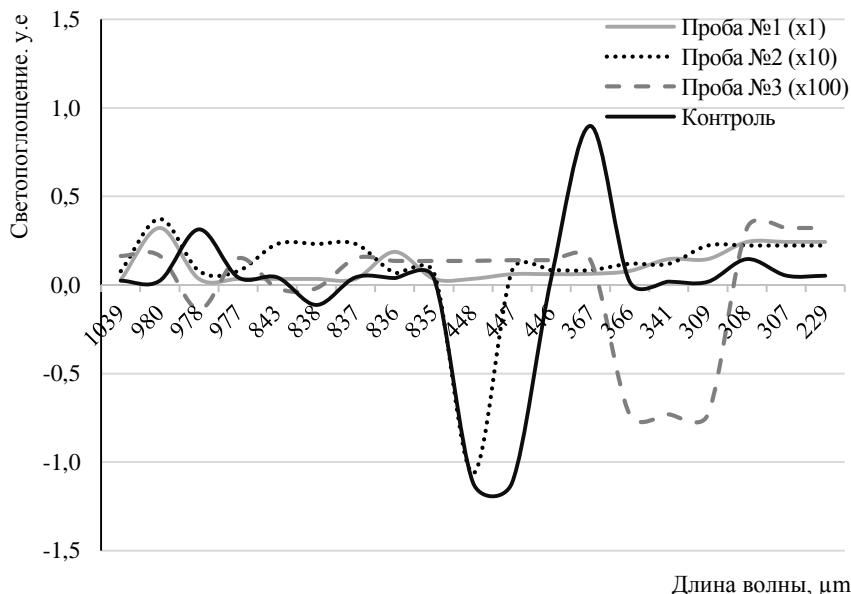


Рис. Светопоглощение проб

Результаты, полученные в ходе эксперимента, могут свидетельствовать о том, что ингибирующее влияние ГЛ на зеленые водоросли наблюдалось исключительно при небольших концентрациях лигнина, расчетно соответствующих «нормальному», необходимому для ингибирующего воздействия соломы на фитопланктон. В то же время высокие концентрации ГЛ в экосистеме способствовали развитию культуры зеленых водорослей. Данные из ЛЭ №2 могут подтверждать предположение о положительном влиянии высоких концентраций ГЛ на растения. Наблюдение согласуется с результатами исследования в статье [1]. На зеленые водоросли, которые являются более совершенными в эволюционном плане по сравнению с синезелеными водорослями, ГЛ также оказывает положительное влияние. Подавление роста зеленых водорослей в ЛЭ № 3 может быть объяснено тем, что ГЛ, имеющий форму нерастворимых в воде темных частиц, затруднял доступ света к водорослям, что и могло послужить причиной их гибели. Однако это не опровергает теорию и, возможно, при концентрации ГЛ, превышающей «нормальную» от 10 до 100 раз, наблюдался бы эффект аналогичный отмеченному в ЛЭ №2.

Вопрос поиска универсального способа решения проблемы цветения воды все еще остается открытым. Исследования показали, что внесение соломы в водоемы является более эффективным методом борьбы с фитопланктоном, по сравнению с внесением ВВР, однако он не является универсальным. Однако методика внесения гидролизного лигнина в водную экосистему, созданная на основе методики внесения соломы, показала свою эффективность.

Литература

1. Ахлиманова А.С., Мазеина Е.В. Исследование состава и влияния гидролизных лигнинов на биоту // 33 закономерности и тенденции развития науки. 2015. – С. 16
2. Кочева Л.С. Структурная организация и свойства лигнина и целлюлозы травянистых растений семейства злаковых: автореферат дис. доктора химических наук. – Архангельск, АГТУ. – 2008. – 43 с.
3. Сухарев Ю.И., Ходоровская Н.И., Ницкая С.Г., Викулова О.М., Дубницкая Ю.В. Исследование трофического состояния системы водохранилищ // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2002. №. 4. – С. 99 – 103.

Разработка экскурсии «Бобр, его местообитание, деятельность, влияние на окружающую среду» на основе материалов исследования «Бобр – вред или польза?»

Кукушкина Екатерина Дмитриевна
9 класс, Горкинская СШ, с. Горки Варнавинского района Нижегородской области



Научный руководитель Д. А. Кукушкин, учитель географии и биологии, руководитель экологического кружка «ЭКОдром»

В ходе работы было изучено влияние бобров на окружающую среду в контексте приносимого вреда или пользы, изучены взаимоотношения бобра и человека на конкретном участке поймы реки Ветлуги. Сделан вывод о возможности мирного сосуществования бобра и человека при условии понимания человеком того, что рядом с ним живут другие живые существа, и они имеют право на обустройство своего «дома». Для этого людей необходимо познакомить с бобрами, их деятельностью, образом жизни. С этой целью была разработана и проведена экскурсия.

Выбор темы исследования был неожиданным. Руководитель экологического кружка «ЭКОдром» поделился с нами новостью: «В охотхозяйстве «Липовка» бесплатно дают разрешение на добычу бобра!» Объясняют это тем, что численность бобра очень высокая и, соответственно, вред, наносимый бобром, довольно большой. Мы решили спросить у односельчан, как они относятся к бобрам и их деятельности, для чего разработали анкету и провели анкетирование. Из десяти респондентов четыре указали, что деятельность бобров затрудняет хозяйственную деятельность и передвижение человека, по их мнению, численность бобра слишком велика. Налицо проблема – взаимоотношения человека и бобра. Бобр своей деятельностью оказывает влияние и на окружающую среду. Какое оно? Чего несет больше: вреда или пользы?

Для оценки последствий деятельности бобра мы:

- 1) нашли информацию о бобре, где живет, чем питается, как размножается, какие сооружения возводит;
- 2) определили район изучения влияния бобра на окружающую среду и деятельность человека (критерии: небольшая удаленность, относительная доступность, наличие бобровых поселений, присутствие объектов деятельности человека);

- 3) изучили район исследований:
 - определили участки, занимаемые бобровыми семьями, и границы этих участков;
 - определили примерную численность бобров в поселениях;
 - определили месторасположение бобровых жилищ (хаты, норы) и бобровых плотин;
 - определили зоны подтопления, возникшие в результате деятельности бобров;
- 4) выяснили, каким образом бобр влияет на окружающую среду: на флору, фауну; на водный баланс территории;
- 5) выявили объекты хозяйственной деятельности человека в изучаемом районе и нанесли их на карту;
- 6) нашли места, где деятельность бобров входит в противоречие с хозяйственной деятельностью человека;
- 7) нашли решение возникшего противоречия интересов.

Главными критериями выбора района изучения мы определили: небольшую удаленность, относительную доступность, наличие бобровых поселений, присутствие объектов деятельности человека.

На изучаемом участке находятся четыре мелиоративные канавы. Три из них идут в меридиональном направлении. Их мы обозначили цифрами 1, 2, 3(рис.). И одна, в которую впадают три предыдущие канавы, в широтном, обозначили цифрой 4. Именно к этим канавам и были приурочены поиски следов жизнедеятельности бобров. В результате полевых исследований мы обнаружили 11 бобровых плотин, 3 бобровых хатки, 6 бобровых жилых нор.

Было найдено большое количество старых провалившихся нор. Данные объекты свидетельствуют о том, что бобры в этом районе живут довольно давно. Изучив бобровые метки, интенсивность погрызов, расположение плотин и жилищ, мы определили, что в границах изучаемого района живет шесть довольно многочисленных семей. Основными критериями определения численности бобра являются: количество погрызов и количество бобровых троп [1]. Пользуясь данными критериями, мы определили примерную численность бобров в каждом поселении. В шести поселениях, расположенных на территории около 2 км^2 , мы насчитали более 32 бобров (рис.). Все данные, полученные в полевых исследованиях, были нанесены на карту района изучения деятельности бобров.



Рис. Карта района исследования и схема маршрута экскурсии
Условные обозначения:

- границы изучаемого района,
- 1 номера мелиоративных каналов,
- 2 номера проселочных дорог,
- 3 бобровые плотины,
- 4 бобровая плотина, приведшая к затоплению дороги,
- 5 бобровые плотины, построенные на переездах через мелиоративные канавы,
- 6 бобровые хатки,
- 7 бобровые норы,
- 8 границы бобровых поселений,
- Пос 1 - 6 и более 9 номер поселения и количество бобров,
- 10 зоны подтопления, возникшие в результате деятельности бобров,
- 11 места переездов через мелиоративные канавы,
- 12 места конфликта интересов человека и бобра,
- 13 маршрут экскурсии,
- 14 начальная и конечная точка экскурсии,
- 15 точки маршрута экскурсии,
- 16 направление движения по маршруту экскурсии.

Многочисленное поселение бобров оказывает довольно серьезное влияние на древесную растительность как кормовую базу. Но это влияние нельзя считать негативным, так как большого ущерба древесной растительности не наносится, древостой успевает восстанавливаться, породы деревьев, используемые бобром, считаются ма-лоценными, и изучаемый район не относится к районам лесопользования. Подтопления, вызываемые деятельностью бобров, носят негативный характер, ведут к гибели деревьев и смене растительности. Ухудшается кислородный режим водоема.

Увеличение площади водоема привлекает различных животных, чья жизнедеятельность связана с водной средой. Во время полевых исследований мы наблюдали уток, крякв и чирков, куликов. Видели следы норки и выдры. Нашли помет выдры, содержащий чешую, что свидетельствует о наличии рыбы. Деревья, сваленные бобрами, привлекают других животных, питающихся корой. Несколько осин были обглоданы зайцами и лоснями. Подтопления и завалы деревьев делают некоторые участки труднопроходимыми, чем успешно пользуются лоси и кабаны. Увеличение численности травоядных привлекает хищников. Нами были найдены многочисленные следы лис, а на одной плотине даже волчий след.

Изменение водного баланса территории связано с накоплением воды, которое происходит благодаря возведению бобром плотин. Для определения объема воды в канавах, запруженных бобрами, мы определили среднюю площадь сечения канавы и умножили на длину всех канав. По нашим данным шесть семей бобров сохраняют на исследуемом участке в мелиоративных канавах 28150 м^3 пресной воды. Объем воды, сохраняемый бобрами, больше, так как мы не имели возможности учесть воду за пределами мелиоративных канав.

В пределах исследуемого района мы обнаружили следующие объекты хозяйственной деятельности человека (рис.): две дороги, четыре переезда через мелиоративные канавы, сенокосы, охотничьи угодья. Проходящие по территории исследуемого района дороги не имеют твердого покрытия, они ведут от села Горки до озера Шудская старица и используются в период «весна-осень» в основном рыбаками, охотниками, отдыхающими, а также для проезда техники к сенокосным угодьям. Переезды через мелиоративные канавы представляют земляные насыпи с пропущенной внутри железобетонной трубой диаметром 800 мм. Сенокосные угодья занимают лишь небольшую часть исследуемого района. Данная территория относится

к охотхозяйству «Липовка». Несмотря на то, что изучаемый участок занимает небольшую площадь и на его территории не ведется интенсивная хозяйственная деятельность, мы смогли найти места, где деятельность бобров входит в противоречие с деятельностью человека: дорога 1, переезды через канавы 2 и 3.

Было выяснено, что дорога 1 в настоящее время не используется из-за деятельности бобров. Плотина, построенная на канаве 4, привела к подтоплению 3, что сделало дорогу 1 непроезжей и непроходимой. Переезды через канавы 2 и 3 были превращены бобрами в плотины. Значительно уменьшилась пропускная способность труб, положенных в основание переезда, поэтому диаметр трубы 800 мм, отверстия, оставленные бобрами около 300 мм. В весенне паводье, когда в канавах уровень воды значительно поднимается и увеличивается скорость течения, пропускной способности отверстий недостаточно, происходит перелив воды через переезды, что ведет к их размыванию.

Значительного влияния деятельности бобров на сенокосы не наблюдается. Сокращение площади сенокосов связано с застанием площадей древесной растительностью и кустарником.

Результаты деятельности бобров – подтопления, сваленные деревья, старые обвалившиеся норы, остро заточенные пеньки, остающиеся после сваленных деревьев – безусловно, затрудняют передвижение человека по данной местности.

До 1960-х годов данная местность была сильно заболочена и бобры чувствовали себя здесь комфортно. С появлением людей, сооружением канав, вырубкой леса, места обитания бобров превратились в сенокосы, пастбища и поля. Бобры вынуждены были покинуть эти места. В 1990-х годах, когда прессинг человека ослаб, бобры начали возвращаться в прежние места обитания. Поэтому не бобры занимают нашу территорию, а мы «врываемся» к ним. Исходя из этого, мы предлагаем следующее решение:

- Подтопление дороги 1. Дороги 1 и 2 имеют одинаковые начальные и конечные пункты: начинаются в селе Горки и, соединяясь за канавой 3, ведут к озеру Шудская старица. При непроходимости дороги 1 можно пользоваться дорогой 2, что несколько удлиняет путь, но не несет больше никаких неудобств.

- Размытие паводковыми водами переездов через канавы 2 и 3. После весеннего паводка эти переезды требуют ремонта. Лесовоз отходов на пилораме стоит 1000 рублей с доставкой. Одного лесово-

за достаточно для двух переездов. В деревне найдется 10 охотников и рыбаков, пользующихся данной дорогой. Один лесовоз на 10 человек, по 100 рублей с человека плюс 2 часа работы, но каждый год.

– Обилие подтоплений, сваленных деревьев, старых обвалившихся нор, остро заточенных пеньков. Посещая территории, населенные бобрами, необходимо помнить, что мы здесь не дома, а в гостях, поэтому необходимо вести себя очень внимательно.

В ходе выполнения данного исследования мы пришли к выводу: мирное сосуществование человека и бобра в районе исследований вполне возможно при условии понимания человеком того, что рядом с ним живут другие живые существа, и они имеют право на обустройство своего «дома». Для этого людей нужно знакомить с деятельностью и образом жизни бобров. Исходя из классификации [2], мы разработали экскурсию с элементами полевых исследований:

- по составу участников – для взрослых и учащихся;
- по содержанию – тематическую – экологическую – экология флоры и фауны;
- по месту проведения – загородную;
- по форме проведения – учебную;
- по способу передвижения – пешеходную;
- по цикличности проведения – единичную.

При исследовании данного района нами было обнаружено и нанесено на карту порядка 40 объектов, заслуживающих внимания при изучении бобра и его жизнедеятельности. Мы определили критерии выбора объектов:

- последовательное расположение, доступность и небольшая удаленность (поскольку приходится учитывать физические возможности экскурсантов);
- наглядность (объекты должны обладать ярко выраженными признаками, характерными для данного типа объектов);
- соответствие теме экскурсии, поставленным целям и задачам.

Исходя из критериев отбора, были определены экскурсионные объекты (рис.):

1. Участок мелиоративной канавы вблизи пересечения канавы 1 и дороги 2. В данной точке хороший обзор, поэтому удобно произвести привязку к местности. Кроме этого, наличие переезда через канаву 1 позволяет разместить экскурсантов на обоих берегах канавы, что необходимо для проведения полевого исследования. Под полевым исследо-

ванием мы подразумеваем промеры глубины мелиоративной канавы, построение профиля мелиоративной канавы и последующее вычисление площади сечения мелиоративной канавы и объема воды, сохраняемого бобрами в мелиоративных канавах.

2. Бобровая плотина на канаве 1 в 200 метрах к северу от переезда через канаву 1. Эта плотина является типичным примером подобных сооружений. Имеет хороший подход и обзор.

3. Переезд через канаву 2 на пересечении канавы 2 и дороги 2. Данний переезд бобры превратили в плотину, что хорошо иллюстрирует влияние бобров на объект хозяйственной деятельности человека.

4. Бобровая хатка на канаве 2 в 400 метрах к северу от переезда через канаву 2. Эта хатка является типичным примером подобных сооружений. Имеет хороший подход и обзор.

Был разработан маршрут длиною 3800 м, который начинается и заканчивается в МБОУ Горкинской СШ, примерное время в пути 120 мин. При разработке данной экскурсии мы нашли целесообразным использование следующих методических приемов:

- беседа (инструктаж по ТБ);
- показ сооружений, возводимых бобрами;
- рассказ о жизнедеятельности бобров;
- исследование (измерение глубин мелиоративной канавы);
- работа с наглядными пособиями (картой района);
- вычисления и расчеты (построение профиля мелиоративной канавы, вычисление площади сечения и объема воды, сохраняемой бобрами в мелиоративных канавах изучаемого района).

На основе маршрута, контрольного теста и выбранных методических приемов нами была составлена методическая разработка экскурсии. В дальнейшем мы готовы проводить данную экскурсию для всех, кто хочет поближе познакомиться с таким замечательным зверем, как бобр.

Литература

1. Бесплатная электронная биологическая библиотека ZOOMET.RU [Электронный ресурс]. Сайт. URL: <http://zoomet.ru>
2. Все о туризме. Туристическая библиотека [Электронный ресурс]. Сайт. URL: <http://tourlib.net>

Оценка общего физиологического состояния экзотического вида красноухой черепахи (*Trachemys scripta elegans*) математическим способом

Кулиева Танзиля Далхатовна

8 класс, Лицей № 2, г.о. Нальчик

Научный руководитель А. Б. Моллаева,
педагог дополнительного образования ГКУ

ДО «Эколого-биологический центр»
министерства образования, науки и по делам молодежи КБР



Проведен мониторинг численности и биометрия красноухих черепах в озерах антропогенного происхождения в окрестностях городского округа Нальчик. Для оценки общего состояния красноухих черепах на практике традиционные методы исследований наиболее затруднены из-за особенностей физиологии и наличия панциря. Апробирован метод наименьших квадратов и выведена «кривая Джексона» для красноухих черепах.

Красноухая черепаха (*Trachemys scripta elegans*) не только проявляет выраженную тенденцию к экспансии в регионе ее природного ареала в Северной Америке, в последние десятилетия она проникает в фауну новых стран на всех континентах [2, 3]. Учитывая, что в небольшом биотопе даже небольшое количество красноухих черепах может нанести серьезный урон редким, малочисленным или образующим сезонные скопления организмам, актуально изучение экологической опасности красноухих черепах как инвазивного вида экосистемы Кабардино-Балкарской республики.

Цель исследования – мониторинг красноухих черепах в окрестностях г. Нальчика. Задачи: оценить выживаемость экзотического вида красноухих черепах в условиях умеренно-континентального климата республики и предложить математические способы мониторинга состояния красноухих черепах. Выявить причину гибели болотных и красноухих черепах в сезон осень – зима 2016-2017 года.

Предмет исследования – красноухие и кавказские болотные черепахи. Объект – озера антропогенного происхождения: Майские карьерные озера, озеро «Трек», пруд на территории ЭБЦ. Методы исследования: 1) полевые наблюдения – мониторинг численности и биометрия, 2) «метод наименьших квадратов» (программа Excel).

Результаты. Предметом детального исследования является сообщество черепах *Emys orbicularis* и *Trachemys scripta*, обитающих

на территории ЭБЦ, в пруду искусственного происхождения. Оценка численности сообщества красноухих и болотных черепах на территории ЭБЦ проводилась в течение двух лет. На третий год мониторинга численность болотных черепах сократилась по причине гибели осенью 2017 года. Исследования конкурентных взаимоотношений *T. scripta elegans* и аборигенной европейской болотной черепахи, *E. orbicularis* доказали, что чужеродный вид вытесняет аборигенов, кроме этого возникает жесткая конкуренция за пищу как внутри вида *T. scripta elegans*, так и между красноухой и болотной черепахами [4]. Зимой 2017 года большая часть красноухих черепах в пруду ЭБЦ погибла. При осмотре погибших видимых повреждений не было обнаружено. По словам местных жителей количество красноухих черепах в озере «Трек» сократилось по сравнению с предыдущими годами. Причиной гибели, возможно, оказался температурный режим с резкими перепадами температуры (таблица).

Таблица. Максимальные, минимальные, средние месячные температуры в зимний период 2017 году

| Месяц | Ср. Т _{день} | Max T _{день} | Min T _{день} | Δ _{Тдень} | Max Δ _{ночь} | Min T _{ночь} | Δ _{Тночь} | Ср. T _{ночь} |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| декабрь | -1 ⁰ C | +8 ⁰ C | -8 ⁰ C | 16 | 0 ⁰ C | -18 ⁰ C | 18 | -9 ⁰ C |
| январь | +2 ⁰ C | +12 ⁰ C | -11 ⁰ C | 23 | -2 ⁰ C | -21 ⁰ C | 19 | -8 ⁰ C |
| февраль | +2 ⁰ C | +14 ⁰ C | -8 ⁰ C | 22 | +3 ⁰ C | -20 ⁰ C | 23 | -7 ⁰ C |

В литературных источниках утверждается, что при температуре ниже 10⁰C красноухие черепахи впадают в спячку, зарываясь в донный ил [1, 5]. Но наши исследования по определению критических границ активности красноухих черепах показали, что глубокой осенью и зимой при дневной температуре Т_{день} выше +8⁰C [4] данный вид выходит на баскинг.

Таким образом, болотные черепахи погибли в конце осени из-за нехватки пищевых ресурсов. Выжившие болотные черепахи пережили зиму, так как в отличие от красноухих черепах они не всплывали на баскинг.

Массовая гибель красноухих черепах связана с резким перепадом температур при всплывании на баскинг, из-за чего черепахи не успевали зарыться в ил.

Для оценки общего состояния черепах традиционные методы исследований затруднены из-за особенностей физиологии и наличия панциря. Несмотря на то, что для диагностики внутренних болезней

черепах применяются самые разные методы исследований, включая компьютерную томографию, УЗИ, метод магнитного резонанса, эндоскопию, ЭКГ, изотопный анализ и некоторые другие, мы предлагаем предварительный метод, который можно применять в рутинной практике. Для этого необходимо лишь определить массу тела и ее соответствие нормам. Для некоторых видов взрослых среднеазиатских черепах были предложены так называемые «кривые Джексона», показывающие нормальное соотношение массы черепахи и длины ее панциря $0,3 L^3$ [1]. На рисунке 1 представлена зависимость $[f(\text{длина панциря}) = \text{масса}]$, построенная по 14 точкам – биометрические параметры красноухих черепах, обитавших в пруду ЭБЦ летом 2016 года.

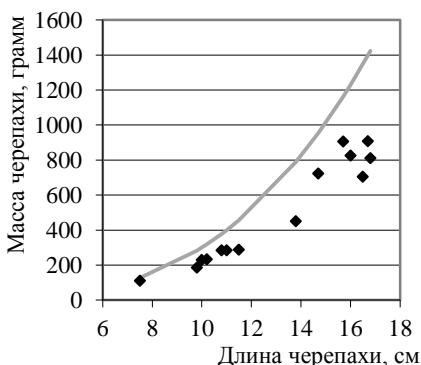


Рис. 1. Соотношение между длиной панциря и общей массой черепахи по формуле $M = 0,3 L^3$ [3]

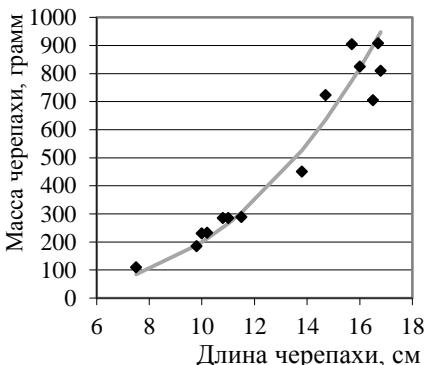


Рис. 2. Соотношение между длиной панциря и общей массой черепахи по формуле $M = 0,2 L^3$

Мы провели диагностику физиологического состояния черепах с применением метода наименьших квадратов и вывели «кривую Джексона» для красноухих черепах $M = 0,2 L^3$, где M – масса черепахи в граммах, L – длина панциря в сантиметрах (рис. 2).

Отметим, что только явные отклонения от нормального уровня могут иметь диагностическое значение.

Таким образом, проведенное исследование позволило скорректировать «кривую Джексона» для красноухих черепах, живущих на территории Кабардино-Балкарии, что позволит проводить регулярный мониторинг и следить за состоянием здоровья этих животных.

Литература

1. Васильев Д.М. Некоторые методы диагностики внутренних болезней черепах. – М.: Московский зоопарк, отдел герпетологии [Электронный

- ресурс]. URL: http://www.redov.ru/domashnie_zhivotnye/cherepahi/p12.php (дата обращения 20.01.2018)
2. Ильюх М.П. Красноухая черепаха, *Trachemys scripta* – новый вид герпетофауны Ставропольского края // Биологические науки. «Наука. Инновации. Технологии» № 3, 2014. С. 122 – 126.
 3. Семенов Д.В. Красноухая черепаха, *Trachemys scripta elegans*, как инвазивная угроза (Reptilia, Testudines). – М.: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://cherepahi.info/pub/nauchnye/159-krasnoukhaya-cherepakha-kak-invazivnaya-ugroza> (дата обращения 20.01.2018)
 4. Тлиашинова С.О., Кулиева Т.Д. К вопросу адаптации тропического вида красноухих черепах в условиях Северного Кавказа // «Актуальные проблемы медицины глазами студентов-медиков» Материалы 47-ой студенческой научной конференции КБГУ. – Нальчик, 2016. С. 112 – 116.
 5. Болезни черепах и их профилактика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vetpomosh.ru> (дата обращения 20.01.2018)

Исследование влияния режима освещенности на характеристики процесса роста

Юдина Александра Евгеньевна
9 класс, Гимназия № 2, г. Саров

Научный руководитель Т.Р. Комоско, учитель биологии МБОУ Гимназия № 2 г. Саров



При выращивании растений в закрытых помещениях требует решения проблема энергосбережения. Исследовано влияние разных режимов освещенности светодиодным световым потоком в 375 лм на характеристики процесса роста зерновых культур. В процессе измерения роста длины побегов зерновой культуры овса получено оптимальное значение времени освещения и его периода для данной культуры.

Все большую популярность набирает интерес к выращиванию растений в закрытых помещениях. Это актуально при нехватке пахотных земель, а также для северных районов с холодным климатом и недостаточным освещением. Искусственное освещение, применяемое для выращивания растений, является предметом интересов биологии и прикладной электротехники.

Светокультурой растений называется дисциплина, изучающая теоретические основы и методы выращивания растений с помощью искусственного облучения [3]. Применяется этот метод не только для тепличных растений, но и для выращивания саженцев для будущей весенней посадки в грунт, а также в научных целях и для экспериментов, в том числе в условиях космоса.

Для выращивания растений в закрытых помещениях необходимо искусственное освещение в качестве основного, либо для досвечивания. Для решения проблемы энергосбережения надо добиться оптимального режима освещения светокультуры.

Цель работы – определить зависимость характеристик роста зерновых культур от режима искусственного освещения.

Изучение и анализ литературы [2, 5] раскрыли актуальность проблемы, историю вопроса выращивания растений при искусственном освещении, позволили выбрать культуру и способ освещения для лабораторной установки светодиодными лампами. Светодиоды решают вопрос генерации света большой яркости с малым потреблением энергии, что позволит существенно уменьшить энергопотреб-

ление. Таким образом, использование светодиодов станет одной из инновационных ресурсосберегающих технологий в растениеводстве. Внедрение данной технологии актуально как в регионах с малым количеством солнечных дней, так и регионах с повышенным солнечным радиационным фоном [4].

Мы исследовали влияние режима освещенности на характеристики процесса роста овса. Овес – зерновая культура, относящаяся к растениям длинного светового дня (12 – 16 часов). При выращивании культуры в помещениях с искусственным освещением не всегда целесообразно использовать непрерывное, продолжительное освещение. Большая мощность электроэнергии стоит дорого, а продолжительность льготного ночного периода составляет менее 12 часов. Периодический режим искусственного освещения реализуется в промышленных теплицах или научных лабораториях, поэтому определение оптимального режима освещения плантации является важной задачей.

Была сконструирована и изготовлена лабораторная установка, состоящая из трех замкнутых, светонепроницаемых объемов равных размеров (рис.1).

Каждый объем имеет независимое освещение светодиодной лампой, включенной в сеть питания через программируемый таймер. Режим освещения задается двумя величинами: продолжительностью и паузой освещения. Суммарная освещенность за сутки для всех плантаций одинаковая и составляет 12 часов. Световой поток для каждой плантации составил 375 лм. Для режима освещения 2, 3, 6, 12 часов продолжительность освещения равна длительности паузы освещения. Для режима освещения 4, 5 и 9 часов, где не удается уравнять продолжительность и паузу освещения, используется период досвечивания.

Измерения характеристик ростков овса производились один раз в сутки в определенное время. Для увеличения точности измерений осуществлялся обмер 10 побегов с последующим усреднением результатов [1].

$$L_{\text{побега}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} L_i.$$

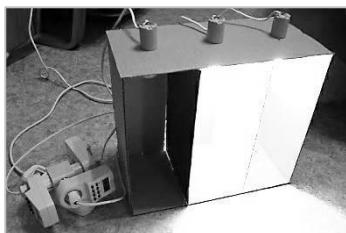


Рис. 1. Вид элементов лабораторной установки

Для повышения достоверности результатов в каждом эксперименте присутствовала контрольная плантация для сравнения результатов эксперимента и исключения зависимости результатов от внешних факторов. Эксперименты проводились с режимами освещения: первый эксперимент – 12 ч, 9 ч, 6 ч, второй эксперимент – 12 ч, 4,5 ч, 3 ч, третий эксперимент – 12 ч, 3 ч, 2 ч. В каждом из них присутствовала плантация с режимом освещения 12 ч, которая являлась контрольной. Во всех экспериментах разница в длине побегов контрольной плантации (12 ч) составила не более 3 мм. Поэтому можно предположить, что все эксперименты выполнены в идентичных условиях.

По результатам исследования режим освещения 6 часов с паузой 6 часов является оптимальным. При этом режиме зависимость имеет ярко выраженный максимум. Преимущество в росте плантации с таким режимом освещения наблюдается во все дни наблюдений.

Анализ зависимости средней длины побегов от режима освещенности (рис. 2б) показывает, что на первый и второй день наблюдения длины побегов на различных плантациях практически одинаковы. Однако на третий и четвертый день наблюдения выявляется определенный тренд – при малых паузах освещения и коротких временах освещения наблюдается увеличение средней длины побегов. Можно сказать, что при коротких паузах освещенности плантаций процессы роста испытывают меньшее замедление, чем при длительных паузах в освещении растений. При длительных паузах освещенности, по-видимому, требуются большие ресурсы на клеточном уровне для возобновления и ускорения роста растений.

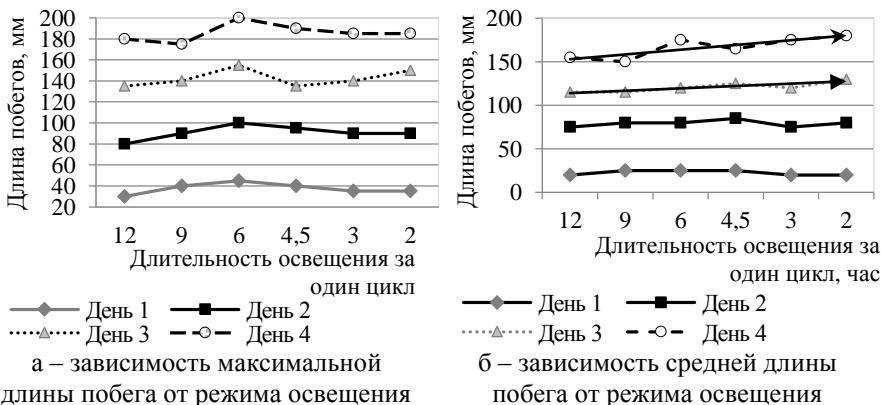


Рис. 2. Зависимость средней длины побегов от режима освещенности

Возможно, проявляется способность растений адаптироваться к изменяющимся условиям. Свет влияет на рост растений двумя путями. Во-первых, свет необходим для фотосинтеза, в ходе которого создаются органические вещества, впоследствии идущие на различные жизненные процессы и в том числе на рост. Во-вторых, продолжительность и спектральный состав света влияют на рост не только опосредованно (через фотосинтез), но и напрямую. Для этого у растений имеется специальные окрашенные белки, воспринимающие свет, наибольшее значение из которых имеет фитохром. Он способен поглощать лучи красного и дальнего красного света. С помощью фитохрома растение воспринимает длину дня и в соответствии с этим регулирует физиологические процессы.

Выводы

1. Для данной зерновой культуры существует оптимальное значение времени освещения и его периода при заданном уровне светового потока. Для получения побегов овса с максимальной длиной оптимальное время светового дня составляет – 6+6 часов, с паузой в 6 часов. Для получения максимальной средней длины побегов оптимальным будет режим с наименьшей паузой освещения и коротким временем освещения, например, время освещенности 2 часа с паузой 2 часа.

2. Можно максимизировать урожай, подобрав длительность искусственного освещения и его паузы. Результаты эксперимента позволяют определить оптимальный режим освещения при выращивании зерновых культур в закрытых помещениях, минимизировать затраты энергии на освещение и прогнозировать урожай.

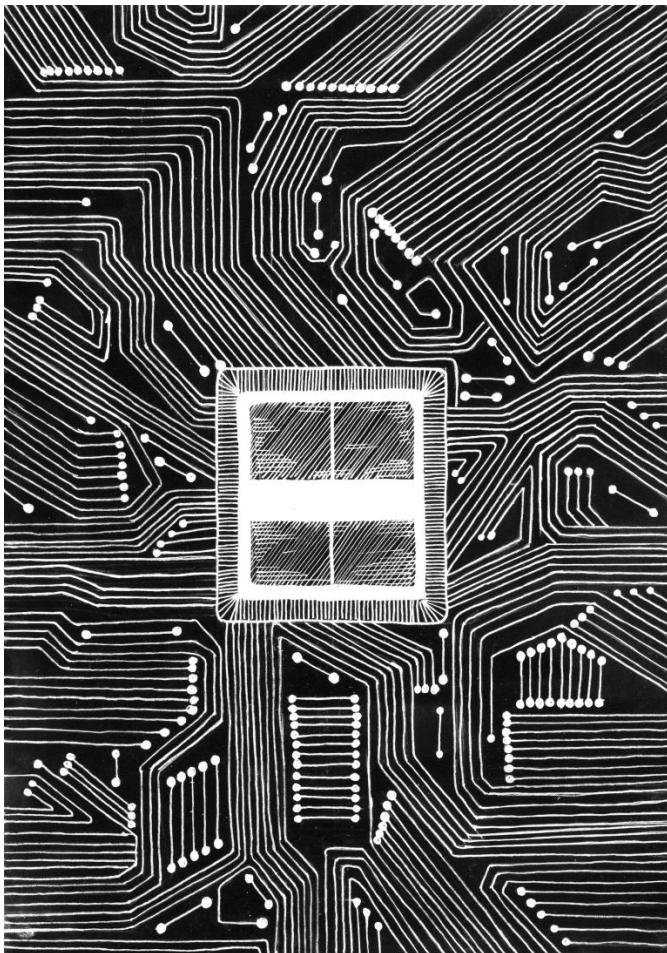
Перспективными направлениями исследования является изучение влияния режима освещенности на всхожесть семян зерновых культур, а также изучение влияния режима освещенности на рост овощных культур. Использование результатов изучения влияния режима освещенности на рост культурных растений открывает путь к независимому или малозависимому от окружающей среды и экономически выгодному выращиванию продуктов питания.

Литература

1. Астайкин А.И., Помазков А.П., Щербак Ю.П. Метрология и радиоизмерения: учебное пособие. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010. – 405 с.
2. Клеинин А.Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений. – М.: Изд. Академии наук СССР, 1954. – 456 с.
3. Леман В.М. Курс светокультуры растений. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1976. – 271 с.

4. Тараканов И.Г. Инновационные технологии в области светокультуры растений [Электронный ресурс]. URL:
<http://agrovuz.ru/prepodavateljam/nauka/item/1026-innovacionnye-tehnologii-v-oblasti-svetokulqtury-rastenij>
5. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2000. – 213 с.

Прикладная информатика и математика



Разработка программы для расчета электродинамических параметров резонаторов

Зубкова Александра Ильинична
11 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.А. Мухин,
преподаватель информатики
ГБПОУ Нижегородский Губернский колледж



В результате исследования была изучена проблема распространения электромагнитных волн и разработаны модели программы для расчета электродинамических параметров резонаторов. Модели можно будет использовать в качестве средства для исследования физических параметров волн.

Механизм распространения электромагнитной волны в пространстве зависит от параметров резонатора. Зная эту зависимость, можно подобрать такой профиль резонатора, при котором электродинамическая система будет обладать необходимыми параметрами (добротность, коэффициент пропускания волн) для испускания волн с требуемыми характеристиками (расходимость в пространстве, интенсивность).

Данная задача актуальна, к примеру, для определения параметров гиротрона.

Однако проблема заключается в том, что теоретическая оценка параметров резонатора недостаточно точна, а проведение экспериментов с использованием моделей электродинамических систем требует больших затрат времени и денежных средств. Наиболее эффективным является численное моделирование распространения волны в резонаторе по относительно простым численным моделям.

Цель работы – разработать компьютерную программу для расчета электродинамических параметров резонаторов. Задачи: изучить уравнение распространения электромагнитных волн; модифицировать программу для построения колебаний неоднородной струны с учетом реального профиля резонатора; дополнить программу возможностью определения параметров электродинамической системы; сопоставить результат, выдаваемый программой, с результатами из теоретических источников.

Механизм распространения электромагнитной волны можно описать следующим уравнением:

$$\frac{d^2f}{dz^2} + h^2 f = 0, \quad (1)$$

где $h^2 = k^2 - x^2 \left(1 + \frac{i}{Q_{om}}\right)$; $Q_{om} = const$, $x = \frac{\nu_s}{R(z)}$, $k^2 = \frac{w^2}{c^2}$, ν_s – корень функции Бесселя.

Согласно [3] при оптимальных параметрах резонатора график зависимости амплитуды электромагнитной волны внутри резонатора будет иметь вид, показанный на рисунке 1. Отсюда следует, что результаты, выдаваемые компьютерной программой, должны быть согласованы с данной зависимостью.

В качестве основы для разработки программы, моделирующей распространение электромагнитных волн в резонаторе гиротрона, была выбрана программа для моделирования колебаний неоднородной струны.

На первом этапе данную программу необходимо было модифицировать с учетом возможности определения границы резонатора. Для решения этой проблемы была написана специальная функция загрузки профиля резонатора в рабочую область программы. Входной информацией для данной функции является массив точек, задающей нерегулярность волновода, а на выходе – профиль в виде неразрывной линии. Результат построения профиля в компьютерной программе представлен на рисунке 2.

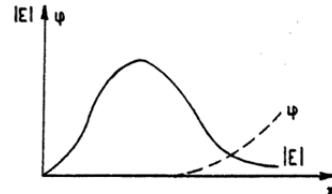


Рис. 5. Вид графика зависимости амплитуды электромагнитной волны от координаты при оптимальных параметрах резонатора

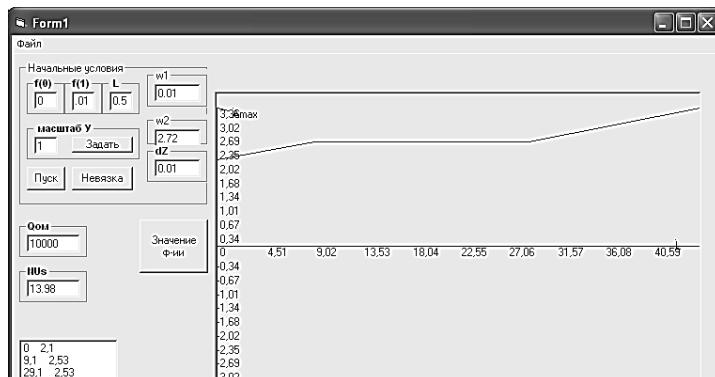


Рис. 6. Построение профиля резонатора в компьютерной программе

Данная функция обладает следующими возможностями:

- считывание массива точек из файла. Исходная информация о профиле загружается из внешнего файла в текстовом формате;
- автоматическое определение количества точек. Программа автоматически разбивает записи в текстовом файле и записывает их как координаты точек. Формат разделителя координат не играет роли;
- автоматическая подстройка масштаба рабочей области. Рабочая область программы автоматически подстраивается под размеры волновода.

В уравнении колебаний (1) содержатся параметры, изменяющиеся в зависимости от геометрии волновода. А так как исходная информация о его геометрии представлена в виде массива точек, необходимо снабдить программу возможностью определения промежуточных значений границы волновода. Данная функция также была реализована в программе, ее работу можно увидеть на рисунке 3.

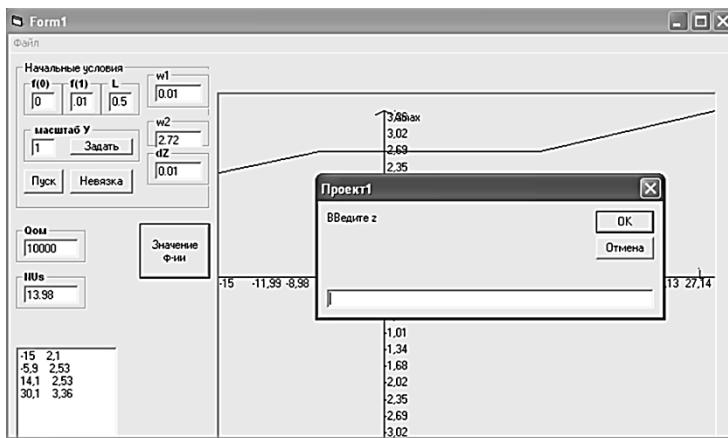


Рис. 7. Ввод координаты Z для нахождения значения R(z)

Для того чтобы построить распределение энергии внутри профиля резонатора необходимо решить уравнение (1). Однако, его решение и моделирование осложняется тем, что h – комплексная величина, поэтому решение функции f – тоже комплексное. В связи с этим было принято решение отдельно вычислить действительную (h_1, f_1) и мнимую (h_2, f_2) части этих величин и построить график их модуля.

$$\frac{d^2f}{dz^2} + h^2 f = 0,$$

$$\begin{aligned}
h^2 &= k^2 - x^2 \left(1 + \frac{i}{Q_{om}} \right), \\
x &= \frac{\nu_s}{R(z)}, \\
w &= w_1 + iw_2 \\
k^2 &= \frac{w^2}{c^2} = \frac{(w_1 + iw_2)^2}{c^2} = \frac{w_1^2 - w_2^2}{c^2} + \frac{2iw_1w_2}{c^2}, \\
k_1 &= \frac{w_1^2 - w_2^2}{c^2}, k_2 = \frac{2iw_1w_2}{c^2}, \\
h^2 &= \left(\frac{w_1^2}{c^2} - \frac{w_2^2}{c^2} - x^2 \right) + \left(-\frac{x^2}{Q_{om}} + \frac{2iw_1w_2}{c^2} \right), \\
h_1 &= (x^2(1 + \alpha f) - \alpha \frac{2x^2}{Q_{om}} - x^2, \\
h_2 &= -\frac{x^2}{Q_{om}} + \alpha \frac{x^2}{Q_{om}} = \frac{x^2}{Q_{om}}(-1 + \alpha).
\end{aligned}$$

Также необходимо учитывать граничные условия:

$$\begin{aligned}
\frac{df}{dz} &= ihf \Big|_{z=0}, \\
\frac{df}{dz} &= -ihf \Big|_{z=z_k}.
\end{aligned}$$

Функция f была найдена методом численного интегрирования:

$$\begin{aligned}
f_1(n+2) &= 2f_1(n+1) - f_1 - dz^2 h_1 f_1(n+1) + dz^2 h_2 f_2(n+1), \\
f_2(n+2) &= 2f_2(n+1) - f_2 - dz^2 h_2 f_1(n+1) + dz^2 h_1 f_2(n+1), \\
|f| &= (f_1(n+2)^2 + f_2(n+2)^2)^{1/2}.
\end{aligned}$$

Однако результаты, выдаваемые программой, были далеки от теоретических, представленных на рисунке 2. КПД гиротрона с таким резонатором не будет высоким. Поэтому на следующем шаге была реализована возможность динамического изменения параметров резонатора. Изменению подлежат следующие параметры:

- влияющие на электродинамические характеристики резонатора: частота колебания электромагнитной волны, омическая добродотность, корень функции Бесселя;
- влияющие на геометрические характеристики резонатора: форма резонатора, масштаб модели, шаг нахождения значения функции.

Регулируя параметры, стало возможным построить распределение близкое к теоретическому распределению (рис. 1). График, выдаваемый компьютерной программой, представлен на рисунке 4.

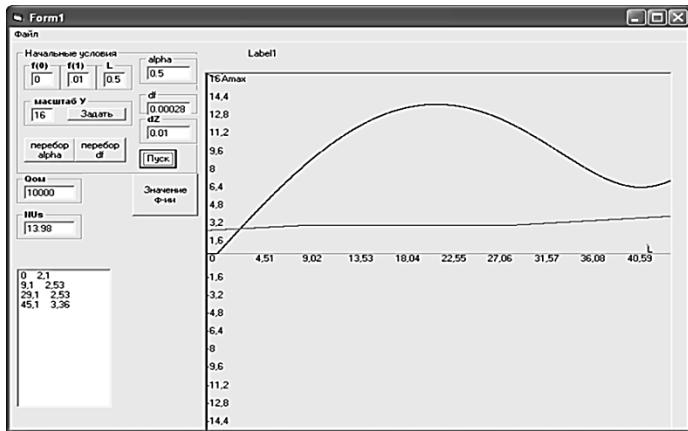


Рис. 8. График амплитуды электромагнитной волны с учетом подбора параметров резонатора

В результате исследования была изучена проблема распространения электромагнитных волн в гиротроне с учетом электродинамических параметров резонатора. Разработана компьютерная программа, имеющая следующий функционал:

- ввод границы резонатора, хранящейся в виде массива точек в текстовом файле;
- автоподстройка масштаба рабочей области с возможностью его ручного изменения для просмотра графика функции;
- вычисление промежуточных значений функции границы резонатора;
- построение графика распределения энергии;
- возможность изменения электродинамических параметров резонатора в ходе работы программы.

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. Гиротрон. Сборник научных трудов. Горький, 1981. Гиротроны. Сборник научных трудов / А.В. Гапонов-Грехов. – Горький: ИПФ АН СССР, 1981. – 256 с.

Исследование вклада антропогенных и природных факторов в эволюцию климата

Журавлев Кирилл Сергеевич

11 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Д.Н. Мухин, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией ИПФ, кандидат физико-математических наук



Исследовано влияние солнечной активности и антропогенных выбросов CO₂ на эволюцию земного климата на основе данных климатического мониторинга. Написан скрипт, позволяющий быстро обрабатывать большие массивы данных и графически отображать результаты в виде графиков и карт пространственного распределения. Оценен антропогенный вклад в эволюцию климата за последние 60 лет, связанный с эмиссией диоксида углерода. Он составил 17.959%. Вклад изменения солнечной активности колеблется от 1 до 2% в зависимости от времени года. Основная доля отклика климата на солнечную активность связана с ее периодической составляющей. Около 80% климатических изменений обусловлены, судя по всему, собственными колебаниями системы, вулканическим форсингом, а также нелинейным откликом на внешние воздействия.

Климат Земли – сложная динамическая система, подверженная различным внешним воздействиям антропогенного и природного характера. Хотя доминирующая роль антропогенной эмиссии углекислого газа в наблюдаемом с середины XX века глобальном потеплении и не вызывает сомнений, роль таких природных факторов, как изменчивость солнечной активности, вулканализм, собственные колебания в климатической системе, является в настоящее время предметом активных исследований и дискуссий.

Цель работы – анализ линейного отклика климата на различные факторы (эмиссия CO₂ и солнечная активность) по данным климатического мониторинга за последние шестьдесят лет. Оценивается вклад указанных факторов в климатическую изменчивость и исследуется пространственная структура отклика системы на каждый фактор. Производится оценка доли наблюдаемой изменчивости климата.

Используемые данные климатического мониторинга

Климат – многолетний режим погоды, свойственный конкретной местности. Под многолетним режимом принято понимать совокупность всех условий погоды за период в несколько десятков лет.

Промежуток в последние шестьдесят лет выбран в связи с существенно возросшей (по сравнению с предыдущими эпохами) ролью антропогенной эмиссии CO₂.

В качестве временного ряда, характеризующего данную эмиссию, использовали измерения CO₂ в атмосфере, ведущиеся на Гавайях с 1958 года [2]. Используемый сигнал солнечной активности – временной ряд количества солнечных пятен, характеризующий изменчивость радиации, излучаемой Солнцем [3]. В качестве данных, характеризующих климатическую изменчивость, были использованы данные по аномалиям температуры поверхности мирового океана (SSTA – Sea Surface Temperature Anomalies) [1], так как он обладает гораздо большей теплоемкостью, чем атмосфера или земная поверхность, поэтому все изменения происходят очень медленно. Океан более стабилен, чем атмосфера, дает большую точность при расчетах, так как за счет своей медленной реакции усредняет происходящие изменения.

Данные представляют собой трехмерный массив разностей температуры поверхности океана и усредненного годового хода, определенный на сетке времени t с шагом один месяц и на координатной географической сетке с шагом в 2° как по широте, так и по долготе. Данные аномалии изменения концентрации CO₂ в атмосфере и изменений активности Солнца представлены в виде двух одномерных массивов со значениями, усредненными по всему земному шару для каждого месяца за последние шестьдесят лет, заполненных так же разностью текущего значения и усредненного годового хода. Под усредненным годовым ходом подразумевается усредненное по времени значение. Файлы данных были взяты из открытых публикаций различных обсерваторий.

Исследование отклика климата на вулканическую активность выходит за рамки статьи, поскольку требует объемного анализа данных, связанных с большим количеством извержений за рассматриваемый период времени. Однако заметный вклад дают только большие извержения, такие как извержение вулкана Пинатубо в 1991 году, которое привело к аномалии температуры в 0.5°C (4), продолжающейся несколько лет.

Математическая модель линейных откликов

В рамках линейной модели аномалия каждого исследуемого фактора дает температурную аномалию пропорционально определенному для этого узла коэффициента:

$$T_{(t,i,j)} = \alpha_{(i,j)} A_{(t)} + \beta_{(i,j)} S_{(t)} + Z_{(t,i,j)},$$

где i – широта, j – долгота, t – время (номер месяца), $T_{(t,i,j)}$ – данные SSTA, $A_{(t)}$ – концентрация CO₂ в атмосфере, $S_{(t)}$ – солнечная актив-

ность, $Z_{(t,i,j)}$ – остаток (сумма факторов, описывающих нелинейный отклик климатической системы и неучтенные форсинги), $\alpha_{(i,j)}, \beta_{(i,j)}$ – коэффициенты для трех основных факторов (концентрация CO₂, солнечная активность).

$T_{(t,x,y)} = \alpha A_{(t)} + Z'_{(t)}$, $T_{(t,x,y)} - \alpha_{(x,y)} A_{(t)} = Z'_{(t)}$ – из этого уравнения можем найти коэффициент альфа. α равна такому значению, при котором слагаемое $Z'_{(t)}$ окажется наименьшим. $Z'_{(t)}$ – сумма вклада всех факторов, кроме антропогенного воздействия.

Коэффициенты линейной регрессии определяются по формуле:
 $k_{(i,j)} = \frac{\langle Y * X \rangle_t}{\langle Y^2 \rangle_t}$ – коэффициент, характеризующий влияние данного фактора на температуру в данной точке с координатами (x, y), где $\langle Y * X \rangle_t$ – ковариация фактора, а $\langle Y^2 \rangle_t$ – вариация фактора.

$\varepsilon = \left(1 - \frac{\frac{1}{tij} \sum_0^{tij} (Z_{(t,i,j)})^2 \cos i}{\frac{1}{tij} \sum_0^{tij} X_{(t,i,j)}^2 \cos i} \right) * 100\%$ – вклад фактора в изменение температуры климата, выраженный в процентах. Здесь $\cos i$ – поправка на широту, компенсирующая различия площадей секторов, возникающие из-за формы планеты.

Компьютерный эксперимент и анализ данных

В работе использовался Python 2.7.13. и его библиотеки. Для упрощения работы формулы математической статистики были записаны в виде вызываемых функций.

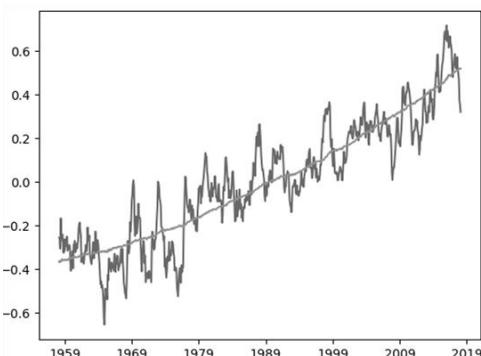


Рис. 1. Вклад CO₂ в изменение SSTA за последние 60 лет (график колебаний температуры, линией изображена регрессия средней температуры на CO₂ (изменение концентрации CO₂*α))

Расчет вклада эмиссии CO₂. На рисунке 1 график, характеризующий усредненный вклад эмиссии CO₂ за временной промежуток с 1958 года. Количественный вклад CO₂ в изменение температуры в процентах составил 17.959%. Температура колеблется около регрессии на CO₂, с увеличением концентрации растет температура водной поверхности. То есть концентрация CO₂ в значительной степени определяет температуру.

Функция для CO₂ возрастает, постоянно увеличивая скорость роста.

Области теплых тонов – места, в которых на повышение температуры важное влияние оказывает эмиссия CO₂. Однако Южный океан за-крашен бледно-красным, голубым или синим цветом (рис. 2в), что должно свидетельствовать об обратной зависимости в этом регионе: чем выше эмиссия CO₂, тем ниже температура. Это сильно отличается от зависимостей в других точках Земли. Объяснить это можно суммарным воздействием постоянно действующего приполярного атмосферного вихря, определяющего течение вокруг Антарктиды и кориолисовых сил, действующих на воду, которые обеспечивают в результате подъем воды из глубины океана (апвелинг). Ветра направляют поверхностные воды вокруг материка (в циклоническом направлении), а силы, возникающие из-за вращения Земли, заставляют верхние слои океана расходиться в стороны от Южного полюса (перенос Экмана). Вместо ушедших прогретых слоев на поверхность поднимаются глубинные, имеющие более низкую температуру, охлаждая поверхность. Возможно, отрицательная связь CO₂ и поверхностной температуры обусловле-

на усилением циркуляции атмосферы вокруг Антарктиды из-за глобального потепления, что приводит к увеличению интенсивности процесса апвелинга. Возможно, что температура в этих областях полностью определяется температурой глубинных вод, которая не связана с про-

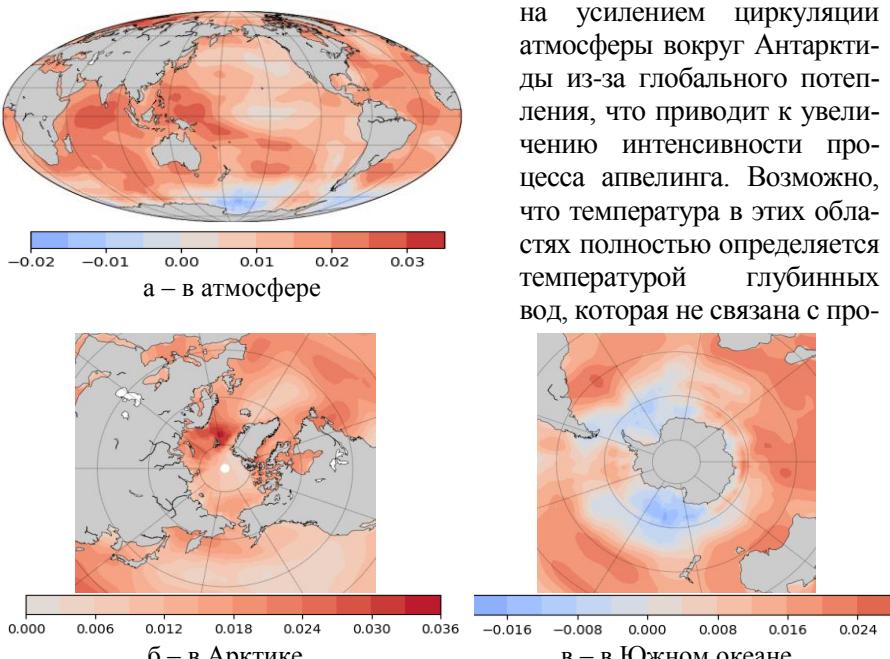


Рис. 2. Графическое изображение коэффициентов связи наблюдаемых рядов температуры с изменением CO₂

цессами в текущем климате, и детектированная нами отрицательная связь с ростом CO₂ является случайной. Чтобы ответить на вопрос о возможной связи эффекта охлаждения приполярных областей с глобальным потеплением, требуется более детальный анализ данных, выходящий за рамки анализа одного лишь поля SSTА, и привлечение дополнительных сведений из теорий динамики атмосферы и океана.

Доля CO₂ в изменении температуры в разных точках земного шара показана, начиная с 1958 года (рис. 3). В «слабо нагревающейся» области тропического пояса Тихого океана наблюдается светлое пятно, что объясняется взаимодействием атмосферы и океана. Пассат, дующий с востока на запад в тропиках, приводит к береговому апвеллингу у побережья Южной Америки и к экваториальному, из-за сил Кориолиса, направляющим поверхностные воды в стороны от экватора. Поэтому температура в восточной и центральной частях тихоокеанского бассейна определяется холодными подповерхностными водами, и наблюдается более слабое потепление в регионе.

В арктических льдах высокая интенсивность цвета объясняется процессом, обратным Южному океану. Сюда приносятся ветром и подводными течениями теплые воды, что провоцирует таяние льдов в районе Гренландии, уменьшает земное альbedo и запускает процесс нагрева с положительной обратной связью. Таяние вечной мерзлоты приводит к высвобождению метана в океан, что провоцирует размножение метанотрофных бактерий, питающихся этим газом, и может привести к уменьшению кислорода в океане

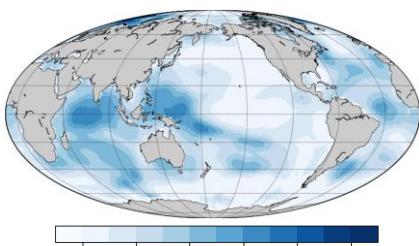


Рис. 3. Пространственное распределение линейного вклада эмиссии CO₂ в SSTА за последние 60 лет

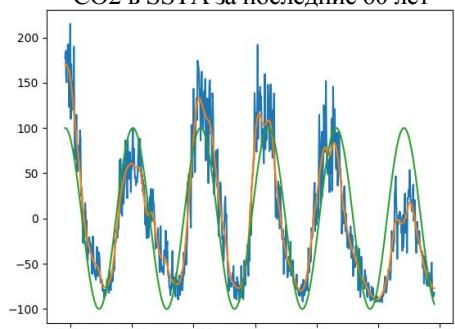


Рис. 4. График линейного отклика температуры поверхности на изменения солнечной активности за 60 лет. Синий – солнечная активность, выраженная через количество солнечных пятен. Оранжевый – сглаженный ряд солнечной активности. Зеленый – периодическая составляющая сглаженного ряда с периодом 11 лет

и гибели флоры и фауны. Сам метан – парниковый газ, он незначительно, но усиливает глобальное потепление. Концентрации CO₂ в атмосфере складываются из антропогенного и естественного фона, который по своим законам меняется даже в отсутствии деятельности человека. Слабые естественные отклонения CO₂ компенсируются за счет его потока в/из океана, фотосинтеза и т.д. Существует естественный тренд – медленные изменения на вековых масштабах. Но почти весь наблюдаемый рост CO₂ происходит из-за деятельности человека.

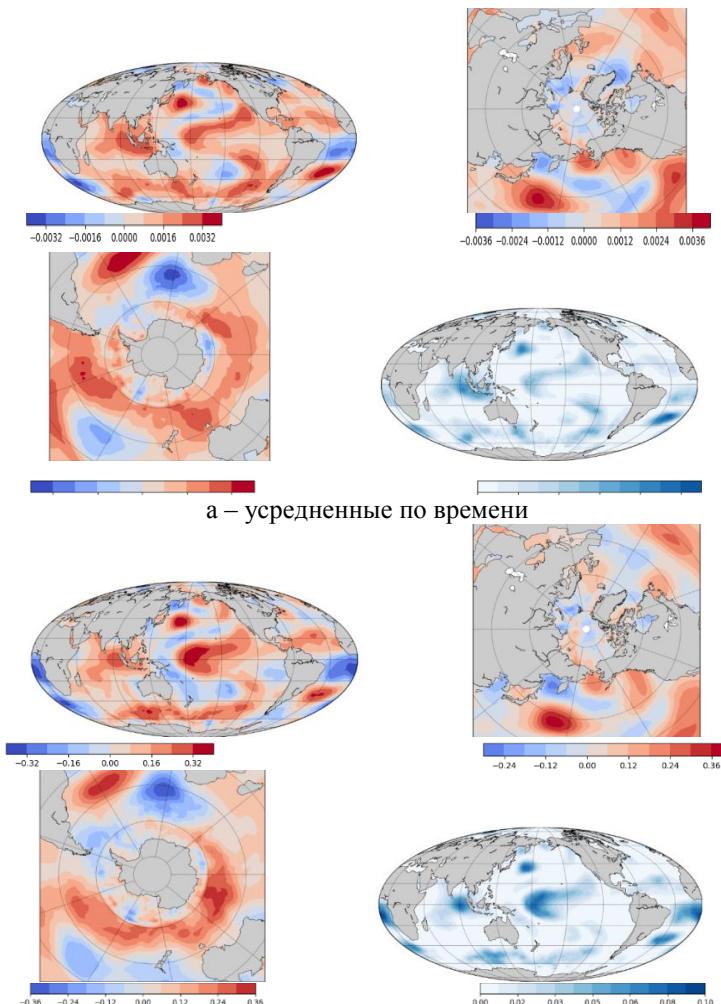
Расчет вклада активности Солнца. Был выведен график, характеризующий усредненный по земному шару вклад Солнца в изменение температуры с 1958 года (рис. 4). Рассчитанный вклад амплитудных колебаний составил 0.09 %., что на два порядка отличается от вклада колебаний периодических. Таким образом, климатическая система планеты Земля дает наибольший отклик на периодические колебания, а откликом на амплитудные колебания можно пренебречь. Это свидетельствует о наличии собственного масштаба в климатической системе, близкого к десяти годам, определяющего наблюдаемый отклик.

Вывод подтверждается графическим отображением коэффициентов связи наблюдаемых рядов температуры с изменением солнечной активности для каждой координаты (рис. 5). На рисунке 5б цвета более насыщенные, в отдельных регионах вклад солнечной активности достигает 1% против 0.8% с учетом амплитудных колебаний. Следовательно, отклик на периодические колебания больше. Проанализировали отклик климата в зависимости от времени года (рис. 6). На рисунке 6б цвета более насыщенные, следовательно, отклик на колебания летом больше.

Таким образом, климат Земли дает отклик преимущественно только на периодические колебания солнечной активности, так как отклик на амплитудные колебания пренебрежимо мал. Пространственная структура вклада солнца в SSTA довольно сложна и обусловлена различными механизмами изменения температуры стрatosферы посредством озона, распространения атмосферных волн, изменения атмосферных ячеек, осадков. В настоящее время это является предметом дискуссий. Важно, что в основном откликается стратосфера и верхняя тропосфера, а поверхность – в гораздо меньшей степени. Основной вклад дает ультрафиолетовая часть спектра Солнца – именно она влияет на озоновый слой и имеет наибольшие относительные вариации.

В заключение наша программа выводит график, обобщающий результаты (рис. 7). График усредненных по земному шару изменений

SSTA колеблется строго около кривой суммарного линейного отклика климата на эмиссию CO₂ и изменений солнечной активности.



б – периодические колебания солнечной активности

Рис. 5. Коэффициенты и вклад изменений солнечной активности

Таким образом, около 80% вклада приходится на собственную динамику климата. Линейный вклад солнечной активности неоднороден. Он относительно высокий в тихоокеанских тропиках, и потенциально может запустить нелинейный механизм, приводящий, например,

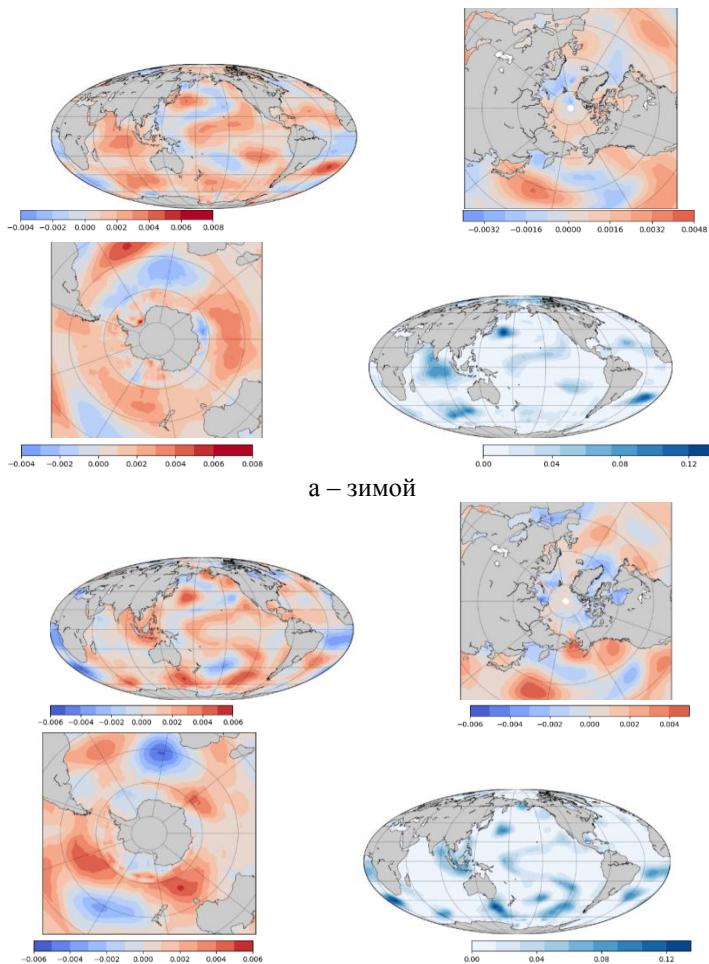


Рис. 6. Коэффициенты и вклад колебаний солнечной активности

к Эль-Ниньо (колебания температуры поверхностного слоя воды, уровня океана и атмосферной циркуляции в экваториальной части Тихого океана, имеющее заметное влияние на глобальный климат). Мы смогли определить только то, что наибольший отклик наблюдается на периодические колебания солнечной активности. Изменения температуры, описываемые амплитудными колебаниями, пренебрежимо малы. Линейный отклик климата на активность Солнца зависит от времени года. Зимой он составляет $\sim 1\%$, летом $\sim 2\%$.

Мы можем утверждать, что на данный момент антропогенный вклад в изменение температуры климата (17.959%) в разы меньше вклада естественных факторов (периодических колебаний солнечной активности и различных нелинейных процессов климата, составляющих около 82%). Но он характеризуется монотонным ростом глобальной температуры и за последние шестьдесят лет растет, причем со временем темпы роста увеличиваются.

Вывод

Написанная нами программа позволяет наглядно отображать и интерпретировать графически влияние исследуемых факторов на климат в различных точках Земли за исследуемый временной промежуток. Благодаря графическому отображению данных, мы смогли проиллюстрировать и исследовать отклик глобального климата планеты Земля на различные факторы, пронаблюдать и объяснить, как и почему колебания температуры реагируют на изменение условий и смещение равновесия климатической системы.

В дальнейшем необходимо подробнее рассмотреть линейный отклик климата на солнечную активность в различных областях планеты и найти способ точного описания вклада вулканизма в эволюцию климата, а также исследовать нелинейные процессы, связанные с климатом.

Литература

1. NOAA NCDC ERSST version4 anom: Extended reconstructed SST anomalies data [Электронный ресурс]. Сайт: Библиотека данных NOAA NCDC ERSST URL:
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version4/.anom/>
2. USE OF NOAA ESRL DATA [Электронный ресурс]. URL:
ftp://afpt.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_mm_mlo.txt
3. Sunspot Number [Электронный ресурс]. Сайт: SILS. URL:
<http://www.sidc.be/silso/datafiles#total>

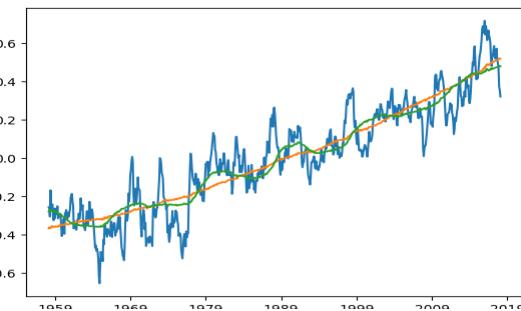


Рис. 7. Итоговый график

Синий – усредненные по Земному шару аномалии температуры, оранжевый – регрессия на CO₂, зеленый – суммарный линейный вклад солнечной активности и концентрации CO₂

Программная реализация составления прогноза погоды «методом Замбretti» по данным с метеостанции

Калашников Матвей Глебович
10 класс, Лицей № 40, ШЮИ ИПФ РАН

Научный руководитель Н.И. Лапин, доцент
НГПУ им. К. Минина, заведующий научно-исследовательским отделом Нижегородского планетария, кандидат физико-математических наук



Предсказание погоды в определенном месте, полностью отрезанном от интернета, сегодня является сложной задачей. Благодаря этой работе теперь можно узнавать грядущие в ближайшее время (примерно 8 часов) погодные явления с точностью около 90%.

В работе представлена система, в которой на основе данных метеостанции создается прогноз и отображается на веб-странице.

В качестве языка программирования выбрал Python. Используемая метеостанция – OregonWMR-300 находится в Нижегородском планетарии им. Г.М. Гречко.

Объектом исследования стал так называемый «Предсказатель Замбretti» – прибор, изобретенный в начале XX века компанией Negretti&Zambra, специализировавшейся на изготовлении научных приборов – барометров, телескопов и т.д.

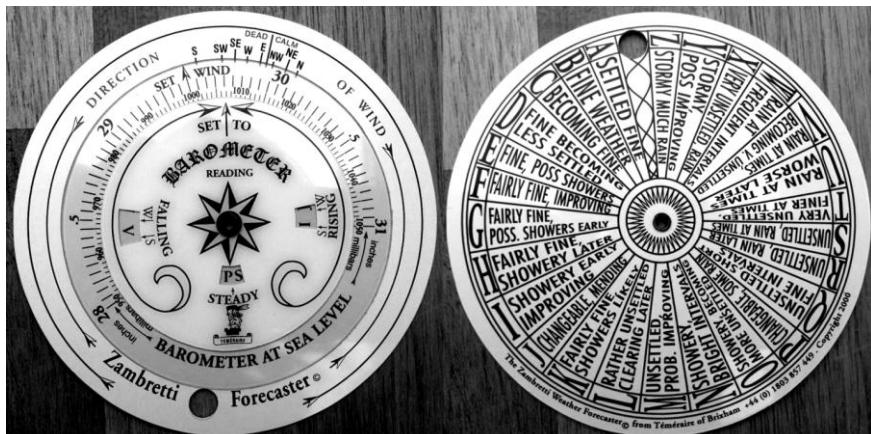


Рис. 9. Предсказатель Замбretti

Предсказатель (рис. 1 слева) состоит из трех вращающихся дисков, с помощью которых выставляется значение текущего атмосферного давления и направление ветра, после чего выбирается одно из окошек с буквой на центральном диске, в зависимости от того, падает, возрастает или остается неизменным атмосферное давление. Буква сопоставляется с одним из 26 возможных вариантов прогноза на прилагающемся диске (рис. 1 справа).

В середине XX века была разработана математическая модель этого алгоритма. Она позволила нам воссоздать прибор в электронном виде. Однако в алгоритме присутствовала одна проблема – принцип работы прибора основывался на огромном количестве экспериментов и измерений, проводившихся в Англии. Следовательно, для других регионов прибор будет предсказывать неверно. В основном это связано с различием пограничных значений атмосферного давления – прибор рассчитан на показатели от 950 гПа до 1050 гПа (721 мм.рт.ст. – 787 мм.рт.ст.). Однако в алгоритме нетрудно найти коэффициент, равняющийся разности пограничных значений. Таким образом, мы получили модель прибора, настраиваемую по региону.

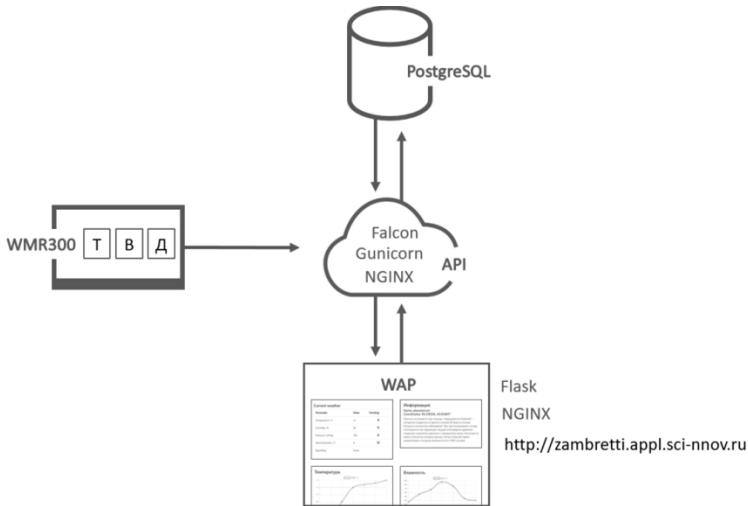


Рис. 10. Рабочая система

Вся система состояла из четырех блоков. Первый – метеостанция. В работе использовалась высокоточная многофункциональная погодная станция WMR300, находившаяся в Нижегородском планетарии. Стан-

ция, подключенная к компьютеру, каждые 10 минут отправляет с помощью Python-скрипта погодные данные. Они поступают на Веб-сервер – основное звено системы. С его помощью производятся взаимодействия с базой данных (загрузка и выгрузка данных), проводятся нужные вычисления и преобразования (перевод величин в подходящие), а также составляется сам прогноз. Последние данные отображаются на веб-странице (рис. 2) – в таблице показываются текущие параметры (давление, температура, влажность, скорость и направление ветра) и прогноз, а также составляются графики их изменения.

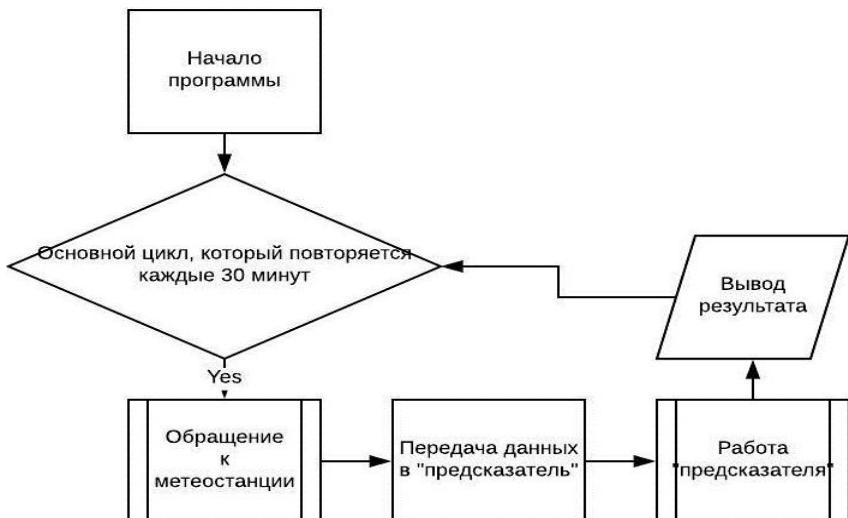


Рис. 11. Блок-схема работы системы

Для определения стремления графиков используется линейная регрессия – прямая, удаленная от всех точек исходной функции на наименьшее расстояние.

Сайт создавался с использованием адаптивного веб-дизайна, чтобы отображаться корректно на устройствах с различными пропорциями экрана. Прогноз составляется на веб-сервере и выдает один из 26 вариантов, представленных на правом диске на рисунке 1. В будущем планируется создание настройки пограничных давлений в зависимости от региона, сейчас по умолчанию установлена Нижегородская область. Прогноз составляется на основе данных давления за последние 6 часов и дает прогноз на весь день с точностью более 90%.

| Текущая погода | | |
|-------------------------|-----------------------|---|
| Время измерения: | 25.03.2018 11:54 | |
| Температура: | 0.3°C | ↑ |
| Влажность: | 54% | ↓ |
| Давление: | 754.26 мм рт.ст. | ↓ |
| Ветер: | 3.91 м/с | ↗ |
| Прогноз: | Осадки с прояснениями | |

Рис. 4. Отображение на сайте

Данная работа продемонстрировала, что алгоритм, разработанный больше века назад, показывает верный результат. Нами была создана система, которая, пользуясь этим алгоритмом, составляет точный прогноз на ближайший день.

В будущем планируется создание

мобильного приложения, которое будет так же составлять прогноз погоды, но без доступа в сеть – все больше смартфонов имеют встроенные барометры, если же такого нет, то можно воспользоваться карманным барометром. Это приложение должно помочь путешественникам, людям, живущим в деревне, любым тем, кто нуждается в прогнозе, но не имеет соединения с интернетом.

Литература

1. Любанович Б. Простой Python. Современный стиль программирования / Пер. с англ. Е. Зазноба. – СПб: Питер, 2016. – 476 с.
2. Маккинни У. Python и анализ данных. – М.: ДМК-Пресс, 2015. – 482 с.
3. Силен Д., Мейсман А., Али М. Основы Data Science и Big Data. – СПб: Питер, 2017. – 336 с.

Треугольники на параметрических плоскостях

Чернов Роман Александрович
10 класс, Гимназия № 13, Нижний Новгород

Научный руководитель С.Ю. Куликова,
учитель МБОУ Гимназия № 13,
Нижний Новгород



Рассмотрены задачи о зависимостях отображений плоскостей треугольников от различных параметров, где возникают некоторые ограничения. Для этого были выведены взаимосвязи основных видов треугольников на параметрических плоскостях, построены графики этих соотношений, проведено сравнение взаимного расположения областей треугольников всех видов. Результаты исследования классифицированы и занесены в итоговые таблицы, отражающие рассмотренные зависимости элементов треугольников от параметров и разделения плоскостей на области от вида треугольников.

Одним из базовых объектов при изучении геометрии является треугольник, и тем интереснее посмотреть на него с непривычной точки зрения. В статье [2] предлагаются для самостоятельного исследования задачи о треугольниках, расположенных на параметрических плоскостях, где рассматриваются зависимости отображений плоскостей треугольников от изменения параметров.

В ходе исследования была выдвинута гипотеза: каждый вид треугольников займет определенную область на плоскости относительно других видов вне зависимости от параметров. Для доказательства данной гипотезы была поставлена цель – выявить формульные зависимости различных видов треугольников от параметров, и сопоставить их расположение на плоскостях, задаваемых разными параметрами. Задачи: вывести зависимости видов треугольников на различных параметрических плоскостях, графики которых будут являться границами областей; вывести зависимости треугольников произвольного вида; изобразить графически все эти зависимости на различных параметрических плоскостях; сравнить взаимное расположение областей треугольников всех видов на различных параметрических плоскостях.

В работе рассмотрены следующие соотношения зависимостей:

- от двух сторон,
- от стороны и угла, прилежащего к этой стороне,

- от стороны и высот к трем сторонам,
- от стороны и биссектрисы к второй стороне,
- от стороны и медиан к трем сторонам,
- от двух меньших медиан треугольников.

Возьмем треугольник со сторонами x, y, z . Разделив длины всех сторон на большую (пусть это будет z), получаем величины, пропорциональные исходным сторонам: $a, b, 1$, причем $a, b < 1$ (именно их будем считать сторонами треугольника, причем сторону a будем называть «стороной», сторону b – «второй стороной», сторону 1 – «единичной стороной»).

В каждом случае вводится координатная плоскость, оси которых будут задаваться параметрами. Каждой точке области будет соответствовать треугольник и, наоборот, каждый треугольник отобразится в определенную точку области. Равнобедренным и прямоугольным треугольникам соответствуют линии. Остроугольным и тупоугольным – области.

Рассмотрим пример построения графика зависимости от стороны и высоты к этой стороне.

Равнобедренным треугольникам соответствуют случаи:

$$a=1,$$

$$b=1: h_a = \sqrt{1 - \frac{a^2}{4}},$$

$$a=b: h_a = \sqrt{\frac{8a^2 - 4a^4 - 1}{4}}.$$

Прямоугольные треугольники:

$$a^2 + h_a^2 = 1.$$

Остроугольные треугольники займут область над графиком прямоугольных треугольников, так как именно там находится равносторонний треугольник.

Тупоугольные треугольники займут область под графиком прямоугольных треугольников.

Графики показывают расположение равнобедренных треугольников (красные, синие и зеленые линии), равносторонних треугольников (точка пересечения графиков равнобедренных треугольников),

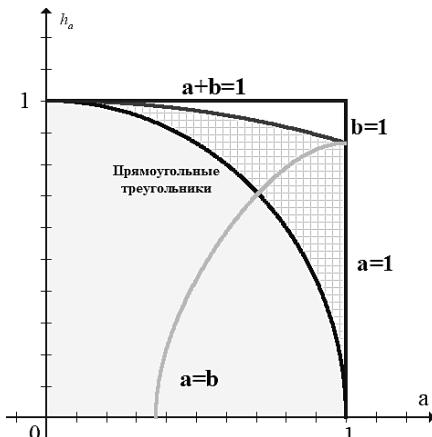


Рис. 1. Зависимость от стороны и высоты к этой стороне

прямоугольных треугольников (темно-синие линии), остроугольных треугольников (клетчатая область), тупоугольных треугольников.

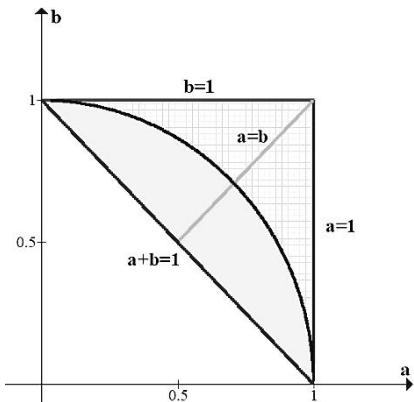


Рис. 2. Зависимость от двух сторон

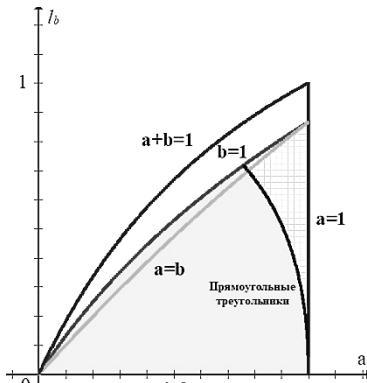


Рис. 3. Зависимость от стороны и высоты к единичной стороне

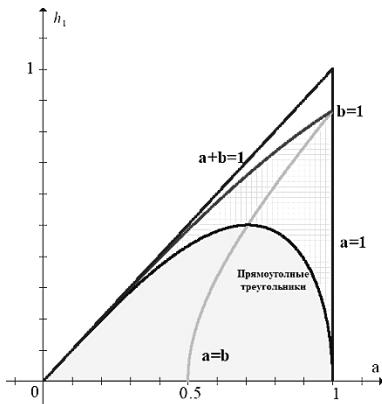


Рис. 4. Зависимость от стороны и биссектрисы к второй стороне

Анализ полученных графиков показал, что наблюдение за множествами треугольников на параметрических плоскостях может помочь быстрее и проще доказать некоторые геометрические утверждения.

Зная ограничения для элементов треугольника, во многих случаях с помощью параметрической плоскости мы можем определить вид треугольника без вычислений.

В результате такого подхода появляются необычные учебно-исследовательские задачи, которые

можно решать школьными средствами. Интересно перейти на многолистные поверхности, соответствующие неоднозначному заданию треугольника выбранными параметрами. Такая параметризация делает поверхности удобными для обработки и отображения в прикладной геометрии и компьютерной графике. С помощью различных условий при задании треугольников на параметрических плоскостях можно решать задачи оптимизации, например, для оптимального раскroя при производстве деталей, в промышленном дизайне.

Все результаты исследования были классифицированы в авторские таблицы.

Таблица 1. Формульные зависимости равнобедренных треугольников

| Параметры | Ограничения | Равнобедренные треугольники | | |
|-------------|---|-----------------------------|---|---|
| | | $a = 1$ | $b = 1$ | $a = b$ |
| $a; b$ | $a \leq 1; b \leq 1$ $a + b > 1$ | $a = 1$ | $b = 1$ | $a = b$ |
| $a; \beta$ | $a \leq 1; 0 < \beta < 90^\circ$ $a + \sqrt{a^2 + 1^2 - 2a \cdot 1 \cdot \cos\beta} > 1$ | $a = 1$ | $a = 2 \cos\beta$ | $a = \frac{1}{2 \cos\beta}$ |
| $a; \gamma$ | $a \leq 1$ $60^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ | $a = 1$ | $a = 2 \cos\gamma$ | $a = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot (1 - \cos\gamma)}}$ |
| $a; \alpha$ | $a \leq 1; \alpha < 90^\circ; a \geq \sin \alpha$ | $a = 1$ | $a = 2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ | $a = \frac{1}{2 \cos\alpha}$ |
| $a; h_1$ | $a \leq 1; h_1 < a$ $a + \sqrt{a^2 - 2\sqrt{1^2 - h_1^2} + 1^2} > 1$ | $a = 1$ | $h_1 = \sqrt{\frac{4a^2 - a^2}{4}}$ | $h_1 = \sqrt{a^2 - 0,25}$ |
| $a; h_a$ | $a \leq 1; h_a < 1$ $a + \sqrt{a^2 - 2\sqrt{1^2 - h_a^2} + 1^2} > 1$ | $a = 1$ | $h_a = \sqrt{1 - \frac{a^2}{4}}$ | $h_a = \sqrt{\frac{8a^2 - 4a^4 - 1}{4}}$ |
| $a; m_a$ | $a \leq 1; m_a < 1$ $a + \sqrt{\frac{4m_a^2 + a^2 - 2}{2}} > 1$ | $a = 1$ | $m_a = \sqrt{1 - \frac{a^2}{4}}$ | $m_a = \sqrt{\frac{2 + a^2}{4}}$ |
| $a; m_b$ | $a \leq 1; m_b < 1$ $a + \sqrt{2a^2 + 2 - 4m_b^2} > 1$ | $a = 1$ | $m_b = \sqrt{\frac{2a^2 + 1}{4}}$ | $m_b = \sqrt{\frac{2 + a^2}{4}}$ |
| $a; m_1$ | $a \leq 1; m_1 < 1$ $a + \sqrt{2m_1^2 - a^2 + 0,5} > 1$ | $a = 1$ | $m_1 = \sqrt{\frac{2a^2 + 1}{4}}$ | $m_1 = \sqrt{\frac{4a^2 - 1}{4}}$ |
| $m_c; m_m$ | $m_c < 1; m_m < 1; m_c \leq m_m$ | $m_a = m_c$ | $m_b = m_c$ | $m_c^2 = 4m_m^2 - 2 - \frac{1}{4}$ |

Таблица 2. Формульные зависимости треугольников разных видов относительно друг друга

| Параметры | Прямоугольные треугольники | Остроугольные треугольники | Тупоугольные треугольники |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| α, b | $a^2 + b^2 = 1$ | $a^2 + b^2 > 1$ | $a^2 + b^2 < 1$ |
| α, β | $\alpha = \cos \beta$ | $\alpha > \cos \beta$ | $\alpha < \cos \beta$ |
| α, γ | $\cos \gamma = 0$ | $\cos \gamma > 0$ | $\cos \gamma < 0$ |
| α, α | $a = \sin \alpha$ | $a > \sin \alpha$ | |
| $a; h_1$ | $h_1 = \sqrt{a^2 - a^4}$ | $h_1 > \sqrt{a^2 - a^4}$ | $h_1 < \sqrt{a^2 - a^4}$ |
| $a; h_a$ | $a^2 + h_a^2 = 1$ | $a^2 + h_a^2 > 1$ | $a^2 + h_a^2 < 1$ |
| $a; m_a$ | $m_a = \sqrt{1 - \frac{3a^2}{4}}$ | $m_a > \sqrt{1 - \frac{3a^2}{4}}$ | $m_a < \sqrt{1 - \frac{3a^2}{4}}$ |
| $a; m_b$ | $m_b = \sqrt{\frac{3a^2 + 1}{4}}$ | $m_b < \sqrt{\frac{3a^2 + 1}{4}}$ | $m_b > \sqrt{\frac{3a^2 + 1}{4}}$ |
| $a; m_1$ | $m_1 = \frac{1}{2}$ | $m_1 > \frac{1}{2}$ | $m_1 < \frac{1}{2}$ |
| $m_c; m_m$ | $m_c = \frac{1}{2}$ | $m_c > \frac{1}{2}$ | $m_c < \frac{1}{2}$ |

Литература

1. Амелькин В.В., Рабцевич Т.И., Тимохович В.Л. Школьная геометрия в чертежах и формулах. – Минск, Красико-Принт, 2008. – 80 с.
2. Сгибнев А.И. Отображения параметрических плоскостей треугольников // Математика, 2011. № 11. С. 34 – 36.

Наука как призвание и профессия



Как реализовать мечту

Железнов Дмитрий Сергеевич
заместитель директора ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



Найти себя в этом мире непросто, а правильно выбрать профессию означает возможность достойно жить, чувствовать себя нужным людям, получать радость от работы, максимально проявлять свои способности. Юные исследователи встретились с Дмитрием Сергеевичем Железновым, кандидатом физико-математических наук, заместителем директора ИПФ РАН, тема беседы содержала вопросы профориентации и выбора будущей профессии выпускниками школ.

Корр.: Дмитрий Сергеевич, расскажите, как Вы пришли в физику?

Д.С.: Есть важные решения, которые определяют нашу судьбу, их принимать непросто. Я учился в лицее № 40, в лагерь им. Н.С. Талалушкина я впервые приехал в девять лет. Тогда еще не было летних исследовательских смен, самоуправления, как теперь, но активной жизнью лагерь жил, и выборы актива были. После 8-м класса я поехал в летнюю физико-математическую школу и нас повезли на экскурсию в ИПФ РАН. А там нам так интересно преподнесли экспериментальную физику, что я принял для себя решение: пойду учиться на ВШ ОПФ (факультет «Высшая школа общей и прикладной физики» ННГУ им. Н.И. Лобачевского, который является факультетом ИПФ РАН). Потом была аспирантура, дальше я стал научным сотрудником ИПФ РАН. Это очень важно, когда происходит плавное вхождение в науку со школьной скамьи. Если вы хотите заниматься наукой, то начиная совершенно точно знаете, куда вам идти и что делать, чтобы этой наукой заниматься. Вам помогают реализовать мечту, этот путь прослеживается до защиты диссертации. Дальше молодому ученому понятно, куда ему двигаться, а вот на распутье помочь человеку очень важно. Мы помогаем вам определиться в своих интересах через летние исследовательские смены, научное объединение «Школа юного исследователя», летнюю физико-математическую школу, а в дальнейшем ждем в нашем институте. Таким образом, в ИПФ РАН создана уникальная система непрерывного «выращивания» научных кадров, подготовки будущих научных работников.

Корр.: Какие качества характера нужно вырабатывать в себе в школе, чтобы стать ученым-исследователем?

Д.С.: Нужны усидчивость, организованность, но этого мало. Нужна неспокойность, пытливость ума. Для того чтобы науку двигать дальше, человек не должен останавливаться на результате, который быстро устареет, нужно постоянно думать, пытаться проникнуть в суть проблемы. И еще ученый должен быть оптимистом, нельзя унывать, опускать руки, если что-то не получается.

Корр.: Занимались Вы сами в школе наукой?

Д.С.: Есть два типа занятий наукой в школе: олимпиады и исследовательские конференции. Эти два пути дополняют друг друга. В олимпиадах если я и участвовал, то почему-то в гуманитарных, а исследовательские работы писал в лицее, как вы сейчас в ШЮИ.

Корр.: Какая была ваша первая научная работа и помните ли вы ее?

Д.С.: Мы с моим близким другом Сашей Курилиным делали обзорный доклад об элементарных частицах и антивеществе. Так увлеклись на выступлении, что существенно перебрали отведенное для представления доклада время, и члены жюри были вынуждены нас остановить, как нам казалось, на самом интересном месте. С тех пор я тренируюсь перед любым выступлением, чтобы соблюсти временной регламент. Это уважение к слушателю, к жюри и, в конечном счете, к себе.

Корр.: Кто был вашим наставником? На кого вы ориентируетесь в своей работе, кто для вас пример ученого в науке, в жизни?

Д.С.: С наставниками мне очень везло с самого рождения. Мои родители, дедушки, старший брат, школьные учителя, университетские преподаватели и старшие товарищи, сотрудники нашего института: Н.С. Гинзбург, О.В. Палашов, Е.А. Хазанов, М.Ю. Глявин, И.Б. Мухин, А.И. Ермилин, и, конечно, В.В. Соколов, которому я искренне надеюсь стать достойным преемником в своей новой должности. И так удачно совпало, что все мои наставники оказывались не только большими учеными, высококлассными профессионалами, но и достойными подражания людьми. Мне оставалось только смотреть в оба, внимательно слушать и стараться хоть немного впитать мудрости и опыта каждого из них.

Корр.: Посоветуйте, как полюбить учение, учиться с желанием, а не заставлять себя садиться за учебники?

Д.С.: Очень сложный вопрос. В школе и, особенно, в университете широкий спектр преподаваемых наук, и есть среди них те, кото-

рые не очень нравятся, попадаются курсы, которые непонятно, зачем нужны. Нужно суметь сформировать в себе понимание того, что ты это делаешь для себя и в будущем за это скажешь себе спасибо. Нужно четко понимать, что современный мир развивается интенсивно, поэтому мы просто не можем предугадать, какие навыки нам понадобятся в перспективе. Только тот, кто гибок, кто научил себя учиться, добьется результатов, какие бы цели он ниставил перед собой. Вы инвестируете себя в будущем.

Korr.: Куда бы Вы посоветовали поступать учиться – в нижегородские вузы или столичные? А может быть, за границу?

Д.С.: Надо четко понимать, что за границей вузы другие, и учат там по-другому и для другого. Я, конечно, посоветую ННГУ им. Н.И. Лобачевского тем, кто заинтересован в научном творчестве. Тем, кто интересуется естественнонаучными исследованиями, приходите на ВШ ОПФ, и эти слова - не голый маркетинг. Мы готовим молодые кадры. Преподаватели выпускают студентов для своего института, они понимают, какие знания должны быть у выпускников. А ИПФ РАН – это крупнейший федеральный исследовательский центр, крупная научная структура, в которой каждый может найти применения знаниям.

Korr.: Что движет науку вперед? Важно ли в науке вдохновение, как в поэзии?

Д.С.: Непростой вопрос. Фундаментальную науку впереддвигают гении. Прикладную науку может двигать и утилитарная необходимость. Но, наверное, вдохновение, как воодушевление процессом или результатом, необходимо в любом деле.

Korr.: Науку часто сравнивают с искусством, иногда противопоставляют. В чем, по вашему мнению, красота науки?

Д.С.: В возможности гармонизировать мир вокруг себя глубинным пониманием, происходящих в нем процессов. Физических, исторических, политических, не важно.

Korr.: Что нужно сделать, чтобы наука сделала рывок вперед, о котором говорил президент? Достаточно ли финансирования науки?

Д.С.: Я не очень себе представляю, что значит рывок вперед, который требуется от науки. Правильно на вопрос ответить таким образом: на уровне государства уже поняли, что науку нужно спасать. Меньше молодых ученых стало уезжать из страны, много делается для того, чтобы этот процесс остановить и повернуть вспять. Науку финансируют, но только увеличением финансирования рывок не обеспечить. Остаются социальные проблемы: молодым ученым

нужно жилье, социальное обеспечение. Сейчас появились различные программы: молодых сотрудников обеспечивают жильем, у аспиранта, например, в ИПФ РАН хорошая зарплата – 40 – 45 тысяч, есть различные гранты, премии. В ИПФ РАН есть свой детский сад, детский лагерь, база отдыха, амбулатория. Мы стараемся, чтобы сотрудников, по возможности, ничто не отвлекала от науки.

Корр.: Привлекательна ли профессия ученого-физика среди молодых?

Д.С.: Это вы мне должны сказать, привлекательна ли профессия физика. На ваши вопросы нелегко отвечать одной фразой. Мы видим, что молодых людей в ИПФ РАН много, увеличивается набор на ВШ ОПФ, мы делаем все от нас зависящее, чтоб привлечь молодых людей, которые хотят заниматься научным творчеством.

Корр.: Дмитрий Сергеевич, а Вы лично в чем черпаете вдохновение?

Д.С.: Я сейчас больше администратор, но если ты по-настоящему любишь дело, тебе хочется его развивать и двигаться самому дальше, вдохновение подпитывается результатами, которые ты видишь, и это дает силы двигаться дальше.

Корр.: Находите ли Вы время для театра, чтения книг? Кто Ваш любимый писатель?

Д.С.: Я стараюсь непрерывно читать, в телефоне у меня есть «Читалка», стараюсь пробежать хоть пару строчек в обеденный перерыв, это привычка. Люблю М.Ю. Лермонтова еще со школы, причем и стихи его, и прозу. Из современных писателей люблю В. Пелевина, а научную фантастику многие хорошо пишут. В театры несколько раз в год выбираюсь.

Корр.: Большое спасибо, Дмитрий Сергеевич, за Ваши ответы.

Д.С.: Вам спасибо! Вопросы замечательные. Приглашайте, всегда готов с Вами встретиться.

Во встрече принимали участие: Е. Герасимова, А. Дмитричева, А. Серов, И. Шакирский, Д. Захарова, Л. Калашников, А. Лубяко, Е. Корякина, А. Иванов, Д. Иванова, А. Саломатина.



Геофизика, или Как посмотреть весь мир, занимаясь интересным делом?

Зайцев Сергей Владимирович

выпускник научного объединения
«Школа юного исследователя» ИПФ РАН,
геофизик, аспирант МГУ



Геологом я стал волею случая. Я, как и любой другой выпускник нижегородского сорокового лицея, лагеря им. Н.С. Талалушкина и научного объединения «Школа юного исследователя» ИПФ РАН, думал посвятить себя математике и физике, но в МГУ, куда я приехал подавать документы на Мех-Мат и ВМК, меня случайно занесло на этаж геологического факультета. Там меня сразу окружили молодые студенты и аспиранты, которые стали рассказывать насколько это правильное решение пойти именно к ним на факультет. Рассказывали многое: о полевой жизни, о практиках, о том, как все дружат и каково это быть геологом в целом. Но заинтересовал меня больше всего молодой парень, рассказывающий о неизвестных мне ранее способах применения физики, о том, что с помощью нее я смогу «смотреть» в глубь Земли. Так я узнал о профессии геофизика, о том, что, став геофизиком, я смогу путешествовать по всему миру. Так все и началось.

Никогда о своем выборе я не пожалел. Слова тех студентов подтвердились: у геологов очень яркая и интересная жизнь. Не прошло и дня в университете, когда я сомневался в своем выборе.

Для всех, кто интересуется профессией геофизика, скажу: чтобы поступить на геологический факультет, в школе нужно хорошо учить физику, программирование и географию. Первые годы в университете я чувствовал себя где-то между науками: на первой паре мне рассказывали о теории вероятности и рядах, далее в живописной огромной аудитории с доской во всю трехметровую стену профессор вещал о законах физики и писал уравнения Максвелла, а в конце дня меня учили читать геологические карты и определять галит по вкусу, пирит – по цвету, а серу – по запаху.

Как оказалось, в России много университетов, готовящих настоящих геологов и геофизиков. В МГУ можно получить фундаментальные знания по геофизике, Московский геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе готовит горных инженеров, а Университет нефти и газа им. И.М. Губкина – геологов-нефтяников.

Меня на протяжении всей учёбы мучил вопрос: в чём отличие профессии геофизика от геолога? Геофизик изучает физические поля, собирает информацию, пытается понять, что происходит под поверхностью Земли на несколько километров вниз, строит красивые карты распределения физических свойств в Земле, а геолог пытается их интерпретировать, изучает свойства пород.

Занимаясь в летних исследовательских сменах и «Школе юного исследователя» ИПФ РАН, в период школьного обучения я получил навык публичного представления результатов, у меня появился опыт, первичная база, и в университете я чувствовал себя более уверенно. Еще я благодарен ШЮИ за курсы программирования, так как я не трачу лишнее время на монотонную долгую работу.

Скажу одно, человеку, который решил стать специалистом в этой области нужны отменное чувство юмора, харизма и уверенность в своих силах. А главное – спокойствие и холодный ум, который не подведет в самой опасной ситуации, ведь наша профессия связана с риском, так как мы пытаемся изучить природу в самых её потаенных местах. Одно из важнейших качеств, на мой взгляд, – умение создать уют, очаг, который позволит чувствовать себя комфортно на протяжении длительного срока. Нужно хотя бы один раз сходить в поход и понять, сможешь ли ты жить в таких условиях.

Самая распространенная экстремальная ситуация для геофизика – это встреча с медведем. После встречи с этим зверем все остальное кажется вполне обыкновенным. Любимое место, где, как я считаю, мечтает побывать каждый, это Камчатка. На Камчатке много медведей, которые крайне любят интересоваться вашими делами.

Вообще, чем глубже вы погружаетесь в эту профессию, тем больше вы познаете и животный мир. Много зверей становятся вашими спутниками в долгих путешествиях. Враги геологов – евражки, они грызут провода. Однажды в Бразилии я наткнулся на муравья-всадника. Это была самая необычная встреча.

Как и в любой профессии, у геофизиков есть профессиональные трудности. Во-первых, это языковой барьер, если вы будете работать за границей. Во-вторых, не всегда просто найти с людьми общий язык, потому что приходится жить и работать с ними вместе по несколько месяцев. Научная экспедиция длится минимум месяц, а может и целый год.

В Нижегородскую область тоже экспедиции организуются. Например, город Дзержинск знаменит своими карстовыми воронка-

ми – это почти пустые полости, которые образуются в результате «проедания» известняка подземными водами. Это актуальная проблема в геологии, ведь может провалиться целый дом, и геологи ищут такие воронки.

Профессия геолога, геофизика позволяет проявить себя в науке и раскрыть творческие способности. Среди геологов и геофизиков много творческих людей: есть музыканты, хорошо играющие на гитаре, есть художники, потому что геологи умеют созерцать, обладая своим видением. В экспедиции есть свободное время, чтобы раскрыть свой творческий потенциал.



А самое интересное в нашей работе, конечно, путешествия. Эта профессия позволяет объездить весь мир. Уже на втором курсе студентов отправляют на практику в Крым. На протяжении месяца, а то и двух они ходят вдоль и поперек всего полуострова и видят его с совершенно другой стороны: не как прекрасные набережные и пляжи, а как удивительный геологический объект. Они изучают горные породы на склонах полуострова, особенности их строения, ищут окаменелости и по ним стараются определить возраст породы.

А на третьем курсе мне посчастливилось, и я попал на практику в Бразилию. Мне приходилось работать на кукурузном поле, в апельсиновом саду, на красной земле. Вокруг вся природа благоухала, цвела, и все было настолько интересно! Но не стоит забывать, что вы прежде всего на работе и вас могут поджидать экстремальные



ситуации. Например, вам может застолкнуться с упавшим огромным початком кукурузы на голову или придется проходить через тростник, который режет, как бумага, и, чтобы не остались глубокие

порезы на лице, нужно надевать специальную маску. Геология – это не просто путешествия, но и умение обойти опасность.

В студенческие годы я работал на Дальнем Востоке, в Южной Америке, в Иране. Я побывал в таких местах, куда сам навряд ли сумел бы съездить. В Боливии мы работали возле красных озер, где живут фламинго. В этих озерах вода красная, там живут планктоны, которым питаются фламинго.



Геофизика – наука молодая, все страны развивают эту науку, организуют обмен опытом, это тоже способ путешествовать по миру. Российские специалисты находятся на вершине развития технологий и методик этой науки.

Помимо того, что эта профессии приносит хороший доход, она еще дает возможность путешествовать. В этом году я побывал в месте, которое является мечтой любого геолога – на Камчатке. Я работал в самой южной части Камчатки – поселке Озерновском неописуемой красоты. Мы занимались поиском термальных вод.

Развиваются альтернативные источники энергии, а термальные источники – очень перспективное направление. На Камчатке есть Паужетская геотермальная гидроэлектростанция, которая работает на термальных источниках. Выработка электрической энергии осуществляется с помощью турбин, которые работают на геотермальном паре Паужетского месторождения. Мы искали рядом с ней новые термальные источники.



А место, поразившее меня сильнее всего – долина гейзеров Соль де Маньяна в Боливии, на границе с Чили. Неверо-

ятно красивое место: всюду бьют гейзеры, красная вода.

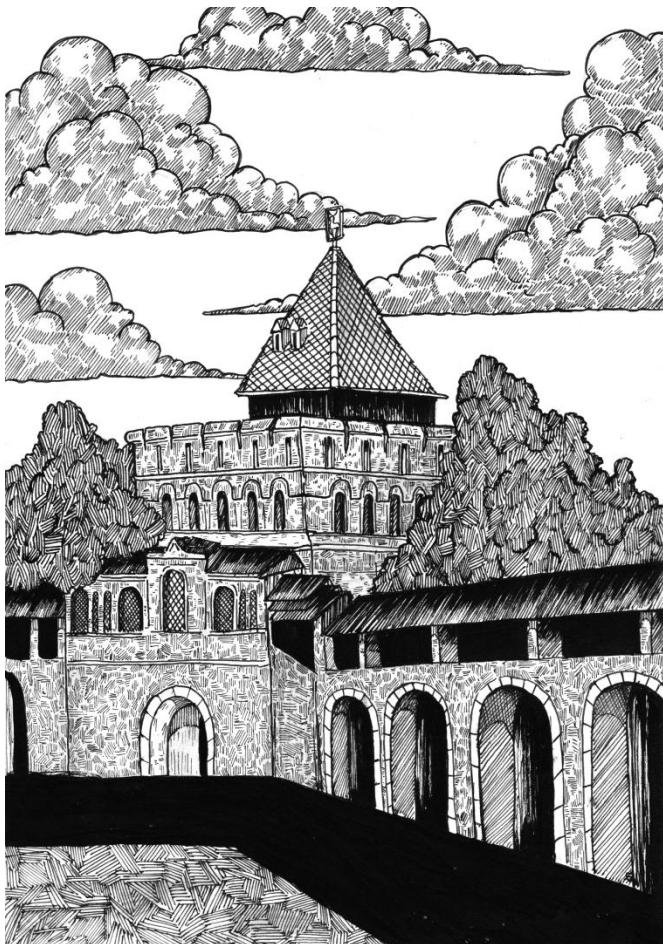
Кроме того, профессия геофизика позволяет общаться с коллегами из других стран. У меня много друзей в Иране и мне очень нравится эта страна. Езжу я туда почти каждый год. Там ценят русских специалистов. А начиналось все с поиска глубоко залегающей воды, затем стали обучать их сотрудников поиску воды, нефти, помогать им с аппаратурой.

Геофизики – люди не суеверные. Но часто приходится в работе сталкиваться с чем-то необъяснимым. Получив результат, геофизики должны его объяснить, хотя это не всегда удается. Геофизика – наука относительная.

Профессия геофизика важна для нашей страны, ее практическая польза очевидна, ведь наша страна богата полезными ископаемыми, но их нужно найти, этим мы и занимаемся. Очень ценятся молодые специалисты, потому что у них свежий взгляд, много энтузиазма, они могут привнести новое в работу. У нас создана специальная база, почти как лагерь им. Н.С. Талалушкина ИПФ РАН, где проходят подготовку молодые специалисты.

Смотря сейчас в прошлое, могу сказать, что я правильно выбрал профессию. Понять тогда то, что именно эта профессия поставит меня на такой интересный и правильный путь, я не мог. Поэтому выбор профессии, на мой взгляд, это не выбор призыва. И вам крупно повезло, если получится найти где, в какой деятельности, стыкуются для вас призвание и профессия.

Лекции нижегородских ученых



Опыт убедил меня, что без внутреннего горения, своего рода «одержимости», нельзя вести исследования на неизведанных путях... Но не только одержимость, горение... Истинному ученому нужно и сомнение. Творческий процесс в науке по самой своей сути является напряженным исканием ответа на поставленный вопрос. Его притягательная сила состоит в постоянном конфликте между удовлетворением и сомнением.

*Петр Кузьмич Анохин (1898–1974),
советский физиолог, академик,
создатель теории функциональных систем*

Я верю в интуицию и вдохновение... Иногда я чувствую, что стою на правильном пути, но не могу объяснить свою уверенность. Когда в 1919 году солнечное затмение подтвердило мою догадку, я не был ни чуть удивлен. Я был бы изумлен, если бы этого не случилось. Воображение важнее знания, ибо знание ограничено, воображение же охватывает все на свете, стимулирует прогресс и является источником ее эволюции. Строго говоря, воображение – это реальный фактор в научном исследовании.

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

Большая часть совершенно новых шагов в науке – это случайные находки, сделанные людьми с редким талантом замечать нечто абсолютно неожиданное. Такие открытия впоследствии образуют основу всех планируемых исследований, всего того, что я называю развитием.

*Ганс Селье (1907 – 1982),
канадский биолог и врач, автор концепции стресса*

Что изучает биофизика?

Катичева Любовь Андреевна

научный сотрудник

лаборатории электрофизиологии растений

ИБМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского,

кандидат биологических наук



Современная наука невозможна без индисциплинарности. Трудно представить себе работы в области физики микроструктур без применения математических подходов или же исследование нового медицинского препарата без участия химиков. Так и на пересечении биологии и физики появилась научная отрасль, охватывающая широчайший спектр биологических задач и решающая их физическими методами – биофизика. Выдающийся советский биофизик Г.М. Франк сказал: «Биофизика не имеет присущего только ей объекта или предмета исследования, как, например, микробиология или энтомология. Эта наука скорее характерна только ей присущим физическим подходом к изучению широкого круга жизненных явлений».

Как самостоятельная наука биофизика появилась в 1961 году, когда был создан Международный союз общей и прикладной биофизики. Целью современной биофизики является изучение фундаментальных процессов, обеспечивающих основу жизнедеятельности всех без исключения живых организмов, независимо от уровня развития, эволюционной ступени, возраста индивидуума, среды обитания. Исходя из данного определения цели биофизики вытекает и одна из ее основных классификаций, связанная с уровнем организации исследуемого объекта. Современную биофизику разделяют на *молекулярную*, объектом исследования которой являются молекулы, *биофизику клетки*, изучающую надмолекулярные структуры живой клетки, и *биофизику сложных систем*, рассматривающую различные уровни организации живых систем – сообщества клеток, ткани, организмы, популяции (Рубин, 1987).

Основными объектами *молекулярной биофизики* являются белки и нуклеиновые кислоты, но многие работы также посвящены и полисахаридам (Scherer et al., 2010; Menchicchi et al, 2015). Основная задача молекулярной биофизики – выяснение связи физической структуры и свойств биологически важных молекул с выполняемой ими в организме функцией (Scherer et al., 2010). Близкая к ней *биофизика клетки* изучает строение и функции клеточных мембран, природу клеточной

подвижности, биоэлектрогенез, межклеточные взаимодействия и другие вопросы, связанные с физическими свойствами клетки (Рубин, 1987; Jackson, 2006). Помимо непосредственных данных о состоянии клетки, получаемых с помощью биофизических методов и широко используемых в медицине, крупнейшим направлением данного раздела является изучение клеточной сигнализации. Так, если вспомнить, что все многоклеточные организмы в ходе эволюции были сформированы путем организации одноклеточных организмов в «клеточные сообщества», то важным аспектом такого сообщества должно быть «умение договариваться». Иначе говоря – если контроль противоположно направленных процессов в клетках нарушен, то в случае преобладания апоптоза (смерти клетки) наступает дегенерация тканей; если же побеждает клеточный индивидуализм и идет безудержное деление клетки – развивается онкология, а значит, потенциальная гибель организма. Координация клеточных процессов осуществляется путем сложных сигнальных каскадов, которые распространяются как внутри каждой отдельной клетки, так и соседних клеток, формируя дистанционную сигнализацию. Биофизика сложных систем изучает проблемы регулирования и саморегулирования сложноустроенных многоклеточных организмов, кинетику биопроцессов, поведение во времени разнообразных процессов, присущих живой материи, и термодинамику биосистем. Стоит отметить, что деление биофизики на данные разделы является весьма условным, поскольку каждое современное научное направление будет включать как исследования на молекулярном и клеточном уровнях, так и систематизацию полученных знаний, и изучение кинетики процессов на уровне целого организма. Примером подобного направления биофизики, активно развивающегося в Нижнем Новгороде и охватывающего все вышеупомянутые уровни, является изучение биоэлектрогенеза растений.

Растения являются очень сложными организмами, системы, регуляции которых во многом не уступают животным. Сейчас известно, что в основе переноса информации о внешнем воздействии у растений лежит работа электрической сигнальной системы, которая, в отличие от электрической сигнальной системы животных, являющейся основой передачи информации в ЦНС, остается малоизученной. Электрические сигналы у растений бывают двух типов – потенциал действия (ПД) и вариабельный потенциал (ВП) (рис. 1). ПД представляет собой переходную деполяризацию – быструю смену

зарядов на мембране, исходно заряженной отрицательно с внутренней стороны клетки и положительно с внешней. По форме ПД у высших растений сходен с нервным импульсом животных (Медведев, 1998), однако растительному ПД свойственна большая длительность и меньшая скорость распространения. ВП также представляет собой деполяризацию, однако в данном случае восстановление разницы потенциалов до исходных значений происходит гораздо медленнее (несколько минут). К характерным чертам ВП стоит также отнести значительную вариабельность формы реакции и способность к генерации в период абсолютной рефрактерности (Stahlberg et al., 2006; Zimmermann and Felle, 2009).



Рис. 1. Электрические сигналы у высших растений

Изучение механизмов генерации как ПД, так и ВП происходит на уровне клетки и включает в себя анализ участия в данных механизмах различных ионов, систем их активного и пассивного транспорта и др. (Пятыгин и др., 2008; Krol et al., 2010). Так, было показано, что формирование любого электрического сигнала у растения происходит за счет увеличения концентрации ионов кальция в клетке, а также – за счет инактивации протонного насоса плазматических мембран (Zimmerman, Felle, 2009; Katicheva et al., 2014; Vodeneev et al., 2015). Отметим, что исследование участия тех или иных ионов в клеточных процессах в настоящее время стало возможным благодаря стремительно-му развитию методов анализа, в частности, оптических. Например, на рисунке 2 изображена клетка проростка тыквы, загруженная специализированным красителем – флуоресцентным зондом – яркость свечения которого зависит от концентрации ионов H^+ . Так, по изменению уровня свечения – флуоресценции – во времени при одновременной

регистрации электрической активности клетки, был зафиксирован сдвиг pH сопровождающий электрический сигнал (рис. 2).

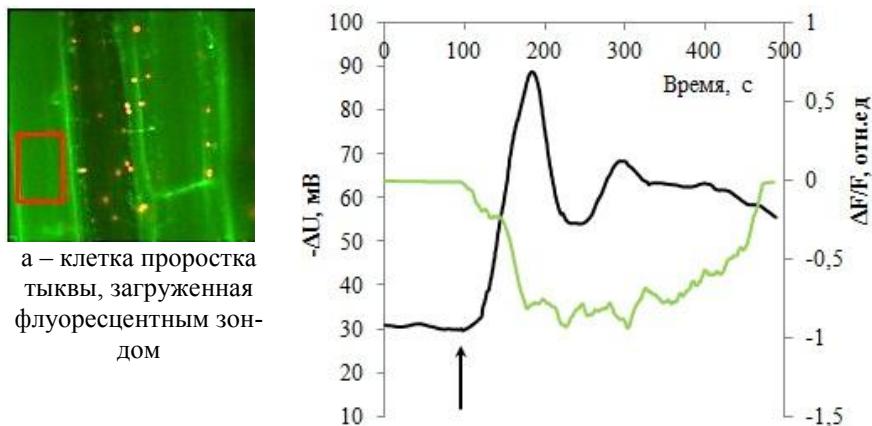


Рис. 2. Изменения активности флуоресценции pH-чувствительного зонда BCECF-AM внутри клетки (зеленый график) и соответствующие изменения электрической активности (черный график). Красный прямоугольник – зона регистрации флуоресценции. $\Delta F/F$ – представление на графике относительных изменений флуоресценции зонда. ΔU – разность потенциалов на клетке

Распространение сигнала по растительному организму и – самое главное – функциональная роль распространяющегося сигнала в жизнедеятельности растения – являются предметами как биофизики клетки, так и биофизики сложных систем. Отметим, что механизм распространения электрических сигналов и механизм преобразования сигнала в непосредственный ответ клеток и систем по сей день остаются малоизученными. Распространение ПД у высших растений, как и у животных, связывают с местными токами (Опритов и др, 1991; Krol et al., 2010). Распространение вариабельного потенциала по клеткам происходит благодаря распространению других сигналов – химического или гидравлического (волны повышенного давления) – которые, в свою очередь, приводят к локальным электрическим реакциям.

Роль электрических сигналов у растений состоит в передаче информации о внешнем воздействии от одной части растения к другой, что особенно очевидно в случае растений с быстрыми локомоторными функциями, например, венериной мухоловки. У них распространяющийся ПД, генерация которого происходит за счет раздра-

жения чувствительных волосков на лопасти, несет известие о внешнем воздействии и запускает цепь процессов, приводящих к механической реакции – схлопыванию ловушки. Чаще всего эта механическая реакция бывает связана с выходом К⁺ из локомоторных клеток и изменением их осмотических свойств (Sibaoka, 1991). У обычных же растений показано, что при, например, попадании пыльцы на пестик цветка в столбике пестика возникают биоэлектрические импульсы, распространяющиеся к завязи и стимулирующие в ней усиление обменных процессов до того, как ее достигнет пыльцевая трубка. Таким образом, происходит подготовка завязи к оплодотворению. В ряде экспериментальных работ показано изменение фотосинтеза в листьях под влиянием ПД и ВП, изменения активности дыхания и др. (Lautner et al., 2005; Vodeneev et al., 2015).

К сожалению, охватить все области удивительного электрогенеза растений, а тем более – все направления современной биофизики не получится ни в рамках одной лекции, ни в рамках целого курса. Возвращаясь к словам Франка – у биофизики нет предмета, но есть метод. От клетки до биосистемы, от фармакокинетики нового противоопухолевого препарата до изменений фотосинтеза при действии электрических сигналов – биофизик может изучать все, имея в своем арсенале физические и математические методы, развитие которых не стоит на месте, предоставляя ученым все новые и новые подходы, позволяя им заглянуть глубже в микромир или наоборот – посмотреть на систему с более «удаленной» точки зрения. Словом, если вы выберете профессию биофизика – перед вами откроется широчайшее поле для исследований, включающее, по сути, все области биологии, а в руках будут лучшие инструменты анализа – биологические, физические, химические и математические. Вольтер утверждал – «успехи науки – дело времени и смелости ума». Биофизика – это наука для пытливых и смелых умов, способных изучать и анализировать, готовых к самостоятельному поиску и терпеливому решению весьма непростых задач.

Литература

1. Медведев С.С. Электрофизиология растений. – СПб.: Изд-во СпбГУ, 1998. – 184 с.
2. Опритов В.А., Пятыгин С.С., Ретивин В.Г. Биоэлектрогенез у высших растений. – М.: Наука, 1991. – 213 с.
3. Пятыгин С.С., Опритов В.А., Воденеев В.А. Сигнальная роль потенциала действия у высших растений // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 2. С. 312 – 319.

4. Рубин А.Б. Биофизика В 2-х кн. – М.: Высшая школа, 1987. – 622 с.
5. Jackson M.B. Molecular and Cellular Biophysics. – Cambridge University Press, 2006. – 512 p.
6. Katicheva L., Sukhov V., Akinchits E., Vodeneev V. Ionic nature of burn-induced variation potential in wheat leaves. *Plant Cell Physiol.* 2014. 55. P. 1511 – 1519.
7. Krol E., Dziubinska H., Trebacz K. What do plants need action potential for? // Action Potential, Marc L. DuBois (ed.). Nova Science Publishers. 2010. P. 1 – 26.
8. Lautner S., Grams T.E., Matyssek R., Fromm J. Characteristics of electrical signals in poplar and responses in photosynthesis // *Plant Physiol.* 2005, № 138 (4).P. 2200 –2209.
9. Menchicchi B., Fuenzalida J. P., Hensel A., Swamy M.J., David L., Rochas C., Goycoolea F.M. Biophysical Analysis of the Molecular Interactions between Polysaccharides and Mucin // *Biomacromolecules*, 2015, № 16 (3). P. 924 – 93.
10. Scherer, Philipp O.J., Fischer, Sighart F. Theoretical Molecular Biophysics. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 371 p.
11. Sibaoka T. Rapid plant movements triggered by action potentials // The botanical magazine = Shokubutsu-gaku-zasshi, 1991, V. 104, P. 73 – 95.
12. Stahlberg R., Robert E., Cleland, Elizabeth van Volkenburgh. Slow wave potentials – a propagating electrical signal unique to higher plants // Communication in Plants. Neuronal Aspects of Plant Life, Baluska F., Mancuso S., Volkmann D. (eds). – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. P. 291 – 309.
13. Vodeneev V., Akinchits E., Sukhov V. Variation potential in higher plants: mechanisms of generation and propagation // Plant signaling&behavior. 2015. V.10, № 9.
14. Zimmermann M.R., Felle H.H. Dissection of heat-induced systemic signals: superiority of ion fluxes to voltage changes in substomatal cavities // *Planta*. 2009, V. 229. P. 539 – 547.

Индуцированные стволовые клетки человека в моделировании нейродегенеративных заболеваний

Айзенштадт Александра Андреевна
научный сотрудник СЗГМУ им. И.И. Мечникова, postdoc в Oslo University Hospital (Norwegian Center for stem cell research),
кандидат биологических наук



Стволовые клетки (СК) – это клетки, обладающие способностью к самоподдержанию популяции и дифференцировке в другие специализированные клетки. В основе классификации стволовых клеток лежит определение дифференцировочного потенциала, или «потентности» стволовых клеток. Различаютtotипотентные, плюрипотентные и мультипотентные СК. Плюрипотентные СК – это СК, способные дифференцироваться во все клетки организма, включая клетки-предшественники гамет. In vivo плюрипотентными являются клетки внутренней клеточной массы бластоцисты, из которых можно получить культуру эмбриональных стволовых клеток. Плюрипотентность – очень кратковременное состояние, для поддержания которого требуется слаженная работа сети генов (pluripotency gene regulatory network (PGRN)), на транскрипционном, эпигенетическом и посттранскрипционном уровне. В основе функционирования PGRN – транскрипционные факторы OCT4, SOX2, NANOG, регулирующие транскрипцию большого количества генов-мишеней. Как оказалось, именно с помощью запуска работы PGRN возможна дедифференцировка специализированных клеток.

В 2006 году была опубликована статья, авторам которой (Takahashi K., Yamanaka Sh., 2006) удалось репрограммировать фибробласти мыши и вернуть их в состояние плюрипотентной стволовой клетки. Для этого ученые внесли в соматические клетки генетический материал, кодирующий транскрипционные факторы Oct4, Klf4, Sox2 и c-Myc. В результате экспериментов были получены клетки, схожие по своим свойствам с эмбриональными СК, которые были названы индуцированными плюрипотентными стволовыми клетками (иПСК). Профессор Шинъя Яманака в 2012 году был удостоен Нобелевской премии за открытие метода перепрограммирования соматических клеток. Также Нобелевскую премию получил Джон Гердон (J. Gurdon), разработавший за 44 года до этого метод трансплантации ядер из соматических клеток в лишенные ядра оо-

циты. Эта классическая работа послужила первым свидетельством обратимости дифференцировки клеток.

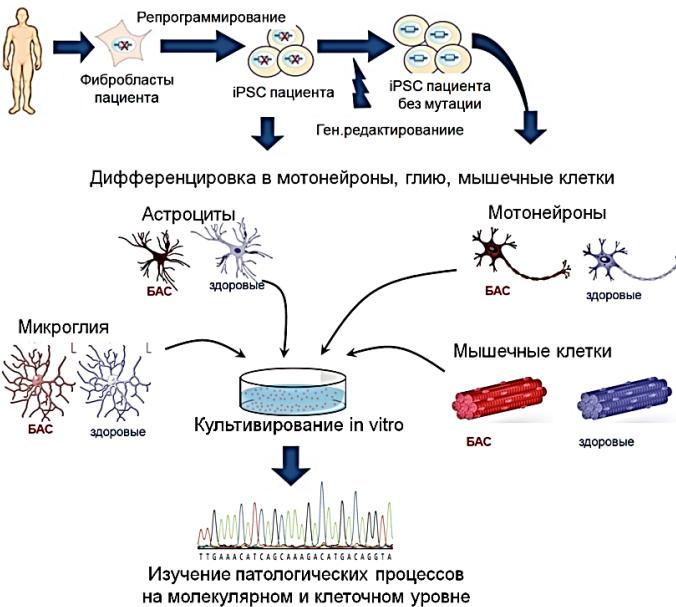
Благодаря этим открытиям и дальнейшему развитию технологий, стало возможно получить от донора или пациента небольшого участка кожи или немного крови (как для стандартного анализа), выделить фибробласты или лейкоциты, после чего, задействовав «коктейль Ямонаки», получить из них плюрипотентные стволовые клетки. Плюрипотентные СК в свою очередь могут быть дифференцированы в любой тип клеток. Таким образом, ученые получили возможность работать с клетками человека, которые раньше было практически невозможно получить (только при посмертном донорстве или из патологических тканей при сложных операциях) – нейронами, мышечными клетками, кардиомиоцитами, клетками поджелудочной железы и т.д., как от пациентов, так и от здоровых доноров.

Перепрограммирование соматических клеток стало чрезвычайно востребованным инструментом в клеточной биологии, позволяя создавать более информативные и приближенные к реальности модели заболеваний человека, а также может и постепенно становиться одним из источников для регенеративной медицины. Кроме того, моделирование заболеваний с помощью пациент-специфичных iPSC может лечь в основу разработки подходов персонализированной медицины.

В качестве примера можно привести один из проектов, над которым работает наша лаборатория и который посвящен моделированию бокового амиотрофического склероза (БАС). БАС – хроническое прогрессирующее нейродегенеративное заболевание, в ходе которого постепенно перестают функционировать и погибают мотонейроны. Мотонейроны необходимы для иннервации всех мышц, включая мышцы, участвующие в осуществлении дыхания, глотания и других жизненно важных функций, поэтому дегенерация мотонейронов приводит сначала к парезам, затем, с прогрессированием заболевания – к смерти. Впервые БАС был описан в 1869 году Жан-Мартеном Шарко. Прошло более 120 лет, когда впервые была выявлена генетическая причина – мутация в гене супероксид дисмутазы SOD1 (Rosen et al., 1993). Наше знание о генетических причинах и даже некоторых механизмах развития БАСа многократно увеличилось за прошедшее время. Например, теперь известно, что развитие БАСа связано также с мутациями в генах FUS, TDP-43, C9orf72 и других. БАС считается мультифакторным заболеванием, для которого до сих пор не понятны, какие нарушения внутриклеточных про-

цессов являются ключевыми, а какие – просто следствием патологического процесса. Несмотря на многочисленные исследования, для этого заболевания до сих пор не существует лечения. Во многом это связано с тем, что раньше было невозможно изучать механизмы развития заболевания на клетках человека, и ученые имели доступ только к мышьям моделям или посмертным образцам пациентов.

Развитие технологий репрограммирования клеток и генетического редактирования позволило анализировать внутриклеточные изменения на разных стадиях патологического процесса и перейти к схеме экспериментов, представленной на рисунке 1. При этом контролем служат клетки того же пациента, но с исправленной мутацией. Поскольку БАС характеризуется деградацией мотонейронов, основой моделирования заболевания является получение этого типа клеток.



В ходе дифференцировки иПСК в мотонейроны *in vitro* в течение 27 – 29 дней воспроизводят последовательно стадии образования нейрональных предшественников (нейруляция), спецификации клеток по дорсо-вентральной и крацио-каудальной оси и созревание полученных нейронов. Для этого в культуральную среду добавляют ин-

гибиторы и агонисты сигнальных путей, а также ростовые факторы – в соответствии с воспроизведенной стадией эмбриогенеза (рис. 2).

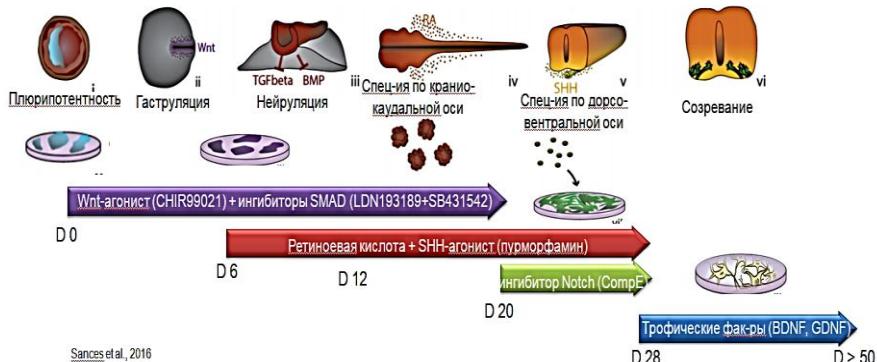
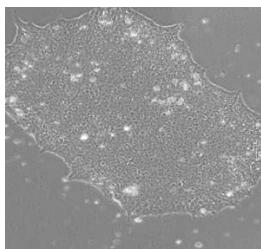
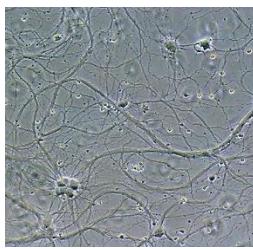


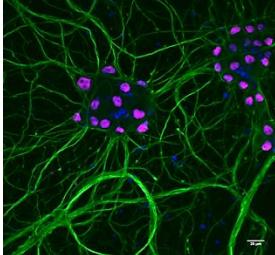
Рис. 2. Схема дифференцировки плюрипотентных СК в мотонейроны. Верхний ряд – стадии развития нервной системы в процессе онтогенеза (использована иллюстрация к статье Sances S. с соавт., 2016). Нижняя часть – последовательность добавления морфогенов и нейральных индукторов к культуре клеток



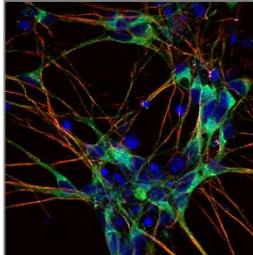
а – вид колонии иПСК



б – вид культуры мотонейронов, полученных из иПСК, световая микроскопия



в – мотонейроны, окрашенные антителами против нейрофиламентов (зел.) и транскрипционного фактора ISL1 (розов.)



г – мотонейроны, окрашенные антителами против холинацетилтрансферазы (зел.) и β -тубулина (крас.), ядра клеток окрашены DAPI (син.), конфокальная микроскопия

Рис. 3. Полученные мотонейроны

Полученные мотонейроны характеризуются морфологией и экспрессией специфичных для этого типа клеток белков (рис. 3), а также являются функционально активными и обладают способностью генерировать нервный импульс. В совместной культуре с миобластами полученные мотонейроны образуют нейромышечные синапсы. Таким образом, в лаборатории возможно получение мотонейронов с характеристиками, схожими с мотонейронами *in vivo*.

Описанный метод имеет ряд трудностей, например, в культуре сложно воссоздать микроокружение мотонейронов, кроме того, существует необходимость учитывать характер взаимодействия с другими типами клеток, например, астроцитами или клетками микроглии, которые, как показано, тоже могут играть роль в патогенезе, хотя сами не деградируют в отличие от мотонейронов. Дополнительной сложностью является необходимость длительного поддержания культуры и воспроизведение процесса старения клеток. Для информативного моделирования болезней с помощью иПСК исследователи в настоящее время сосредоточены на изучении процессов старения, метаболических изменений при болезни и создании условий культивирования максимально приближенных к условиям *in vivo*, чтобы повторить патологические особенности, наблюдаемые у пациентов. В качестве подходов при этом используют культивирование в 3D условиях (мини-органоиды), системы сокультивирования разных типов клеток в одном микрочипе и манипуляции состава культуральной среды.

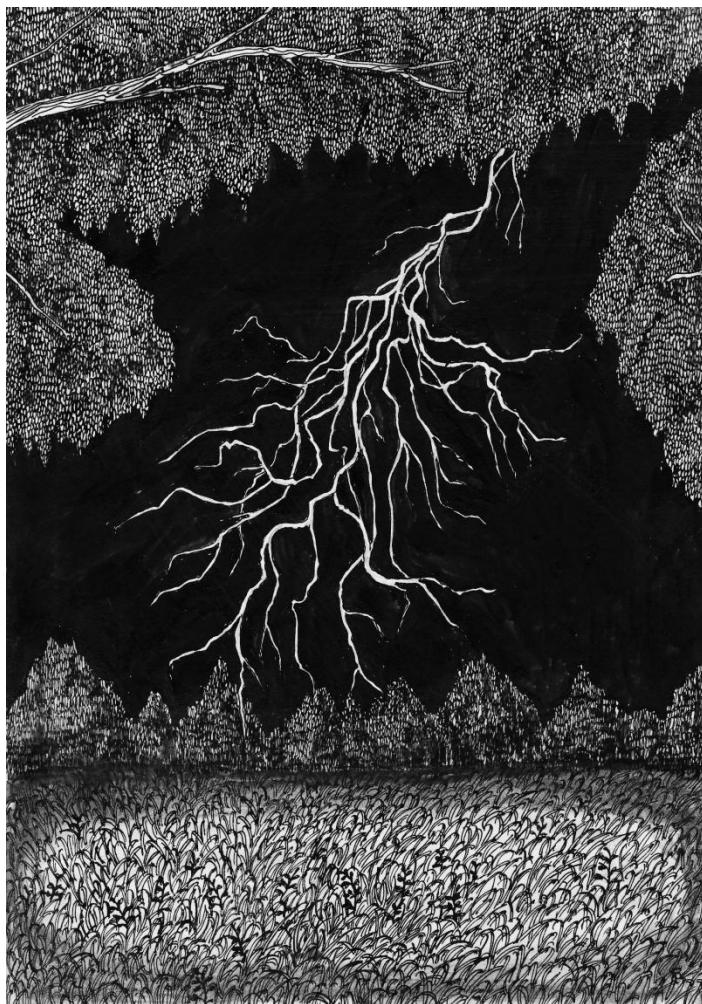
Несмотря на ограничения метода, с помощью мотонейронов, полученных из иПСК, удалось определить новые события, вовлеченные в патогенез БАС. Например, было показано изменение синтеза нейрофиламентов (элементы цитоскелета нейронов), что приводит к нарушению внутриклеточного транспорта (Chen с соавт., 2014) или нарушению лизосомального биогенеза (Shi с соавт., 2018). Эти нарушения не были ранее описаны на моделях заболевания с использованием лабораторных животных. Технологии, основанные на иПСК, могут не только служить источником новых знаний о механизмах развития заболеваний, но и являются удобной платформой для высокопроизводительного и информативного скрининга различных веществ-кандидатов при разработке лекарственных средств.

Таким образом, индуцированные плюрипотентные клетки позволили заглянуть в неизвестные ранее клеточные процессы и могут составлять основу создания новых лекарств для заболеваний, считавшихся неизлечимыми.

Литература

1. *Rosen D.R. et al.* Mutations in Cu/Zn superoxide dismutase gene are associated with familial amyotrophic lateral sclerosis // Nature. 1993. Т. 362. №. 6415. С. 59.
2. *Sances S. et al.* Modeling ALS with motor neurons derived from human induced pluripotent stem cells // Nature neuroscience. 2016. Т. 19. №. 4. С. 542.
3. *Chen H. et al.* Modeling ALS with iPICKs reveals that mutant SOD1 misregulates neurofilament balance in motor neurons // Cell stem cell. 2014. Т. 14, №. 6. С. 796 – 809.
4. *Shi Y. et al.* Haploinsufficiency leads to neurodegeneration in C9ORF72 ALS/FTD human induced motor neurons // Nature medicine. 2018. Т. 24, №. 3. С. 313.

Очарование науки



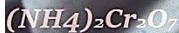
Удивительные научные явления вокруг нас



Есина Дарья Дмитриевна «С чего все начиналось»
11 класс, Школа № 4, г. Навашино Нижегородской области



Петрова Татьяна Игоревна «Вулканическая молния»
студентка 4 курса Нижегородского государственного строительного
университета (ННГАСУ)



МОРИН
(3,5,7,2',4'-пентагидроксифлавон) +
 HNO_3



Асташова
Мария Дмитриевна
10 класс, Лицей № 8,
Нижний Новгород

«Очарование химии»
(серия фотографий)
снимок с натуры, 20.02.2018,
лаборатория химического
факультета ННГУ им. Н.И.
Лобачевского





**Петелина
Амина Евгеньевна**
10 класс,
Лицей-интернат «Центр
одаренных детей»,
Нижний Новгород



«Краски неба»
(серия фотографий)
г. Лысково
Нижегородской области



**Феоктистова
Светлана Алексеевна**
11 класс, Лицей-интернат
«Центр одаренных детей»,
Нижний Новгород
**Физика в нашей
повседневной жизни
(серия фотографий)**
снимок с натуры, 21.07.2017,
Нижний Новгород



**Шакирский
Иван Олегович**
7 класс, Гимназия № 13,
Нижний Новгород
Взгляд из раковины
снимок с натуры, 10.03.2018,
Нижний Новгород



Юные исследователи и их наставники



Южакова Диана Владимировна «Кто кого?»
младший научный сотрудник ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России

Научно-техническое творчество



Ануфриев Иван Сергеевич «Вторая жизнь»
студент 1 курса НГТУ им Р.Е. Алексеева

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-------------------|---|
| Предисловие | 3 |
|-------------------|---|

НАУЧНОЕ РУКОВОДСТВО КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

| | |
|--|----|
| Ермилин А.И., Ермилина Е.В. Уровневая модель дополнительного научного образования школьников | 12 |
|--|----|

ФИЗИКА

| | |
|---|----|
| Архипов А.С. Создание высокоточных низкотемпературных термометров и исследование их свойств..... | 26 |
| Булгатова Ю.Д. Устройство для гомогенизации лазерного излучения | 30 |
| Бульдин И.Д. Лазерный эллипсометр Сенармона для исследования механических напряжений в оптически прозрачных материалах..... | 36 |
| Быстров С.А. Применение интерферометра Жамена-Лебедева для обнаружения мест аномального поглощения в нелинейно-оптическом элементе KDP..... | 39 |
| Галкина П.С. Сборка оптической схемы для создания кольцевого пучка | 43 |
| Гущин И.О. Ввод эллиптического пучка в оптическое волокно различными композициями линз | 46 |
| Дмитричева А.А. Исследование кольцевых волн на воде от упавшего твердого тела | 51 |
| Жарова М.А. Капля воды как альтернативный источник энергии..... | 55 |
| Золотых А.Н. DDS генератор электрических сигналов на базе микроконтроллера ATMega16 | 60 |
| Зотников В.В. Расчет цепей переменного тока аналитическим методом | 64 |
| Зубков В.И. Моделирование неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в водной пленке, находящейся в воздушном потоке | 67 |
| Казанцев Г.В. Исследование способов уменьшения температурных колебаний в криогенных системах замкнутого цикла | 72 |
| Каменовский И.А. Исследование нелинейных автоколебаний пружинного маятника в переменном неоднородном магнитном поле | 75 |
| Карпов И.А. Регулирование температуры воздуха в теплице | 78 |
| Коган С.А. Исследование хиральности различных сахаров и лекарств методом оптической поляриметрии..... | 84 |
| Кондрашева П.П. Модель расслоения плазмы сверхвысокочастотного свободно локализованного разряда в квазистатическом приближении | 89 |
| Копьева А.О. Установление зависимости кинетической энергии капли дождя от ее диаметра и высоты падения | 93 |
| Краснокутский А.И. Разработка чувствительного элемента детектора наличия флуорофора в биоткани..... | 98 |

| | |
|---|-----|
| <i>Лазарев Д.В.</i> Измерение колебательной температуры азота по относительной интенсивности спектральных линий в плазме индукционного разряда | 102 |
| <i>Лебедев Е.И.</i> Исследование влияния магнитного поля на колебания нитяного маятника | 107 |
| <i>Логинов А.М.</i> Исследование способов повышения теплопроводных свойств природного льда | 111 |
| <i>Покровский М.П.</i> Использование сферического акустического резонатора для определения скорости звука и малых затуханий в жидкости | 114 |
| <i>Тютин Е.В.</i> Измерение импульсных токов и напряжений большой величины | 118 |
| <i>Хитрин Д.М.</i> Оценка точности методов измерения коэффициента поверхностного натяжения..... | 123 |
| <i>Шагалов Н.А.</i> Исследование взаимодействия магнитных диполей | 128 |
| <i>Штокман А.И.</i> Автоматизация экспериментального исследовательского стенда для определения электрических и оптических свойств кристаллов KDP и DKDP | 134 |
| <i>Яковлев М.И.</i> Визуализация прозрачных объектов методами линейного и нелинейного фазового контраста | 138 |

АСТРОНОМИЯ

| | |
|--|-----|
| <i>Андриянычева К.Д.</i> Магнитные плазменные структуры в потоках астрофизической и лазерной плазмы | 144 |
| <i>Домбек Е.М.</i> Получение спектра звезд и его обработка | 148 |
| <i>Жаркова А.М.</i> Построение карты Луны в поляризованном свете | 155 |
| <i>Золотавин М.А.</i> Высокоточные измерения скоростей газа в областях звездообразования | 158 |
| <i>Ильичев Е.С.</i> Исследование астроклимата в окрестностях Нижнего Новгорода | 163 |
| <i>Литвиненко А.Ю.</i> Расчет температурных характеристик аппарата для его введения в атмосферу Солнца | 167 |
| <i>Яишенкина О.Д.</i> Изучение спектра звезд рассеянного звездного скопления Плеяды | 171 |

ХИМИЯ

| | |
|---|-----|
| <i>Аристархова Д.В.</i> Синтез металлорганических соединений висмута и исследование их фоторазложения методом ЭПР | 176 |
| <i>Загородников Н.В.</i> Исследование возможности чувствительного определения некоторых неорганических веществ методом микрокристаллоскопии.. | 181 |
| <i>Иванова Д.В.</i> Гидрогели на основе крахмала и акриламида..... | 187 |
| <i>Кипелкин Е.В.</i> Синтез метакрилата тетрафенилсульфуры для синтеза прозрачного металлоорганического стекла..... | 190 |

| | |
|--|-----|
| <i>Крюченкова А.А.</i> Влияние условий заваривания на содержание витамина Р(рутин) в разных сортах чая..... | 194 |
| <i>Недопивцева Е.А.</i> Антигололедные реагенты и окружающая среда..... | 198 |
| <i>Пигиданова А.В.</i> Определение содержание витамина С (аскорбиновой кислоты) в овощах и фруктах..... | 202 |
| <i>Попова М.С.</i> Вязкостно-температурные характеристики раствора сополимера бутилакрилата с винилбутиловым эфиром в диоктилсебацинате в сравнении с коммерческими загущающими присадками | 204 |
| <i>Пряжникова М.И.</i> Термодинамические свойства блок-сополимера хитозана с полилактидом | 209 |

БИОФИЗИКА И БИОЛОГИЯ

| | |
|---|-----|
| <i>Архипов В.А.</i> Влияние свинца на всхожесть семян и состояние проростков гороха посевного (<i>Pisum sativum L.</i>) и пшеницы мягкой (<i>Triticum aestivum L.</i>)... | 216 |
| <i>Баранова А.Н.</i> Воздействие карбамилированного дарбэпоэтина на когнитивные функции мозга в норме и после нарушения мозгового кровообращения в эксперименте | 220 |
| <i>Герасимова Е.С.</i> Изучение параметров функционального состояния обучающихся с составлением карты здоровья | 226 |
| <i>Глявина А.М.</i> Исследование возможности оценки толщины флуоресцентного слоя и влияния на нее оптических свойств биоткани..... | 231 |
| <i>Еришова Е.Д.</i> Влияние дополнительного параметра «ритм» в протоколе нейробиоуправления на эффективность тенинга | 234 |
| <i>Зорина М.Б.</i> Возрастные и профессиональные особенности функциональной межполушарной асимметрии, порогов цветоразличения и решения когнитивных задач | 237 |
| <i>Иванов А.В.</i> Исследование чувствительности человеческого глаза к циркулярной поляризации света | 245 |
| <i>Игнатьева Е.М.</i> Исследование возможности применения флуоресцина как флуоресцентной метки патогенных грибов в тканях растений | 250 |
| <i>Ильина П.Н.</i> Физиологическое обеспечение процесса научения | 254 |
| <i>Кирюшина К.Д.</i> Психофизиологические особенности школьников разных профильных групп..... | 260 |
| <i>Козлова Е.А.</i> Анализ роли ионов Ca^{2+} в генерации электрических реакций в клетках высших растений | 265 |
| <i>Козлова Е.А.</i> Сравнительный анализ методов решения проблемы цветения воды на основе лабораторных исследований..... | 269 |
| <i>Кукушкина Е.Д.</i> Разработка экскурсии «Бобр, его местообитание, деятельность, влияние на окружающую среду» на основе материалов исследования «Бобр – вред или польза?» | 273 |

| | |
|--|-----|
| <i>Кулиева Т.Д.</i> Оценка общего физиологического состояния экзотического вида красноухой черепахи (<i>Trachemys scripta elegans</i>) математическим способом | 280 |
| <i>Юдина А.Е.</i> Исследование влияния режима освещенности на характеристики процесса роста | 284 |
| ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА И МАТЕМАТИКА | |
| <i>Зубкова А.И.</i> Разработка программы для расчета электродинамических параметров резонаторов | 290 |
| <i>Журавлев К.С.</i> Исследование вклада антропогенных и природных факторов в эволюцию климата | 295 |
| <i>Калашников М.Г.</i> Программная реализация составления прогноза погоды «методом Замбretti» по данным с метеостанции | 302 |
| <i>Чернов Р.А.</i> Треугольники на параметрических плоскостях | 308 |
| НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ | |
| <i>Железнов Д.С.</i> Как реализовать мечту? | 314 |
| <i>Зайцев С.В.</i> Геофизика, или Как посмотреть весь мир, занимаясь интересным делом? | 318 |
| ЛЕКЦИИ НИЖЕГОРОДСКИХ УЧЕНЫХ | |
| <i>Катичева Л.А.</i> Что изучает биофизика? | 325 |
| <i>Айзенштадт А.А.</i> Индуцированные стволовые клетки человека в моделировании нейродегенеративных заболеваний | 331 |
| ОЧАРОВАНИЕ НАУКИ | |
| Удивительные научные явления вокруг нас | 338 |
| Исследователи и их наставники | 343 |
| Научно-техническое творчество | 344 |

Научное издание

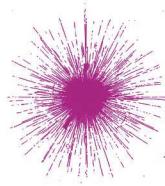
Школа юного исследователя

Сборник исследовательских работ учащихся

Выпуск 11

Подписано в печать 30.07.18. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 20,23. Тираж 500 экз. Заказ № 1027.

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 978-5-93530-477-5

A standard linear barcode representing the ISBN number.

9 785935 304775