

Школа юного исследователя

Сборник
исследовательских работ учащихся

Выпуск 4

У Д К 3 7 1
Б Б К 7 4 . 2 0 0 я 4 3
Ш 6 7

Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2011. – ISBN 978-5-93530-289-4.
Вып 4 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной. – 193 с.
ISBN 987-5-93530-364-8 (вып. 4)

Под общей редакцией
канд. пед. наук
А.И. Ермилина

Рецензенты :
доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН *В.Ф. Вдовин*,
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН *А.М. Рейман*,
канд. хим. наук, ассистент кафедры аналитической химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского Е.В. Елипашева

Рисунки *Анастасии Щенниковой*

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся – призеров V итоговой конференции школьников «В мире знаний», прошедшей в апреле 2011 года в ННЦ РАН.

ISBN 987-5-93530-364-8 (вып. 4)
ISBN 987-5-93530-289-4

© Нижегородский научный центр ИПФ РАН, 2011
© Оформление. ИП Гладкова О.В., 2011

*При Университете необходимо должна быть Гимназия,
без которой Университет, как пашня без семян.*

*М.В. Ломоносов.
Письмо И.И.Шувалову.
1754 год*

В ноябре 2011 года наша страна отметила 300-летие со дня рождения основателя Московского университета и создателя отечественной общеобразовательной школы, первого русского академика Михаила Васильевича Ломоносова (1711 – 1765).

О вы, которых ожидает
Отечество от недр своих,
И видеть таковых желает,
Каких зовет от стран чужих,
О, ваши дни благословенны!
Дерзайте ныне ободренны
Раченьем вашим показать,
Что может собственных Платонов
И быстрых разумом Невтонов
Российская земля рождать.

Науки юношей питают,
Отраду старым подают,
В счастливой жизни украшают,
В несчастной случай берегут;
В домашних трудностях утеха
И в дальних странствах не помеха.
Науки пользуют везде,
Среди народов и в пустыне,
В градском шуму и наедине,
В покое сладки и в труде.

*М.В. Ломоносов.
Отрывок из Оды на день восшествия на всероссийский престол ее величества государыни императрицы Елисаветы Петровны 1747 года*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Детский образовательно-оздоровительный лагерь им. Н.С. Талалушкина, принадлежащий Институту прикладной физики РАН, завершил очередной летний исследовательский сезон для школьников. Более 200 ребят в этом году использовали возможность не только отдохнуть, но и окунуться в мир науки. И сегодня мало кто вспоминает, что история этого уникального опыта берет свое начало, как принято сейчас говорить, в сложные 1990-е годы. Тогда вопрос содержательной работы в детских учреждениях не мог не волновать всех, кто работал в этой сфере: коммунистическая идеология перестала быть приоритетом государственной политики; октябрята не стремились стать пионерами, пионеры – комсомольцами. На каких принципах строить воспитательную работу? Как привлечь и объединить ребят в лагере? Как сохранить лагерь? – такими были актуальные вопросы переходного периода.

ИПФ РАН так же, как и многие государственные учреждения, переживал в ту пору как экономический, так и кадровый кризис, последний был обусловлен не только снижением финансирования, но и демографическим спадом 1970-х и последующих годов. К тому же наука утратила характерную для советского периода привлекательность для молодежи, угнетало отсутствие видимых перспектив в этой сфере деятельности. Требовалось менять отношение молодежи к науке. Тогда-то и возникла идея предложить школьникам во время отдыха не просто послушать рассказы о науке, а окунуться в нее на практике, чтобы понять, что такое научная деятельность и как удивительно обретать новые знания, да еще не из учебников, а самостоятельно! Это стало главной воспитательной идеологией детского лагеря, тем более что уже существовал успешный опыт летних физико-математических школ для старшеклассников, которые проводились на базе лагеря с 1988 года. Инициатива была поддержана руководством ИПФ РАН. Прекрасно расположенная в сосновом лесу, в 25 километрах от центра города летняя база – ДООЛ им. Н.С. Талалушкина и главное – огромный научный потенциал, накопленный в институте, способствовали реализации этой идеи. Так началась работа по созданию уникального образовательного проекта «В мире знаний». Определилась и цель – создание на базе исследовательского института инновационного научно-образовательного пространства, организующего взаимодействие школьников с миром науки,

сообществом ученых, в котором «очарование науки» представлено в естественных, «живых» формах, что особенно значимо при формировании мотивации и готовности к научной деятельности.

Проект научного образования школьников «В мире знаний» получил признание не только у педагогов на российском уровне, но, самое главное, у детей, родителей и тех, кто участвует в его реализации. В настоящее время проект осуществляется в два этапа – летние смены загородного лагеря «Умные каникулы», а в осенне-весенний период – «Школа юного исследователя» в научно-образовательном пространстве ИПФ РАН. Но все по порядку.

Как организованы «Умные каникулы»? В ДООЛ им. Н.С. Талалушкина школьник получает возможность не только хорошо отдохнуть (вкусно покушать, подышать чистым сосновым воздухом), но и проявить себя в качестве исследователя, организатора, журналиста – выбор приложения талантов у школьников довольно широкий. В этом году ребятам были предложены следующие сферы знания для научных исследований – астрономия, физика, химия, биология, прикладная информатика, журналистика, психология. Включенность в изучение этих областей знания вовсе не означает, что ребята «как ботаники» проводят все время в классах. «Умные каникулы» потому и умные, что обучение носит свободный, ненасильственный характер и проводится в увлекательной и игровой форме. В результате дети имеют возможность поспорить, высказать свое мнение, удовлетворить свое любопытство, учатся слушать друг друга, то есть приобретают важные навыки общения и, конечно, расширяют кругозор. При выполнении учебно-исследовательской работы на основе свободного выбора направления, проблемы, темы ребята акцентируют внимание на исследовательской деятельности, учатся анализировать, обобщать полученные в ходе эксперимента данные, составлять прогнозы. Традиционно организуются экскурсии в ведущие институты Нижнего Новгорода – Институт прикладной физики РАН, Институт физики микроструктур РАН, Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятовых РАН, Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, а также в Нижегородский планетарий и радиофизическую лабораторию ННГУ. Ребята узнают о специфике различных институтов, о тех, кто стоял у истоков их создания, актуальных проблемах, стоящих перед учеными, и процессе их решения ведущими специалистами. А также, самое главное, как научные разработки внедряются на практике и в каких областях современ-

менной жизни они применяются. Тем, кто решил приобрести навыки организаторской деятельности, предлагается возможность активного участия в экономической игре.

Талалушкинград, как мы называем наш лагерь, представляет собой маленькую копию городской среды с присущими ей структурами и организационной культурой: собственная символика, награды; мэр, дума, министры; банк, валюта; газета «Талалушкинский экспресс». Участие ребят во властных структурах лагеря определяется по результатам выборов. Эта интересная и увлекательная игра не только развивает организаторские способности, умение принимать решения, но и моделирует структуру отношений, адаптирует детей к жизненным реалиям гражданского общества. У жителей Талалушкинграда имеются возможности для реализации творческих, лидерских, научных и спортивных способностей – открыты изостудия, кружки хореографии, вокала и спортивные секции тенниса, футбола и акробатики. Имеются шахматы и игротека с интеллектуальными играми и различными головоломками для детей любого возраста, а также для взрослых. Работа предметных кружков и их методики нацелены, как правило, на обеспечение образовательных потребностей группы детей, поэтому при планировании работы объединений по интересам мы отводим больше времени на индивидуальное общение с учениками, составление индивидуальных программ развития.

Образование в педагогических условиях детского лагеря организуется на основе включенности воспитательных задач в повседневность жизни детей и взрослых. Поэтому проводится много мероприятий, в основе которых лежит «идея свободного выбора и независимость от принуждающего произвола других». Именно этим определяется разнообразие форм организации, методов и способов жизнедеятельности детей и взрослых в течение смены. Выделим лишь некоторые, ставшие традиционными.

1) Конкурс полевых обедов. 9 команд на кострах готовят изысканные, по их мнению, блюда. Дети самостоятельно (под контролем взрослых и с соблюдением всех мер предосторожности) разводят костры, носят воду, готовят и оформляют блюда. Члены жюри оценивают качество приготовления, вкус, оригинальность и оформление блюд, или, в соответствии с научной терминологией, применяют органолептический метод исследования.

2) Интеллектуальный турнир «Знатоки». Это мир науки и сфера интеллекта. На этом конкурсе наблюдается такая неумная научная

или околону научная фантазия. Изобретаются «заново» порох, велосипеды, ракеты, подводные лодки. А иногда юные физики и химики объединяются, и тогда новый вид топлива уводит ракету туда, куда изобретатели не предполагали, но это позволяет авторам сделать анализ и внести поправки.

3) Конкурс научных проектов «Актуальный вопрос». В этом году лучшим оказался проект «Нижегородская атомная станция: за и против». Исполнителям проекта удалось убедить практически весь лагерь в безопасности станции, построенной по современным технологиям из современных материалов.

Итогом летнего образовательного проекта традиционно является конференция исследовательских работ «В мире знаний», которая проводится в конце каждой смены. Это возможность иной, чем учебная, формы взаимодействия взрослых и детей. Научная конференция предлагает модели исследовательского поведения: активное слушание, развитие критичности, самостоятельности и доказательности мышления, навыки публичного выступления, демонстрация индивидуального стиля научной деятельности и др.

Оценивать работы приглашаются ведущие ученые города: сотрудники ИПФ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижегородского планетария, ННЦ РАН и другие. По результатам конференции ребята награждаются дипломами, подписанными председателем фонда «Поиск» доктором физико-математических наук Вячеславом Федоровичем Вдовиным, и ценными подарками.

Жителями Талалушкинграда являются школьники 5 – 10-х классов, их родители, педагоги, а участниками нашего проекта – дети из семей сотрудников академических институтов, вузов, научных и образовательных учреждений города. Дети развиваются, как правило, в благоприятных семейных и социокультурных условиях, благодаря чему хорошо адаптируются к своему окружению, способны сохранять личную идентичность, сознательно управлять интеллектуальной деятельностью. Такие школьники отличаются разнообразием в стратегиях поведения, индивидуальными приемами умственной работы.

Школьникам, желающим стать участниками проекта, в весенний период предлагается «Анкета знакомства» с целью выявления отношения к обучению, познавательных интересов и мотивации ребенка к получению новых знаний. По своему интеллектуальному развитию и потребности в познании, стремлению к достижениям, как показывают результаты психологической диагностики (2008 –

2011гг.), участники проекта относятся к группе, которую в традиционной школе принято называть «сильными» учениками. В эту метафору принято вкладывать разные смыслы: и готовность к обучению, и прилежность, и интеллектуальные способности, и обученность, и др. Для понимания психологических особенностей «сильных учащихся» интересна классификация Я.А. Коменского. Великий ученый-дидакт делил всех обучаемых на шесть типов, предлагая соответствующие им педагогические воздействия: «Во-первых, есть ученики с острым умом, стремящиеся к знанию и податливые; они преимущественно перед всеми другими особенно способны к занятиям. Им ничего не нужно, кроме того, чтобы предлагалась научная пища....Во-вторых, есть дети, обладающие острым умом, но медленные, хотя и послушные. Они нуждаются только в прищипоривании....В-третьих, есть ученики с острым умом, стремящиеся к знанию, но необузданные и упрямые....В-четвертых, есть ученики послушные и любознательные при обучении, но медлительные и вялые». Два последних типа Я.А. Коменский называет большей частью безнадежными: «Почву бесплодную, говорит Катон, не следует ни обрабатывать, ни трогать...»¹.

Обучение по программе в лагере обеспечивают преподаватели ННГУ, ИПФ РАН, лицея № 38, школ города. Сложились многолетние традиции социального партнерства с Нижегородским планетарием и его руководителем канд.физ.-мат.наук А.В. Сербером, ННГУ и, в частности, деканом химического факультета, профессором, доктором хим. наук А.В. Гушиным, ИМХ РАН и доктором хим. наук, заведующим лабораторией И.Л. Федюшкиным и многими другими. Стала традицией преемственность поколений в вожатском коллективе. Например, в этом году 17 из 38 педагогических работников лагеря являются выпускниками образовательного проекта «В мире знаний».

Научное образование школьников – процесс непрерывный. Поэтому второй программой образовательного проекта «В мире знаний» является развитие научного образования в педагогических условиях «Школы юного исследователя». Созданная в 2005 году «Школа юного исследователя» (ШЮИ) при ИПФ РАН реализует образовательную программу, адресованную «ученикам с острым умом», «любопытным», «стремящимся к знаниям», дополняет, развивает исследовательскую деятельность по физике, астрономии, химии, био-

¹ Коменский Я.А. Избранные педагогические сочинения. Т. 2. – М., 1982. С. 309.

логии, математике, прикладной информатике, истории науки. Благодаря ШЮИ призеры летних конференций 7 – 10-х классов ежегодно получают возможность продолжать исследовательскую деятельность в течение года под руководством опытных специалистов научных институтов, педагогов вузов и учителей.

Таким образом, проект «В мире знаний» дает возможность школьникам в течение всего года заниматься научной деятельностью. А это позволяет им соприкоснуться с реальной жизнью современного научного коллектива, стать активными участниками его дел. В течение года дети не только занимаются исследовательской работой, но и знакомятся с курсами «История развития науки», «Методика научного исследования», с правилами предоставления материала, занимаются подготовкой докладов, участвуют в научных обсуждениях, овладевают навыками публичного выступления.

Юные исследователи представляют свои работы на городских, всероссийских и международных конференциях. Научное образование и развитие трудно оценивать по формальным критериям. Главным показателем его результативности становится личная судьба и выбор жизненной стратегии каждым участником проекта. Сегодня с уверенностью можно констатировать, что за 6 лет работы ШЮИ в научную деятельность были вовлечены 117 наиболее одаренных учеников; 50 из них стали студентами профильных факультетов вузов, 67 – продолжают обучение в ШЮИ в настоящий момент. В этом году базовый факультет ИПФ РАН «Высшая школа общей и прикладной физики» (ВШ ОПФ) пополнили ученики ШЮИ Дмитрий Сидоров, Никита Кирюхин, Василий Мыльников и Василий Шампоров, радиофизический факультет ННГУ им. Н.И. Лобачевского – Дмитрий Громов и Валентин Рассадовский. На географическом факультете по специальности геофизика учится Сергей Зайцев. Институт радиоэлектроники и информационных технологий (ИРИТ) НГТУ им. Р.Е. Алексеева выбрал для дальнейшего обучения Артем Ханнанов. Два выпускника ШЮИ поступили в вузы Москвы и Санкт-Петербурга – Павел Троицкий стал студентом факультета летательных аппаратов МИФИ, а Ульяна Зотова – студенткой механико-математического факультета СПГУ. Одной из заслуг ШЮИ мы считаем и самоопределение школьников при выборе места школьного обучения – 23 подростка, обучающихся в ШЮИ, поступили в профильный F-класс физико-математического лицея № 40 и занимаются на базе научно-образовательного комплекса ИПФ РАН, 14 – перешли из общеобразо-

вательных в профильные школы (лицей № 40 и № 38). Объединение усилий и заинтересованность педагогов и школьников обеспечивают высокий уровень подготовки. Об этом свидетельствуют результаты конференций различных уровней, в которых принимали участие ребята ШЮИ ННЦ РАН. Ежегодно учащиеся ШЮИ становятся призерами городской конференции НОУ «Эврика» по физике, химии, астрономии, информатике, лауреатами областного молодежного конкурса «РОСТ», победителями «Российских чтений – конкурса им. С.А. Каплана», международных научных конференций школьников – «Колмогоровские чтения» (Москва), «Харитоновские чтения» (Саров) и «Сахаровские чтения» (Санкт-Петербург).

В мае 2011 года на крупнейшем в мире международном конкурсе научных работ старшеклассников Intel ISEF – 2011 в Лос-Анджелесе ученица ШЮИ Полина Шалаева (10-й класс) получила четвертую премию Grand Awards в номинации «Физика и астрономия» за работу в области оптических измерений. Всего в конкурсе, проходившем под патронажем некоммерческой организации Society for Science & Public, участвовали более полутора тысяч школьников из 65 стран мира, в том числе и 17 юных исследователей из России. В 2010 году на том же конкурсе ученица ШЮИ Шайкина Анастасия (9-й класс) в составе нижегородской команды получила третью премию.

Это лишь некоторые результаты воспитательной работы, мы по праву гордимся ими и рады, что выращенные нашими общими усилиями зернышки падают на благодатную почву, и уже другие наставники продолжают их обучение. Одновременно с ростом готовности школьников к научной деятельности возрастает профессионализм преподавателей, увеличивается число участников и социальных партнеров программы. Однако основу и главную поддержку по-прежнему осуществляют руководители и ученые ИПФ РАН, среди которых необходимо назвать В.Ф. Вдовина, В.В. Кочаровского, П.А. Шилягина, А.М. Реймана и многих других.

Благодарим всех, кто любит и растит из этих непоседливых, шумных, любознательных и очень разных детей нашу звонкую смену!

А.И. Ермилин, Е.В. Ермилина

Вопросы содержания и организации исследовательской деятельности школьников



Не соответствует ли требованиям настоящего времени какая-то иная система образования?

А. Дистервег

Модернизация и инновационное развитие – единственный путь, который позволит России стать конкурентным обществом в мире 21-го века, обеспечить достойную жизнь всем нашим гражданам. В условиях решения этих стратегических задач важнейшими качествами личности становятся инициативность, способность творчески мыслить и находить нестандартные решения, умение выбирать профессиональный путь, готовность обучаться в течение всей жизни. Все эти навыки формируются с детства.

*Национальная образовательная
инициатива «Наша новая школа»*

Интеллектуальное воспитание одаренных школьников в условиях дополнительного образования



А.И. Ермилин

кандидат педагогических наук,
Институт прикладной физики РАН



Е.И. Перфильева

кандидат педагогических наук,
доцент
НИУ «Высшая школа экономики»

Введение

Ответ на вопрос немецкого педагога А. Дистервега теории и практики современного образования дают вполне согласованный. Действительно, традиционная организация образования переживает системный кризис, поэтому в изменениях нуждаются цели, содержание, средства и технологии образовательного процесса. Разногласия педагогической науки и образовательной практики начинаются в вопросах выбора направлений обновления и инновационного развития *иной системы образования*.

Одним из направлений инновационного развития отечественного образования органы государственной власти предлагают создание разветвленной системы поиска, поддержки и сопровождения талантливых детей. Национальная образовательная инициатива «Наша новая школа» декларирует: «Необходимо развивать творческую среду для выявления особо одаренных ребят в каждой общеобразовательной школе».

Сегодня

Формы организации обучения одаренных детей представлены несколькими ведущими направлениями поиска. Первое направление объединяет движение к индивидуальному обучению. Такие школы

стараясь с учетом индивидуальных стилей познавательной деятельности детей обеспечить переход к индивидуальным учебным планам. Второе направление – профильные классы, призванные обеспечить одаренным детям индивидуальные образовательные маршруты. Ученики, объединенные общим интересом к гуманитарным, техническим, социальным или естественным наукам, получают возможность изучать эти науки, используя потенциал основного и дополнительного образования в пределах школы. Третья возможность развития детской одаренности в форме внеурочного общения взрослых и детей предоставляется внешкольными организациями.

Основными формами «внеаудиторной занятости учащихся» должны стать олимпиады и конкурсы, слеты, летние и зимние профильные школы, конференции, семинары. Такие формы, педагогический процесс в которых строится на правиле: наука не терпит принуждения, активно развиваются в практике дополнительного образования, которое все больше становится образованием, основанным на свободе выбора.

Цель данной статьи – показать реальные и потенциальные возможности дополнительного научного образования школьников для решения задач интеллектуального воспитания одаренных детей в процессе обучения.

Концепция программы дополнительного научного образования

Философ и психолог Карл Густав Юнг (1875 – 1961) сумел привлечь внимание своих современников к феномену одаренности тем, что вопреки традиционному принципу помогать слабоодаренным предложил школе в качестве приоритетной задачу воспитания одаренных детей. Трудность ее решения определяется тремя проблемами, актуальными и в наши дни. Первая из них – раннее проявление одаренности и ее узнавание. Другая проблема школы, по мнению гуманиста К. Юнга, состоит в том, что «наряду с даровитостью ума существует даровитость сердца и поэтому трудности у одаренного ребенка существуют не только в интеллектуальной области, но также и в моральной, то есть в области чувств» [9, с. 158]. Третья состоит в устойчивом предубеждении массовой школы против тех детей, которым свойственны разнообразие и непохожесть и, как следствие, установка школьного обучения на поддержку слабых. В докладе, прочитанном на съезде работников средней школы в Базеле (1942), Юнг предложил идею «сбалансированного и устойчивого

образования» для детей с общей одаренностью, гуманитарная миссия которых в общественном развитии определена самой природой: «Одаренный же – тот, кто несет светоч, и он избран к столь высокому служению самой природой» [9, с. 164].

Разрабатывая концепцию и программу научного образования школьников для системы дополнительного образования на базе научно-исследовательского института, мы предположили, что научная одаренность и способности к исследовательской деятельности обнаруживаются не одновременно, но последовательно, а на их раннее проявление и развитие существенное влияние может оказывать научно-образовательное пространство исследовательского института и сообщество ученых, в которых «очарование науки» представлено в естественных, «живых» формах.

Дополнительное научное образование адресуется, прежде всего, талантливым и одаренным детям и способно, по нашему мнению, создать условия для инновационного решения каждой из названных проблем. *Научное образование* принято определять как целенаправленное и ускоренное развитие научных способностей благодаря педагогически организованной передаче научных знаний и распространению научного мировоззрения в обществе. *Процесс дополнительного научного образования* – межсубъектный обмен научными знаниями и способами научной деятельности, ценностями и смыслами научной картины мира между сообществом ученых и подрастающим поколением в специально организованных педагогических условиях. Понятие «интеллектуальное воспитание» не получило пока признания в педагогической среде. Вслед за авторами «обогащающей модели обучения МПИ-проект» мы понимаем *интеллектуальное воспитание учащихся* в дополнительном образовании как форму организации образовательного процесса, создающую условия для обогащения умственного опыта и совершенствования интеллектуальной деятельности каждого ученика [3, с. 67]. Интеллектуальное воспитание соответствует задачам и сущности научной деятельности, так как формирует потребность в умственном труде и поддерживает индивидуальное своеобразие склада ума.

Авторская программа развития у школьников готовности к научной деятельности была разработана и реализована нами в научно-образовательном центре ИПФ РАН в период с 2002 по 2011 годы. В ходе ее реализации определились основные педагогические условия эффективности развития одаренных детей: интеграция науки и обра-

зования, индивидуализированные формы обучения, раннее включение школьников в науку, личностно-ориентированное взаимодействие всех участников программы, психологическое сопровождение образовательного процесса и «интеллектуальное воспитание» в процессе обучения (М. Холодная).

Принципиальным различием «вкладов» дополнительного и школьного образования в интеллектуальное воспитание является то, что школьник в каждом из них проходит разные образовательные пути. В процессе дополнительного научного образования происходит «великое восстановление наук». Когда ребенок исследует какую-либо область научной картины мира, приобретает умения и навыки, оценивает полученный результат, тогда он получает возможность выбирать и осваивать свой выбор. «Право на выбор реализовано в дополнительном образовании от самых истоков, рождающих эту подсистему образования» [6, с. 5 – 6].

Другой специфической чертой и ценностью дополнительного образования является приоритет свободного воспитания, которое осуществляется через воспитание увлеченности предметом деятельности на основе права выбора. Макс Вебер в программном выступлении в 1918 году перед студентами Мюнхенского университета говорил о великой воспитательной роли науки: «Без странного упоения, вызывающего улыбку у всякого постороннего человека, без страсти и убежденности в том, что должны были пройти тысячелетия, прежде чем появился ты, и другие тысячелетия молчаливо ждут, удастся ли тебе твоя догадка, – без этого человек не имеет призвания к науке, и пусть он занимается чем-нибудь другим. Ибо для человека не имеет никакой цены то, что он не может делать со страстью» [2, с. 707].

Следующая особенность дополнительного образования заключается в практической направленности большинства реализуемых программ, так как ребенок имеет реальную возможность наблюдать, создавать, обобщать и извлекать знания в процессе взаимодействия с предметами труда. Новое время усилило развивающую функцию дополнительного образования, объединив понятия «образование», «среда, пространство», «развитие». Значительные изменения во всех сферах жизни общества, «огромные, реально произошедшие изменения человека, живущего, действующего в новой ситуации» (Д.И. Фельдштейн), обусловили, на наш взгляд, три основных инновационных процесса в дополнительном образовании.

Во-первых, усилилось влияние дополнительного образования на становление жизненных целей и жизненных смыслов современных школьников. Содержание деятельности, освоенное в детские годы, как показывает наш опыт, часто становится решающим фактором социального и профессионального самоопределения взрослого человека. Погружение в образовательную область, имя которой – «наука», способствует социальному взрослению и реализации при-сущего одаренным детям стремления к творчеству, созиданию, пониманию содержательной стороны и ценностей научной картины мира.

Во-вторых, современное дополнительное образование активно помогает развитию индивидуальной позиции в учебной деятельности и создает оптимальные психолого-педагогические условия для формирования у детей познавательного интереса и познавательной активности. В условиях дополнительного образования научная подготовка талантливых детей становится избирательной, реализуется по индивидуальному образовательному маршруту.

В-третьих, открытое образовательное пространство дополнительного образования позволяет одаренным школьникам познавать мир в соответствии с их интересами и способностями. В педагогической теории понятие «образовательное пространство» получило развитие в работах В.Г. Воронцовой, В.И. Слободчикова, В.А. Ясвина и других. В дополнительном образовании школьников оно выполняет функции обогащения, ускорения, гуманизации содержания обучения и по структуре, интенсивности и целесообразности существенно отличается от других образовательных сред.

Кроме того, основу для разработки программы дополнительного научного образования талантливых школьников также составили классификация факторов научной деятельности, предложенная М.Г. Ярошевским; идея социальной детерминации научного знания на микро- и макроуровне (А.В. Юревич); педагогические аспекты категории деятельности (В.И. Гинецинский, В.А. Якунин); концепция интеллектуального воспитания учащихся в процессе обучения (М.А. Холодная).

Проявление научной одаренности и ее узнавание

В современных психолого-педагогических исследованиях словосочетание «детская одаренность» наполнено расширенными смыслами, которые отличаются от романтических подходов 1990-х годов,

когда специалисты писали о «высоких исполнительских способностях одаренных детей», «быстрых учениках», «оптимистической трагедии одаренности» [1, с. 81 – 87] и особой небольшой группе «исключительных» детей.

Одаренные дети в современной социокультурной ситуации – это дети, обладающие потенциалом развития, проявленном в большей степени, чем у их сверстников. Современные психологи пересмотрели представление о том, что одаренный ребенок – это такой же, как все, только действующий немного лучше, немного быстрее, немного раньше и часто немного не так, как большинство. В настоящее время обсуждают понимание одаренности, согласно которому одаренный ребенок не просто опережает своих сверстников по ряду параметров развития – это *другой, вернее иной ребенок*, качественно отличающийся от сверстников способами и результатами деятельности.

На основе психологии одаренности научная одаренность понимается нами как системное качество личности, которое проявляется в характере деятельности. Наш опыт свидетельствует о том, что научная одаренность может обнаружиться тогда, когда общие способности достигли определенного развития. Однако недостаточно распознать в ребенке хорошего ученика. К. Юнг обращает внимание педагогов на то, что в известных случаях мы имеем как раз обратное: «Он может иметь неблагоприятные характеристики: разбросанность, голова полна шалостей; он – нерадивый, халатный, невнимательный, озорной, своенравный; он может даже производить впечатление заспанного» [9, с. 155].

Есть и другая трудность раннего выявления научной одаренности. Представления о ней неотделимы в образовательной практике от дифференциации детей по критерию развития интеллекта, при этом «вполне в порядке вещей, что научная одаренность развивается позже поэтической» [7, с. 29]. Существует и более сдержанная позиция: «В области научной талант не обнаруживается еще в детстве, конечно, вполне естественно, если принять во внимание природу науки и психическое недоразвитие ребенка» [7, с. 19]. Понимая психологическую природу этих трудностей, при разработке образовательной программы мы учли опыт иллинойской модели выявления одаренных детей и последовательно реализуем поиск, оценку, отбор, поддержку и развитие участников программы.

Поисковый этап проводится в апреле каждого года на базе научно-образовательного центра ИПФ РАН. «Зафиксировать даровитость помогает только точное исследование и наблюдение над детской индивидуальностью как в школе, так и дома» [9, с. 155]. С целью привлечения большего круга школьников процедура отбора построена так, чтобы информация о возможностях ребенка и его интересах поступала от самого ребенка (нами разработана «Анкета знакомства») и его родителей. Для работы с родителями мы выбрали методику А.М. Матюшкина «Анкета для родителей». Она представляет собой перечень пяти основных качеств, характеризующих общие и специальные способности ребенка.

Ознакомительный этап – летняя школа (июнь – июль) и научный туризм – продолжает процесс поиска талантливых детей. Ежегодно участие в летней школе, которая проводится на базе загородного летнего детского лагеря, принимают около 200 школьников 5 – 10-х классов. Задача данного этапа заключается в выявлении и поддержке детей, способных к исследовательской деятельности. Желание продолжить научные занятия после летней школы высказывают большинство участников программы: 2004 г. – 171чел. (83%), 2005 г. – 138чел. (85%), 2006 г. – 151чел. (90%), 2007 г. – 156чел. (89%), 2008 г. – 152 чел. (90%), 2009 г. – 203 чел. (94%), 2010г. – 130 чел. (86%). Победители летних смен получают возможность дальнейшего «образовательного странствия» в мире науки: участвуют в осенней образовательной туристической поездке и обучаются в Школе юного исследователя ИПФ РАН. Воспитанию интереса к науке способствует образовательный туризм: 50 школьников – победителей летней школы отправляются в сентябре в научные центры страны и зарубежья. Они знакомятся с работой ведущих научных центров, тематикой современных исследований.

Этап оценки и поддержки продолжается в «Школе юного исследователя» (октябрь – март), где встречаются школьники не только Нижнего Новгорода, но и Кстова, Бора, Дзержинска. Задача данного этапа – развитие у школьников мотивационной и психологической готовности к научной деятельности. Кроме занятий по предмету и консультаций, ребятам читается общий курс «История развития науки и методика научного исследования», проводятся поддерживающие психологические тренинги с целью формирования уверенности, навыков общения и публичного выступления. На данном эта-

пе диагностика научной одаренности предполагает экспертные оценки преподавателей, научных руководителей, консультации с психологами.

Итоговый этап (отбор) – конференция исследовательских работ школьников «В мире знаний», которая имеет тройную цель: а) продемонстрировать успешность владения навыками исследовательской деятельности; б) обеспечить участие в программе детей разных возрастных групп; в) оценить в реальных условиях готовность юного исследователя к научной деятельности.

Интеллектуальное воспитание и эмоциональное развитие одаренных детей

Обращаясь в очередной раз к размышлениям К.Г. Юнга о феномене одаренности, можно понять постоянную озабоченность психолога об устойчивости и охране развития одаренного ребенка. Забота вызвана рядом причин социального, психологического и педагогического характера. Социальные проблемы одаренности обусловлены тем, что «посредственность недоверчива и предпочитает с подозрением относиться к тому, чего не может ухватить своим интеллектом» [9, с. 153]. Психологические особенности одаренных детей разноплановы, но среди них есть общая – задача самовоспитания: развитие одаренного ребенка совершается в «широком диапазоне противоположностей», поэтому трудности у одаренного ребенка существуют не только в интеллектуальной области, но также и в области чувств и эмоций. Основная педагогическая проблема, считает Юнг, это готовность взрослых к взаимодействию с одаренными детьми. Здесь решающая роль принадлежит не технической грамотности, а сердцу воспитателя.

Современные психологи (Д.Б. Богоявленская, Б.М. Теплов, В.Д. Шадриков), в отличие от позиции К.Г. Юнга, защищающего общую одаренность, утверждают приоритетность качественного анализа одаренности. Одаренность в современных психологических исследованиях раскрывается как «качественно своеобразное сочетание способностей, от которого зависит возможность успешной конкретной деятельности» [8, с. 565], при этом именно «личность, ее направленность, система ценностей ведут за собой развитие способностей и определяют, как будет реализовано индивидуальное дарование» [5, с. 1].

Разделяя эту позицию в понимании одаренности, мы провели исследование формирования готовности современных школьников к научной деятельности в условиях традиционного обучения и специально организованных условиях дополнительного образования. Одним из результатов исследования стал вывод о значении эмоционального интеллекта как сочетания способностей, необходимых для развития научной одаренности. Эмоциональный интеллект заключается в умении управлять собственной эмоциональной сферой, в способности распознавать и воздействовать на эмоциональное состояние других людей (Дэниел Гоулмэн).

Было установлено, что успешность владения школьниками научно-исследовательской деятельностью и ее развитие определяется сочетанием следующих способностей: управлять собственными эмоциями; формировать эффективное взаимодействие с другими людьми; мотивировать себя к усердной работе над различными задачами в течение долгого времени.

Основная трудность в понимании одаренности как системного качества заключается, по мнению Д.Б. Богоявленской, в невозможности систематического наблюдения всех компонентов этого качества: мотивационного, волевого, эмоционального и других. Научную одаренность мы оцениваем, следуя за «Рабочей концепцией одаренности», разработанной по заданию МО РФ творческой группой под руководством Д.Б. Богоявленской, через успешность овладения исследовательской деятельностью и развитие этой деятельности.

Основными признаками успешной исследовательской деятельности школьника являются:

- позитивное отношение ребенка к современным задачам научной деятельности, увлеченность предметом, поглощенность деятельностью;
- свободный выбор содержания и способов научного творчества, а также источников необходимой информации;
- развитие деятельности по инициативе самого школьника, способность мотивировать себя к усердной работе над различными задачами в течение долгого времени, способность формировать эффективное взаимодействие с другими людьми и управлять собственными эмоциями;
- получение творческого продукта.

С целью развития детской одаренности в нашей программе определены следующие *задачи* дополнительного научного образования школьников:

- формирование положительного отношения к образу ученого и научной деятельности;
- создание педагогических условий для развития научного мировоззрения;
- раннее обнаружение способностей у детей и учет психологических особенностей одаренных детей;
- привлечение к работе с одаренными школьниками ученых, творческой интеллигенции, специалистов научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений, развитие социального партнерства.

Идея интеллектуального воспитания учащихся в процессе обучения, основанная на развитии личного опыта учащихся, получает в дополнительном научном образовании возможности для реализации. В нашей программе интеллектуальное воспитание осуществляется на основе развития готовности к научной деятельности и благодаря поддержке внутренней активности и самостоятельности ее участников.

Поиски содержания дополнительного научного образования одаренных детей

В зарубежной и отечественной педагогике до второй половины XX века содержание обучения одаренных детей разрабатывалось преимущественно по линии изменения количественных характеристик. К ним в первую очередь относился темп (скорость) обучения и объем (интенсивность) изучаемого материала. На основе изменения этих параметров родились две стратегии отбора содержания образования. Первый подход предполагал, что одаренный ребенок осваивал традиционные учебные программы в более быстром темпе – стратегия ускорения, второй подход ориентировал педагогов на увеличение объема изучаемого материала (увеличение числа изучаемых предметов и углубленное изучение базовых дисциплин) – «стратегия обогащения». Например, модель американского ученого Дж. Рензулли предлагает «три вида обогащения учебных программ». Обе стратегии адресованы детям «с быстрым развитием» и не учитывают направление таланта и способности к конкретным видам деятельности.

Для преодоления этого ограничения известный специалист в области исследования детской одаренности Н.С. Лейтес [4] предло-

жил учитывать три вида проявления способностей и, соответственно, три группы одаренных школьников. Первая группа – учащиеся с ранним развитием интеллекта, вторая – дети с ярким проявлением способностей к отдельным школьным наукам и видам деятельности (в том числе и внешкольной), а третья – дети с потенциальными признаками одаренности. Дети, способности которых проявляются по третьему виду, не опережают сверстников по общему развитию, но их отличает поисковый характер умственной работы, свидетельствующий об актуальных или потенциальных способностях. Их своеобразие заключается в оригинальности и самостоятельности суждений, в парадоксальности мышления. Возможно, это указывает на высокие способности к тем видам деятельности, для развития которых в школе нет условий. Приоритетная поддержка образовательной политики многих стран адресована именно тем детям, которые нуждаются в услугах и занятиях, обычно не предоставляемых школой.

Дремлющие способности могут проявиться только при удачном индивидуальном подходе и особо благоприятных обстоятельствах. Систематические занятия в кружке или на факультативе, где практикуются проведение самостоятельных исследований, подготовка докладов, проектов и их научные обсуждения, организация тематических вечеров, конкурсов способствуют реализации интереса к научной деятельности по собственной инициативе.

Определяя содержание научного образования школьников в нашей программе, мы исходили из понимания универсальности школьного и дополнительного знания и принципов его культуросообразности и дополнительности. Реализация названных принципов в дополнительном образовании нуждается в пояснении.

Культуросообразность содержания научного образования одаренных детей состоит в том, чтобы указать те пути, которые ведут к разным областям науки. Как известно, организация образовательного процесса находится в прямой зависимости от современной ступени развития мировой и национальной культуры. По мнению Дистервега, образование призвано учитывать индивидуальность ребенка и формировать его сообразно природным особенностям; делать это в соответствии со своеобразием культуры той нации, к которой он принадлежит; воспитывать его согласно общечеловеческим целям.

Способы обучения одаренных детей в традиционной образовательной практике опираются на представления о трех видах одаренности: академической, интеллектуальной и творческой. Такое разделение предполагает наращивание темпов обучения, увеличение объема учебной информации для двух первых групп одаренных детей и одностороннее развитие специальных способностей для третьей группы. В традиционном школьном обучении преобладает принцип «учитель мотивирует, ученик пассивно учится», доминирует монолог учителя. Процесс обучения носит монологичный характер и направлен на работу с отстающими, а не успешными в учебе детьми.

Эта ситуация особо остро переживается потенциально одаренными детьми, познавательная активность которых носит уникальный характер. Легкость усвоения ими материала и высокая обучаемость сопровождаются часто школьной дезадаптацией (интеллектуальной, эмоциональной или поведенческой). Очевидно, что для воспитания одаренных детей нужны не только специальные программы, но и специальные культурные условия. В программе дополнительного научного образования на базе академического института все три вида одаренности получают одинаковые возможности для реализации в процессе образовательного странствия школьника в мире науки. Понятие «образовательное странствие» ввел С.И. Гессен, анализируя литературные произведения В. Гете. Личность одаренного ребенка находит себя лишь тогда, когда она расширила свое «Я» не через простое созерцание самопознания, а через императив «испытай себя».

Дополнительность как новую объяснительную модель в наши дни активно осваивает педагогическая наука. Концепция дополнительности была впервые заявлена Нильсом Бором в 1932 году на Международном биологическом конгрессе. Он утверждал, что дополнительные описания целого и его частей. Раскрыв понятие дополнительности на примере квантовой физики, Бор распространил его на биологические и социальные науки.

Принцип дополнительности дает возможность рассматривать образование как совокупность взаимодополняющих процессов школьного и общественного воспитания, общего и дополнительного обучения. Это в свою очередь означает изменение роли современной школы как монопольного института воспитания, сохраняя ее приоритет в систематическом обучении.

Открытие «великих взаимных связей между всеми областями знания» не получило пока широкого распространения в теории и практике дополнительного образования. Идея дополнительности, по нашему мнению, должна быть представлена в ее нетрадиционном для дополнительного обучения смысле: дополнение возмещает содержание научного образования, не предоставляемое школой, а не добавляет или расширяет предметное содержание школьных дисциплин.

Выводы

1. Современное понимание детской одаренности как системного качества личности является наиболее эффективной теоретической основой для работы с одаренными школьниками в сфере дополнительного образования. Проблема выявления и поддержки одаренных детей осознается дополнительным образованием как проблема развития индивидуальной позиции в творческих и исследовательских видах деятельности.

2. Научное образование школьников – процесс непрерывный. Сбалансированным и устойчивым научное образование одаренных детей становится в условиях академических исследовательских институтов, научно-образовательное пространство которых имеет такой «мощный ресурс развития научной одаренности» школьников, как индивидуально-личностная основа и поисковый характер их деятельности.

3. Для формирования у школьников готовности к научной деятельности в условиях исследовательского института необходима специально разработанная образовательная программа по следующим направлениям: интеллектуальное воспитание учащихся в процессе обучения; организация процесса дополнительного научного образования; содержательно-методическое обеспечение процесса дополнительного научного образования; диагностический комплекс изучения готовности школьников к научной деятельности. В системе академических научно-образовательных центров возможны разноуровневые и индивидуализированные формы организации научного образования: творческие лаборатории, каникулярные сборы («умные каникулы»), заочные школы, ученичество и наставничество, малые исследовательские группы, научные конференции и другие.

Таким образом, проблема выявления и развития одаренных детей получает в дополнительном научном образовании новые возможности и ресурсы решения на основе поисковой, индивидуализирован-

ной исследовательской деятельности. Педагогические условия дополнительного образования позволяют выявить значительное количество школьников с потенциалом одаренности на этапе поиска и знакомства и создать благоприятные условия для «совершенствования присущих им видов одаренности» на этапе отбора и развития.

Дополнительное научное образование школьников на базе современного НИИ способно объединить усилия сторонников обучения талантливых детей в специальных школах и тех специалистов, которые убеждены в том, что специализированные школы порождают этические и психологические проблемы, а общеобразовательные школы должны предлагать одаренным школьникам индивидуальные и усложненные программы.

Литература

1. *Асмолов А.Г.* Оптимистическая трагедия одаренности // Знание – сила. 1993. № 9. С. 81 – 87.
2. *Вебер М.* Наука, призвание и профессия // Избранные произведения. – М.: Прогресс, 1990. С. 707–735.
3. *Гельфман Э.Г., Холодная М.А.* Психодидактика школьного учебника. Интеллектуальное воспитание учащихся. – СПб.: Питер, 2006.
4. Психология одаренности детей и подростков / Под ред. Н.С. Лейтеса. – М.: Изд. центр «Академия», 1996. – 416 с.
5. Рабочая концепция одаренности. 2-е издание, расширенное и переработанное / Под ред. Д.Б. Богоявленской, В.Д. Шадрикова. – М., 2000.
6. Типовое положение об образовательном учреждении дополнительного образования детей // Постановление правительства Российской Федерации от 7 марта 1995 г. № 233.
7. Что такое одаренность: выявление и развитие одаренных детей. Классические тексты / Под ред. А.М. Матюшкина, А.А. Матюшкиной. – М.: ЧеРо, МПСИ, 2008. – 368 с.
8. *Шадриков В.Д.* От индивида к индивидуальности: Введение в психологию. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. С. 565 – 597.
9. *Юнг К.Г.* Феномен одаренности. Собрание сочинений. Конфликты детской души / Пер. с нем. – М.: Канон, 1997. С. 151 – 165.

Физика



Выявление изменения плотности воды при нагревании

Барышникова Наталья

7 класс

Научный руководитель Т.В. Севрюгина



В статье рассматривается один из способов обнаружения изменения плотности тела при изменении температуры, а именно изменение архимедовой силы, действующей на погруженное в жидкость тело при нагревании.

Роль тепловых явлений в природе и жизни человека велика. Изменение плотности жидкости при нагревании незаметно в самом процессе нагревания, поэтому нужны дополнительные условия для таких наблюдений. Я решила выявить изменение выталкивающего действия жидкости на погруженное в нее тело при нагреве.

Как будет изменяться равновесие весов, на одной чаше которых находится сосуд с нагреваемой водой и погруженным в нее твердым телом, а на другой – разновесы?

Твердое тело при данной температуре имеет определенную форму и линейные размеры. Увеличение линейных размеров тела при нагревании называется линейным расширением. Измерения показывают, что одно и то же тело расширяется при различных температурах по-разному: при высоких температурах обычно сильнее, чем при низких. Но это различие в расширении столь невелико, что при сравнительно небольших изменениях температуры им можно пренебречь и считать, что изменение размеров тел пропорционально изменению температуры.

Чтобы количественно характеризовать это важное тепловое свойство тел, введена особая величина – коэффициент линейного расширения β . Единицей измерения его в СИ является $\beta \sim \left[\frac{1}{\text{градус}} \right]$.

Зависимость линейных размеров твердого тела можно определить по формуле: $L = L_0(1 + \beta t^0)$, где L_0 – длина тела при $t_0 = 0^\circ \text{C}$.

При тепловом расширении твердого тела увеличивается и его объем. Аналогично коэффициенту линейного расширения для характеристики объемного расширения ввели коэффициент объемного расширения α . Коэффициент объемного расширения твердого тела равен утроенному коэффициенту линейного расширения: $\alpha = 3\beta$.

Объем тела при любой температуре можно определить по формуле:

$$V = V_0 (1 + \alpha t^0),$$

где V_0 – объем тела при $t_0 = 0^0 \text{ C}$.

Тепловое расширение жидкостей имеет свои особенности. Это связано с тем, что они сохраняют форму только при данной температуре. Поэтому к ним применимо только понятие объемного расширения. Кроме того, частицы жидкости слабее, чем в твердых телах, взаимодействуют между собой. Поэтому при одинаковом нагреве они расширяются в большей степени, чем твердые тела, что подтверждается в опытах.

Для проведения опыта я собрала установку из весов на штативе, калориметрического стакана с водой и подвешенного к одной чаше весов стального цилиндра.

Предварительно была определена масса цилиндра, начальная температура воды и уравновешены весы с помощью разновесов.

На тело (цилиндр) действуют две силы: сила тяжести $F_{\text{тяж.}}$ и архимедова сила F_A .

Равнодействующая этих сил равна весу тела в воде: $P_1 = F_{\text{тяж.}} - F_{A1}$.

Сила тяжести определяется по формуле: $F_{\text{тяж.}} = mg$.

Используя формулу плотности вещества, получим: $F_{\text{тяж.}} = g\rho_{T1}V_{T1}$.

Архимедова сила определяется по формуле: $F_A = g\rho_{ж1}V_{m1}$.

Индексы «1» соответствуют температуре воды и цилиндра $t_1 = 17^0 \text{ C}$.

Аналогично получим формулы с индексами «2» для температуры $t_2 = 63^0 \text{ C}$.

Изменение веса тела при нагреве: $P_2 - P_1 = g(\rho_{ж1}V_{T1} - \rho_{ж2}V_{T2})$.

Тогда для изменения массы получим выражение:

$$\Delta m = \rho_{ж1}V_{m1} - \rho_{ж2}V_{m2}.$$

При нагревании плотность вещества изменяется по формуле:

$$\rho = \rho_0(1 - \alpha t^0),$$

где ρ – плотность при данной температуре, ρ_0 – плотность при температуре 0^0 C , α – температурный коэффициент объемного расширения данного вещества. Объем тела находим по формуле:

$$V_{m1} = \frac{m}{\rho_{м0}(1 - \alpha_{м} t_1^0)}, \quad V_{m2} = \frac{m}{\rho_{м0}(1 - \alpha_{м} t_2^0)}.$$

Окончательно для изменения массы имеем:

$$\Delta m = m \left[\frac{\rho_{ж0}(1 - \alpha_{ж} t_1^0)}{\rho_{м0}(1 - \alpha_{м} t_1^0)} - \frac{\rho_{ж0}(1 - \alpha_{ж} t_2^0)}{\rho_{м0}(1 - \alpha_{м} t_2^0)} \right].$$

Следует отметить, что в таблицах приводится плотность твердых веществ при температуре $t^0 = 20^0 \text{ C}$, поэтому предварительно была вычислена плотность стали при $t_0 = 0^0 \text{ C}$ по аналогичной формуле: $\rho = \rho_0(1 - \alpha t^0)$. Она оказалась равна: $\rho_{0\text{т}} = \frac{7800}{0,9992} = 7806 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Табличную плотность воды можно использовать без таких вычислений.

Расчетная разница массы $\Delta m_p = 1,4 \text{ г}$, экспериментальная разница разновесов – $\Delta m_3 = 1,2 \text{ г}$. Во втором опыте проводились аналогичные расчеты. Расчетная разница $\Delta m_p = 0,122 \text{ г}$, экспериментальная разница разновесов $\Delta m_3 = 0,12 \text{ г}$.

По увеличению веса тела в нагревающейся воде можно сделать вывод об уменьшении выталкивающей силы. Архимедова сила уменьшилась потому, что при нагревании вода расширилась и ее плотность стала меньше. Расчетные данные отличаются от экспериментальных, так как есть погрешность измерений, при нагревании вода начинает активно испаряться, и пузырьки пара собираются на теле, увеличивая выталкивающую силу.

Данный эксперимент показывает, что архимедова сила, действующая на тело со стороны жидкости, уменьшилась. Это обусловлено тем, что при нагревании жидкость расширяется, ее объем увеличивается, а плотность уменьшается. Хотя линейные размеры и объемы тел при изменении температуры меняются мало, тем не менее, это изменение нередко приходится учитывать в практике; это явление широко используется в быту и технике.

Тепловое расширение тел нужно учитывать при конструировании многих сооружений. Необходимо принимать меры для того, чтобы тела могли свободно расширяться или сжиматься при изменении температуры. При расширении или сжатии тел возникают огромные механические напряжения, если другие тела препятствуют изменению размеров.

Литература

1. Енохович А.С. Справочник по физике и технике. – М.: Просвещение, 1989.
2. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Молекулярная физика. Термодинамика. – М.: Дрофа, 1996.
3. Смородинский Я.А. Температура // Наука, 1987, № 12.
4. Спасский Б.И. Физика в ее развитии. – М.: Просвещение, 1979.

Экспериментальное исследование свойств медицинского ртутного термометра

Богданов Андрей

8 класс

Научный руководитель Р.В. Троицкий,
канд. физ.-мат. наук



В работе экспериментально исследованы свойства медицинского ртутного термометра, связанные с анизотропией подвижности ртути в его капилляре. Эти явления обусловлены действием так называемого замка (суженного места в нижней части капилляра), изменяющего величину суммарных сил взаимодействия молекулярных кластеров ртути в месте сужения.

Даже с помощью простых бытовых предметов можно наблюдать неочевидные физические явления. Одну из ярких возможностей для этого предоставляет, как нам кажется, обычный медицинский ртутный термометр.

Его свойство «запоминать» измеренную температуру (такие приборы называют максимальными термометрами) связано с капиллярными явлениями в так называемом замке, а значит и с силами взаимодействия молекул рабочего вещества (ртути) между собой и со стеклом капилляра. Мы попытались экспериментально изучить свойства медицинского ртутного термометра, понять и объяснить их связь с его устройством на основе известных физических явлений. Все обнаруженные эффекты так или иначе связаны с капиллярными явлениями, законами протекания жидкостей через сосуды, силами взаимодействия молекул.

Молекулы вещества взаимодействуют друг с другом. При постепенном их сближении до расстояний, сравнимых с размерами, сначала начинает проявляться притяжение, а при дальнейшем сближении – отталкивание [1, 4]. Совокупность явлений, обусловленных взаимодействием молекул двух и более сред вблизи границ раздела, называются капиллярными [1]. Наиболее ярко они проявляются в способности жидкостей изменять уровень в тонких трубках, узких каналах произвольной формы, пористых телах. На капиллярности основана жизнедеятельность растений, многие бытовые явления (например, подъем керосина по фитилю в керосиновой лампе, вытирание рук полотенцем) [2]. Капиллярные явления ртути проявляются и в медицин-

ском ртутном термометре. Он представляет собой тонкую, запаянную с обеих сторон капиллярную трубку, из которой выкачан воздух. На нижнем конце этой трубки находится резервуар, заполненный ртутью. Трубка жестко прикреплена к планке со шкалой от $(32^{\circ} - 34^{\circ} \text{ C})$ до 42° C и ценой деления $0,1$ градус. От обычного ртутного такой термометр отличается тем, что в нижней части его капиллярной трубки просвет сужен и искривлен («замок») [3]. Поэтому движение ртути через замок затруднено. При остывании термометра под замком происходит разрыв ртутного столбика, а максимальные показания (положение его верхнего конца относительно шкалы) сохраняются. Поэтому такой термометр называют максимальным.

Первоначально мы хотели попытаться определить в относительных единицах силы взаимодействия молекул ртути как функцию расстояния, используя «факт» увеличения объема, занимаемого ртутью в градуснике при движении вверх столбика ртути. Однако, заметив, что при остывании термометра (с сохранением показаний) столбик ртути под замком разрывается, поняли, что первоначально поставленные цели недостижимы. Тогда было решено выявить экспериментально, как влияет сужение капилляра на движение столбика ртути в нем. Основной эксперимент – резкая остановка препятствием падающего вдоль желоба термометра при одинаковых и различных его начальных показаниях. При этом падение может отличаться направлением (в системе отсчета градусника): ртутным резервуаром вниз (далее – «обычно») или «вверх ногами» (далее – «инвертированно»). В качестве направляющей падения был выбран желоб (кусок плитуса) длиной $55,5$ см, на который нанесли сантиметровые деления. Все эксперименты проходили при угле наклона желоба 77° к горизонтальной рабочей поверхности.

Были проведены следующие серии экспериментов.

1. Изучалось изменение, по сравнению с начальными, показаний термометра в результате падения. При обычном падении изменение высоты столбика ртути было почти вдвое меньше, чем при инвертированном. При выбранной высоте падения изменение показаний термометра в режиме обычно составляло $0,1^{\circ} - 0,15^{\circ} \text{ C}$ (в зависимости от начальных показаний – см. ниже), а в инвертированном режиме $0,2^{\circ} - 0,3^{\circ} \text{ C}$ (аналогично). Все результаты обладали высокой степенью повторяемости – их максимальный разброс не превышал 10% от средних значений (при одинаковых условиях эксперимента).

Объяснение. Через суженный замок за время удара протекает меньше ртути.

2. Изменение показаний термометра в результате падения при разных начальных показаниях. В диапазоне от $35,5^{\circ}$ до 40° С эксперимент при увеличении начальных показаний дает постепенно увеличивающиеся до 1,5 раз результаты, как по обычному, так и по инвертированному эксперименту.

Объяснение. Высота столбика ртути больше, а значит больше его масса и инерция при резкой остановке.

3. Эффект дробления. При обычном бросании ртуть в столбике ни разу не раздробилась на части. При инвертированном раздробление происходило всегда – при начальных показаниях около 40° С, с постепенно уменьшающейся вероятностью – при их уменьшении (до примерно $\frac{1}{2}$ при $35,5^{\circ}$ С).

Объяснение. Поскольку ртуть вниз проходит через узкий замок, а за ним пустотный зазор, постольку давление на замок увеличивается, продавливая через него ртуть, и для разрыва нет места.

4. При одном из прикидочных инвертированных бросков ртуть в капилляре дошла до верхней запайки капилляра, и мы не сумели вручную стряхнуть термометр (эффект залипания). Мы попытались нагреть термометр, чтобы ликвидировать зазор под замком, думая, что это поможет стряхнуть показания. При этом, хотя и нагревали, контролируя зазор с помощью лупы, перегрели. Осознали это, увидев внутри колбы (но вне ртутного резервуара и капилляра) микрокапельку ртути. Значит, давление расширяющейся ртути продавило более слабую внутреннюю перегородку. По-видимому, так срабатывает защита термометра, так называемый «fool proof». Термометр сломался, но ртуть не вытекла наружу, в колбу попало немного ртути – дырка слишком мала. Теперь на ртуть в резервуаре стало действовать внешнее давление, которое было внутри колбы.

Объяснение. Эффект «залипания» связан с притяжением молекул стекла и ртути в месте запайки капилляра. Если в самом капилляре суммарные силы притяжения молекул ртути между собой больше, чем со стеклом, то при увеличении площади контакта начинает заметно проявляться притяжение ртути со стеклом.

5. Эффект возврата залипания. При продавленной защите, сразу после перегрева, при встряхивании ртуть опускается с верхнего уровня, но потом она быстро поднимается и опять «залипает» наверху.

Объяснение. Давление внутри колбы и резервуара с ртутью выровнялось, пустотный зазор под замком исчез (видно в лупу). Если удастся стряхнуть, то мы как бы сжимаем внешней силой «ртутную пружину» давления (внешнего, из колбы). Стоит отпустить «пружину», она опять распрямится.

6. Эффект скатывания иногда удается наблюдать только при ручном инвертированном встряхивании термометра. Его показания увеличиваются, и затем наблюдается быстрое (за 1 – 2 секунды) их уменьшение (на $1,0^0 - 2,5^0$ C). Видно, как столбик ртути «скатывается».

Объяснение. Ручное встряхивание менее резкое, чем при ударе. Если за замком нет пустотного зазора, ртуть может вытягиваться (аналог – растягивающаяся пружина) под действием внешней силы. Когда сила исчезает, пружина сжимается.

7. Эффект неравномерного подъема первый раз наблюдали случайно. Нужно было увеличить начальные показания термометра, для этого мы приложили его к батарее отопления. Нас удивил характер подъема ртути в капилляре – периодическими толчками, увеличивающими высоту столбика на одинаковую высоту за толчок.

Объяснение. Сначала, при увеличении объема, краевой угол минимизируется, поверхность напрягается, но подъем не очень заметен. Далее бросок вверх – поверхность расслабляется и снова начинает напрягаться. Время изменения состояния поверхности – пауза, время роста уровня – толчок. Здесь мы имеем дело со своеобразной колебательной системой.

Выводы. С помощью медицинского термометра нам удалось наблюдать несколько физических явлений связанной природы и понять принципы работы термометра. Все эффекты получили объяснение, наиболее неожиданным является эффект скатывания – быстрого уменьшения показаний термометра при инвертированном ручном встряхивании. Удалось рассмотреть и дополнительное ограничение работоспособности термометра – эффект залипания, выяснить, как работает защита от вытекания ртути при случайном перегреве.

Литература

1. Физическая энциклопедия. В пяти томах // Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Научн. изд-во «Энциклопедия», 1988 – 1998.
2. Электронная энциклопедия <http://ru.wikipedia.org>.
3. Сайт «Химик» <http://www.xumuk.ru>.
4. Сайт «Физика». Раздел «Теплота. Молекулярная физика». <http://physel.ru/-mainmenu-16>.

Использование лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии для исследования растений на примере листа каланхоэ

Глявина Мария

10 класс

Научный руководитель Е.А. Сергеева,
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН



В работе исследованы особенности флуоресценции у растений. Методами флуоресцентной и лазерной сканирующей конфокальной микроскопии получены изображения листа каланхоэ. Обработка изображений позволила определить флуоресцирующие пигменты, наблюдать трехмерную структуру листа без его повреждения и определить с субмикронной точностью размеры органелл. Данные эксперимента позволяют утверждать, что спектр флуоресценции позволяет определить состояние листа и может служить индикатором условий содержания растения.

Познание человеком тайн природы идет быстрыми темпами и приводит к созданию новых наук на стыке уже известных. Такой пограничной наукой является биофизика – наука на стыке биологии, физики и химии, изучающая сложные процессы, происходящие в живом организме. Для детального исследования живых объектов требуются особые оптические методы, например, метод лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии (ЛСФМ), обладающий такими широкими возможностями, как высокое (субмикронное) пространственное разрешение; наблюдение и запись процессов в реальном времени; построение трехмерных изображений объектов; высокая чувствительность к химическим свойствам объекта.

В работе изучалась флуоресценция растений методом ЛСФМ. Основными задачами проведенного исследования были: ознакомление с теорией флуоресценции растений, выяснение характеристик основных флуорофоров; получение флуоресцентных изображений листа растения с помощью стандартной флуоресцентной и лазерной сканирующей микроскопии и сравнение разрешения различных методов наблюдения; исследование спектров возбуждения и флуоресценции хлоропластов, сравнение результатов с известными данными и выявление зависимостей спектрального состава излучения от условий содержания растения.

Работа выполнялась на установке ЛСФМ Carl Zeiss LSM 510 (рис.1а), состоящей из пяти блоков: микроскоп, лазерный сканирующий модуль, спектральный модуль и 2 лазера – аргоновый и гелий-неоновый.

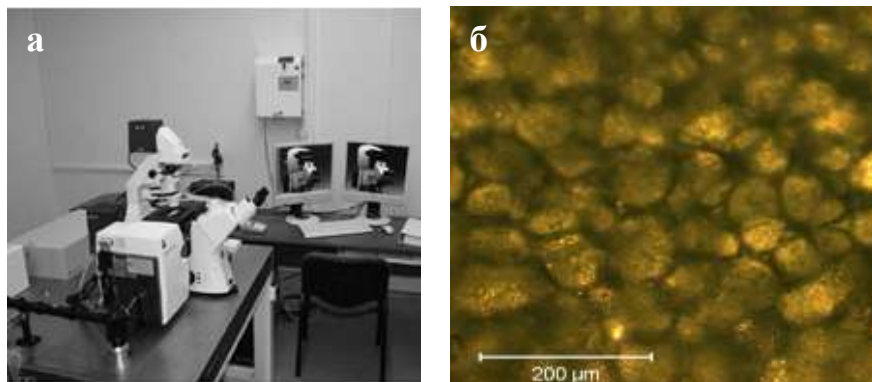


Рис. 1. Установка конфокальной сканирующей флуоресцентной микроскопии Carl Zeiss LSM 510 (а); просветное изображение листа каланхоэ (б)

Объектом исследования был лист каланхоэ. Сорванный с растения лист помещался между двумя покровными стеклами на предметный столик микроскопа. Для наблюдений использовался объектив с двадцатикратным увеличением и числовой апертурой 0,4. Для данного объектива при использовании излучения с длиной волны 550 нм пространственное разрешение составляло 838 нм.

На первом этапе изображение листа каланхоэ было получено в проходящем свете при освещении белым светом. На рисунке 1б приведено изображение листа, полученное с цифровой камеры. Отчетливо видны отдельные клетки растения, имеющие размер 50 – 100 мкм. Клетки разделены темными областями – межклеточной жидкостью. Сами клетки имеют желтый цвет, они содержат многочисленные зеленые включения, размер которых не превосходит 10 мкм. Данные включения являются хлоропластами.

На втором этапе были получены флуоресцентные изображения листа каланхоэ с помощью стандартной флуоресцентной микроскопии. Для этого применялась ртутная лампа в качестве источника света и различные наборы оптических фильтров. Изображение, представленное на рисунке 2, получено при подсветке листа в ультрафи-

олетовом диапазоне (360 – 370 нм) и регистрации флуоресценции во всем видимом диапазоне (400 – 750 нм). На основании данных литературы о спектрах флуоресценции компонентов растений мы предположили, что мелкие включения, флуоресцирующие в красной области, – хлоропласты. Однако они не являются единственными флуорофорами в растениях: в стенках клеток также содержатся флуорофоры, за счет которых мы наблюдаем размытые очертания клеток.

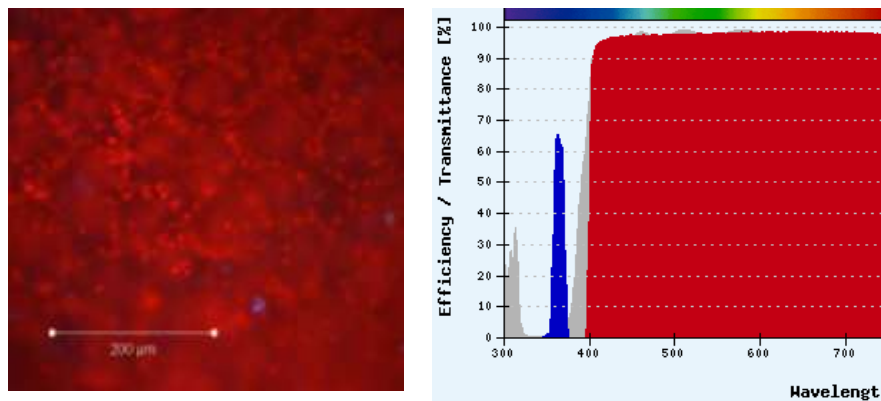


Рис. 2. Флуоресцентное изображение (слева) и спектральная характеристика используемого набора оптических фильтров (справа).

Возбуждение $\lambda_n = 360 - 370$ нм, флуоресценция $\lambda_f = 400 - 750$ нм.

В следующем эксперименте лист освещался сине-голубым цветом (450 – 490 нм), а на камеру пропускалось излучение в зеленом диапазоне (515 – 565 нм). При этом также наблюдалась флуоресценция хлоропластов, хотя и существенно слабее. Более яркая флуоресценция в этом диапазоне наблюдалась у других растительных флуорофоров, например, у кутина. При освещении зеленым цветом (540 – 550 нм) и регистрации излучения в желто-красном диапазоне (600 – 750 нм) можно видеть красную флуоресценцию хлоропластов, на которую накладывается размытая объемная флуоресценция клеток. Полученные данные демонстрируют зависимость флуоресценции от длины волны накачки. Кроме того, флуоресцентные изображения сильно размыты, так как в обычном флуоресцентном микроскопе регистрируется сигнал из всего объема клетки, при этом флуоресценция слоев выше и ниже фокуса «замывает» изображение из фокуса.

На третьем этапе серия флуоресцентных изображений была получена в режиме лазерной сканирующей конфокальной микроскопии, отличающейся наличием конфокальной диафрагмы перед приемником. Диафрагма блокирует флуоресценцию, испускаемую слоями выше и ниже фокуса, и таким образом повышается контраст и увеличивается резкость изображения. Флуоресцентное изображение получено нами при возбуждении аргоновым лазером на длине волны 458 нм (рис. 3). Спектр флуоресцирующих «гранул» соответствует спектру флуоресценции хлоропластов, найденному в научной литературе.

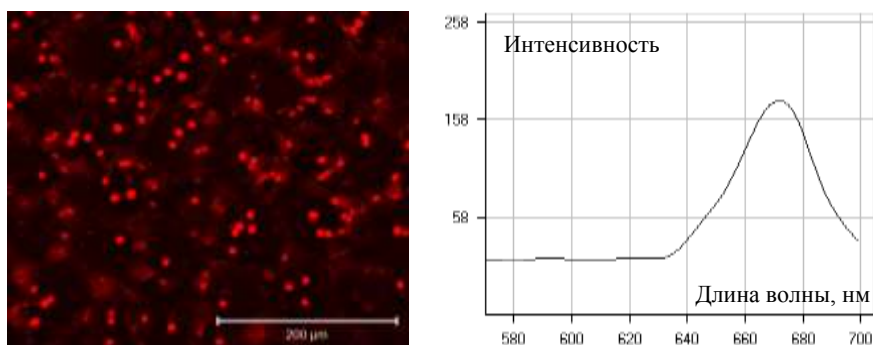


Рис. 3. Слева – изображение, полученное с помощью лазерной сканирующей микроскопии (возбуждение $\lambda_n = 458$ нм, флуоресценция $\lambda_\phi = 650 - 710$ нм). Справа – спектр флуоресценции хлоропластов. Максимум флуоресценции $\lambda = 670 - 680$ нм.

Кроме спектра флуоресценции, мы интересовались спектром возбуждения хлоропластов. Если проводить накачку флуорофора на различных длинах волн λ_n лазерами с известной мощностью P_n и измерять при этом мощность флуоресценции P_ϕ на фиксированной длине волны λ_ϕ^* , то по формуле $\Sigma(\lambda_n, \lambda_\phi^*) = P_\phi(\lambda_\phi^*) / P_n(\lambda_n)$ можно определить спектр поглощения флуорофора $\Sigma(\lambda_n)$. Нами было выполнено измерение мощности флуоресценции хлоропласта на длине волны $\lambda_\phi^* = 677$ нм, соответствующей пику флуоресценции, при возбуждении на пяти различных длинах волн. Набор длин волн возбуждения соответствовал длинам волн лазеров, которыми оснащена установка: 458 нм, 477 нм, 488 нм, 514 нм (аргоновый лазер), 543 нм (гелий-неоновый лазер). Для каждой длины волны мощность накачки на образце была измерена с помощью калиброванного измерителя мощности. По измеренным величинам рассчитан спектр поглощения хлорофилла (рис. 4).

Результаты измерений согласуются с известным спектром поглощения хлорофилла. Поглощение в основном сосредоточено в синей и минимально – в зеленой областях. По результатам измерений максимум поглощения приходится на $\lambda = 477$ нм, что соответствует максимуму поглощения хлорофилла *б* ($\lambda_b = 460 - 470$ нм), нежели максимуму поглощения хлорофилла *а* ($\lambda_a = 430 - 440$ нм). Можно предположить, что это связано с условиями содержания растения, поскольку известно, что снижение количества хлорофилла *а* и преобладание хлорофилла *б* связано с отсутствием влаги и недостаточным освещением.

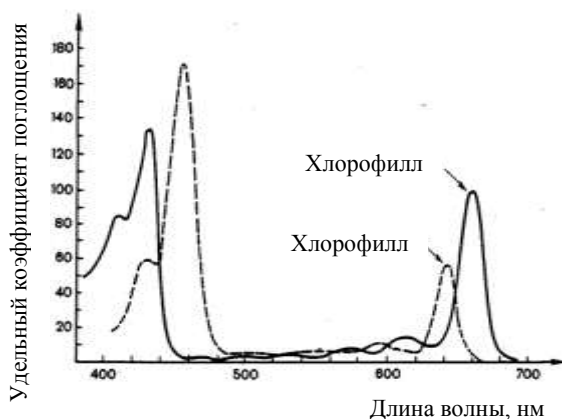
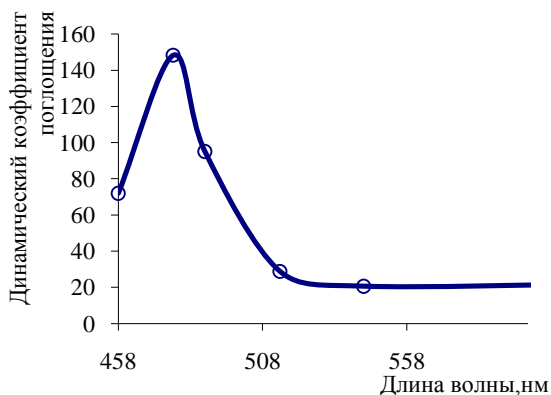


Рис 4. Спектры поглощения хлорофилла (сверху – экспериментальный, снизу – данные из литературы)

Нами были исследованы возможности метода ЛСФМ для построения трехмерных изображений флуоресцирующих образцов. Для этого из набора стандартных изображений, зафиксированных с разных глубин, было восстановлено объемное изображение листа каланхоэ. Шаг по глубине составлял 5 мкм. Было получено 18 изображений, максимальная глубина 85 мкм. На каждом уровне изображение получается достаточно контрастным. Наблюдение на глубине больше 85 мкм было затруднено, поскольку лазерное излучение сильно рассеивается и его мощности не хватает для возбуждения флуоресценции.

Выполненная работа продемонстрировала тот факт, что метод ЛСФМ обладает рядом преимуществ перед традиционной флуоресцентной микроскопией при исследовании флуоресценции у растений. В частности, в рамках данной работы с помощью метода ЛСФМ мы наблюдали детальную структуру листа растения каланхоэ без его механического повреждения, определили с высокой точностью размеры органелл, а также исследовали характеристики присутствующих в них флуорофоров. Было выявлено, что растения содержат разные типы флуорофоров, флуоресцирующие в разных спектральных диапазонах: хлоропласты – в красном, кутин – в зеленом. Был определен спектр поглощения хлорофилла в исследуемом растении. Он соответствует спектру хлорофилла *b*, который доминирует в растениях в условиях ограничения влаги и солнечного света. Таким образом, по полученным спектрам поглощения и флуоресценции можно определить состояние листа и влияние на него таких внешних условий, как количество получаемой воды и солнечного света. Это позволяет сделать следующий вывод: использование ЛСФМ для исследования растений как индикаторов состояния окружающей среды дает возможность получать информацию, важную для биомониторинга. Особенный интерес представляет исследование зависимости характеристик хлоропластов, а также их спектров поглощения и флуоресценции в зависимости от условий содержания растений, времени года и различных факторов внешней среды.

Литература

1. *Berg R.H.* Evaluation of spectral imaging for plant cell analysis. *J. of Microscopy*, vol. 214, p.2, pp.174 – 181, 2004.
2. *Rost F.W.D.* Autofluorescence in plants, fungi and bacteria, *Fluorescence microscopy*, vols. I and II, CUP, 1992.
3. *Рубин А.Б.* Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал, 2000, электронная версия <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1159128&s=110300020>.
4. *Селеванов Е.В.* Красители в биологии и медицине. – Барнаул, 2003.
5. *Феофанов А.В.* Спектральная лазерная сканирующая конфокальная микроскопия в биологических исследованиях // Успехи биологической химии. Т. 47. 2007. С. 371 – 410.
6. *Шахова Н.М., Балалаева И.В., Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Загайнова Е.В., Каменский В.А., Орлова А.Г., Сергеева Е.А., Турчин И.В.* Разномасштабный оптический биоимиджинг: использование в биомедицине и перспективы развития // Альманах клинической медицины. Т. 17. 2008. С. 121 – 124.

Исследование проводимости электролитов

Ермилин Елисей

7 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина



В работе экспериментально исследовалась проводимость электролита. В результате проведенных экспериментов было выяснено, что электропроводность раствора соли зависит от концентрации соли в растворе, температуры раствора и от присутствия в растворе другой соли.

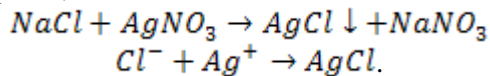
Жидкости, проводящие электрический ток, окружают нас в природе, быту, находятся внутри нас. Интересно и важно знать, как и от чего зависит их электропроводность; от чего зависит качество электролита, как можно улучшить его.

Целью работы является исследование зависимости проводимости электролита от температуры, концентрации, присутствия в растворе примесей.

Изменение электропроводности раствора соли может вызвать добавление в раствор веществ, вступающих в химическую реакцию с ионами первичного электролита.

В своих экспериментах мы использовали водный раствор хлористого натрия NaCl и водный раствор азотнокислого серебра AgNO_3 . Эти соли хорошо растворяются в воде, их степени диссоциации при температуре 18°C – 84% и 81% соответственно.

При добавлении в раствор поваренной соли азотнокислого серебра протекает реакция:



Протекание данной реакции уменьшает концентрацию носителей тока в растворе, что должно приводить к уменьшению электропроводности раствора.

Электропроводность электролита зависит от количества ионов в растворе, а оно непосредственно связано со степенью диссоциации, которая зависит, в свою очередь, от интенсивности теплового движения (от температуры) и от концентрации раствора. Мы должны подобрать такие концентрации солей, чтобы электропроводность

находилась в пределах чувствительности используемого датчика электропроводности, чтобы можно было заметить изменение проводимости раствора и была возможность проведения всего эксперимента при постоянной температуре.

Для проведения эксперимента использовался датчик электропроводности, предназначенный для измерения удельной электропроводности жидких сред. Диапазон измерений 0 – 10 мСм/см, чувствительность 0,001 мСм/см. Для измерения температуры использовался датчик температуры. Диапазон измерений 0° – 100° С. Оба датчика работают в комплекте с измерительным блоком L-микро и персональным компьютером.



Экспериментальная установка

Сначала была исследована зависимость электропроводности раствора хлорида натрия от концентрации раствора. Опыт проводился при температуре 18° С. С ростом концентрации электропроводность возрастает, что укладывается в рамки теории электролитической диссоциации слабых растворов (рис. 1). Мы выбрали для основного эксперимента концентрацию 0,8 мл раствора 63% NaCL на 100 мл воды (получившаяся концентрация соли 0,5%).

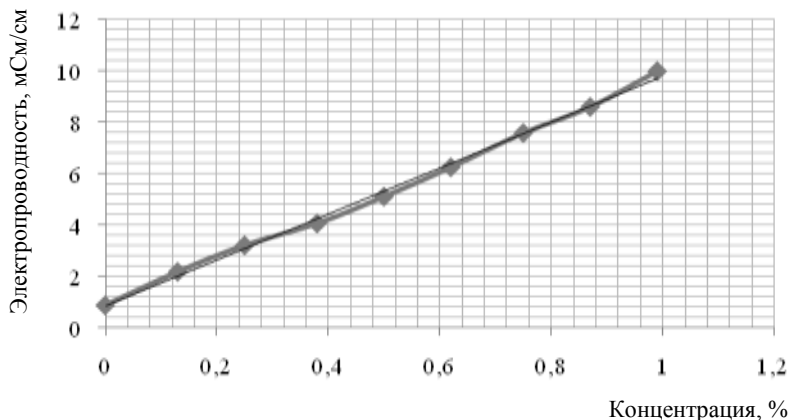


Рис. 1. Зависимость электропроводности от концентрации соли

Во втором опыте исследована зависимость электропроводности солевого раствора от температуры раствора.

С ростом температуры электропроводность возрастает линейно (рис. 2). Любая из температур (от 15° до 40° C), при которых проводился опыт, удобна для основного опыта. Мы проводили измерения при температуре 18° C.

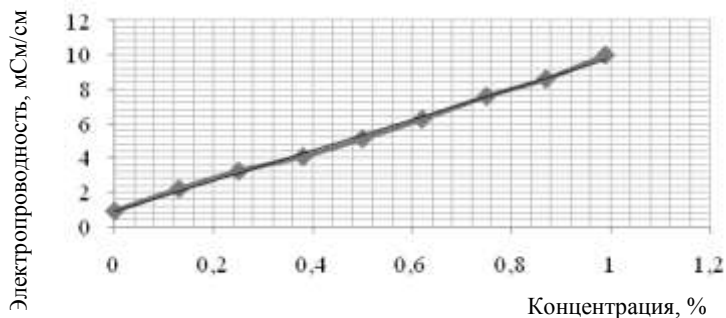


Рис. 2. Зависимость электропроводности от температуры

После подбора удобных условий была исследована зависимость проводимости раствора хлорида натрия от времени при добавлении в раствор азотнокислого серебра. Оказалось, что при добавлении в водный раствор хлорида натрия водного раствора азотнокислого серебра электропроводность раствора монотонно уменьшается с течением времени (рис. 3).

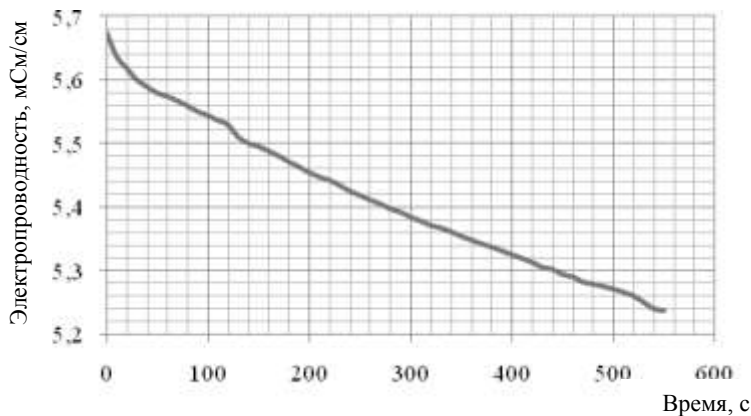


Рис. 3. Убывание со временем электропроводности раствора хлорида натрия при добавлении азотнокислого серебра

Скорость изменения электропроводности изменяется с течением времени от 0,003 мСм/смс до 0,0004 мСм/смс.

Таким образом, в нашей работе исследована зависимость электропроводности раствора хлорида натрия от концентрации раствора: с ростом концентрации электропроводность возрастает. Исследована также зависимость электропроводности раствора хлорида натрия от температуры раствора: с ростом температуры электропроводность возрастает линейно. При добавлении в водный раствор хлорида натрия водного раствора азотнокислого серебра электропроводность раствора монотонно уменьшается с течением времени, выходя на некоторое постоянное значение, которое, очевидно, должно зависеть от начальной электропроводности исходного раствора и от концентрации добавленной соли. Скорость изменения электропроводности изменяется с течением времени, по ней, очевидно, можно измерять скорость протекания выше упомянутой химической реакции в растворе солей: $NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl \downarrow + NaNO_3$.

Таким образом, в ходе проведенных экспериментов мы убедились в том, что электропроводность раствора соли зависит от концентрации соли в растворе, температуры раствора и от присутствия в растворе другой соли.

Литература

1. Глинка Н.Л. Общая химия. – М.: Химия, 1971.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1998.
3. Учебн. пособие для 10 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики // Под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 1993.
4. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. – М.: Наука, 1974.

Исследование распределения магнитной индукции вокруг источников магнитного поля

Иванова Анастасия

9 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина



В ходе экспериментального исследования распределения индукции магнитного поля вокруг кольцевых магнитов было выяснено, что индукция магнитного поля убывает по мере увеличения расстояния от центра магнита обратно пропорционально расстоянию, магнитные поля нескольких магнитов накладываются друг на друга, картина магнитного поля кольцевого магнита симметрична по всем радиальным направлениям.

Несмотря на длительное изучение свойств постоянных магнитов, люди все равно находят новое применение их в жизни. Мы часто сталкиваемся с магнитными полями в природе и быту, в школьном курсе физики также существует много задач про магнитные поля. Поэтому интересно и полезно исследовать магнитные поля постоянных магнитов выбранной конфигурации.

Цель работы: исследовать распределение индукции магнитного поля вокруг кольцевых магнитов и проверить выполняемость принципа суперпозиции магнитных полей.

В эксперименте предполагалось исследовать распределение модуля магнитной индукции в пространстве вокруг постоянных магнитов одинаковой формы, но разных размеров. Использовались магниты в форме кольца. Также предполагалась проверка выполнения принципа суперпозиции магнитных полей от нескольких магнитов, для этого использовались одинаковые магниты, но в разном количестве: исследовалось поле одного магнита, двух, помещенных один на другой, трех и так далее.



На разлинованную бумагу с шагом сетки 1 см помещались

Внешний вид экспериментальной установки

поочередно кольцевые магниты или комплекты магнитов так, что их центр совпадал с выбранным началом координат. Измерялась индукция магнитного поля через сантиметр по мере удаления от центра кольца. Измерения проводились по четырем взаимно перпендикулярным направлениям. Данные заносились в таблицу, по которой затем строились графики зависимости индукции магнитного поля от расстояния до центра магнита. Для измерения индукции магнитного поля в экспериментах использовался холловский датчик магнитного поля, входящий в систему учебного оборудования «L-микро».

Сначала мы определили геометрические размеры исследуемых магнитов.

Таблица. Геометрические параметры магнитов

№ магнита	Внешний радиус, см	Внутренний радиус, см	Толщина, см
1	3	1,3	0,9
2	1,7	0,7	0,7
3	1,3	0,5	0,5
4	1	0,2	0,4

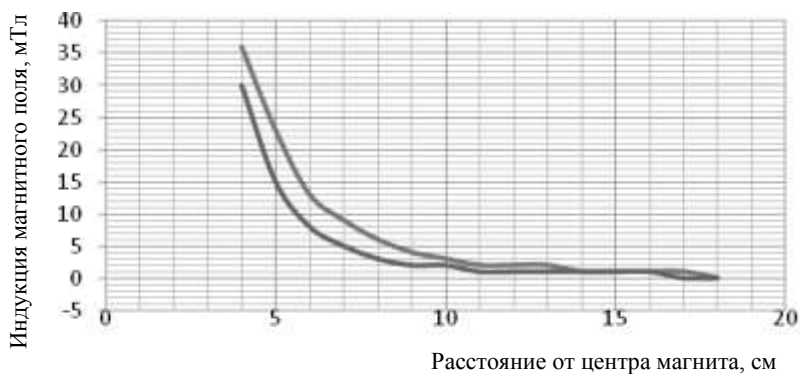


Рис. 1. Зависимость магнитной индукции от расстояния от центра магнита (верхняя кривая графика от двух магнитов №1, нижняя — от одного)

При проведении эксперимента мы измерили модуль индукции магнитного поля вокруг магнита № 1 и комплекта из двух таких магнитов выше описанным способом (рис. 1). Магнитное поле убывает с ростом расстояния от магнита, а индукция магнитного поля

одного магнита составляет в среднем около 80% от индукции поля двух магнитов. Аналогично провели исследования для магнитов № 2, 3, 4. В каждом проделанном опыте измерение индукции магнитного поля в каждой точке проводилось пятикратно, а затем усреднялось. Погрешность измерения вычислялась по отклонению от среднего значения.

Как и ожидалось, во всех опытах магнитное поле убывает с увеличением расстояния от магнита. По виду графиков можно говорить о том, что зависимость гиперболическая в начале графиков, то есть на расстоянии 2 – 10 см от центра магнита, а дальше уже не хватает чувствительности датчика для выявления точной зависимости. При исследовании магнитного поля магнитов небольших размеров сильное влияние на измерение индукции магнитного поля оказывает ориентация магнитного датчика измерительного устройства. Размер датчика достаточно большой (площадь щупа 0,6 см²), он сравним с размерами магнитов № 3 и 4, установить щуп датчика строго по радиальной линии магнита сложно, это приводит к неточным измерениям, на графиках зависимости появляются горизонтальные плато (рис. 2).

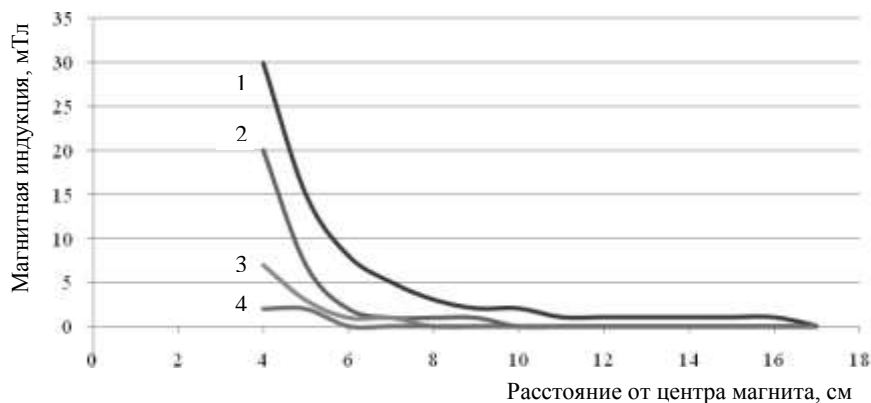


Рис. 2. Зависимость магнитной индукции от расстояния от центра магнита для четырех различных магнитов

При измерении индукции магнитного поля от нескольких одинаковых магнитов должен выполняться принцип суперпозиции полей, однако в полной мере мы этого не наблюдаем: поле нескольких магнитов сильнее, чем одного, но не пропорционально числу магнитов. Это можно объяснить тем, что мы устанавливали датчик на средней

по высоте линии, а магнитное поле кольцевого магнита имеет сложную конфигурацию. Векторы магнитной индукции отдельных магнитов, складываясь, частично компенсируются по вертикали, что дает некоторое уменьшение модуля магнитной индукции.

В ходе опытов было выяснено: индукция магнитного поля убывает по мере увеличения расстояния от центра магнита обратно пропорционально расстоянию, магнитные поля нескольких магнитов накладываются друг на друга, картина магнитного поля кольцевого магнита симметрична по всем радиальным направлениям. Также оказалось, что наша лабораторная установка не подходит для исследования магнитных полей магнитов с размерами меньшими, чем 1,3 см по внешнему радиусу кольца, так как начинает играть роль размер щупа датчика и результаты становятся недостоверными. В дальнейшем планируется провести измерения магнитной индукции не только по радиальным направлениям от центров магнитов, но и по высоте, а также провести картографирование магнитного поля вокруг исследуемых объектов с построением объемной графической модели.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1998.
2. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. – М.: Наука, 1974.
3. Классная физика для любознательных. <http://class-fizika.narod.ru/>.
4. Миценко А.С. Перспективные материалы для постоянных магнитов. http://www.amtc.ru/publications/articles/2042/?SHOWALL_1=1.
5. Эта удивительная физика. <http://sfiz.ru/page.php?id=62>.

Проверка уравнения Менделеева – Клапейрона и закона Фарадея для электролиза

Карпов Егор

8 класс

Научный руководитель М.А. Балакин



В работе сделана попытка доказать известные в школьном курсе физики законы (уравнение Менделеева – Клапейрона и закон Фарадея для электролиза) с применением нестандартного, но легкодоступного дома оборудования. Основным «прибором» был выбран мыльный пузырь, преимущества которого в том, что при его раздувании пленка не оказывает дополнительного давления на газ, содержащийся внутри, и процесс раздувания пузыря является изобарным, а при постоянной температуре внешней среды и изотермическим. Это облегчает многие измерения. Кроме того, мыльный пузырь, наверно, один из самых красивых физических «приборов».

Для проведения экспериментов был необходим состав мыльного раствора, который обеспечивал бы максимальную продолжительность жизни пузыря. Минимальное время жизни, достаточное для уверенного проведения экспериментов, составляло 5 минут. В результате подбора химического состава [2] был выбран следующий рецепт: жидкое мыло и вода в соотношении 1:10, чайная ложка сахара на стакан смеси. Смесь подогревали для лучшего растворения сахара и оставляли на неделю отстаиваться. В итоге получили смесь, пузыри изготовленные из которой самостоятельно лопнут, наверно, только тогда, когда испарится вода в их стенках. К сожалению, использовать этот состав в первой части работы не удалось. При нагревании пузыря на плитке сахар в составе пузыря превращался в карамель, поэтому пузырь прикипал к поверхности пластины.

Проверка работоспособности установки

Как уже было отмечено, при раздувании пленка мыльного пузыря не оказывает дополнительного давления на газ и процесс раздувания пузыря можно считать изобарным, хотя изобарный процесс обычно не так легко осуществить. В задачах обычно пишут про некий поршень без трения или просто постулируют изобарность процесса.

Высказанное предположение о том, что пузырь раздувается изобарно, было проверено опытным путем. Для этого внутрь пузыря

вдували мерные объемы воздуха и измеряли изменение объема пузыря. Мерные порции воздуха вдувались с помощью шприца. Для измерения объема пузыря его надували на гладкой металлической пластине, на которую предварительно была нанесена сетка с делениями через 0,5 см. Пузырь получался точно полусферическим и установить его объем было несложно, зная диаметр (рис. 1). Зависимость объема пузыря от закачанного внутрь объема воздуха приведена на рисунке 2. Она линейная, что подтверждает гипотезу об изобарности процесса и полусферичности пузыря.

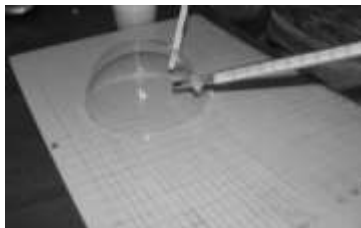


Рис. 1. Измерение температуры воздуха внутри пузыря

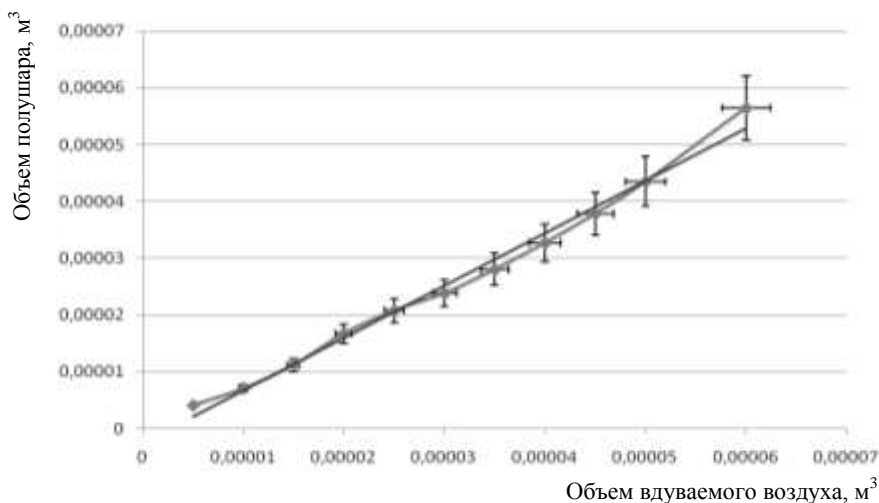


Рис. 2. Зависимость объема пузыря от объема вдуваемого воздуха

Проверка выполнения уравнения Менделеева – Клапейрона

Проверка выполнения уравнения Менделеева – Клапейрона [1] осуществлялась по простой схеме: надували пузырь, помещали пластину с ним на электроплитку, вводили внутрь пузыря термометр, измеряли температуру воздуха внутри него и диаметр (объем) пузыря (рис. 1). Поскольку процесс расширения пузыря изобарный, зависи-

мость объема от температуры должна быть линейной. Учитывая то, что мыльные пузыри, используемые в данном опыте, были получены из несладкого (нестабильного) раствора и доступный температурный интервал был невелик ($22 - 90^{\circ}\text{C}$), зависимость не получилась абсолютно гладкой. Но с учетом погрешности измерения точки на прямую ложатся (рис. 3).

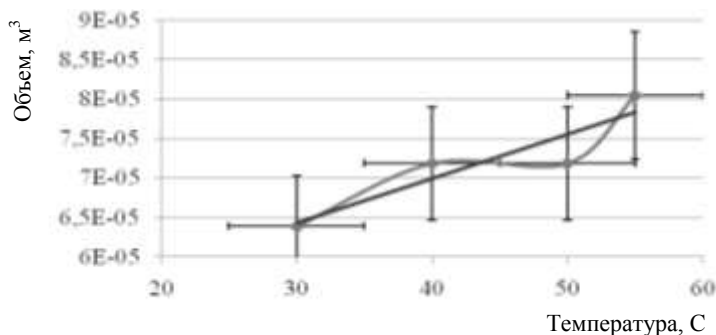


Рис. 3. Зависимость объема пузыря от температуры

Проверка выполнения закона Фарадея для электролиза

Для проверки выполнения закона Фарадея для электролиза был выбран процесс получения водорода из раствора HCL . При пропускании тока через раствор на катоде выделяется водород массой [1]:

$$m = kIt, \quad (1)$$

где m – масса выделившегося вещества, k – электрохимический эквивалент (для водорода 10^{-8} кг/Кл), I – сила тока, t – время процесса.

Для проведения опыта была собрана цепь (рис. 4). В качестве источника питания использовался лабораторный источник Б5 – 43 с максимальным током 2 А. Проволока катода вставлялась через небольшое отверстие внутрь трубки. Один конец трубки (с проволокой) погружался в сосуд с раствором, другой помещался внутрь мыльного пузыря. Таким образом, газ, полученный в ходе электролиза, подавался в пузырь. При постановке эксперимента возник ряд трудностей.

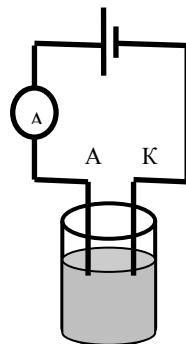


Рис. 4. Электросхема установки

1. Попытка раздуть уже надутый пузырь ни к чему не привела, ибо масса получаемого за разумное время водорода

была слишком мала по сравнению с массой воздуха, уже находящегося в пузырье. Поэтому пришлось макать конец трубки в раствор и надувать пузырь «с нуля» (рис. 5). К сожалению, такая методика приводила к тому, что было сложно оценить объем пузыря.

2. Ток, которого удалось достичь, был очень мал (40 мА). Но даже этот ток поддерживать постоянным было очень трудно. Дело в том, что газ, образовавшийся при электролизе, скапливался внутри трубки около катода в виде пузырька и изолировал катод от раствора. Чтобы этого не происходило, диаметр трубки должен был быть больше, но такой трубки не было. Поэтому приходилось непрерывно трясти трубку, чтобы газ не скапливался у катода. Тем не менее, ток постоянно немного менялся.

В итоге был получен удовлетворительный результат эксперимента. Масса газа, рассчитанная из закона Фарадея (формула 1), составила $6 \cdot 10^{-8}$ кг. Массу, полученную в опыте, мы рассчитывали из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$m = \frac{PV\mu}{RT}, \quad (2)$$

где P – давление газа (в нашем случае – атмосферное), V – объем пузырька, μ – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

Масса, рассчитанная таким образом (полученная в ходе опыта), равна $4 \cdot 10^{-8}$ кг. Значения масс близки. Оценку погрешности не проводили, так как неясно, какой вклад в погрешность вносит несферичность пузыря и постоянные колебания силы тока. Однако качественно эксперимент можно считать удавшимся.

Выводы. В работе применялся оригинальный метод экспериментальной проверки известных законов. Проверка в обоих случаях получилась удовлетворительной. Схему экспериментов можно улучшать и получать за счет этого большую точность.

Литература

1. Учебн. пособие для 10 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики / Под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 1993.
2. Рецепты мыльных пузырей <http://www.familus.ru/ssovet/8531999911>.



Рис. 5. Пузырь с водородом, полученным при электролизе

Эффект Баркгаузена

Клейменов Павел

7 класс

Научный руководитель П.М. Савкин



В результате проведенного экспериментального исследования мы смогли наблюдать эффект Баркгаузена и сделать вывод о том, что в магнитомягких материалах эффект более заметен, чем в магнитотвердых.

Исследования эффекта Баркгаузена, выполненные в данной работе, могут быть использованы в качестве эффектного демонстрационного эксперимента на уроках в школе при изучении процессов намагничивания и перемагничивания ферромагнетиков. Очень простое, доступное оборудование позволяет наблюдать звуковые и визуальные эффекты. Рассмотрим природу магнитных свойств веществ.

После приближения стального стержня к постоянному магниту этот стержень сам приобретает свойства магнита. Некоторые образцы намагничиваются сильнее, некоторые слабее. Что же такое намагничивание и какие процессы происходят при этом в веществе?

Электроны в оболочке атомов вещества движутся по различным орбитам. Каждый электрон, обращающийся вокруг атомного ядра, можно рассматривать как круговой электрический ток, создающий орбитальное магнитное поле. Но каждый электрон вращается вокруг своей оси (спин электрона) и создает спиновое магнитное поле. Собственный магнитный момент атома является суммой орбитальных и спиновых моментов электронов.

Ферромагнитными называются такие материалы, в которых самопроизвольно создаются области, внутри которых индукция магнитного поля всех ее составляющих направлена в одну сторону. Эти макроскопические области самопроизвольного намагничивания называются *доменами*. В разных доменах индукции магнитных полей имеют различные направления (рис.1) и в большом кристалле взаимно компенсируют друг друга. При медленном намагничивании ферромаг-

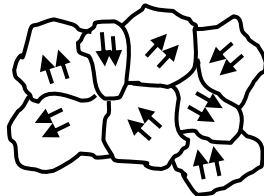


Рис. 1. Схема намагниченности доменов

нитного образца отдельные домены начинают менять свою ориентацию по внешнему полю. Постепенно их количество возрастает и при некотором значении внешнего магнитного поля все они будут ориентированы по внешнему полю. Будет достигнуто состояние *насыщения*.

Во время этого процесса происходит смещение границ отдельных доменов так, что объем доменов, ориентированных по внешнему полю, увеличивается. Домены меняют свою ориентацию не одновременно, поэтому суммарная индукция образца ферромагнетика будет изменяться скачкообразно. Невыгодно (энергетически) намагниченные домены сжимаются, их число уменьшается. Дальнейшее увеличение поля приводит к исчезновению таких доменов.

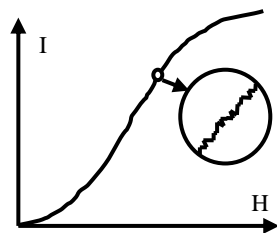


Рис. 2. Пример кривой, показывающий уровень намагниченности

Построение петли гистерезиса

Мы исследовали зависимость индукции магнитного поля B , создаваемого сердечником при намагничивании и перемагничивании от напряженности поля катушки H , в которую он помещен. По полученным данным построили петлю гистерезиса.

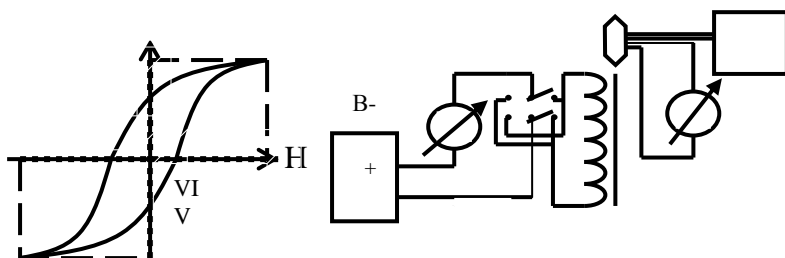
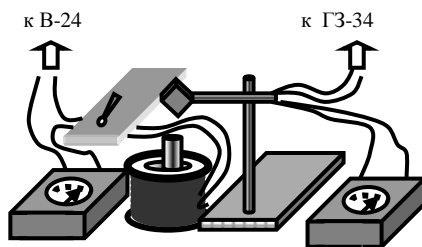


Рис. 3. Схема установки для снятия петли гистерезиса

Оборудование: выпрямитель В-24; стальной стержень; двухполюсный переключатель; катушка на 220 В учебного трансформатора; индикатор магнитной индукции И-354; амперметр на 2 А; вольтметр 0,5 В с выпрямителем; звуковой генератор ГЗ-34 (2 кГц, 25 В).

В катушку от трансформатора вставлен стальной стержень. Катушка через амперметр присоединена к зажимам источника В-24, который позволяет плавно изменять напряжение. При этом ток через катушку достигает 2 А.

Над катушкой на штативе закреплен индикатор магнитной индукции. Принцип работы данного индикатора мы не рассматриваем.

Выбор единиц измерения не оказывает никакого влияния на характер изучаемой зависимости, а показания приборов соответственно пропорциональны напряженности магнитного поля тока в катушке H и индукции B поля, создаваемого сердечником. На этом основании можно принять за единицы для измерения этих величин напряженность, создаваемую током в 1 А, и индукцию, вызывающую отклонение стрелки вольтметра, например, на 0,1 шкалы, то есть H и B измеряются в условных единицах (у.е.).

Соединив найденные шесть точек плавной линией, получаем замкнутую кривую, носящую название *петли гистерезиса*. Из рассмотрения этой кривой, состоящей всего из шести точек, создается полное представление о самом явлении гистерезиса, о магнитном насыщении, остаточном магнетизме и коэрцитивной силе. Этот анализ помогает понять, как по форме петли гистерезиса можно судить о различных свойствах ферромагнетиков. Результаты измерений заносим в таблицу и по ним строим петлю гистерезиса.

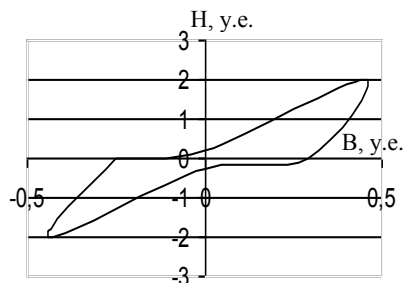


Рис. 4. Петля гистерезиса

Таблица. Результаты измерений

H, уе	0	0,2	2	0	-0,25	-2	0
B, уе	-0,25	0	0,45	0,29	0	-0,44	-0,25

Исследование эффекта Баркгаузена

Эффект Баркгаузена, скачкообразное изменение намагниченности ферромагнитных веществ при непрерывном изменении внешних условий, например, магнитного поля, впервые наблюдался в 1919 году немецким физиком Г. Баркгаузеном. При медленном намагничивании ферромагнитного образца в телефоне, соединенном с изме-

рительной катушкой, надетой на образец, был слышен шум и отдельные щелчки. Они вызывались импульсами тока, индуцируемыми в катушке при скачкообразном изменении намагниченности образца. Особенно отчетливо этот эффект проявляется в магнитомягких материалах.

Наше исследование нацелено на доказательство того, что магнитные домены в теле меняют форму, размеры и ориентацию, а задача – «услышать, как один магнит воздействует на другой». Данный опыт не зависит от конструкции и формы магнита.

Для первого эксперимента нам понадобилась катушка из медной проволоки (около 800 – 900 витков), стержень, являющийся ферромагнетиком, постоянный магнит, усилитель низкой частоты (рис. 5). На стержень, находящийся внутри катушки, мы воздействовали постоянным магнитом. Домены в стержне должны были скачкообразно поворачиваться на месте, направляя свои моменты в одном направлении, а также вызывать ЭДС индукции в катушке. УНЧ с громкоговорителем позволил услышать скачки ЭДС (хруст).

В следующем эксперименте около стержня мы перемещали постоянный магнит (рис. 6). При воздействии на стержень изменяющимся магнитным полем, в нем скачкообразно начинают поворачиваться магнитные домены. Кроме перемены ориентации, домены могут изменять свои формы и размеры. Во время этих процессов должны возникать механические колебания и изменяться объем проволоки и ее длина. Так как мембрана микрофона касается края стержня, она тоже колеблется. Сигнал наблюдался, как и в предыдущем опыте, при помощи осциллографа или усилителя.

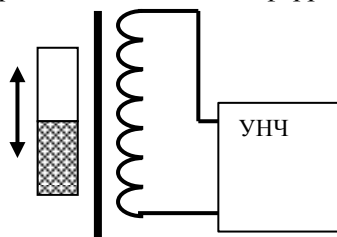


Рис. 5. Схема установки 1-го эксперимента

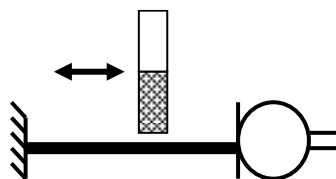


Рис. 6. Схема установки 2-го эксперимента

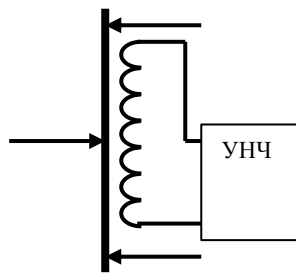


Рис. 7. Схема установки 3-го эксперимента

В третьем эксперименте, используя катушку со стержнем внутри и УНЧ с громкоговорителем, мы просто изгибали рукой стержень, вставленный в катушку (рис. 7). Совершенно отчетливо, но не очень интенсивно были слышны резкие щелчки.

Заключение. В данных опытах мы смогли наблюдать так называемый эффект Баркгаузена. Он заключается в том, что в магнитотвердых материалах домены поворачиваются в более сильных магнитных полях, чем в магнитомягких. При воздействии одним и тем же магнитом на разные образцы механические колебания должны быть более интенсивными у магнитомягких тел по сравнению с магнитотвердыми. Это было особенно хорошо заметно в опыте с усилителем. В нем использовалась магнитотвердая проволока из каленой стали и магнитомягкий стержень, сделанный из разогнутой скрепки. Шуршание и хруст были слышны заметно сильнее при использовании магнитомягкого материала. В катушке скачкообразно возникала ЭДС, которая по проводам передавалась на усилитель, воспроизводивший звук, напоминающий хруст или отдельные щелчки, и на осциллограф, демонстрирующий возникшие звуковые колебания.

Таким образом, методом наблюдения мы смогли доказать существование эффекта Баркгаузена. Вывод полностью совпал с предположением о том, что в магнитомягких материалах эффект более заметен, чем в магнитотвердых. Несколько необычный вид петли гистерезиса скорее всего зависит от нелинейности характеристик индикатора магнитного поля. В работе использовался учебный индикатор И554.

Литература

1. *Беленов А.Ф., Савкин П.М.* Учебное пособие, методические указания, лабораторные работы по физике. – Н.Новгород, 2004.
2. *Буховцев Б.Б., Климонтович Ю.Л., Мякишев Г.Я.* Физика. 9 класс. – М.: Просвещение, 1982.
3. *Дубровский И.Ш., Егоров Б.В., Рябошапка К.П.* Справочник по физике. – Киев: Наукова думка, 1986.
4. *Электроника. Энциклопедический словарь* / Гл. ред. В.Г. Колесников. – М.: Советская энциклопедия, 1991.
5. *Элементарный учебник физики. Т. II. Электричество и магнетизм* / Под ред. Г.С. Ландсберга. – М.: Наука, 1971.

Устройство «веревочного телефона»

Локтев Федор

8 класс

Научный руководитель М.А. Балакин



Данная работа является продолжением и развитием работы прошлого года «Прохождение звука сквозь различные среды и устройство «веревочного телефона». При проведении прошлогодней работы мы столкнулись с рядом проблем в работе установки [2], главной из которых была существенная нестабильность амплитудно-частотной характеристики. В результате этого в прошлом году не удалось достаточно подробно исследовать собственно работу «веревочного телефона». В этом году мы собрали новую установку, лишенную недостатков предыдущей, и подробнее исследовали сам телефон. Полученные результаты оказались достаточно интересными.

Изучение амплитудно-частотной характеристики установки

При обсуждении результатов работы прошлого года было высказано мнение, что нестабильность амплитудно-частотной характеристики установки связана с ближнепольными эффектами. В действительности, большинство замеров проводилось при длинах волн в несколько раз больших характерных размеров установки.

В 2011 году было решено проверить данное предположение. Для этого была собрана другая установка (рис. 1). Аналоговые приборы заменили цифровыми для устранения сомнений в качестве школьного оборудования, значительно увеличили расстояние между источ-

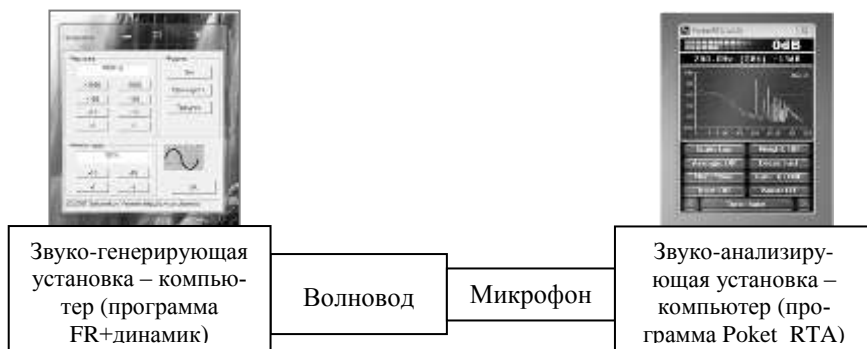


Рис. 1. Схема новой установки

ником звука и приемником (микрофоном) (до 1 м). Однако, поскольку микрофон был направленного действия, его чувствительность не позволяла работать на таких расстояниях от источника. Для устранения этого препятствия звук пришлось пускать по волноводу – трубе из бумаги.

При испытании новой установки была получена очень интересная амплитудно-частотная характеристика (рис. 2). Во-первых, удалось показать, что нестабильность работы старой установки связана с эффектами ближнего поля. Такая же изрезанность наблюдалась и в характеристике новой установки, но уже только на частотах до 100 Гц ($\lambda > 3$ м). Во-вторых, применение волновода привело к возникновению стоячих волн, которые, однако, уверенно измерялись только до частот порядка 2000 Гц. Вообще, правильное поведение установки заканчивалось на частотах около 2000 Гц. На более высоких частотах характеристика опять становилась сильно изрезанной, хотя стоячие волны наблюдались и в этом диапазоне. На рисунке 3 показан в увеличенном масштабе участок амплитудно-частотной характеристики до 2000 Гц.

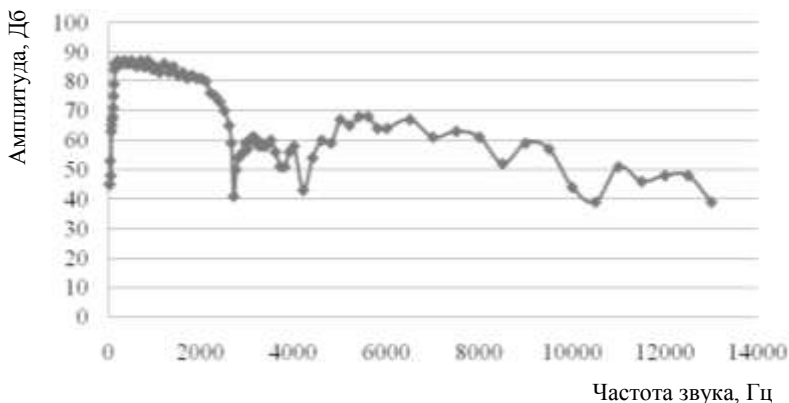


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика новой установки

Подробное изучение процесса распространения звуковых волн в трубе позволило экспериментально проверить соотношение, полученное Л.А. Вайнштейном для стоячих волн в трубе с одним открытым концом с учетом реакции излучения [2]:

$$L = n \frac{\lambda}{2} - 1,6R, \quad (1)$$

где L – длина трубы, n – число полувольт, λ – длина волны, R – радиус трубы.

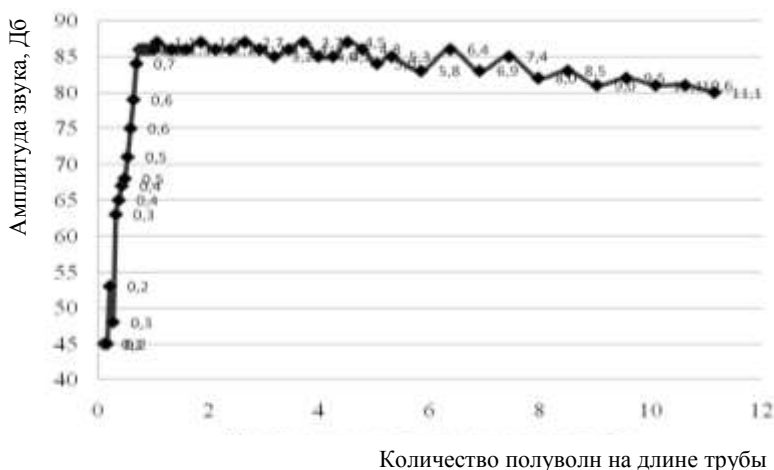


Рис. 3. Часть амплитудно-частотной характеристики установки до частоты 2000 Гц

Длину волны высчитывали, предварительно рассчитав скорость звука по формуле [2]:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}, \quad (2)$$

где v – скорость звука, γ – показатель адиабаты, P – давление воздуха, ρ – плотность воздуха.

Отметим, что достаточно трудно было измерить реальную длину воздушного столба потому, что мембрана микрофона находилась где-то внутри него и расстояние мы могли измерить только до сетки микрофона. Тем не менее, видно, что наибольший уровень звука каждый раз приходится примерно на середину полуволны, то есть на пучность смещения воздуха.

Изучение работы «веревочного телефона»

Установка, на которой проводилось изучение «веревочного телефона» в этом году, также претерпела изменения (рис. 4). В качестве передающего и приемного устройства использовался компьютер с соответствующей программой. В этом году мы исследовали зависимость амплитуды прошедшего через «телефон» звука от дли-

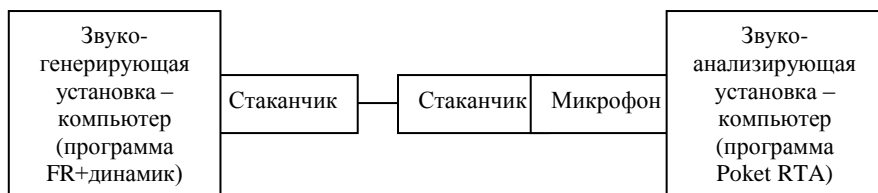


Рис. 4. Установка для изучения работы «веревочного телефона»

ны передающей нити. Было исследовано прохождение звука сквозь нить длиной 2; 10; 12,5; 15; 17,5; 20 м. В ходе экспериментов был обнаружен крайне интересный эффект: прохождение звука сквозь нить было абсолютно устойчивым вплоть до определенной частоты, после чего сигнал обрывался. Падение амплитуды прошедшего звука до нуля было достаточно резким. Частоту увеличивали с шагом по 100 Гц, и если звук отчетливо воспринимался приемником на частоте 900 Гц, то на частоте 1000 Гц уже не наблюдалось никакого сигнала. Частота, при которой прекращалось прохождение звука, не очень отчетливо зависит от длины нити (рис. 5). Кроме того, можно обратить внимание на устойчиво появляющийся пик зависимости в районе 800 Гц. Объяснить данный эффект резонансом с собственной частотой колебаний веревки не получается, так как пик наблюдался на одной частоте для веревок разных длин (имеющих, очевидно, разные собственные частоты колебаний). Полученные особенности амплитудно-частотной характеристики мы объяснить затрудняемся.

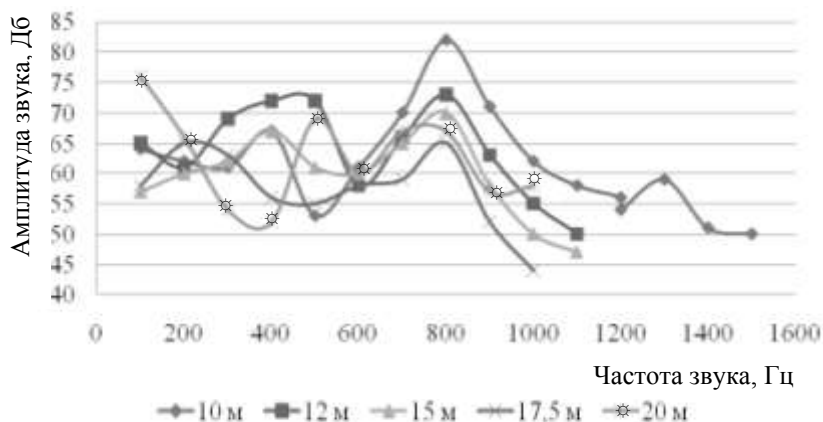


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика «веревочного телефона»

Выводы. В работе удалось доказать, что источником неустойчивости первой установки были ближнепольные эффекты; удалось собрать установку, лишенную недостатков предыдущей; удалось экспериментально проверить формулу Вайнштейна для реакции излучения. При исследовании «веревочного телефона» были получены интересные факты: зависимость пропускаемой частоты от длины нити и необъяснимый пик амплитудно-частотной характеристики на частоте 800 Гц.

Литература

1. *Горелик Г.С.* Колебания и волны. – М.: Госиздат. физ.-мат. лит-ры, 1959 .
2. Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина; Научно-образовательный комплекс ИПФ РАН. – Выпуск 3. – Н. Новгород, 2010. С. 53 – 56.

Измерения показателя преломления жидкости с помощью линзы

Паршина Наталья

9 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина



В работе была создана экспериментальная установка для измерения показателя преломления жидкости на основе линзы. С ее помощью были измерены показатели преломления нескольких жидкостей. Полученные данные сравнивались с показателями преломления тех же жидкостей, полученными с помощью датчика оптической плотности к компьютерному измерительному блоку «L-Micro».

В природе и быту мы встречаемся с большим количеством оптически прозрачных жидкостей, иногда бывает нужно определять их оптическую плотность, например, для исследования химического состава. На основе задачи из сборника МФТИ мы решили создать экспериментальную установку для определения показателя преломления жидкости. Но можно ли реализовать предложенный в задаче метод, и насколько он точен? В нашем распоряжении был измерительный компьютерный блок «L-Micro» с датчиком оптической плотности, с помощью которого мы решили также измерить показатель преломления жидкости, а затем сравнить полученные результаты. В работе прошлого года мы занимались исследованием влияния моющих средств на поверхностное натяжение, а в данной работе решили исследовать еще и их оптические свойства. Таким образом, целью работы было создание лабораторной установки для измерения показателя преломления жидкости на основе линзы и измерение показателей преломления нескольких жидкостей, а также оценка точности метода.

Если направить узкий световой пучок на собирающую линзу под малым углом к ее главной оптической оси вблизи оптического центра, то на экране, расположенном за линзой, мы получим изображение в виде небольшого пятна света. При помещении на пути луча, до его попадания на линзу, плоскопараллельной кюветы с жидкостью пятно на экране смещается, так как скорость света в жидкости меньше, чем в воздухе. Свяжем смещение пятна на экране с показателем преломления жидкости. Из закона преломления света на границе раздела воздух – жидкость следует: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, n_{\text{возд}} = 1 \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$.

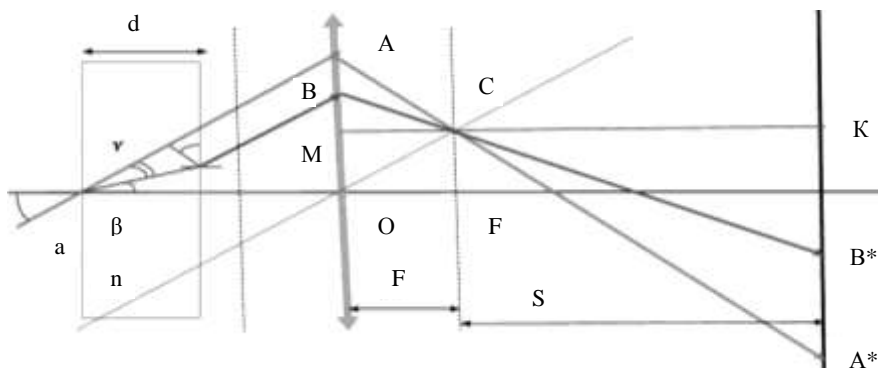


Рис. 1. Оптическая схема установки

Рассмотрим ход луча внутри кюветы с жидкостью.

Так как $a = \frac{d}{\cos \beta}$ и $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$, то $l^* = a \sin(\alpha - \beta)$. По условию эксперимента $\alpha \rightarrow 0$ и $\beta \rightarrow 0$, следовательно, $\sin \beta \approx \beta \Rightarrow l^* \approx d(\alpha - \beta) = d\alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)$, но $l = \frac{l^*}{\cos \alpha}$, так как $\cos \alpha \approx 1$, то $l \approx l^*$.

Рассмотрим построение лучей, попадающих на линзу и проходящих через нее.

Из чертежа: $l = AB = c$, $b = B^*A^*$, $\Delta ACB \sim \Delta A^*CB^* \Rightarrow \frac{c}{b} = \frac{BC}{B^*C}$.
 $\Delta BMC \sim \Delta CKB^* \Rightarrow \frac{BC}{B^*C^1} = \frac{F}{S} \Rightarrow \frac{c}{b} = \frac{F}{S}$, откуда $c = \frac{bF}{S}$,

значит $c = d\alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)$. Таким образом, $n = \frac{Sd\alpha}{Sd\alpha - bF}$. Полученной формулой будем пользоваться для определения показателя преломления жидкости: $n = \frac{1}{1 - \frac{bF}{Sd\alpha}}$.

Для проведения основного эксперимента была собрана установка в соответствии с оптической схемой (рис. 1). В качестве источника света мы использовали полупроводниковый лазер с длиной волны 526 нм, что соответствует середине видимого диапазона.

Для проведения вспомогательного эксперимента использовался измерительный компьютерный блок «L-Micro» с датчиком оптической плотности. Датчик предназначен для измерения оптической плотности растворов на длине волны 525 нм (рис. 2).



Вид экспериментальных установок
(слева – для основного, справа – для вспомогательного эксперимента)

Сначала мы провели опыт по определению показателя преломления жидкости с помощью линзы. Вычислили показатель преломления воды $n=1,33 \pm 0,20$ с относительной погрешностью 9%, что совпадает с табличным значением в пределах погрешности. Вычислили показатель преломления раствора моющего средства с концентрацией $0,0015 \text{ г/см}^3 - 1,44$ и с концентрацией $0,0045 \text{ г/см}^3 - 1,50$.

Затем мы определили показатель преломления жидкости с помощью измерительного компьютерного блока: показатель преломления воды $n=1,34 \pm 0,05$ с относительной погрешностью 4% , что совпадает с табличным значением в пределах погрешности. Измерили показатель преломления раствора моющего средства с концентрацией $0,0015 \text{ г/см}^3 - 1,42$ и с концентрацией $0,0045 \text{ г/см}^3 - 1,48$.

Итак, мы применили способ измерения показателя преломления жидкости, предложенный в теоретической задаче, и измерили показатели преломления тех же жидкостей с помощью измерительного компьютерного блока «L-Micro» с датчиком оптической плотности. Источники света, использованные в обеих установках, работают практически на одной частоте, соответствующей середине видимого диапазона. Создали лабораторную установку для измерения показателя преломления жидкости на основе линзы, с ее помощью измерили показатели преломления нескольких жидкостей. Измерили показатели преломления тех же жидкостей с помощью датчика оптической плотности к компьютерному измерительному блоку «L-Micro».

Можно утверждать, что метод измерения с помощью линзы трудно реализуем: в лабораторных условиях трудно без оптической скамьи отцентрировать систему, сложно направлять даже узкий пучок лазерного излучения на оптический центр линзы под требуемым малым углом. Из-за этого приходилось проводить большое количество

опытов, исключать выбросы и усреднять полученные значения. Школьные лабораторные линзы имеют слишком маленький диаметр, поэтому мы использовали объектив от фотоаппарата, который имеет лучшее качество кривизны поверхности и больший диаметр.

Если оценивать точность метода по измеренному показателю преломления воды, сравнивая его с табличным значением, то можно утверждать о возможности использования предложенного способа измерения в быту, однако подобные измерения сложно и долго проводить. Точность же измерения ограничивается одним знаком после запятой. Результат, полученный с помощью датчика оптической плотности, совпадает с результатом измерения с помощью линзы в пределах погрешностей измерения.

Что касается измерения показателей преломления растворов моющих средств, то можно только утверждать, что с ростом концентрации среднее значение показателя преломления растет (рис. 2). О характере зависимости сказать что-то определенное не представляется возможным, так как слишком велик разброс значений показателей преломления при многократных измерениях.

Это касается обоих методов измерения показателя преломления: как с помощью линзы, так и с помощью датчика оптической плотности. Мы можем на данном этапе лишь предположить, что это вызвано сложным химическим составом моющего средства, включающего в себя различные органические соединения с разными показателями преломления, которые неравномерно растворяются в воде, образуя слоистую структуру с меняющимся достаточно случайно показателем преломления. Возможно, это материал для новой работы.

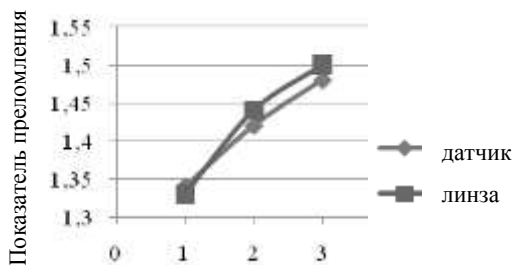


Рис. 2. Показатели преломления для воды и растворов (1 – вода, 2 и 3 – раствор моющего средства, концентрация – $0,0015 \text{ г/см}^3$ и $0,0045 \text{ г/см}^3$)

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика. 4 изд. // Общий курс физики. Т. 3. – М., 1957.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. / Пер. с англ. 2 изд. – М., 1973.
3. Билеты письменных вступительных экзаменов в МФТИ. Методические разработки по физике и математике. – М.: МФТИ. 2005.

Измерение скорости испарения воды по изменению влажности

Преображенский Глеб

8 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина



В работе исследовались проблема изменения скорости испарения с увеличением влажности и способы использования зависимости влажности воздуха от времени для определения скорости испарения. Мы связали скорость испарения воды со свободной поверхности сосуда объемом V_0 , помещенном в сосуд объемом V , с влажностью воздуха в сосуде. Были исследованы зависимости влажности воздуха от времени, вычислены скорости испарения воды при разных значениях влажности.

Процесс испарения воды сопровождает нас постоянно, поэтому данное явление нужно изучать и уметь определять параметры процесса, например, скорость испарения.

Как изменяется скорость испарения с увеличением влажности и как можно использовать зависимость влажности воздуха от времени для определения скорости испарения?

Попробуем связать скорость испарения воды со свободной поверхности сосуда объемом V_0 , помещенном в сосуд объемом V , с влажностью воздуха в сосуде.

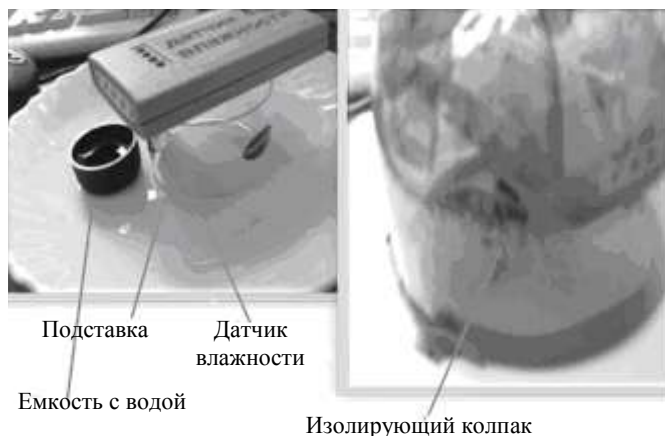


Рис. 1. Экспериментальная установка

Введем понятие скорости испарения. Скорость испарения – это число молекул, вылетающих в единицу времени с единицы площади свободной поверхности $v = \frac{N}{S \cdot t}$, измеряется в $\frac{1}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$. Число молекул можно определить как $\gamma = \frac{m}{\mu}$ (количество вещества), умноженное на N_a (число Авогадро). $N = \frac{m}{\mu} N_a$, где молярная масса воды $\mu = 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$, число Авогадро $N_a = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$. Таким образом, скорость испарения $v = \frac{m \cdot N_a}{\mu \cdot S \cdot t}$, где площадь свободной поверхности S измеряется, а масса вычисляется $m = \rho \cdot V_0$, где V_0 – объем испарившейся воды.

Плотность пара $\rho_n = \frac{m}{V - V_0}$, где V – объем пара (то есть сосуда). Испарившийся объем измеряем по остатку воды в емкости, масса испарившейся воды вычисляется $m = V_0 \cdot \rho$, где ρ – плотность воды.

Относительная влажность $\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_{\text{нп}}}$. Плотность насыщенного пара определяется из таблицы по значению температуры.

$$\varphi = \frac{v \cdot \mu \cdot S \cdot t}{N_a \cdot (V - V_0) \cdot \rho_{\text{нп}}}, \text{ отсюда } v = \frac{\varphi (V - V_0) \cdot N_a \cdot \rho_{\text{нп}}}{\mu \cdot S \cdot t}.$$

Для измерения влажности воздуха мы использовали датчик, входящий в систему учебного оборудования «L-микро». При проведении опыта по мере испарения воды увеличивается влажность воздуха под колпаком, датчик измеряет влажность, данные заносятся в память компьютера. Объем воды 4 мл, его объемом и объемом испарившейся воды можно пренебречь по сравнению с объемом колпака, который равен 606 мл, площадь свободной поверхности воды $0,0006 \text{ м}^2$.

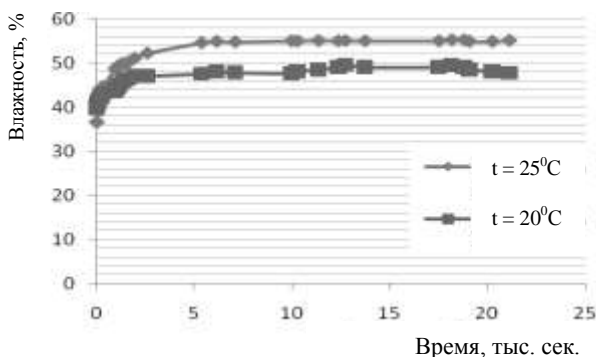


Рис. 2. Зависимость влажности от времени для двух температур

Мы исследовали зависимости скорости испарения от влажности воздуха при двух различных температурах. Цель: установить зависимость влажности воздуха под колпаком от времени, исследовать по ней зависимость скорости испарения от влажности воздуха (рис. 2.) По полученным графикам вычисляем скорости испарения в зависимости от влажности для пяти точек, данные заносим в таблицу, строим графики зависимости (рис. 3).

Получается, что скорость испарения с увеличением влажности убывает от $4 \cdot 10^{18} \text{ 1/с}$ практически до нуля.

Мы связали скорость испарения воды со свободной поверхности сосуда объемом V_0 , помещенном в сосуд объемом V , с влажностью воздуха, получили формулу для расчета скорости испарения, провели два эксперимента при различных температурах.

Выяснилось, что увеличение влажности в замкнутом объеме с течением времени происходит медленнее, скорость испарения уменьшается за короткий промежуток времени практически до нуля. Это можно объяснить установлением в сосуде динамического равновесия между водой и паром. Таким образом, мы в начале эксперимента при небольших влажностях измеряли непосредственно скорость испарения воды, а при влажностях более 40% мы измеряли уже разницу скоростей испарения и конденсации жидкости.

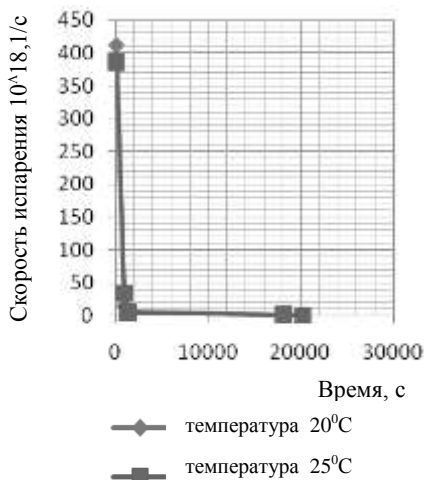


Рис. 3. Зависимость скорости испарения от времени

Литература

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов / Под ред. П.Г. Романкова. — 11-е изд. Перепечатка с изд. 1987 г. — М.: ООО «РусМедиаКонсалт», 2004.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. — М.: Высшая школа, 1998.
3. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. — М.: Наука, 1974.

Коронный и искровой разряд в воздухе: продолжение исследования

Раксин Александр

9 класс

Научный руководитель А.Ф. Беленов,
канд. физ.-мат. наук, доцент НИРО



Данная работа является продолжением работы прошлого года «Изучение протекания электрического тока в воздухе в условиях, близких к ситуации грозы». Целью нового этапа было исследование зависимости свойств электрического разряда от вещества электродов. В работе сделан сравнительный анализ вольт-амперных характеристик коронно-искрового разряда в воздухе в промежутке «тонкий стержень – плоский металлический электрод» для разных материалов стержня (медь, сталь и графит), дана интерпретация результатов исследования разряда с острой.

Данное исследование является продолжением предыдущей работы, посвященной изучению протекания электрического тока (тлеющий и искровой разряды) в газообразной среде (воздухе) [4]. Ранее нами было выяснено, что пропорциональность между силой тока и напряжением на источнике питания (закон Ома) выполняется лишь для отдельных интервалов напряжений, то есть закон Ома в данных условиях не выполняется. Также было обращено внимание на эффект «отрицательной иглы» и явление гистерезиса. При «отрицательной игле» было обнаружено следующее:

- 1) показания измерителя силы тока более устойчивы, чем при игле, заряженной положительно;
- 2) увеличение проводимости воздуха по сравнению с положительно заряженной иглой.

У нас возникло предположение, что отрицательная игла – это поставщик дополнительных носителей заряда. Продолжение исследований мы спланировали так: при неизменном расстоянии от иглы до плоского электрода (лист алюминия) мы решили исследовать вольт-амперные характеристики разряда, меняя при «положительной» и «отрицательной» иглах: 1) толщину иглы при неизменном веществе иглы; 2) вещество иглы при неизменной толщине иглы (медь, сталь и графит). Существует множество разрядов, но мы остановились на коронном и искровом. Из литературы удалось узнать, что коронный разряд применяется в копировальных аппаратах и лазерных принтере-

рах для заряда светочувствительного барабана, переноса порошка с барабана на бумагу и для снятия остаточного заряда с барабана. Короткий разряд применяется для определения давления внутри лампы накаливания.

Цель работы: исследовать зависимость свойств электрического разряда от вещества электродов. *Проблема:* интерпретация результатов исследования разряда с острия.

В эксперименте мы заменили воду на твердый проводник (лист алюминия) и не меняли расстояние от иглы до алюминиевого листа. Это было сделано для того, чтобы исключить эффект изменения длины разрядного промежутка (в случае воды наблюдалось образование «ямы»). Брели две толщины для каждого из трех материалов. Следует подчеркнуть, что расстояние между иглой и алюминиевой «подложкой» в экспериментах было неизменным.



Экспериментальная установка

Далее приведены два самых показательных графика (все остальные графики давали примерно одинаковый результат) (рис. 1, 2).

При минусе на игле показания при обратном и прямом ходе примерно совпадали (относительно «+» на игле), то есть наблюдалось явление гистерезиса. При минусе на игле не возникала искра (переход в искровой разряд).

Разрядный промежуток и цепь питания представляют собой *делитель напряжения*. При «отрицательной игле» сопротивление разрядного промежутка сравнительно с «положительной иглой» мало. Соответственно, и падение напряжения на разрядном промежутке для отрицательной иглы меньше, чем для положительной иглы (при одинаковых напряжениях на источнике питания) – имеет место эффект «закорачивания».

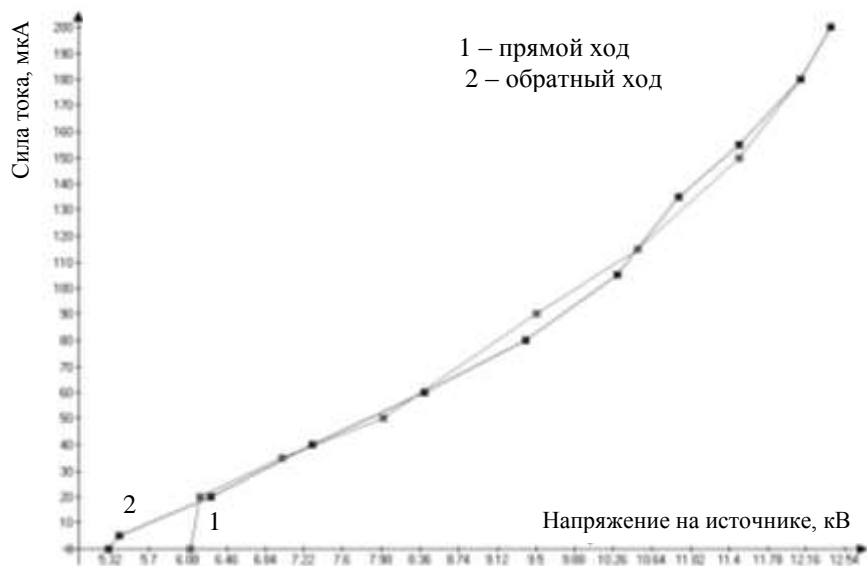


Рис. 1. Отрицательный медный электрод

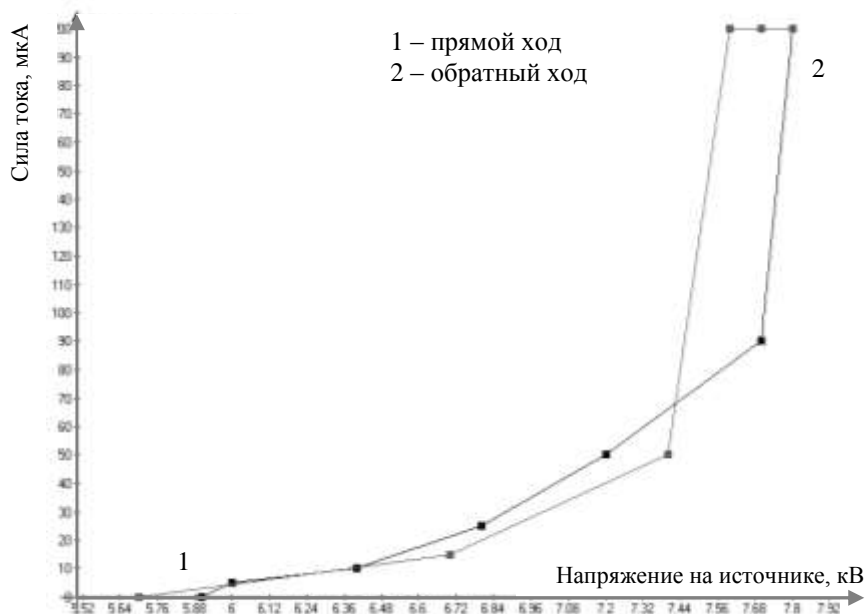


Рис. 2. Положительный медный электрод

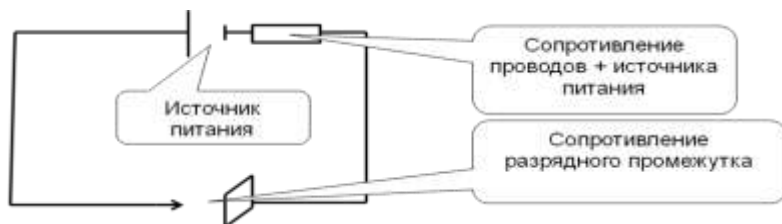


Рис. 3. Схема установки

Интерпретация результатов и выводы. Сравнительный анализ вольт-амперных характеристик коронно-искрового разряда в воздухе в промежутке «тонкий стержень – плоский металлический электрод» для разных материалов стержня показал следующее.

1. Были подтверждены результаты большей проводимости воздуха при тлеющем разряде для «отрицательного стержня» по сравнению с «положительным стержнем». Отметим, что сравнивались вольт-амперные характеристики при одинаковых напряжениях на источнике питания и при одинаковых расстояниях от стержня до плоского электрода. Увеличение проводимости разрядного промежутка для «отрицательной иглы» можно пояснить эффектом *автоэлектронной эмиссии* – «вырыванием» электронов из иглы за счет сил электростатического отталкивания в сильном электрическом поле.

2. Не обнаруживается заметной зависимости от материала иглы – обзор справочных данных по работе выхода показал, что взятые нами вещества имеют примерно одинаковые работы выхода (см. таблицу).

3. Переход в режим искрового разряда для «положительной иглы (стержня)» наблюдался при меньших напряжениях, чем для «отрицательной иглы». Это можно объяснить уменьшением падения напряжения на разрядном промежутке за счет большей проводимости при «отрицательной игле» (эффект закорачивания). Возникает делитель напряжения на последовательных сопротивлениях источника, подводящих проводов и разрядного промежутка. Соответственно, электроны получают меньший разгон и для начала ионизации требуются большие напряжения на источник питания.

4. Нет явной зависимости от толщины иглы при отрицательной игле – возможно, потому, что неровности и края толстой иглы играют важную роль – непонятно, что считать *толщиной* иглы.

Таблица. Работа выхода электронов из элементов

Элемент	W , эВ
Алюминий	4,2
Вольфрам	4,5
Железо	4,3
Медь	4,4
Никель	4,5
Олово	4,3
Платина	5,3
Ртуть	4,5
Серебро	4,3
Цинк	4,2
Углерод	4

Литература

1. *Пасынков В., Окунев Ю.* Что же изобретено? // Техника – молодежи. 1983, № 12.
2. *Поль Р.В.* Учение об электричестве / Пер. с нем. Л.А. Тумермана. – М.: Госиздат. физ.– мат. лит-ры, 1962. – 515 с.
3. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. – М.: Наука, 1992. – 536 с.
4. Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина; Научно-образовательный комплекс ИПФ РАН. – Выпуск 3. – Н. Новгород, 2010. С. 67 – 72.

Построение генератора инфразвуковых колебаний

Рябинин Иван

8 класс

Научный руководитель П.М. Савкин



Генератор инфразвуковых колебаний (ГИК) является чрезвычайно необходимым прибором в промышленности. Частота ГИК на основе физического маятника не зависит от тока внутри генератора и нелинейно зависит от расстояния между точкой подвеса маятника и центром его масс. Диапазон частот его колебаний можно увеличить с помощью делителей и умножителей частоты. Низкочастотный генератор может использоваться для выполнения множества задач: для настройки автоматических систем регулирования, проведения испытаний на виброустойчивость, проверки звуковых цепей и т.д. Как правило, низкочастотный генератор является частью многофункционального генератора. Но он имеет высокую цену, и множество функций при проведении несложных лабораторных исследований не нужны. Для использования в подобных условиях существует ряд электромеханических схем. Одной из них является НЧ-генератор, построенный на основе физического маятника.

Генерация электрических колебаний осуществляется обычно либо путем преобразования энергии источников постоянного напряжения в энергию электрических колебаний при помощи электронных приборов (вакуумных, газоразрядных и твердотельных), либо путем преобразования первичных электрических колебаний в колебания требуемой частоты и формы. Одним из главных параметров любого генератора является стабильность его частоты.

Для генерирования электрических колебаний используются LC- и RC-генераторы. В LC-генераторах частотозадающим узлом является колебательный контур, состоящий из индуктивности L и емкости C . На низких частотах (ниже 20 кГц) LC-генераторы практически не применяют, так как катушки большой индуктивности имеют значительные размеры и низкую добротность. Поэтому для генерирования колебаний, имеющих частоту ниже 20 кГц, применяют RC-генераторы, в которых R и C , соответственно, резистор и емкость.

Добиться хорошей стабильности частоты очень непросто. Частота может отклоняться от первоначального значения под действием различных факторов: изменение температуры, изменение питающих

напряжений и сопротивления нагрузки, старение деталей и т.д. По этим причинам схемы генераторов получаются достаточно сложными, при этом необходимо обеспечить термостабилизацию, герметичность некоторых узлов, применять специальные комплектующие, использовать стабилизированные источники питания.

Рассмотрим возможность использования физического маятника в качестве частото задающего узла ГИК. Период колебания маятника очень чувствителен к изменению внешних условий и прежде всего к изменениям температуры. Изменение температуры вызывает изменение длины маятника, следовательно, и его периода. Для уменьшения этих изменений стержень маятника изготавливается из материалов с небольшим температурным коэффициентом линейного расширения (из инвара или суперинвара) и применяются приспособления, компенсирующие температурные изменения длины маятника. Период колебаний математического маятника в идеальных условиях зависит только от длины маятника L и от ускорения свободного падения g .

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

Величина g для конкретного места – величина постоянная. Для приблизительного расчета можно считать ее равной $10 \cdot \frac{M}{c}$. Для периода $T = 1$ сек длина маятника будет $L = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{10 \cdot 1^2}{4 \cdot 3,14^2} \approx 1 \text{ м}$. Для периодов 2, 3 и более секунд длина подвеса устанавливается соответственно около 4 и 9 метров и более. Применение математического маятника в качестве частото задающего узла генератора нереально.

Рассмотрим возможность использования для этой цели физического маятника. Физический маятник – осциллятор, представляющий собой твердое тело, совершающее колебания в поле каких-либо сил относительно точки, не являющейся центром масс этого тела, или неподвижной оси, перпендикулярной направлению действия сил и не проходящей через центр масс этого тела. Движение физического маятника описывается дифференциальным уравнением второго порядка, которое в рамках данной работы не приводится. Поэтому мы будем использовать уравнение движения математического маятника.

Такой генератор является чрезвычайно стабильным устройством (часы Федченко на основе физического маятника за 15 лет отстали меньше чем на 2 секунды), а также обладает очень низким энергопотреблением. Он очень прост в изготовлении, его характеристики не

зависят от используемого напряжения и силы тока, что позволяет использовать его в любых статичных установках. Одна из важных областей его использования – настройка систем автоматического регулирования, осуществляемая методом незатухающих колебаний, и проведение испытаний на виброустойчивость, где генератор является стабильным частотозадающим узлом устройств.

Описание экспериментальной установки

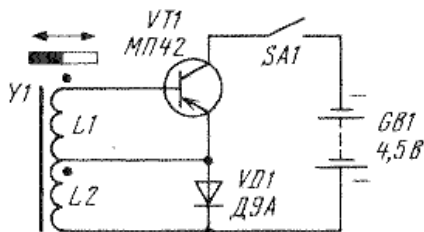


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

же сердечнике, что и L_2 . На транзистор подается напряжение питания. Транзистор окажется закрытым, поскольку его база по постоянному току через катушку индуктивности L_1 и напряжение смещения на базе отсутствуют. В эмиттерной цепи транзистора будет протекать сравнительно небольшой обратный ток коллектора.

Но стоит быстро приблизить к сердечнику электромагнита постоянный магнит (например, северным полюсом), как в обмотке катушки L_1 начнет наводиться электродвижущая сила (ЭДС) индукции. На базе транзистора появится отрицательное напряжение смещения, которое станет увеличиваться по мере приближения магнита. Транзистор откроется, и через катушку L_2 потечет ток. Вокруг сердечника образуется магнитное поле, которое начнет притягивать постоянный магнит. Наибольшее напряжение смещения будет тогда, когда постоянный магнит окажется над сердечником электромагнита. При дальнейшем же его продвижении над сердечником окажется другой полюс маг-

Для того чтобы колебания маятника были незатухающими, использована известная схема (рис. 1). На транзисторе МП42 собран электронный ключ, через который подается питание на обмотку катушки электромагнита L_2 . Управляющий сигнал на ключ поступает с обмотки катушки L_1 , размещенной на том



Рис. 2. Генератор инфразвуковых колебаний

нита, и ЭДС изменит свое направление. На базе транзистора появится положительное напряжение, а транзистор закроется. Ток через обмотку генератора постепенно прекратится.

Диод, шунтирующий обмотку катушки L_2 , предупреждает возникновение в ней колебаний с частотой, определяемой индуктивностью электромагнита, емкостью монтажа и транзистора. Дело в том, что при открывании транзистора возникает колебательный процесс, который из-за сильной связи между базовой и эмиттерной цепями может быть незатухающим. Управляющее действие магнита в этом случае прекратится, и генератор остановится. Диод же, срезая положительную полуволну, препятствует возникновению этого явления.

Электромагнит притягивает маятник один раз за каждое полное колебание при приближении к себе и отключается при удалении постоянного магнита, что делает колебания маятника незатухающими.

Эксперимент позволил выявить зависимость:

1) частоты колебаний от напряжения, подаваемого на катушку электромагнита.

Из закона Ома для участка цепи следует, что, изменяя напряжение, подаваемое на электромагнит, мы изменяем ток в катушке, сопротивление которой при постоянной температуре не изменяется. При проведении эксперимента (рис. 2) было выяснено, что от напряжения питания и величины тока в обмотке зависит только амплитуда колебаний маятника. Это объясняется тем, что вектор силы взаимодействия между магнитами направлен перпендикулярно вектору силы тяжести и никак не влияет на период колебаний маятника;

2) периода колебаний маятника от расстояния между точкой подвеса и центром масс маятника (длиной подвеса).

Таблица. Результаты экспериментального исследования

T, с	2,6	2,3	2,07	1,8	1,73	1,68	1,62	1,54	1,5	1,47
h, см	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

T, с	1,46	1,44	1,41	1,4	1,39	1,37	1,34	1,31	1,3	1,29
h, см	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

T, с	1,27	1,28	1,29	1,3	1,32	1,35	1,36	1,38	1,4
h, см	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Физический маятник можно считать рычагом, следовательно, чем меньше расстояние между точкой подвеса и центром масс, тем

меньше разница в силе, действующей на центры масс плеч рычага, то есть сила, поворачивающая маятник, тем меньше, чем меньше расстояние между точкой подвеса и центром масс. Это объясняет, почему график сначала убывает, а прибывает только после 21 см.

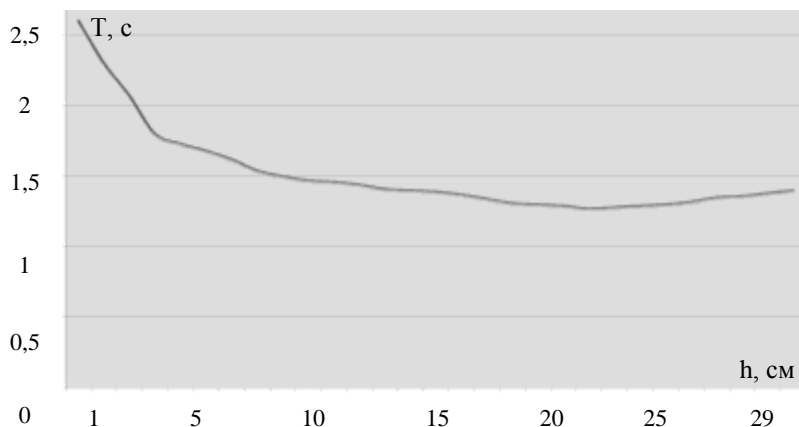


Рис. 3. График зависимости периода колебаний T ($0 - 0,3$ м) от длины подвеса физического маятника h ($0 - 0,3$ м)

Расстояние между магнитом и катушками – величина постоянная. Подвижным является грузик в верхней части маятника. Диапазон изменений периода колебаний маятника T от 1,3 с до 2,6 с. Длина стержня 0,5 м, диаметр 6 мм, масса стержня 27 г, масса грузика 6 г.

Выводы. Физический маятник по сравнению с математическим позволяет при относительно небольших размерах получать колебания, имеющие небольшой период T . Для расширения диапазона частот генератора с частотозадающим элементом (физическим маятником) можно использовать делители и умножители частоты. Период колебаний маятника не зависит от стабильности тока и питающего напряжения. Зависимость периода колебаний от расстояния между точкой подвеса и центром качания нелинейная, что является любопытным, но легко объясняемым явлением.

Литература

1. Беленов А.Ф., Савкин П.М. Учебное пособие, методические указания, лабораторные работы по физике. 11 класс. – Н.Новгород, 2005.
2. Большая Серия Знаний. Физика. – М.: Мир книги, 2006.
3. Прохоров А.М. Физический энциклопедический словарь. – М.: Науч. изд-во «Большие Российские Энциклопедии», 1995.

Исследование зависимости качества воспроизведения звука от громкости работы динамика

Савкин Сергей

7 класс

Научный руководитель П.М. Савкин



Массовое применение звуковоспроизводящих устройств и безграмотное их использование явились причиной проведения этого исследования. Для определения грамотных режимов эксплуатации динамических громкоговорителей экспериментально исследовалась зависимость величины перемещения диффузора от величины приложенной к нему силы и от силы тока через катушку. Выяснено, что номинальная мощность громкоговорителя – максимальная подводимая электрическая мощность переменного тока звуковой частоты, при которой коэффициент нелинейных искажений не выходит за пределы норм, допустимых для данного типа громкоговорителя.

Трудно представить современный мир без звуковоспроизводящих устройств. Более ста лет люди используют устройства, преобразующие электрические колебания в звуковые. Такие устройства становятся все более совершенными, но и требования к качеству воспроизводимого звука все время возрастают. Современная наука и техника, новые материалы и технологии позволяют изготавливать устройства, способные обеспечивать практически естественное звучание. Но недостаточно иметь совершенное оборудование, необходимо уметь грамотно его использовать.

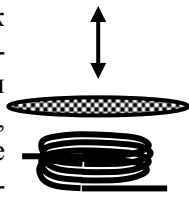


Рис. 1.

Динамические громкоговорители, «динамики», используются для озвучивания стадионов, вокзалов, театров и концертных залов, учреждений, широко применяются в бытовой аппаратуре. Часто, когда слушают музыку, включают усилители на максимальную мощность, думая при этом, что так слушать музыку лучше. Целью этой работы является определение грамотного режима использования динамических громкоговорителей для получения максимально возможного качества их звучания. Но как же соотносится качество воспроизведения с громкостью?

Динамический громкоговоритель с кольцевым магнитом имеет подвижную систему, состоящую из диффузора, к вершине которого приклеен каркас звуковой катушки. Звуковая катушка помещена

в воздушный зазор магнитной цепи. Основание диффузора заканчивается гофрированным подвесом, предназначенным для обеспечения осевого и затруднения радиального перемещения диффузора.

Выталкивающему или втягивающему действию магнитного поля противодействует упругая подвеска диффузора громкоговорителя. Колеблющийся диффузор создает в воздухе звуковые волны, воспринимаемые ухом человека. Таким образом, электрический сигнал звукового диапазона частот преобразуется в звук.



Экспериментальная установка

Рассмотрим принцип работы динамика, который состоит из излучающей части – конического диффузора и звуковой катушки, помещенной в постоянное магнитное поле. Переменный ток звуковой частоты, протекающий через цилиндрическую звуковую катушку, взаимодействует с полем магнита.

Под действием возникающей силы катушка перемещается в зазоре магнитной системы, диффузор колеблется как поршень, возбуждая звуковые колебания в окружающей среде.

В зависимости от направления тока через звуковую катушку она будет либо втягиваться в зазор, либо выталкиваться из него. Величина силы, действующей на катушку, зависит от силы тока I в катушке и значения индукции магнитного поля B в зазоре магнитной системы, а также от длины витка ℓ проводника катушки и количества витков N провода: $F = I B \ell N$.

Исследование зависимости величины перемещения диффузора от величины приложенной к нему силы (рис. 2)

Для исследования данной зависимости под диффузор была подложена простая конструкция, позволявшая его приподнимать. Приложенная сила измерялась с помощью динамометра. Величина перемещения звуковой катушки, жестко связанной с диффузором, измерялась с помощью микрометрической головки.

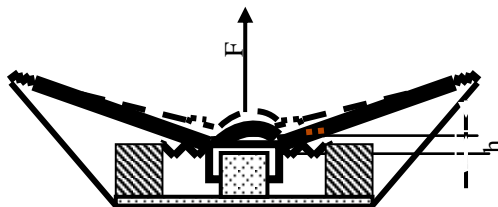


Рис. 2.

Таблица 1. Результаты экспериментального исследования зависимости величины перемещения диффузора от величины приложенной к нему силы

F, Н	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,6
h, мм	0	0,6	1,3	1,7	2,15	2,45	2,8	3,2	3,7	4,8	7,3	9,4

Зависимость между приложенной к диффузору силой и его перемещением имеет линейный характер на ограниченном участке (до $h \leq 4$ мм). При дальнейшем увеличении силы F упругость подвески диффузора изменяется нелинейно.

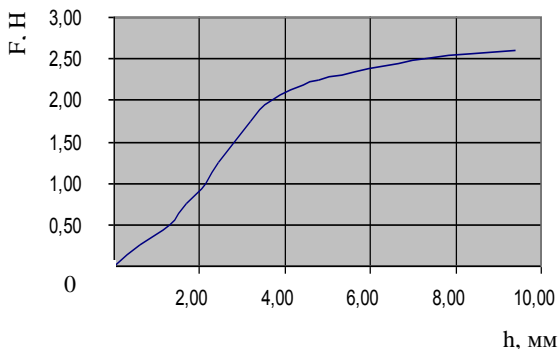


Рис. 3. Зависимость между приложенной к диффузору силой и величиной его перемещения

Исследование зависимости величины перемещения диффузора от силы тока через катушку (рис. 4)

Измерения проводились как при прямом, так и при обратном направлении тока через катушку. Таким образом, характер перемещения диффузора зависел как от упругости подвеса диффузора, так и от поведения катушки в магнитном поле магнитной системы.

На рисунке 4 видно, что плотность магнитных силовых линий равномерна только на ограниченном участке. Следовательно, зависимость величины перемещения диффузора от силы тока через катушку должна быть линейной только на ограниченном участке.

Таблица 2. Результаты экспериментального исследования зависимости величины перемещения диффузора от силы тока через катушку

I, А	-0,75	-0,6	-0,5	-0,45	-0,4	-0,35	-0,3	-0,25	-0,2	-0,15	-0,1
h, мм	0	0,1	0,15	0,2	0,4	0,45	0,5	0,9	1,25	1,5	1,9

I, А	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,7
h, мм	2,5	3,2	3,5	3,7	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,45	4,5	4,7

Экспериментальная проверка подтвердила наше предположение.

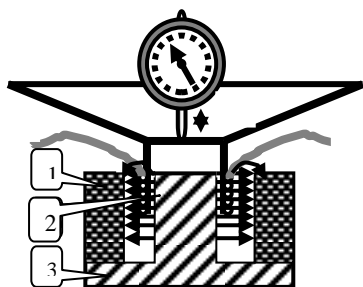


Рис. 4.

- 1 – кольцевой магнит,
- 2 – звуковая катушка,
- 3 – магнитопровод

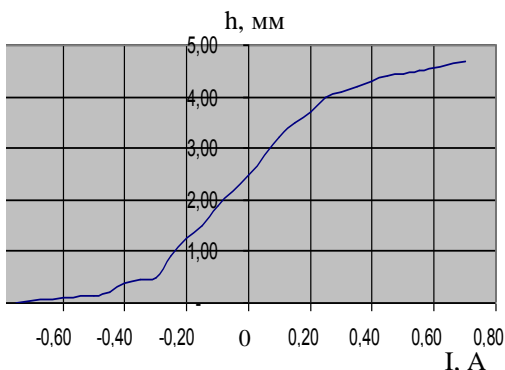


Рис. 5. Зависимость величины перемещения диффузора от силы тока через катушку

Выводы. Границы линейного участка второй характеристики более узкие. Именно они определяют оптимальный режим использования динамика. При воспроизведении звука с такой громкостью, при которой колебания диффузора не выходят за пределы линейного участка полученной характеристики, звуковые колебания будут соответствовать колебаниям тока, протекающего через катушку. При дальнейшем увеличении громкости колебательная система выйдет за пределы линейной характеристики. Возникнут нелинейные искажения, которые при воспроизведении приводят к появлению дополнительных составляющих, отсутствующих в электрическом сигнале. Они возникают вследствие нелинейной характеристики упругости подвесов подвижной системы, неоднородности магнитного поля в рабочем зазоре магнитной цепи и других причин. Номинальная мощность громкоговорителя – максимальная подводимая электрическая мощность переменного тока звуковой частоты, при которой коэффициент нелинейных искажений не выходит за пределы норм, допустимых для данного типа громкоговорителя.

Литература

1. Бабуркин В.Н., Гензель Г.С., Павлов Н.Н. Электроакустика и радиовещание. – М.: Изд-во «Связь», 1967.
2. Беленов А.Ф., Савкин П.М. Учебное пособие, методические указания, лабораторные работы по физике. 11 класс. – Н.Новгород, 2005.
3. Фурдуев В.В. Акустические основы вещания. – М.: Связьиздат, 1960.
4. Шифман Д.Х. Громкоговорители. – М.: Изд-во «Энергия», 1965.

Уникальные свойства света лазера

Садова Дарья

10 класс

Научный руководитель Е.Р. Кочаровская,
канд. физ.-мат. наук,
научный сотрудник ИПФ РАН



В работе экспериментально проверены основные свойства света лазера на лазерах зеленого, красного и синего цветов. На установке, аналогичной интерферометру Майкельсона, определялась длина когерентности лазерного излучения. Измерялась ширина спектра излучения с помощью спектрометра. По ширине спектра излучения длина когерентности вычислялась и сравнивалась с данными, полученными в эксперименте.

В 2010 году исполнилось 50 лет со времени создания первого лазера. За прошедшие пятьдесят лет лазеры стали, пожалуй, самыми актуальными приборами современности, широко применяющимися не только во многих отраслях науки и техники, но и в быту: в проигрывателях компакт-дисков, лазерных принтерах, лазерных указках, оптических системах связи, даже в детских игрушках. Высокая мощность излучения и легко изменяемая площадь действия лазерного излучения позволяет обрабатывать, соединять, резать и перемещать материалы на масштабах от метров до нанометров, что трудно сделать обычными способами. Это получило широкое применение в таких далеких друг от друга областях, как микроэлектроника и медицина, реставрация и биология. Неожиданным и одновременно впечатляющим явлением является лазерное шоу. В силу уникальных свойств излучения, а именно, когерентности и монохроматичности, а также узкой направленности излучения и связанной с ней высокой яркости возможно распространение пучка лазерного света на очень большие расстояния.

Цель работы заключается в изучении особенностей излучения лазера и сравнении их со свойствами обычного некогерентного источника. Ставились задачи: изучить расходимость, ширину спектра и длину когерентности излучения светодиода и лазерных указок трех цветов – красного, синего и зеленого. В ходе работы теоретически изучалась простейшая система лазера с двухуровневой активной средой и его основные свойства: высокая мощностью и яркость ла-

зерного излучения; монохроматичность и когерентность лазерного излучения; узкая направленность лазерных источников света.

Экспериментально исследовались низкая расходимость, монохроматичность и когерентность лазерного излучения, кардинально отличающего его от света обычных источников света.

Как известно, лазер состоит из источника накачки, активного вещества и оптического открытого резонатора. Генерация в лазере начинается тогда, когда вынужденное излучение на некотором переходе между уровнями квантовой системы превышает спонтанное. Это возможно в том случае, если верхний уровень заселен больше, чем нижний, с одной стороны; а с другой, когда в системе есть обратная связь (оптический резонатор). Излученные фотоны возвращаются в среду и рожают новые подобные им фотоны. Оптический резонатор определяет спектр излучения, его энергетические характеристики, направленность излучения.

В компактных лазерах в качестве активной среды используются полупроводники, в которых в процессе рекомбинации отрицательно заряженных электронов и положительно заряженных дырок выделяется энергия в виде фотонов с определенной длиной волны. Спонтанное излучение полупроводника наблюдается при работе светодиодов. Однако, при определенных условиях, электрон и дырка перед рекомбинацией могут находиться в одной области пространства достаточно долгое время (до микросекунд). Если в этот момент через эту область пространства пройдет фотон нужной (резонансной) частоты, он может вызвать вынужденную рекомбинацию с выделением второго фотона, причем его направление, вектор поляризации и фаза будут в точности совпадать с теми же характеристиками первого фотона. Такое излучение будет вынужденным. В действительности лазерная указка еще не лазер, хотя и сохраняет основные свойства лазерного излучения. Лазерный диод не имеет высокодобротного оптического резонатора, поэтому направленное излучение создается за счет малого поперечного размера активного вещества и двояковыпуклой линзы.

Мы провели экспериментальное исследование света лазера и сравнили расходимость светодиода и лазерных указок красного, синего, зеленого цвета. У луча света на различных расстояниях от источника измерили диаметр светового пятна и на основе полученных данных построили графики (рис. 1). Диаметр светового пятна от лазерной указки достигает значения 2,5 см на расстояниях десятков

метров, от обычного светодиода такое пятно мы получили на расстоянии 5 см, а при 20 см свет практически полностью рассеялся.

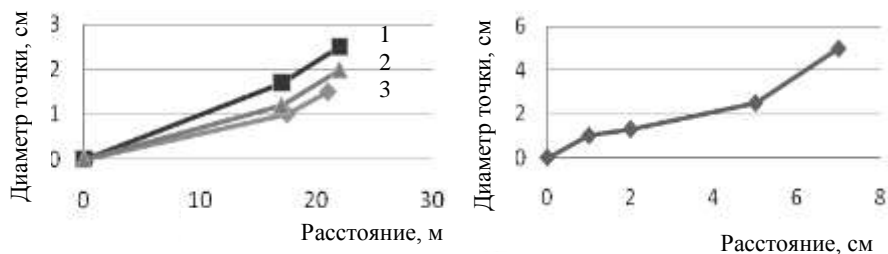


Рис. 1. Сравнение расходимости лазерных указок и светодиода (1 – красный, 2 – синий, 3 – зеленый)

В основной части эксперимента была собрана установка, аналогичная интерферометру Майкельсона (рис. 2). Луч от источника разделяется на два с помощью полупрозрачной пластинки-делителя. Каждый из лучей отражается (луч 1 от фиксированного зеркала, а луч 2 – от подвижного) и проходит расстояние до экрана L_1 и L_2 соответственно. Максимально четкая интерференционная картина от сложения двух потоков когерентного света (рис. 3а) наблюдается на экране, когда $L_1 = L_2$.

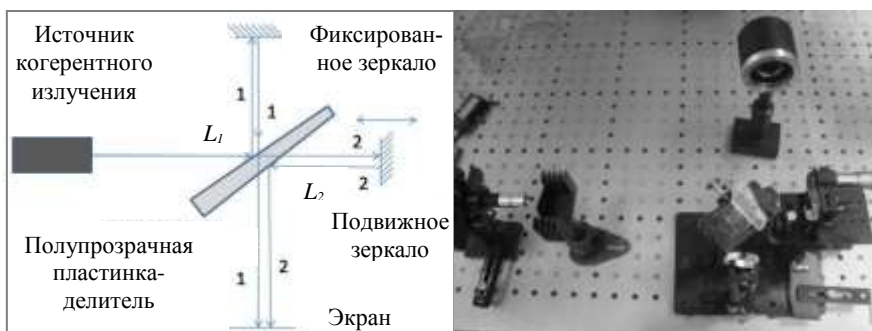


Рис. 2. Схема и фотография экспериментальной установки

Изменялись два положения подвижного зеркала, когда интерференция максимальна (рис.3а) и когда интерференционные полосы полностью пропадают (рис.3б).

Данная установка собиралась для измерения длины когерентности лазерной указки синего цвета. С помощью такой установки воз-

можно измерения в диапазоне около 100 мкм. Для измерения длины когерентности лазерной указки зеленого цвета пришлось «портить» качество излучения рассеивающими фильтрами, но даже через фильтры качество излучения твердотельного зеленого лазера оказалось на порядок лучше, чем излучение лазерных диодов красного и синего цвета. Длина когерентности светодиода была так мала, что измерить ее не удалось.

В заключительной части эксперимента спектр излучения измерялся напрямую с помощью спектрометра с разрешением 2нм (точки на графике, рис. 4). По графику определялись значения длины волны и ширины спектра. Самым узким спектром обладает зеленая указка – твердотельный лазер. Ее спектр точно измерить не удалось, так как не хватило разрешения данного спектрометра даже при пропускании света через рассеивающие фильтры. Лазерные указки синего и красного цвета, основанные на лазерных диодах, показали более широкий спектр и, соответственно, меньшую длину когерентности. Для сравнения мы измерили спектр светодиода, который оказался почти в сто раз больше (рис. 4).



Рис. 3. Фотографии интерференционной картины от лазерного излучения в пределах длины когерентности (а) и нарушение интерференции вне пределов длины когерентности (b)

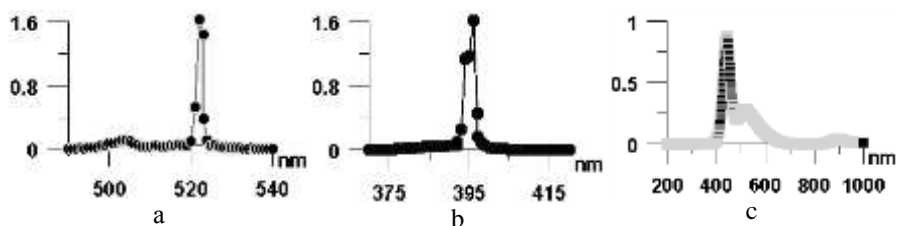


Рис. 4. Спектры твердотельного лазера (а), лазерного диода (b), светодиода (с)

Сравним результаты измерений длины когерентности в интерферометре Майкельсона с длиной когерентности, вычисленной по ширине спектра монохроматического излучения:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{c \cdot \lambda}{\Delta\ell \cdot c} \Rightarrow \Delta\ell \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме, ν , $\Delta\nu$ – частота и уширение спектра по частоте. Длины когерентности лазерных диодов почти совпали. По длине когерентности порядка 1 мм мы определили, что характерная ширина спектра лазерной указки зеленого цвета была около 0,3 нм, однако в действительности он еще уже. Наша установка не была предназначена для изучения лазеров с высокой монохроматичностью спектра, поэтому погрешность в определении длины когерентности твердотельного лазера зеленого цвета оказалась большой.

Таблица. Результаты эксперимента

	Зеленый лазер	Синий лазер	Красный лазер	Светодиод
Ширина спектра, $\Delta\lambda$	2 нм (0,3 нм)	3 нм	3 нм	~ 440нм
Длина волны, λ	522 нм	395 нм	645 нм	~ 40нм
Длина когерентности, вычисленная по ширине спектра излучения, Δl	260 мкм	104 мкм	280 мкм	10 мкм
Длина когерентности, измеренная в эксперименте, $\Delta l_{\text{эксп}}$	~10 ⁴ мкм	100 мкм	370 мкм	<1 мкм

Закключение. Во время работы с лазерными указками я открыла для себя новые удивительные свойства света. Оказывается, что лазерное излучение имеет расходимость почти в 1000 раз меньше, чем обычный некогерентный свет, а ширина спектра когерентного света лазера в 100 раз меньше, чем ширина спектра некогерентного излучения светодиода. Световые лучи от внешне похожих лазерных указок обладают не только разным цветом, который определяется длиной волны излучения, но и разной шириной спектра. С помощью лазерной указки можно наблюдать красивое явление интерференции, исчезающее вне длины когерентности и невозможное для некогерентного света.

Литература

1. Квантовая электроника – маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969.
2. Сэм М.Ф. Лазеры и их применение // Соросовский образовательный журнал. 1996, № 6. С. 92 – 98.
3. Тарасов Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1981.



Компьютерное теплофизическое моделирование герметичных квазиоптических окон приборов терагерцового диапазона длин волн

Сидоров Дмитрий
11 класс

Научный руководитель Д.В. Коротаев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН

В работе представлено физическое моделирование реальных процессов, происходящих при работе охлаждаемой аппаратуры телескопов. Впервые получена картина конденсации на радиационно охлаждаемых вакуумных окнах. Создана программа, моделирующая температурный профиль радиационно охлаждаемой (нагреваемой) поверхности в зависимости от начальных условий и свойств поверхности.

Проблема радиационного обмерзания окон в настоящий момент мало исследована, если судить по количеству публикаций в прессе, и носит скорее теоретический характер. Это связано с тем, что данное явление происходит нечасто и его довольно сложно зафиксировать вживую, монтаж и конструктивные особенности оборудования сильно ограничивают эту возможность. Нахождение конденсата на входных окнах приводит к сильному ухудшению качества приема сигналов. Возможно, этот эффект часто приводил к ошибочному заключению о поломке аппаратуры, выключению и поиску несуществующих неисправностей. В истории современных астрономических наблюдений уже были случаи, когда при диагностике приемных установок не было обнаружено ни одной проблемы, хотя при эксплуатации было замечено значительное ухудшение сигнала.

Получение реальной картины запотевания окон криоэлектронных приборов может пролить свет на процессы, происходящие при работе аппаратуры, и заранее внести конструктивные изменения. Если же предположение об обмерзании приемных окон подтвердится, то нужно ли всегда устанавливать различные системы, препятствующие ему? Ведь они будут занимать место, будут возникать проблемы при монтаже, управлении, а процесс конденсации в данных природных условиях может и не произойти. Значит, нужно научиться предсказывать такое обмерзание, например, с помощью компьютерного моделирования.

Проблема: конденсация водяных паров, обмерзание снегом создают критические условия для работы технических устройств различного рода: самолетов и кораблей, различных оптических и квази-оптических приборов, а порой делают их работу вообще невозможной.

Целью работы является компьютерное моделирование теоретической модели гермоокна, граничных условий его использования, материала с целью получения температурного профиля на границах.

На первом этапе работы был спланирован и проведен эксперимент по нахождению температурного профиля входного окна телескопа. Результат лабораторного эксперимента фиксировался на фотокамеру. По полученным фотографиям был построен график зависимости процента занимаемой поверхности водяным конденсатом от расстояния до центра [8, с. 78 – 82].

Следующей задачей было создание программы, моделирующей температурный профиль радиационно охлаждаемой (нагреваемой) поверхности в зависимости от начальных условий и свойств самой поверхности. Ее решению посвящена настоящая статья.

Программа производила расчет уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах с нелинейными граничными условиями:

$$\lambda \frac{dT}{dz} = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T^4),$$

$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} + \frac{d^2T}{dz^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{dT}{dt}$ – граничные условия, баланс энергии на границе раздела двух сред, где T – температура в градусах, К; r, z – координаты по радиусу и толщине; t – время с; α – коэффициент температуропроводности; ε – степень черноты поверхности; σ – постоянная Стефана – Больцмана; λ – коэффициент теплопроводности.

Были найдены температурные профили для трех случаев.

1. Входное окно телескопа, сделанное целиком из фторопласта, радиусом 5 см и толщиной 4 мм, с жидким азотом в качестве охлаждающего тела ($T = 77$ К).
2. Входное окно телескопа, сделанное целиком из фторопласта, но с алмазным напылением (коэффициент теплопроводности на 3 порядка выше, чем у фторопласта), радиусом 5 см и толщиной 4 мм, с жидким азотом в качестве охлаждающего тела ($T = 77$ К).
3. Выходное алмазное окно гиротрона мощностью 1МВт.

Не менее актуально построение температурного профиля выходного окна гиротрона, поскольку необходимо добиться наименьшего

его нагревания. В качестве материала для этих окон используют алмаз, основываясь на его прочности, оптической прозрачности и высоком коэффициенте теплопроводности (рис. 2). Интересно также рассмотреть возможность использования материала с меньшей теплопроводностью, например, фторопласт (коэффициент теплопроводности на 3 порядка меньше, чем у алмаза) (рис. 3).

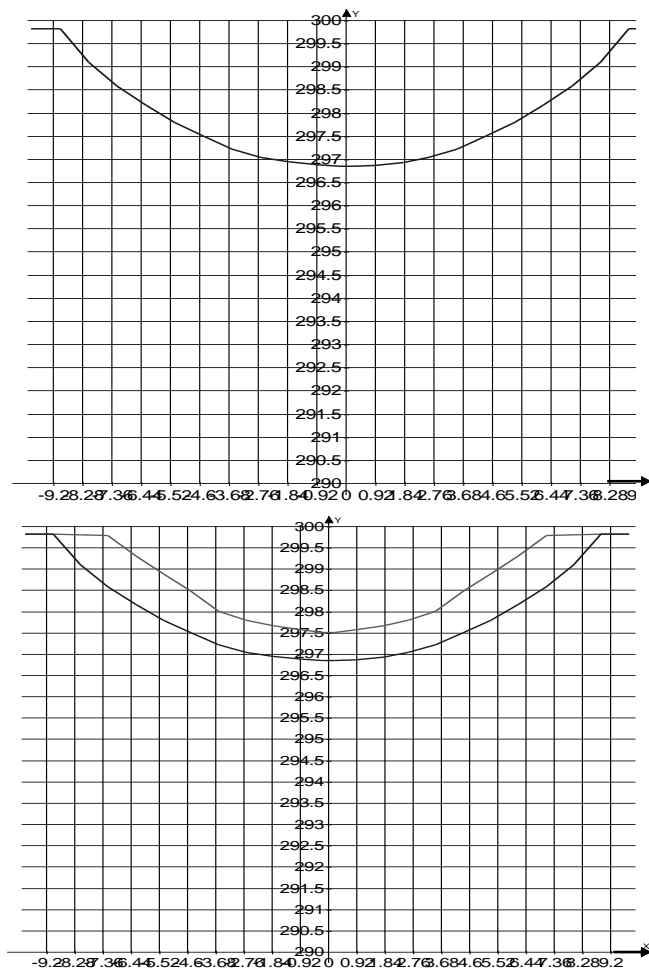


Рис. 1. Графики зависимости температуры на участках окна от расстояния до его центра, полученные с помощью программы (сверху профиль фторопластового окна, снизу – фторопластового окна с алмазным напылением)

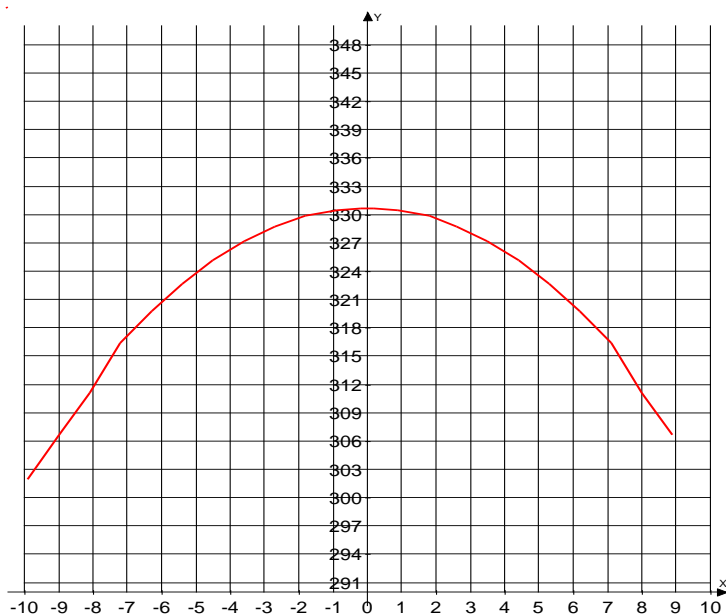


Рис. 2. Температурный профиль выходного алмазного окна гиротрона, полученный в результате работы программы

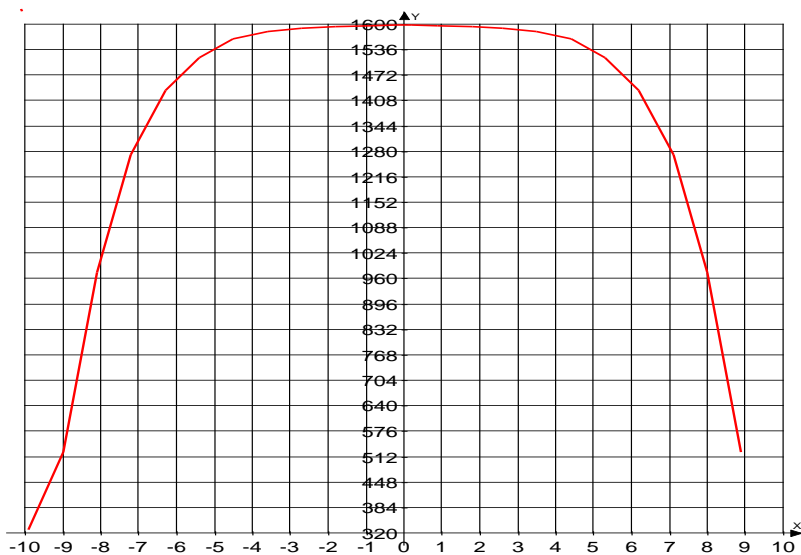


Рис. 3. Температурный профиль выходного фторопластового окна гиротрона, полученный в результате работы программы

Выводы

1. На практике доказан и подтвержден эффект радиационного охлаждения окон криоэлектронных приборов, впервые получена картина, визуализирующая процессы, возникающие при реальной работе оборудования.
2. Полученная картина должна заставить задуматься разработчиков охлаждаемой аппаратуры о реальной картине, которая может возникнуть при эксплуатации.
3. Была написана программа, рассчитывающая температурный профиль радиационно охлаждаемых или нагреваемых поверхностей (таких, как входное окно телескопа и выходное окно гиротрона).

Литература

1. *Китайгородский А.И.* Введение в физику. – М.: Наука, 1973. – 688с.
2. *Ландсберг Г.С.* Элементарный учебник физики. Т. 1. – М.: Наука, 1972. – 651 с.
3. *Микулин Е.И.* Криогенная техника. – М.: Мир, 1976. – 500с.
4. *Павленко И.Г.* Начала физики. – М.: Экзамен, 2005. – 862с.
5. *Савельев И.В.* Курс физики. Т. 1 и 3. Т. 1. – М.: Наука, 1989. – 350 с.; Т. 3. – М.: Наука, 1987. – 317 с.
6. *Фейнман Р.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 3 – 4. «Излучение. Волны. Кванты», «Кинематика. Теплота. Звук» / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1977. – 495 с.
7. *Фрост У.* Теплопередача при низких температурах / Перевод В.В. Алттова и А.А. Васильева. – М.: Мир, 1977. – 420с.
8. Школа юного исследователя : Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина; Научно-образовательный комплекс ИПФ РАН. – Выпуск 3. – Н. Новгород, 2010. – 191 с.

Исследование волн на поверхности воды: от гравитационных волнений до капиллярных возмущений

Спивак Алексей

9 класс

Научный руководитель А.Ф. Беленов,
канд. физ.-мат. наук, доцент НИРО



Работа посвящена исследованию периода гравитационных и капиллярных колебаний в разных условиях. Проведено математическое моделирование и экспериментальное определение периода колебаний воды. Получено хорошее совпадение математических моделей и экспериментальных данных.

С таким явлением, как волны на воде, мы встречаемся каждый день. Когда мы берем чашку с чаем, то прежде чем поверхность станет ровной и гладкой, она колеблется. Это пример гравитационных волн. Но они существуют не только в маленьком сосуде. Недавнее цунами в Японии – яркий пример силы волн или так называемых цунами. Но существуют также капиллярные колебания. Примером является рябь на воде или поверхности другой жидкости. Капиллярные явления могут играть существенную роль в технологических процессах, связанных с поверхностными явлениями в жидкостях. Проблемой для ученых и человечества в целом стало достоверное предсказание появления волн на поверхности воды, их высоты, периодичности, силы. Получение информации о волнах на поверхности воды имеет огромное значение для человечества. Моделируя возможное появление гравитационных волн на поверхности морей и океанов, зная их силу, период, высоту гребня, можно передавать эту информацию морякам, рыбакам, которые находятся в море или прибрежных водах, населению на суше, омываемой морями и океанами, с тем, чтобы была возможность предотвратить серьезные последствия штормов и цунами.

Эпоха великих географических открытий потребовала систематического наблюдения за волнами, установления закономерности их возникновения, развития и движения. Первые измерения волн Средиземного моря сделал в 1725 году итальянский ученый Луиджи Марсильи. На рубеже XVIII и XIX веков регулярные наблюдения за морскими волнами проводились во время плаваний русскими капи-

танами И. Крузенштерном, О. Коцебу и В. Головиным, которым приходилось самостоятельно разрабатывать и применять методику исследований [2]. В середине XVIII века Даниил Бернулли и Леонард Эйлер перенесли законы механики Ньютона с движений частиц и твердых тел на движение жидкостей и плавающих на них предметов. С этого момента ведет начало наука о движении воды – гидродинамика. Спустя полвека появилась первая теория волн на воде, созданная французскими учеными Коши и Пуассоном [2]. В XIX веке волны стали изучать в экспериментах в специальных бассейнах.

Нашей целью был вывод формул для нахождения периода гравитационных колебаний и длины волны капиллярных колебаний, а также сравнение этих показателей с экспериментальными данными.

Различают два вида волн: гравитационные и капиллярные. Гравитационные волны – разновидность волн на воде, при которых сила, возвращающая деформированную поверхность воды к состоянию равновесия, есть просто сила тяжести, то есть перепад высот гребня и впадины в гравитационном поле [3]. Капиллярные волны – волны на поверхности жидкости, свойства которых существенным образом определяются силами поверхностного натяжения, в отличие от гравитационных волн, для которых преобладает влияние силы тяжести [1].

Гравитационные и капиллярные волны можно отличить по высоте гребня волны, при которой сила поверхностного натяжения воды равна силе тяжести (высоту гребня h считаем равной ширине гребня):

$$h^* = \sqrt{\frac{\pi\sigma}{\rho g}}, \quad h^* = \sqrt{\frac{\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{10^3 \cdot 10}} = \sqrt{5\pi} \cdot 10^{-3} \text{ м} = \sqrt{5\pi} \text{ мм} \approx 4 \text{ мм}.$$

Будем считать капиллярными волны, у которых h много меньше h^* , в случае обратного неравенства мы будем считать волны гравитационными. Для периода колебаний гравитационных возмущений воды в сообщающихся сосудах:

$$T_{\text{грав.}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{2g}} = A\sqrt{L}.$$

Для периода колебаний капиллярных волн:

$$T_{\text{кап.}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{gh^3}{\pi\sigma}} = B\sqrt{h^3}.$$

По данным формулам можно вычислить период, с которым можно далее сравнивать экспериментальные данные.

Нами было проведено несколько опытов по количественному изучению гравитационных колебаний в сосуде с водой и определению зависимости периода колебаний от высоты столба воды. Было показано, что период не очень сильно зависит от высоты столба жидкости.

Следующая серия экспериментов была посвящена изучению зависимости периода гравитационных колебаний от диаметра дна сосуда с водой. Оказалось, что период колебаний воды зависит от диаметра сосуда, где находится данная жидкость. Чем больше диаметр сосуда, тем больше и период.

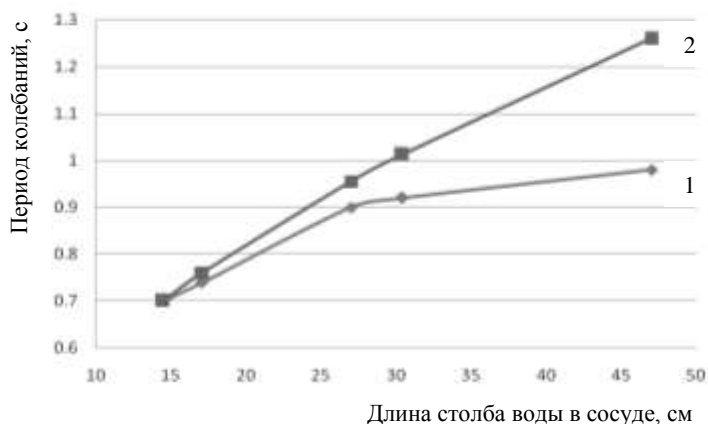


Рис. 1. Зависимость периода колебаний от длины столба воды в трубке (1 – экспериментальные данные, 2 – теоретические)

Мы исследовали также гравитационные колебания в сообщающихся сосудах. После анализа экспериментальных данных был сделан следующий вывод: период зависит от высоты столба воды в сообщающихся сосудах; чем больше высота, тем больше и период (рис. 1).

Вынужденные капиллярные волны создавались с помощью динамика, подключенного к звуковому генератору. На



Рис. 2. Концентрические структуры при небольших уровнях сигнала со звукового генератора

динамика устанавливалась цилиндрическая ванна с водой. Фотография концентрических структур при сравнительно небольших уровнях сигнала со звукового генератора приведена на рисунке 2 (частота 60 Гц).

При увеличении уровня звукового сигнала при неизменной частоте волновая структура капиллярных волн качественно менялась. При почти неизменном горизонтальном масштабе возмущений концентрические структуры распадались на отдельные ячейки. Такие ячейки получили название «капиллярная рябь Фарадея» (рис. 3).



Рис. 3. Капиллярная рябь Фарадея

Для случая концентрических структур была получена экспериментальная зависимость масштаба структуры h (длины волны) от частоты звукового генератора $\nu = 1/T$ и проведено сопоставление элементарной теорией (рис. 4):

$$T_{\text{кап.}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{gh^3}{\pi\sigma}}.$$

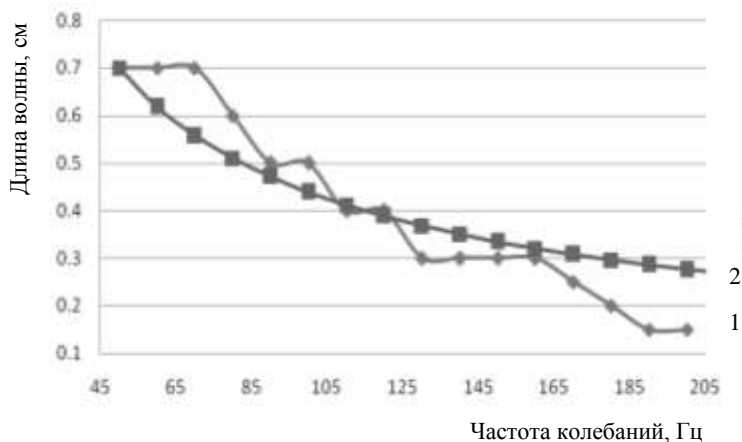


Рис. 4. Зависимость длины волны от частоты колебаний – вынужденные капиллярные колебания (1 – экспериментальные данные, 2 – теоретические)

Также в ходе опыта было обнаружено, что при капиллярных колебаниях в сосуде цилиндрической формы при одной и той же частоте поверхность воды сильно отличается при усилении воздействия (увеличение амплитуды выхода звукового генератора). При малом воздействии на поверхности воды появляются радиальные круги, но при увеличении амплитуды выхода звукового генератора на воде появляются ячейки вместо радиальных кругов. Данное явление мы, к сожалению, не смогли объяснить. В будущем мы планируем более подробно исследовать явления радиальных кругов и ячеек на воде.

Литература

1. Гегузин Я.Е. Капля. – М.: Наука, 1973.
2. Сайт «SeaPeacer». Мир океана». Морские волны: природа возникновения. <http://www.seapeace.ru/oceanology/water/13.html>.
3. Электронная энциклопедия http://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитационные_волны_на_воде.

Измерение постоянной Больцмана методами спектроскопии

Сучкоусов Андрей

10 класс

Научный руководитель Д.С. Макаров,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



В данной работе анализировалась возможность использования методов спектроскопии для нахождения постоянной Больцмана. В ходе работы проведен эксперимент по наблюдению линии поглощения окиси углерода. Получено выражение, связывающее доплеровскую ширину линии с постоянной Больцмана. По полученным формулам определено значение постоянной Больцмана. Были проанализированы ошибки и предложены способы повышения точности измерения.

Постоянная Больцмана (k) – одна из основных физических постоянных, определяющая связь между температурой и энергией. Она является фундаментальной физической константой и используется для связи физических величин в основных законах естественных наук: химии, термодинамики, статистической физики, теории электричества, магнетизма, оптики, атомной физики, квантовой механики.

Достаточно точное значение постоянной k как коэффициента появилось в трудах М. Планка при выводе закона излучения черного тела. Во второй половине XX века постоянную Больцмана измеряли с помощью термодинамических методов. В качестве примера таких методов можно упомянуть анализ движения броуновских частиц в жидкости, а также анализ теплового шума в проводнике.

Среди эталонов физических величин в настоящее время наибольшей точностью обладают атомные стандарты частоты, которые позволяют знать частоту и, следовательно, время с 16 значащими цифрами. Отсюда возникает потребность привязать и все остальные единицы измерения (единицы длины, массы и т.д.) к этим стандартам, сводя измерение соответствующих физических величин к измерению частоты.

Спектроскопия – это раздел физики и аналитической химии, посвященный изучению взаимодействия излучения (например, электромагнитных или акустических волн) с веществом и всевозможных свойств этих взаимодействий.

В данной работе анализируется возможность использования методов молекулярной газовой спектроскопии, поскольку они дают

возможность определить постоянную Больцмана с помощью частотных измерений. Отметим, что похожий опыт был проведен в Италии по заказу Европейской палаты мер и весов.

Целью данной работы было измерение постоянной Больцмана с помощью современных методов спектроскопии в миллиметровом диапазоне длин волн. В ходе исследования решались следующие задачи: экспериментальное исследование профиля линии поглощения окиси углерода (CO) $J = 2 - 1$ на частоте 230 ГГц, получение выражения, связывающего ширину наблюдаемой линии с постоянной Больцмана, определение по полученным экспериментальным показателям постоянной Больцмана и сравнение с имеющимися данными. Для определения постоянной Больцмана использовался спектрометр с радиоакустическим детектированием сигнала поглощения.

Теоретический расчет. Молекулы в газе движутся с различными скоростями. Средняя кинетическая энергия (и средняя скорость) молекулы связана с температурой следующим соотношением:

$$\frac{mv_{\text{ср}}^2}{2} = \frac{3}{2}kT, \text{ где } m - \text{масса молекулы газа, } v_{\text{ср}} - \text{средняя скорость}$$

поступательного движения, k – постоянная Больцмана, T – температура газа. Если разбить допустимые значения скоростей на небольшие интервалы, то число молекул, скорости которых попадают в определенный интервал, будет зависеть от средней скорости в интервале. Эта зависимость называется распределением по скоростям (рис.1). Если рассматривать распределение по одной проекции скорости, например, по v_x , то оно будет описываться формулой:

$$W(v_x) \sim e^{\frac{-mv_x^2}{2kT}},$$

где W – число молекул, у которых проекция скорости на ось x близка к величине v_x , m – масса молекулы, k – постоянная Больцмана, v_x – среднее значение проекции скорости на ось x в выбранном интервале скоростей, T – температура. Покажем, что распределение молекул по скоростям можно наблюдать с помощью методов газовой спектроскопии.

Согласно квантовой механике, энергия вращения молекулы E квантована, то есть может принимать ряд определенных значений:

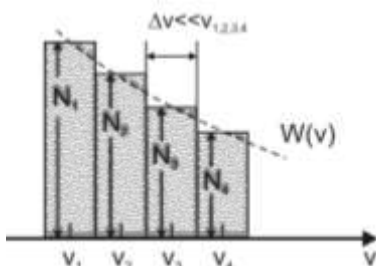


Рис. 1. Разбиение скорости на небольшие интервалы

$$E = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1),$$

где J – квантовое число, характеризующее вращательное состояние молекулы, h – постоянная Планка, I – момент инерции молекулы. Чтобы молекула изменила энергию вращения, нужно, чтобы она поглотила (испустила) квант излучения. Энергия этого кванта равна hf , где f – частота излучения. Например, при переходе из состояния $J = 0$ в состояние $J = 1$, по закону сохранения энергии изменение вращательной энергии молекулы ($E_1 - E_0$) будет определяться следующим выражением: $E_1 - E_0 = hf_{1-0}$, где f_{1-0} – частота первого вращательного перехода молекулы.

Рассмотрим разреженный газ, в котором можно пренебречь столкновительным взаимодействием между молекулами. Пусть f' – частота центра линии, f – частота излучения, которое распространяется в газе. Чтобы молекула могла поглотить энергию, нужно учесть, что на поглощение энергии влияет эффект Доплера. Сущность эффекта заключается в том, что молекула, двигаясь относительно источника излучения, будет воспринимать частоту излучения, отличающуюся от f в $(1 - v/c)$ раз и равную $(1 - v/c)f$. Если молекула движется навстречу источнику, тогда частота, которую «видит» молекула, увеличивается, а если молекула движется от источника, то уменьшается. Таким образом, от скорости движения молекулы зависит частота излучения, которую воспринимает молекула.

Условие поглощения частоты f молекулой: $f' = (1 - v/c)f$, где v – скорость молекулы относительно направления распространения излучения, c – скорость света. Если заменить скорость движения молекулы на $v = \frac{f - f'}{f}c$ и подставить в $W(v)$, то получим распределение молекул по частотам, то есть зависимость числа молекул, поглощающих излучение вблизи частоты f , от значения частоты f :

$$W(f) \sim e^{\frac{-m((f-f')c)^2}{2kTf^2}}.$$

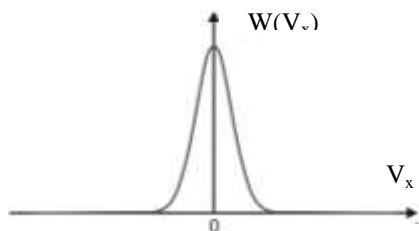


Рис. 2. Распределение молекул по скорости v_x

Поглощенная энергия E прямо пропорциональна числу поглощающих молекул $W(f)$, и эту величину (поглощенную энергию) можно наблюдать экспериментально. Зависимость поглощенной энергии от частоты излучения мы и измеряем в ходе эксперимента. Зависимость $E(f)$ прямо пропорциональна зависимости $W(f)$. При данных условиях, когда взаимодействием молекул можно пренебречь, такая зависимость называется доплеровским профилем линии. Ширину профиля (в нашем случае доплеровскую ширину) можно определить с помощью обработки данных эксперимента. Доплеровская ширина равняется половине ширины профиля, измеренной на уровне половины максимума.

Поскольку мы рассматриваем диапазон частот вблизи f' , много меньший, чем f' , то в знаменателе показателя экспоненты можно f заменить на f' . Таким образом, доплеровская ширина определяется из соотношения:

$$e^{\frac{-m((f-f')c)^2}{2kTf'^2}} = \frac{1}{2}$$

и, соответственно, доплеровская ширина будет равняться

$$\Delta f_d = f - f' = \frac{f'}{c} \sqrt{\frac{2kT \ln 2}{m}}.$$

По величине доплеровской ширины вычисляем постоянную Больцмана:

$$k = \frac{m(\Delta f_d c)^2}{2 \ln 2 f'^2}.$$

Экспериментальное исследование. В работе использовался спектрометр с радиоакустическим детектированием сигнала поглощения (рис. 3). Источником излучения в спектрометре

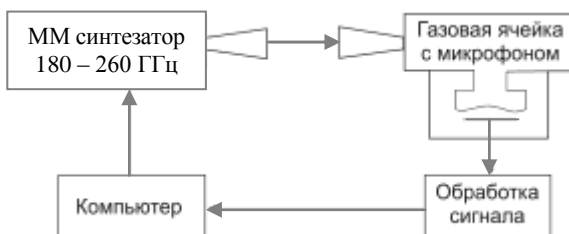


Рис. 3. Блок-схема спектрометра

является синтезатор миллиметрового излучения, работающий в диапазоне частот 180 – 260 ГГц. Излучение синтезатора попадает в газовую ячейку, к которой подключен высокочувствительный микро-

фон. Если частота излучения совпадает с частотой перехода молекулы на другой энергетический уровень, то газ поглощает излучение, разогревается и расширяется. При этом изменяется емкость микрофона. Это изменение преобразуется в электрический сигнал и записывается в компьютер. При пошаговом сканировании частоты источника в заданном диапазоне мы получаем спектр поглощения исследуемой молекулы, то есть зависимость поглощенной энергии от частоты излучения (рис. 4).

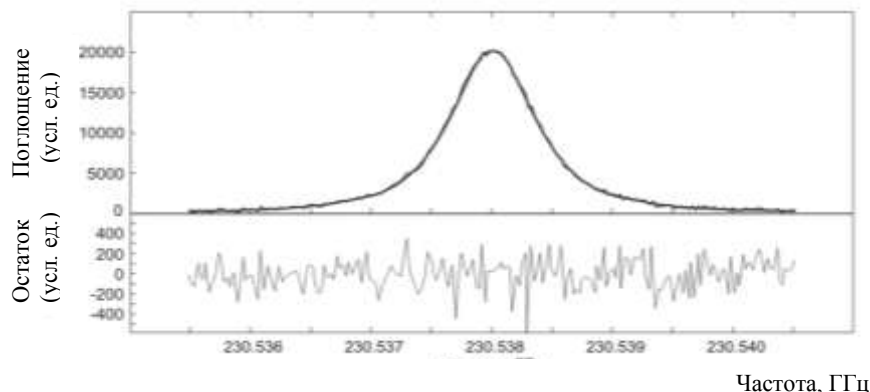


Рис. 4. Линия перехода $J = 2 - 1$ молекулы CO

При выполнении эксперимента необходимо учитывать тот факт, что кроме доплеровского уширения (за счет распределения по скоростям и «сдвига частоты с точки зрения молекулы») есть еще уширение столкновениями. Столкновительная ширина растет пропорционально давлению, и при больших давлениях становится значительно больше доплеровской, то есть нужно работать при низких давлениях. В то же время при низком давлении поглощающих молекул меньше, а значит, поглощается меньше энергии и поступающий сигнал слабее. Трудностью является также то, что при определенных условиях проявляется эффект насыщения мощностью излучения. При этом все молекулы газа под действием излучения переходят на верхний энергетический уровень, не успевая рассеять накопленную энергию с помощью столкновений, и, как следствие, энергия больше не может приниматься молекулами, из-за чего увеличивается наблюдаемая ширина профиля линии. Для уменьшения эффекта мощность излучения источника уменьшалась. При этом уменьшался и полезный сигнал.

В ходе эксперимента в газовую ячейку напускалось 0,040 Торр СО и 0,048 Торр аргона. Аргон был добавлен в ячейку по нескольким причинам. Во-первых, для увеличения давления, чтобы уменьшить эффект насыщения мощностью. Во-вторых, чтобы увеличить чувствительность ячейки, которая увеличивается с ростом давления. В-третьих, столкновения с аргоном меньше уширяют наблюдаемую линию, чем столкновения с молекулами СО. Все это позволяет точнее определить доплеровскую ширину. При этом нужно следить, чтобы столкновительная ширина линии не сильно превышала доплеровскую.

Профиль линии был записан несколько раз. Для обработки полученных данных использовалась программа, в которую закладывалась модельная функция, характеризующая форму линии и учитывающая как столкновительное, так и доплеровское уширение. Программа подбирает столкновительную и доплеровскую ширину таким образом, чтобы модельная функция наилучшим образом подходила к экспериментальным данным. На рисунке 4 в верхней части показан экспериментальный профиль линии $J = 2 - 1$ с центральной частотой 230,538 ГГц, а внизу приведена разность экспериментального и модельного спектра поглощения. Разность имеет шумовой вид, а это означает, что модельный профиль хорошо подходит к условиям эксперимента.

Усредненная по всем измерениям доплеровская ширина равняется 276,324 кГц. Полагая, что масса молекулы и скорость света известны, а температура ячейки с газом измерялась во время эксперимента, по доплеровской ширине мы вычислили постоянную Больцмана. Она получилась равной $1,20988 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, что на 12% меньше данных из справочника (рис. 5).

Поскольку измеренное значение k отличается от приведенного в справочнике, нужно определить источник этого отличия. Кроме доплеровской ширины, программа определяла столкновительную

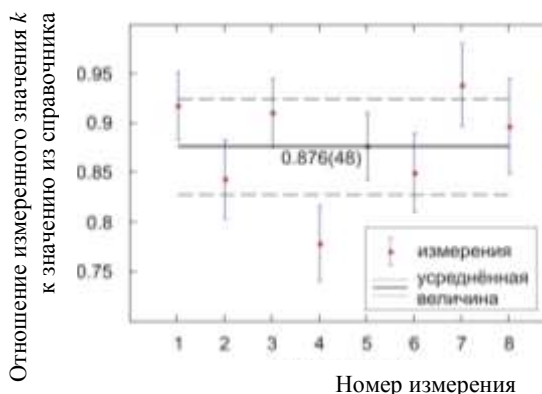


Рис. 5. Отношение постоянной Больцмана, которую мы получили, к значению из справочника

ширину (рис. 6). Поскольку измеренная экспериментальная столкновительная ширина была больше расчетной, можно сделать вывод, что на результат измерения влияет насыщение мощностью.

Анализ факторов, препятствующих точному измерению

(насыщение мощностью, столкновительное уширение, акустические помехи), позволил сделать выводы о том, каким образом данным методом можно получить более точный результат:

1) надо увеличить доплеровскую ширину по сравнению со столкновительной шириной. Поскольку доплеровская ширина зависит от частоты, то предпочтительно проводить эксперимент, используя переходы, соответствующие более высоким энергетическим уровням;

2) надо еще больше уменьшать мощность излучения; чтобы при этом не уменьшилась амплитуда наблюдаемой линии, надо повысить чувствительность спектрометра (например, нагреть ячейку с газом);

3) можно использовать в эксперименте менее уширяющий, чем аргон, газ, например, водород или гелий.

Итоги. Проведен эксперимент по наблюдению линии поглощения окиси углерода; получено выражение, связывающее доплеровскую ширину линии с постоянной Больцмана; определено значение постоянной Больцмана; проанализировано отличие полученного значения от табличного; предложены способы повышения точности измерения.

Литература

1. Am.J.Phys. 71(6), 2003/Measuring Boltzmann's constant using video microscopy of Brownian motion/Paul Nakroshis, Matthew Amoroso, Jason Legere, and Christian Smith/p. 568.
2. Eur.J.Phys/31, 2010/A simple, sensitive circuit to measure Boltzmann's constant from Johnson's noise/ JCRodriguez-Lunaand Jde Urquijo/p. 675.
3. Крупнов А.Ф. Микроволновая спектроскопия. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 2009. – 83 с.
4. Успехи физических наук. Т. 176. 2006, №12. / Нобелевская лекция по физике – 2005 / Т.В. Хэнш /. – 1368 с.

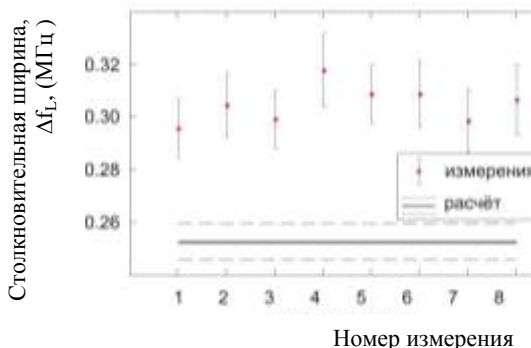


Рис 6. Сравнение теоретической и экспериментальной столкновительной ширины

Исследование эффекта Фарадея

Шайкина Анастасия

10 класс

Научный руководитель И.Л. Снетков,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



Эффект Фарадея заключается в повороте плоскости поляризации излучения, проходящего через прозрачную среду, находящуюся в магнитном поле. Создана экспериментальная установка, которая может быть использована в лабораторных работах школьников для определения постоянной Верде, характеризующей исследуемое вещество. Экспериментально исследована зависимость угла поворота плоскости поляризации от магнитного поля, длины магнитоактивной среды и длины волны проходящего излучения в тербий галлиевоом гранате. Сделан вывод о справедливости закона Верде в следующем виде: $\varphi = V \cdot L \cdot H$ в случае однородного магнитного поля.

Продольный магнитооптический эффект состоит в повороте плоскости поляризации излучения, проходящего через прозрачную среду, находящуюся в магнитном поле. Открытие магнитооптического эффекта Майклом Фарадеем в 1845 году долгое время имело значение для теоретической физики, но за последние десятилетия дало и практические результаты. Наш интерес к эффекту Фарадея обусловлен его применением в физике, оптике и электронике. Основная особенность эффекта состоит в его невазвзаимности, то есть нарушении принципа обратимости светового пучка. Опыт показывает, что при изменении направления светового пучка на обратное (на пути «назад») плоскость поляризации поворачивается на ту же величину и в ту же сторону, как на пути «вперед». Поэтому при многократном прохождении пучка между поляризатором и анализатором эффект накапливается. Эта особенность дает возможность изготовления оптически невазвзаимных элементов.

Целью работы было изучение продольного эффекта Фарадея. Для этого была изучена зависимость эффекта Фарадея от величины магнитного поля, от длины магнитоактивной среды и длины волны проходящего излучения. Объектом исследования был продольный эффект Фарадея, предметом – поляризация света.

Теория. Количественные исследования показали, что угол поворота φ пропорционален длине пути L света в веществе и величине H

внешнего магнитного поля [3]: $\varphi = V L H$. Коэффициент пропорциональности V , характеризующий исследуемое вещество, зависит от частоты света и называется постоянной Верде. Поворот условно считают положительным, если для наблюдателя, смотрящего вдоль магнитного поля, он происходит вправо (по часовой стрелке). Большинство веществ характеризуются положительным вращением. Направление поворота плоскости поляризации не зависит от направления распространения света, а связано только с направлением магнитного поля. Это свойство позволяет увеличить суммарный угол поворота удлинением пути света в образце за счет многократных отражений на посеребренных поверхностях образца. Формула $\varphi = V L H$ справедлива только для однородного магнитного поля. При неоднородном поле ее необходимо заменить на:

$$\varphi = V \int_a^{a+L} H(l) dl.$$

В эксперименте магнитное поле неоднородно и задано дискретно (рис. 1), поэтому можно использовать следующую формулу:

$$\varphi = V \sum_{i=k}^{k+N} H(x_i) \Delta x_i, \quad \text{где} \quad \sum_{i=k}^{k+N} \Delta x_i = L.$$

Эксперимент с красным лазером. Спектр красного лазерного диода был измерен с помощью спектрометра (рис. 2). Центральная длина волны составила $\lambda = 637,25$ нм.

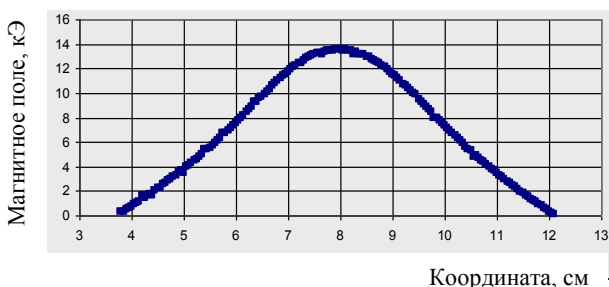


Рис. 1. Магнитное поле

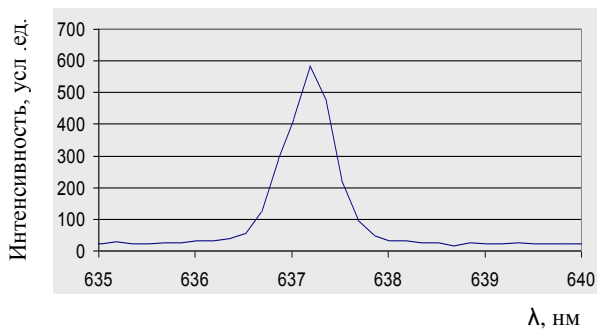


Рис. 2. Спектрограмма красного лазера (зависимость интенсивности излучения от длины волны)

Мы собрали установку по схеме (рис. 3), состоящей из источника света, поляризатора, магнитной системы с исследуемым образцом, анализатора и камеры, фиксирующей интенсивность излучения. Изначально мы установили источник излучения, поляризатор и анализатор так, чтобы на выходе из установки излучения не было. Затем установили между поляризатором и анализатором магнитную систему и поместили туда исследуемый образец. На выходе появилось излучение. Затем поворачивали анализатор до полного гашения излучения и измеряли угол поворота φ . Это и был угол поворота плоскости поляризации.

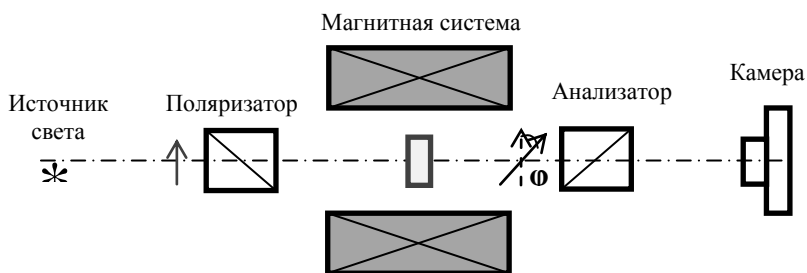


Рис. 3. Схема эксперимента

Мы меняли положение образца в магнитной системе. В результате этого менялась величина магнитного поля, а значит и угол поворота плоскости поляризации. Мы измеряли зависимость угла поворота от положения образца в поле (рис. 4). Затем мы нанесли на график результаты теоретических расчетов.

Изменяя величину постоянной Верде для теоретического графика, мы добивались максимального совпадения с экспериментальными данными. Значение постоянной Верде для длины волны 637 нм составило $V = 8,3$ ($^{\circ}/\text{мм} \cdot \text{мкФ}$).

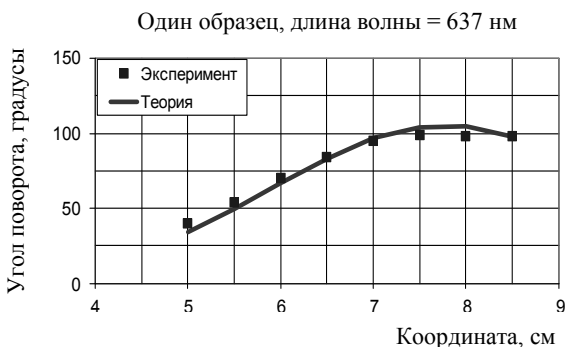


Рис. 4. Зависимость угла поворота от положения образца в поле и теоретическая кривая

Эксперимент с зеленым лазером. Аналогичный эксперимент мы провели, заменив красный лазерный диод на зеленый (рис. 5). Центральная длина волны составила $\lambda = 532,8\text{ нм}$. На рис. 6 приведен график зависимости угла поворота плоскости поляризации излучения от положения образца в магнитном поле и теоретическая кривая. Величина Верде для этой длины волны получилась равной $V=12,5\text{ (}^\circ/\text{мм}\cdot\text{мкФ)}$.

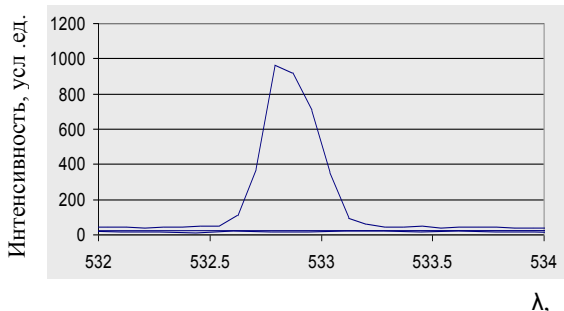


Рис. 5. Спектрограмма зеленого лазера (зависимость интенсивности излучения от длины волны)

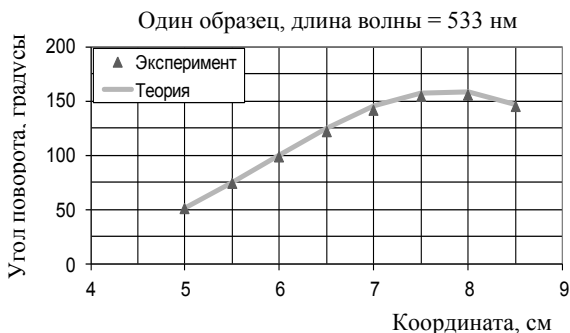


Рис. 6. График зависимости угла поворота от положения образца в магнитном поле

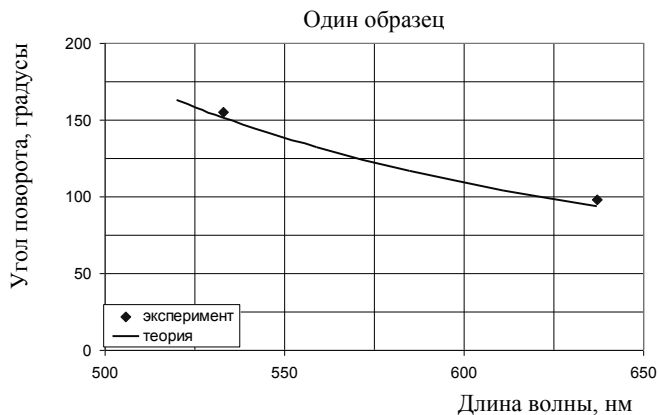


Рис. 7. График зависимости угла поворота от длины волны для одного образца

Зависимость угла поворота от длины волны. Мы проводили эксперимент с двумя лазерами различных длин волн. Взяв значения углов поворота плоскости поляризации в одной и той же точке и при одинаковой длине исследуемого образца, мы можем получить зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины волны излучения. Мы рассчитали теоретическую зависимость угла поворота от длины волны и построили график этой зависимости. Длина волны входит в постоянную Верде. Теоретически $\varphi \sim \frac{1}{\lambda^2}$ [3]. Для построения экспериментального графика мы взяли те точки, где поле наиболее однородное.

Закключение. В ходе работы мы выполнили поставленные задачи:

1) создали экспериментальную установку для исследования эффекта Фарадея, которая может быть использована в лабораторных работах школьников. С помощью данной установки можно определять постоянную Верде неизвестных образцов (при известном магнитном поле, длине волны излучения и длине исследуемого образца);

2) экспериментально исследовали зависимость угла поворота плоскости поляризации от магнитного поля, длины магнитоактивной среды и длины волны проходящего излучения в тербий галлиевом гранате (TGG);

3) проанализировав результаты, мы сделали следующий вывод: закон Верде в виде $\varphi = V L H$ справедлив только в том случае, когда магнитное поле однородно. В случае неоднородного магнитного поля, которое наблюдалось в наших экспериментах, необходимо учитывать зависимость магнитного поля от координаты:

$$\varphi = V \int_a^{a+L} H(l) dl .$$

В будущем мы планируем использовать другие образцы в качестве исследуемого материала, а также планируем проводить эксперимент с другими длинами волн для построения экспериментального графика.

Литература

1. *Бутиков Е.И.* Оптика. – М.: Высшая школа, 1986.
2. *Горелик Г.С.* Колебания и волны. 2 изд. – М.: Физматлит, 1959.
3. *Ландсберг Г.С.* Оптика. 4 изд. / Общий курс физики. Т. 3. – М., 1957.

Применение метода сканирования углового спектра для контроля крупногабаритной астрономиче- ской оптики

Шалаева Полина

10 класс

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



Предложен метод контроля крупногабаритной астрономической оптики на основе метода сканирования углового спектра. Показано, что данный метод существенно проще и удобнее в реализации, чем классический метод Гартмана, обладая более высоким пространственным разрешением.

Оптический телескоп – это система, используемая для наблюдения небесных объектов. Крупногабаритные телескопы с диаметром главного зеркала от 6 и более метров являются мощным инструментом современной астрономии. Они обладают большой светосилой и способны строить изображение далеких звезд и галактик с высоким разрешением. Чтобы крупногабаритные телескопы могли использоваться в полную силу, необходима их точная калибровка и отсутствие дефектов. Для измерения дефектов крупногабаритных оптических элементов используются методы, основанные на измерении волновых фронтов, отраженных от их поверхностей. Наиболее популярным является метод Гартмана, основанный на законах геометрической оптики. Суть его заключается в том, что излучение от точечного источника, расположенного в двойном фокусе исследуемого зеркала, падает на это зеркало, а затем отраженный свет проходит через экран с набором отверстий – диафрагму Гартмана. По положению точек, получаемых вблизи двойного фокуса, можно определить положение каких-либо дефектов (при отклонении пятен от теоретического положения). Простейшая оптическая схема, реализующая этот метод, приведена на рисунке 1.

Обладая рядом существенных преимуществ перед другими методами контроля крупногабаритных оптических элементов, метод Гартмана имеет невысокое пространственное разрешение. Кроме того, оптическая схема классического метода Гартмана требует использования диафрагмы Гартмана значительных размеров. Напри-

мер, при создании крупнейшего в России и Европе телескопа БТА (Большой Телескоп Альт-Азимутальный) использовалась диафрагма диаметром $d = 6\text{ м}$ и массой 1,5 тонны. Представляет интерес создание такой модификации метода Гартмана, которая позволит увеличить его пространственное разрешение, не теряя при этом простоты реализации и применимости метода как при изготовлении оптического элемента, так и непосредственно при работе на телескопе.

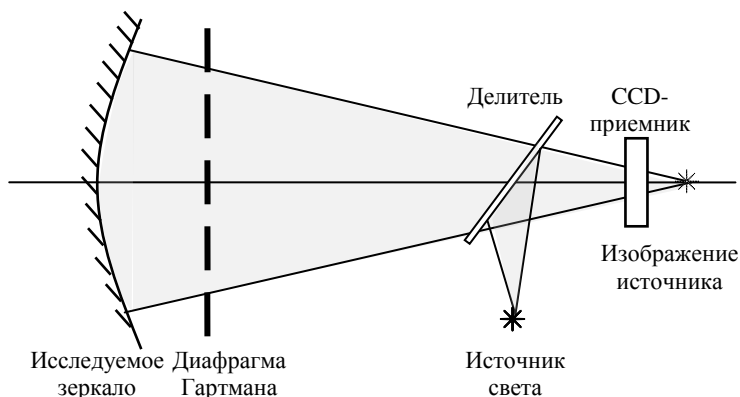


Рис. 1. Классический метод Гартмана: применение в астрономии

В нашей предыдущей работе [2] была представлена модификация метода Гартмана – метод сканирования углового спектра. Оптическая схема, реализующая метод, состоит из конфокальной системы линз L_1 и L_2 , экрана с отверстием M и матричного приемника S . Ось z – оптическая ось системы.

Метод сканирования углового спектра можно использовать для контроля оптических элементов. Для этого изучаемый оптический элемент освещается волновым пучком с известным (плоским) фронтом, после чего измеряется фаза излучения, прошедшего через элемент. Однако для измерения дефектов крупногабаритной астрономической оптики этот метод не реализуется в таком виде, поскольку невозможно создать плоский пучок с нужной апертурой. Для исследования формы крупногабаритных оптических объектов была предложена модификация метода сканирования углового спектра.

В точке двойного фокуса исследуемой линзы L_0 находится точечный источник, изображение которого в идеальном случае должно также попадать в плоскость двойного фокуса. Если же линза облада-

ет какими-либо искривлениями, в этой плоскости будут наблюдаться другие точки, соответствующие дефектам на поверхности линзы. Таким образом, при помещении в эту плоскость экрана с отверстием можно проводить сканирование необходимой области с целью определить, в каких точках апертуры наблюдается отклонение. Пройдя через отверстие, излучение попадает на линзу L_2 с фокусным расстоянием f_2 , переносящую изображение из плоскости линзы L_0 в плоскость с координатой $z_s = (1 + f/2F)(2F + f)$, в которой расположен матричный приемник S . Оптическая схема метода представлена на рисунке 2.

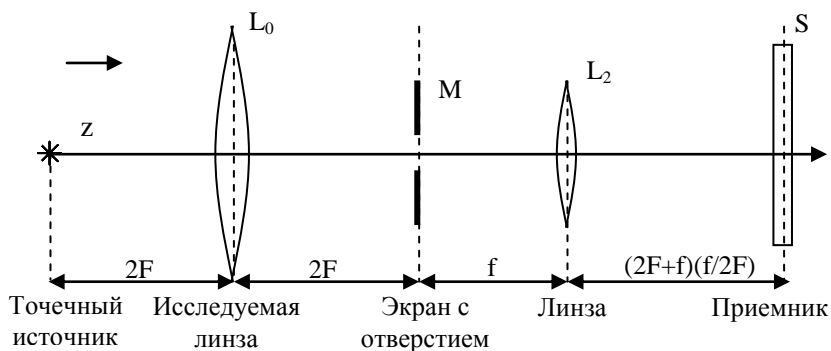


Рис. 2. Метод измерения крупногабаритной оптики

Волновой фронт, полученный от исследуемой линзы, можно представить как фронт излучения, прошедшего через идеальную линзу, и отдельный фронт от ее возможных искажений. При этом приемник будет регистрировать только фронт искажений – фактически не существующий физически, но позволяющий определить местоположение каждого дефекта.

Применительно к задачам астрономии, исследуемая линза может заменяться крупногабаритным зеркалом. В этом случае между источником и рассматриваемым объектом должен находиться делитель, благодаря которому оптическое излучение от источника и излучение, отраженное зеркалом, будут пространственно разделены, и измерения можно будет проводить согласно общей схеме метода (рис. 3).

За счет расположения экрана с отверстием в фокальной плоскости зеркала существенно уменьшаются габариты установки для

определения его формы, что является еще одним преимуществом по сравнению с классическим методом Гартмана. Таким образом, в ходе проведения исследования был разработан метод контроля крупногабаритной астрономической оптики на основе метода сканирования углового спектра, обладающий более высоким пространственным разрешением, и существенно более простой и удобный в реализации, чем классический метод Гартмана.

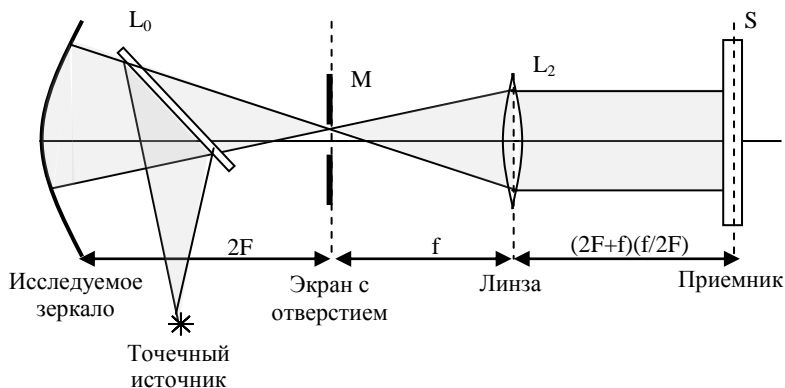


Рис. 3. Метод измерения формы крупногабаритного зеркала

Литература

1. Витриченко Э.А. Методы исследования астрономической оптики. – М.: Наука, 1980. – 152 с.
2. Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина; Научно-образовательный комплекс ИПФ РАН. – Выпуск 3. – Н. Новгород, 2010. С. 92 – 97.
3. Адаптивная оптика: Согласование атмосферной турбулентности. <http://www.photonics.su/issue/2007/6/3>.
4. Оптические телескопы XXI века. <http://telescope.ucoz.ru/publ/2-1-0-25>.

Исследование шумовых параметров радиоприемных устройств при криогенных температурах

Шампоров Василий

11 класс

Научный руководитель Д.В. Коротаев,
младший научный сотрудник ИПФ РАН



В работе были исследованы шумовые характеристики приемников радиосигналов и их узлов. Проведены эксперименты с несколькими узлами приемника, результаты которых графически интерпретированы для лучшего выявления зависимостей. Предложены варианты применения исследованного метода снижения шумов.

В подавляющем числе областей радиофизики требуется принять переданный сигнал с наименьшим уровнем искажений. Обычно эта проблема решается усилением уровня передаваемого сигнала. Однако существуют области, в которых подобные методы неприменимы. Исследование спутников Марса при помощи марсоходов сопряжен с приемами очень слабых сигналов, так как есть ограничения по мощности источника передачи сигнала (солнечные батареи). Наконец, низкий уровень собственных шумов приемника важен для связи с искусственными спутниками на орбите Земли, а также с аппаратами по исследованию солнечной системы.

Напряжение шумов, появляющееся на выходных зажимах приемника, возникает фактически из многих источников. Некоторая часть шумов генерируется самой антенной, эти шумы обусловлены входными электромагнитными возмущениями. Кроме того, имеется много источников шумов внутри самого приемника. Основными внутренними шумами являются шумы кристаллического преобразователя, местного гетеродина и шумы, генерируемые в усилителе промежуточной частоты. Отметим, что все эти шумы существенно независимы. Этот факт означает, что в линейной системе полная мощность шумов будет равна сумме мощностей шумов, создаваемых отдельными источниками. Кроме того, эта независимость дает возможность разделить приемник на ряд условных частей, исследовать подробно вопрос о соотношении сигнала и шумов в каждой из этих частей, а затем суммировать полученные результаты с целью получения характеристик всего приемника в целом.

Напряжением теплового (термического, джонсоновского) шума называют непериодическое флуктуационное (хаотически отклоняющееся от среднего статистического значения) напряжение, имеющееся на зажимах любого проводника, цепи или элемента схемы. Возникновение этого напряжения вызывается хаотическим тепловым движением электронов и не зависит от внешнего напряжения на проводнике. Так как всякий проводник обладает электрическим сопротивлением, хаотическое движение электронов создает на зажимах цепи или проводника беспорядочно изменяющееся напряжение с непрерывным частотным спектром, простирающимся от $f = 0$ до $f = \infty$ (белый шум).

Действующее (среднее квадратичное) значение напряжения тепловых шумов U_{um} на концах сопротивления Z в полосе частот от f_1 до f_2 определяется выражением:

$$U_{um} = \sqrt{4kT \int_{f_1}^{f_2} R_f df},$$

где R_f – активная составляющая сопротивления Z в интервале частот от f_1 до f_2 ; T – абсолютная температура сопротивления; k – постоянная Больцмана.

Из формулы видно, что для уменьшения напряжения тепловых шумов необходимо уменьшать сопротивление цепи, полосу пропускаемых частот или температуру. Однако полоса пропускаемых частот обычно бывает задана, а снижение сопротивления входной цепи сопровождается снижением напряжения сигнала на входе и может даже ухудшить отношение сигнала к шуму.

Любая цепь приемника является генератором тепловых шумов, поэтому тепловой шум является одним из основных источников помех в приемниках.

Основной шумовой характеристикой мал шумящих усилительных и приемных устройств является температура шума. Понятие температуры шума оказывается очень удобным для оценки низких уровней собственного шума, когда коэффициент шума устройства близок к единице. Температура шума всегда выражается в градусах Кельвина.

Применяя формулу Найквиста, можно получить следующее: для активного сопротивления температуры T мощность шумов $P_{ш}$ в некоторой полосе Π равна:

$$P_{ш} = kT\Pi.$$

На входе реального (шумящего) четырехполосника подключен «бесшумовой» эквивалент нагрузки, мощность шума четырехполосника $P_{ш.. вых.}$ будет равна собственной мощности шумов четырехполосника $P_{ш.. соб.}$:

$$P_{ш.. вых.} = P_{ш.. соб.}$$

Теперь пусть на входе бесшумового эквивалента четырехполосника будет подключено такое шумящее активное сопротивление, при котором на выходе бесшумового эквивалента четырехполосника будет создаваться мощность шумов, равная собственной мощности шумов реального четырехполосника. Тогда:

$$P_{ш.. соб.} = kT_{эф}GP,$$

где G – коэффициент передачи сигнала четырехполосника.

Температура T такого шумящего активного сопротивления есть средняя эффективная температура на входе шумящего четырехполосника. Средней эффективной температурой шума $T_{эф.}$ на входе четырехполосника называется некоторая температура шума нагрузочного сопротивления, включенного на входе бесшумового эквивалента четырехполосника, при которой мощность шума на выходе этого эквивалента равна выходной мощности шума реального четырехполосника с бесшумовым эквивалентом нагрузки на входе.

Существует несколько методов измерения шумовой температуры приемника, один из которых будет использоваться при проведении экспериментального исследования.

Пусть через четырехполосник с неизвестной шумовой температурой $T_{ш}$ по очереди будет проходить сигнал от двух источников с известными шумовыми температурами T_1 и T_2 . Тогда на выходе четырехполосника отношение мощностей шумов P_1 и P_2 этих источников равно:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 + T_{ш}}{T_1 + T_{ш}} = m.$$

Зная m , получим значение шумовой температуры четырехполосника:

$$T_{ш} = \frac{T_2 - mT_1}{m - 1}.$$

С целью исследования зависимости шумовой температуры узлов приемника от температуры самого узла нами был проведен эксперимент, схема которого показана на рисунке 1. В криостат помещался усилитель высокой частоты, который затем охлаждался до температур от 7 до 200 К. На вход усилителя подключались согласованные

нагрузки при двух различных температурах: комнатной и 80 К. К усилителю при этом был подключен измеритель шума, с помощью которого находилась мощность тепловых шумов при обеих температурах нагрузки. По отношению этих мощностей можно было получить шумовую температуру. Результаты измерений указаны на рисунке 2.

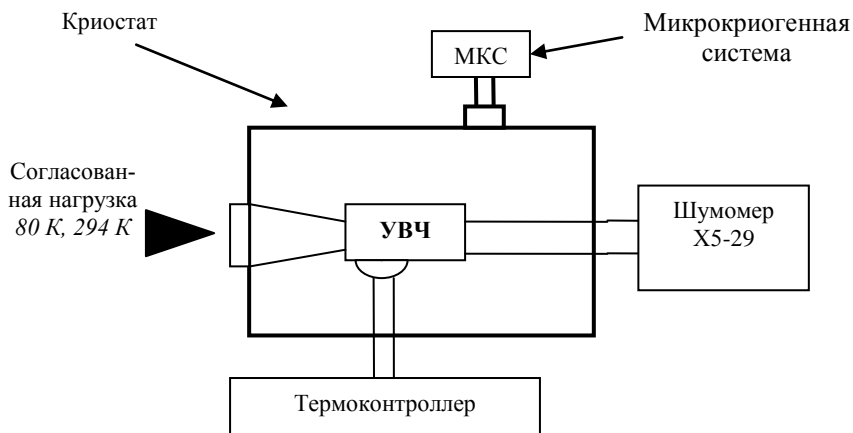


Рис. 1. Схема измерения шумовой температуры

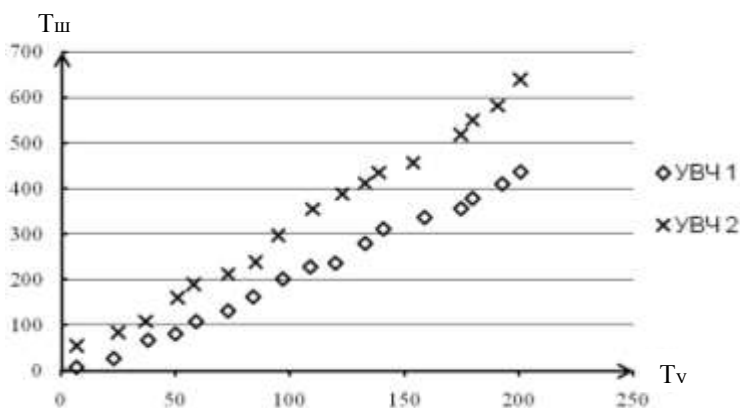


Рис. 2. Результаты эксперимента: шумовая температура УВЧ

По результатам видно, что охлаждение усилителей высоких частот уже до 100 – 150 К дает снижение шумовой температуры в несколько раз. Зависимость шумовой температуры усилителя от соб-

ственной можно считать линейной при значениях собственной температуры < 200 К. УВЧ 1 показывает лучшие характеристики при охлаждении, чем УВЧ 2, и становится более предпочтительным при использовании в высокоточных системах.

При проведении эксперимента было замечено, что вместе со снижением мощности шумов при очень низких температурах (< 100 К) сильно снижался и коэффициент передачи усилителя. Это связано с «вымораживанием» носителей заряда в полупроводниковых элементах УВЧ, что является отрицательным эффектом такого охлаждения.

На основании изученных материалов и проведенных экспериментов можно сделать следующие *выводы*:

- 1) уменьшение температуры УВЧ дает значительное снижение уровня собственных шумов усилителя;
- 2) зависимость шумовой температуры усилителя от собственной температуры квазилинейна;
- 3) охлаждение УВЧ целесообразно лишь до определенного значения температуры, так как начинают расти потери преобразования (если УВЧ специально не разработаны для этих температур).

Эти утверждения открывают широкие возможности для создания малошумящих приемников. Конечно, такой метод не подходит для массового производства, однако в специализированных областях (например, исследование космоса, космическая связь, мониторинг окружающей среды, определение концентраций малых газовых составляющих для поиска взрыво- и химически опасных веществ и других приложений) криогенно охлаждаемые приемники становятся незаменимыми. Благодаря этим применениям получит толчок развитие микрокриогенных систем (МКС производства фирм Leybold AG, НПП «Орион» и др.). Также встает вопрос о разработке специализированных материалов и компонентов, сохраняющих стабильность и имеющих высокие рабочие характеристики при криогенных температурах, в том числе и нанoeлектронных компонентов.

Литература

1. Крейнгель Н.С. Шумовые параметры радиоприемных устройств. – Л.: Энергия, 1969. – 168 с.
2. Розанов Б.А., Розанов С.Б. Приемники миллиметровых волн. – М.: Радио и связь, 1989. – 168 с.

Исследование броуновского движения

Шимкевич Рут

7 класс

Научный руководитель Т.В. Севрюгина



В статье рассматривается броуновское движение частиц молотого кофе и перца в водном растворе глицерина. Данные наблюдения были выполнены с помощью электронного микроскопа, также была применена теория Смолуховского – Эйнштейна для определения порядка числа Авогадро.

Шотландский ботаник Роберт Броун в 1827 году проводил исследования пыльцы растений и, разглядывая под микроскопом выделенные из клеток пыльцы цитоплазматические зерна, взвешенные в воде, увидел, что частички непрерывно дрожат и хаотично передвигаются. Он установил, что движение частиц присуще самим частицам и не связано со свойствами воды. Движение частиц ускорялось с повышением температуры и замедлялось при возрастании вязкости жидкости. По имени Броуна и названо это явление.

Объяснение броуновского движения дал в 1863 году Людвиг Кристиан Винер, предположивший, что явление связано с колебательными движениями атомов. Он впервые попытался измерить скорость перемещения броуновских частиц и ее зависимость от их размера.

Несмотря на хаотичность перемещений, движение броуновских частиц оказалось возможным для математического описания. Впервые это удалось сделать польскому физiku Мариану Смолуховскому. Одновременно теорию этого явления разрабатывал Альберт Эйнштейн. На основании результатов своей работы он вычислил постоянную Авогадро, размеры броуновских частиц, вязкость жидкости и т.д.

В соответствии с теорией Смолуховского – Эйнштейна, среднее значение смещения броуновской частицы (\bar{s}^2) за время (t) прямо пропорционально абсолютной температуре (T) и обратно пропорционально вязкости жидкости (η), размеру частицы (r) и постоянной Авогадро (N_A):

$$\bar{s}^2 = \frac{2R}{6\eta\pi r N_A} Tt \text{ или } \bar{s}^2 = \frac{R}{3\eta\pi r N_A} Tt,$$

где R – газовая постоянная.

В 1908 году французский физик Жан Батист Перрен поставил эксперимент, результаты которого стали прямым подтверждением статистической теории броуновского движения Эйнштейна–Смолуховского.

Мы решили применить теорию Смолуховского – Эйнштейна при исследовании броуновского движения, в частности, для определения числа Авогадро. Первоначально эксперимент проводился на лабораторном микроскопе, но осуществить количественный анализ и выполнить фото- и видеосъемку оказалось сложно. Поэтому дальнейшие наблюдения и видеосъемку проводили на электронном микроскопе.

Нами было рассмотрено броуновское движение маленьких частичек молотого кофе и красного перца в 40 % водном растворе глицерина при температуре 37°C , что по шкале Кельвина соответствует 310 К. Частицы перца слишком легкие и вода для них вязкая, а частицы кофе – тяжелые, поэтому тонут в ней; при смешивании частицы слипаются и участвуют в броуновском движении.

На представленном кадре жирными точками выделены положения выбранной броуновской частицы в начале и конце интервала наблюдения, то есть через 0,1 с (рис. 1).

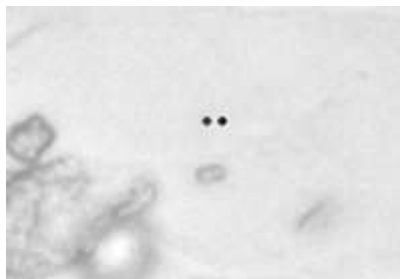


Рис. 1. Положения выбранной броуновской частицы в начале и конце интервала наблюдения

Для определения квадрата среднего смещения нужно посчитать квадрат смещения частицы на каждом кадре, а затем найти среднее арифметическое полученных значений. Иначе средний квадрат смещения можно определить как сумму квадратов средних смещений по горизонтали и вертикали.

Координаты частицы были заданы в пикселях, тогда квадрат смещения равен: $\bar{s}^2 = 5,1 \text{ пикселей}^2$. Переведем это значение в квадратные метры (масштаб 1 пиксель = $2,5 \cdot 10^{-7}$ м), $5,1 \text{ пикселей}^2 = 3,5 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2$.

Радиус частицы был определен на кадре при сильном увеличении и примерно равен 1 пикселю. Переведем это значение в метры: $r = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Вязкость 40% раствора глицерина при $t = 20^{\circ}\text{C}$ определяется как $\eta = 0,004824 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

В работе было учтено, что при повышении температуры раствора вязкость его уменьшается. Влияние температуры на динамический коэффициент вязкости жидкостей оценивается формулой:

$$\eta(t) = \eta(20^{\circ}\text{C}) \cdot e^{-\alpha(t-20^{\circ}\text{C})},$$

где α – показатель степени, зависящий от рода жидкости. В данной работе его предложено принять равным 0,025, исходя из литературы.

Подставляя данные, получим:

$$\eta(t = 37^{\circ}\text{C}) = 0.004824 \cdot e^{-0.025 \cdot (37-20)} = 0.0042(\text{Па} \cdot \text{с}).$$

Теперь мы имеем все данные для уравнения Смолуховского – Эйнштейна, в том числе известную из справочной литературы газовую постоянную: $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$.

Выразим из исследуемого уравнения постоянную Авогадро:

$$N_A = \frac{RTt}{3\eta\pi r^2}.$$

Подставим все данные в это выражение:

$$N_A = \frac{8,31 \cdot 310 \cdot 0,1}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,0042 \cdot 3,5 \cdot 10^{-13} \cdot 2,5 \cdot 10^{-7}} = \frac{257,61}{0,34} \cdot 10^{20} = 1 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}.$$

Использование макроскопического приближения для описания молекулярных характеристик движения дает лишь оценочные результаты. В практических приложениях иногда используют коэффициент 4 вместо 6. Часто также предполагают, что характерная для микроскопических движений вязкость ниже, чем вязкость, измеренная в макроскопических экспериментах. Кроме этого, смещения и радиус частицы измерялись с точностью до пикселя, что также создает определенную погрешность вычислений. Тем не менее, формула Стокса – Эйнштейна дает верные по порядку величины оценки коэффициента диффузии.

При замене коэффициента 6 на 4 число Авогадро равно:

$$N_A = \frac{8,31 \cdot 310 \cdot 0,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0042 \cdot 3,5 \cdot 10^{-13} \cdot 2,5 \cdot 10^{-7}} = \frac{257,6}{0,23} \cdot 10^{20} = 1,1 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}.$$

Проведенный эксперимент не дал нужной точности для подсчета числа Авогадро, но позволил применить уравнение Смолуховского – Эйнштейна для оценки порядка значения постоянной Авогадро: число Авогадро пропорционально 10^{23} , а также позволил описать броуновское движение:

- действительно, броуновские частицы движутся непрерывно и беспорядочно; маленькие частицы более подвижны, чем большие;
- при нагреве интенсивность движения растёт;
- при уменьшении вязкости жидкости увеличивается подвижность частиц.

Эксперимент позволил «почувствовать» движение молекул в веществе, выявить закономерности в таком хаотическом процессе как броуновское движение и применить к нему количественную теорию Смолуховского – Эйнштейна.

В настоящее время понятие броуновского движения используется в более широком смысле. Например, броуновским движением является дрожание стрелок чувствительных измерительных приборов (крутильных весов Кавендиша или высокочувствительных гальванометров). Это дрожание происходит из-за теплового движения атомов деталей приборов и окружающей среды. Оно ограничивает возможность повышения чувствительности измерительных приборов при комнатной температуре. Только глубокое охлаждение позволяет увеличить чувствительность приборов.

Литература

1. Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. – М.: Высшая школа, 1976.
2. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 класс. – М.: Дрофа, 2002.

Левитация магнитов

Штейн Вадим

8 класс

Научный руководитель Н.И. Лапин



Рассматривается вопрос удержания кругового магнита над магнитом. Модель, предлагаемая в работе, основана на взаимодействии круговых токов. Строится аналитическая и экспериментальная кривые, отражающие зависимость расстояния между магнитами от массы «парящего» магнита.

Проблема свободного подвеса тел восходит к работе С. Ирншоу 1839 года, доказавшему теорему, согласно которой статическая система, состоящая из тел, которые притягивают или отталкивают друг друга с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, неустойчива. Проверить теорему может любой человек, попытавшись уравновесить постоянный магнит в поле другого магнита.

Наиболее полная теория возможности и условий свободного подвеса дана В. Браунбеком. В 1939 году он доказал возможность безопорной подвески тела в магнитном поле при наличии в магнитной системе диамагнитных тел, у которых магнитная проницаемость μ меньше единицы. Он осуществил свободный подвес маленьких кусочков графита в виде стерженьков (массой до 75 мг) и висмута (массой до 8 мг) в поле электромагнита со специальными полюсными наконечниками, индукция магнитного поля составила 0,23 Тл.

Вопрос о стабилизации постоянного магнита в поле другого постоянного магнита рассматривается в работах В.М. Понизовского, Ю.М. Урмана, Р.В. Линькова.

Как отмечалось выше, статическая система двух магнитов неустойчива, но введение опоры делает систему устойчивой. Возможность устойчивого удержания магнита над магнитом позволяет использовать данную систему для решения различных задач, например, создания подшипников без трения, быстро вращающихся центрифуг и многих других механизмов, в которых необходимо отсутствие трения. Решение сложной задачи устойчивого удержания требует решения ряда задач о нахождении необходимых и достаточных условий состояния равновесия, а для

решения конкретной инженерной задачи требуются знания перегрузочной способности подвеса. Решение задачи о перегрузочной способности – возможности левитации массы, превосходящей собственную массу магнита, строится на основе взаимодействия двух круговых токов.

Рассмотрим систему, состоящую из двух магнитов. Для этого выберем два кольцевых магнита с радиусом r . Установим стержень, на котором располагаются магниты. Это необходимо для того, чтобы не наблюдалось перевертывание верхнего магнита (рис. 1). Представим два взаимодействующих круговых магнита в виде двух круговых витков (рис. 2).

Сила, действующая со стороны одного витка на другой: $F = -2I_2B_r\pi r_2$ [2, 3].

Магнитное поле, создаваемое первым витком на оси [3]:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{r_1^2}{(r_1^2 + R^2)^{3/2}},$$

где r_1 – радиус витка, а R – расстояние между витками.

Если расстояние R значительно превосходит радиус витка, то формула приобретет следующий вид:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{r_1^2}{R^3}.$$

Магнитное поле в месте расположения витка 2 [2]:

$$B_r = \frac{3}{4} \frac{\mu_0 I_1 r_1^2}{R^4}.$$

Тогда сила отталкивания будет равна:

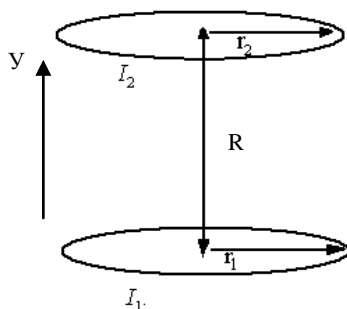


Рис. 1. Расположение двух круговых токов

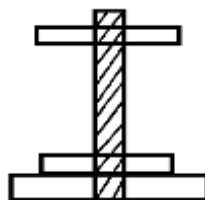


Рис. 2. Модель двух магнитов



Рис. 3. Установка для измерения индукции магнитного поля на оси магнита

$$F_A = \frac{3}{2} \mu_0 \pi \frac{I_1 I_2 r_1^2 r_2^2}{R^4}.$$

Приравниваем значение силы F_A силе тяжести:

$$mg = \frac{3}{2} \mu_0 \pi \frac{I^2 r^2}{R^4},$$

где $I_1 = I_2 = I$, $r_1 = r_2 = r$.

Для того чтобы использовать полученные формулы, необходимо провести измерение индукции магнитного поля на оси. Это позволит рассчитать силу тока, эквивалентную магниту. При помощи датчика Холла измеряем индукцию магнитного поля круглого магнита при разной удаленности от центра магнита. Экспериментальная установка представлена на рисунке 3. В лапке штатива зажат датчик Холла, линейка служит для отсчета высоты датчика от магнита.

Экспериментальная величина индукции магнитного поля и расстояние от магнита приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные индукции магнитного поля

R, см	0	0,5	1	1,5	2	3
B, мТл	43	38	26	16	11	5

Расчет силы тока производим по формуле, которая выражается из формулы индукции магнитного поля кругового витка:

$$I = \frac{2B(r_1^2 + R^2)^{3/2}}{\mu_0 r_1^2}.$$

Таблица 2. Расчет силы тока

R, см	B, мТл	I, А	μ_0 , Гн·м	R, см	\bar{I} , А
0	43	1197,641	$1,25 \cdot 10^{-6}$	1,75	1112,382
0,5	38	1190,58			
1	26	1106,38			
1,5	16	1018,151			
2	11	1072,937			
3	5	1088,604			

Используем полученное значение силы тока при проверке результатов перегрузочной способности.

Для этого соберем установку (рис. 4). Линейка закреплена в лапке штатива так, чтобы ноль совпадал с плоскостью нижнего магнита. Разновесы необходимы для нагрузки «парящего» магнита. После нагрузки магнит опускается на определенную величину. Фиксируем значение массы верхнего объекта и расстояние от плоскости нижнего магнита до плоскости «парящего».



Рис. 3. Установка по изучению перегрузочной способности магнита

Таблица 3. Перегрузочная способность

R, mm	19	17	15	13	11
m, г.	26	31	36	41	46

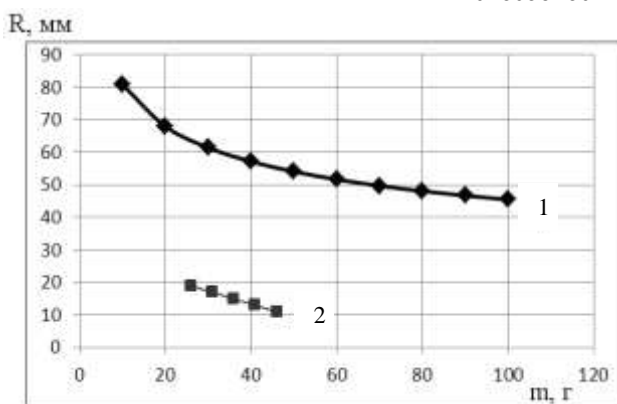


Рис. 5. Аналитическая и экспериментальная кривая зависимости расстояния от массы (1 – аналитическая кривая для двух токов, 2 – экспериментальная кривая для двух магнитов)

Приведем аналитическую и экспериментальную кривую $R(m)$ на одном графике в одинаковом масштабе (рис. 5). Несовпадение результатов объясняется тем, что не учитываются коэффициенты, связанные с поверхностью магнита. Для этого требуется построение более сложной модели.

Для усовершенствования модели необходимо учитывать площадь поверхности магнитов, неравномерную намагниченность. Круговые магниты только в первом приближении взаимодействуют как круговые витки.

Эксперимент показал, что увеличение массы «парящего» магнита в два раза не отражается на потере левитации. «Проседание» верхнего магнита незначительно. Это можно использовать при конструировании механизмов, в которых отсутствует сухое трение.

В результате проведенного исследования рассмотрена работа датчика Холла по измерению индукции магнитного поля, проведены эксперименты по вывешиванию магнита в поле другого магнита, построена математическая модель, на основе которой изучена возможность левитации магнита над магнитом, определена перегрузочная способность «парящего» магнита. Установлено, что увеличение массы в два раза не приводит к потере «парения».

Литература

1. Мартыненко Ю.Г. О проблемах левитации тел в силовых полях // Соросовский образовательный журнал. 1996, № 3. С. 82 – 86.
2. Смайт В. Электростатика и электродинамика. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954. – 606 с.
3. Стреттон Дж.А. Теория электромагнетизма. – М., Л.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит-ры, 1948. – 541 с.
4. Урман Ю.М., Бугрова Н.А., Лапин Н.И. О левитации диамагнитных тел в магнитном поле // ЖТФ – 2010, Т. 80, № 9. С. 25 – 33.

Анизотропия бумаги

Ягилев Михаил

7 класс

Научный руководитель М.А. Балакин



В работе была исследована анизотропия бумаги. Измерялась изгибная прочность и прочность на разрыв бумаги с ориентированными по-разному волокнами. Для исследования прочности бумаги на разрыв была сконструирована оригинальная установка. Полученные результаты удалось интерпретировать, проведя аналогии волокон бумаги и зерен в поликристаллических структурах.

Анизотропия (от др.-греч. ἄνισος – неравный и τρόπος – направление) – неодинаковость свойств среды, например, физических: упругости, электропроводности, теплопроводности, показателя преломления, скорости звука или света и др., – по различным направлениям внутри этой среды; в противоположность изотропии [1]. Анизотропия является характерным свойством кристаллических тел. При этом свойство анизотропии в простейшем виде проявляется только у монокристаллов. У поликристаллов анизотропия тела в целом (макроскопически) может не проявляться вследствие беспорядочной ориентировки микрокристаллов. Помимо кристаллов, естественная анизотропия является характерной особенностью многих материалов биологического происхождения, например, деревянных брусков.

Бумага как раз является материалом биологического происхождения и родственна древесине. Анизотропия бумаги объясняется ее волокнистой структурой: при изготовлении бумаги волокна целлюлозы укладываются параллельно друг другу и склеиваются. В результате получается структура, обладающая анизотропией в силу своего строения. Волокна бумаги видны невооруженным глазом. В более сильном увеличении (электронного

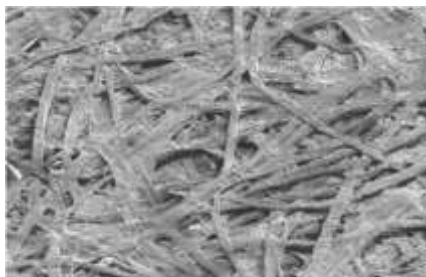


Рис. 1. Мелкая структура бумаги

микроскопа) видно, что волокна сами состоят из волокон меньшего размера, уложенных почти хаотично (рис. 1) [2].

Исследование изгибной прочности бумаги

Для измерений было заготовлено большое количество полосок бумаги с ориентированными по-разному волокнами. Ориентацию волокон определяли, разрывая лист бумаги и рассматривая края разрыва. Сложив несколько (10 – 20) слоев бумаги, располагали полоски на упорах и нагружали гирьками. В качестве гирек брали монетки достоинством 10 копеек, предварительно измерив их массу (рис. 2). Массу монеток измеряли электронными весами (погрешность 0,1 г). Для повышения точности измеряли массу десяти монеток и делили результат на 10. Далее штангенциркулем измеряли величину прогиба бумажного «мостика». Стрелу прогиба вычисляли как тангенс угла изгиба полосок бумаги (рис. 3):

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L},$$

где ε – относительная деформация (стрела прогиба), Δ – величина прогиба «мостика», L – половина длины бумажной полоски.

$\sigma = \frac{mg}{ab}$, где σ – механическое напряжение, m – масса груза, g – ускорение свободного падения, a – ширина полоски, b – толщина полоски.

По результатам эксперимента были построены диаграммы деформации полосок бумаги (рис. 4). С учетом погрешности видно, что бумага с волокнами, ориентированными вдоль полоски, имеет большую изгибную прочность. Этот факт можно объяснить более легким проскальзыванием волокон друг относительно друга в том случае, когда волокна лежали поперек полоски. Чем-то этот факт напоминает облегченное проскальзывание по границам зерен при деформации поли-

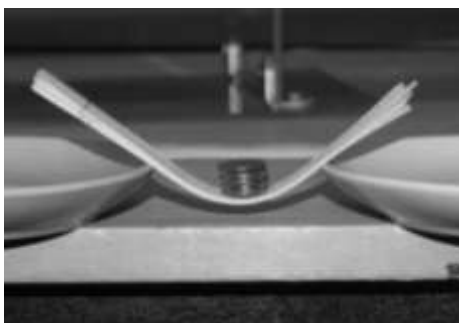


Рис. 2. Опыт по измерению изгибной прочности бумаги

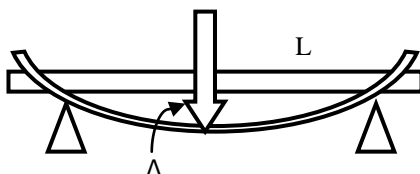


Рис. 3. Схема установки для измерения изгибной прочности бумаги

кристаллического материала. Изгиб кривой деформации объясняется тем, что при незакрепленных краях бумаги при больших изгибах бумага начинала просто скользить (проваливаться) между упорами.

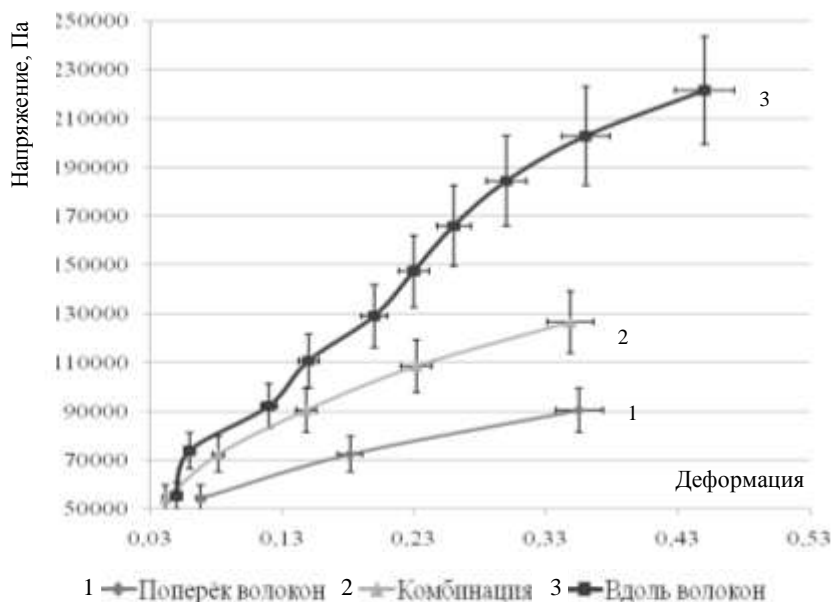


Рис. 4. Диаграмма деформации бумаги с разной ориентацией волокон

Исследование прочности бумаги на разрыв

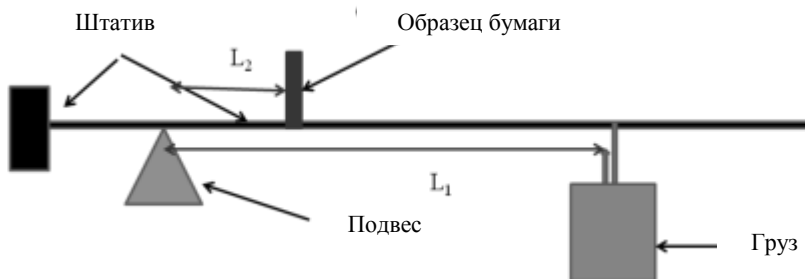


Рис. 5. Установка для измерения прочности бумаги на разрыв

Для исследования прочности бумаги на разрыв была сконструирована специальная установка (рис. 5), представляющая собой, по

сути, неравноплечие весы. Данная установка позволяла нагружать образцы плавно дозируемой нагрузкой и определять предел прочности достаточно точно. Замеры производились по 10 раз, результаты усреднялись. Как следует из эксперимента, прочность бумаги на разрыв меньше для образцов с продольно ориентированными волокнами. Данный результат также можно трактовать с точки зрения возможного проскальзывания волокон вдоль друг друга. При продольной ориентации волокон такое проскальзывание облегчено:

$\sigma = \frac{mg \frac{L_1}{L_2}}{ab}$, где σ – механическое напряжение (предел прочности), m – масса груза, g – ускорение свободного падения, L_1 – расстояние от подвеса до груза, L_2 – расстояние от подвеса до образца, a – ширина образца, b – толщина образца.

Погрешность вычислялась по формулам:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta L_1}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L_2}{L_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2};$$

$$\Delta \sigma = \sigma \varepsilon.$$

$$\sigma_{\text{вдоль волокон}} = (25,8 \pm 0,2) \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{поперек волокон}} = (32,9 \pm 0,2) \text{ МПа.}$$

Выводы. В работе было произведено количественное исследование анизотропии бумаги. Было доказано, что анизотропия бумаги существует, и механические характеристики бумажных образцов, вырезанных вдоль и поперек волокон, отличаются. Анизотропия объясняется возможностью проскальзывания волокон относительно друг друга, в результате чего при изгибной деформации менее прочной была бумага с поперечно ориентированными волокнами, а при испытании на разрыв – бумага с продольно ориентированными волокнами. Можно было ожидать, что величина анизотропии будет больше, но, видимо, необходимо учесть мелкую структуру бумаги (рис. 1). На «низком уровне» бумага составлена из хаотично переплетенных микроволокон, что должно обеспечивать как раз изотропию свойств.

Литература

1. Электронная энциклопедия. <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Бумага под микроскопом. <http://images.yandex.ru/yandsearch?>

Астрономия



Расчет времени гравитационного коллапса протозвездного облака

Надршина Яна

7 класс

Научный руководитель Н.И. Лапин



Рассматривается механическая задача о движении частицы в газопылевом облаке. На основе закона всемирного тяготения выводится формула времени образования объекта. Проводится расчет времени образования звезды. Получена аналитическая кривая зависимости времени от плотности.

Многое понятно в механизмах развития природных объектов, но загадка рождения большинства из них до сих пор не решена. Биологи размышляют над возникновением новых видов и самой жизни, геологи спорят о генезисе нефти, минералов и планет, астрономы бьются над происхождением звезд, галактик и Вселенной. Впрочем, кое-что проясняется, звезды приоткрывают тайны своего возникновения [3].

Процесс образования звезд происходит и в настоящее время. Выяснение этого обстоятельства является одним из крупнейших достижений современной астрономии. Еще сравнительно недавно считалось, что все звезды образовались почти одновременно много миллиардов лет назад. Крушению этих метафизических представлений способствовали, прежде всего, развитие теории строения и эволюции звезд и накопленные факты наблюдательной астрономии. В результате стало ясно, что многие наблюдаемые звезды являются сравнительно молодыми объектами, а некоторые из них возникли уже при существовании человека на Земле [1].

Рождение звезд с очень высокой температурой на поверхности и с еще большей температурой внутри интересно с позиции законов, управляющих данным процессом. Во-первых, низкая температура, во-вторых, невысокая плотность газопылевых облаков в космическом пространстве, в-третьих, только сила всемирного тяготения объединяет и сжимает газопылевое облако в звезду.

Звезда – раскаленное небесное тело, находящееся в гидростатическом и тепловом равновесии. Гидростатическое равновесие обеспечивается за счет сил тяготения и сил внутреннего давления. Тепловое равенство соответствует равенству мощности, которая выделяется в недрах звезды, мощности, выделяемой с ее поверхности [1].

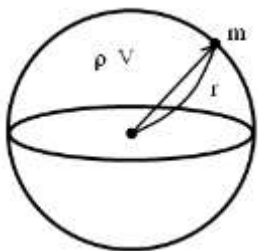


Рис. 1. Сферическое газопылевое облако

Но как именно образуются звезды?

Понятно, что они формируются при сжатии облаков газа, однако подробности процессов, приводящих к рождению звезд разных типов, до сих пор во многом остаются загадочными. Вопрос рождения звезд волновал И. Ньютона, Р. Джинса. На сегодняшний день полноценной теории не существует. Представим начальный процесс формирования звезды в виде последовательного присоединения частиц к центральной массе, с учетом того, что температура протозвездного облака мала и давление газа не препятствует сжатию.

Представим газопылевое облако сферической формы определенной плотности и определим время начального гравитационного коллапса – стадии формирования звезды. Для этого определим время движения произвольной частицы, например, от края облака. Плотность газопылевого облака $\rho = 2 \cdot 10^{-21} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, процесс считаем последовательным, частицы одна за другой движутся к центру, притягиваясь к массе, которая соответствует массе облака. Так как все точки движутся к центру, не опережая друг друга, то частица массы m , изначально находившаяся на расстоянии r от центра, все время притягивается к массе M . Масса вычисляется по формуле: $M = V\rho$. (1)

Объем выразим через радиус: $V = \frac{4}{3} \pi r^3$. (2)

M и m взаимодействуют по закону всемирного тяготения:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \quad (3)$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитационная постоянная. Траектории частиц представляем через вытянутые узкие эллипсы с большой осью r , равной расстоянию от границ облака до центра. Согласно третьему закону Кеплера, период движения по такому эллипсу равен периоду движения по окружности радиусом $r/2$, который найдем из второго закона Ньютона. Последовательно запишем все необходимые формулы. Второй закон Ньютона для тела, движущегося по окружности радиусом $r/2$:

$$F = ma = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \left(\frac{r}{2} \right), \quad (4)$$

где T – период обращения по окружности радиусом $r/2$. Для получения данной формулы использованы выражения для ускорения a и скорости U тела, движущегося по окружности:

$$a = \frac{v^2}{r/2} = \frac{\left(\frac{2\pi r/2}{T} \right)^2}{r/2} = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \left(\frac{r}{2} \right).$$

Приравнявая выражение (4) к выражению (3) с учетом (1) и (2), последовательно получим:

$$G \frac{m \frac{4}{3} \pi r^3 \rho}{\left(\frac{r}{2} \right)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \left(\frac{r}{2} \right), \text{ а после преобразований } \frac{32}{3} G \rho r = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2,$$

$$\text{откуда находим период обращения } T = \sqrt{\frac{3\pi}{8G\rho}}. \quad (5)$$

Время падения составляет половину от периода обращения. Окончательно получаем:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{8G\rho}}.$$

Числовое значение времени получим после подстановки величин:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{8G\rho}} \approx 4.69 \cdot 10^{13} \text{ с.} \approx 1.48 \cdot 10^6 \text{ лет.}$$

Полученный результат показывает, что чем выше плотность, тем меньше времени требуется для формирования протозвезды. Далее следует процесс эволюции протозвезды в звезду.

Обращаем внимание на то, что ответ не зависит от начального положения рассматриваемой частицы в облаке.

Литература

1. *Астрономия век XXI* / Ред.-сост. В.Г. Сурдин. – Фрязинов: «Век 2», 2008. – 608 с.
2. *Каланов В.* Рождение звезд // *Небосвод*. 2010, № 7. С. 9 – 16.
3. *Сурдин В.Г.* Как рождаются звезды // *Небосвод*. 2008, № 4. С. 7 – 12.

Химия



Лекарственные формы аспирина и их определение

Бояркин Михаил

9 класс

Научный руководитель Н.В. Кулешова,
канд. хим. наук



Аспирин – исторически первый нестероидный лекарственный препарат. Сегодня фармацевтические фирмы выпускают аспирин в различных лекарственных формах: таблетки АСК; таблетки, покрытые кишечнорастворимой оболочкой; шипучие таблетки. В данной работе была применена методика потенциометрического титрования для определения аспирина в различных лекарственных формах.

Ацетилсалициловая кислота широко известна под торговой маркой «Аспирин». Аспирин исторически первый нестероидный противовоспалительный препарат, который является эффективным, вполне доступным средством, имеющим широкое применение в амбулаторной практике.

Согласно рекомендациям фармакопеи, содержание ацетилсалициловой кислоты (АСК) определяют титрованием ее раствором гидроксида натрия в водно-спиртовой среде с индикатором фенолфталеином.

В предварительных испытаниях различные навески ацетилсалициловой кислоты мы помещали в химический стакан, добавляли около 20 мл этанола, 3 капли фенолфталеина, помещали электродную пару и титровали 0,1 М NaOH, записывая показания потенциометра. Отмечали также момент изменения цвета индикатора. Титрование заканчивали при достижении щелочной реакции раствора ($\text{pH} \sim 11$). По полученным данным строили кривую титрования в координатах $\text{pH} - V(\text{NaOH})$, мл. По ней находили эквивалентный объем как середину скачка титрования и рассчитывали массу кислоты. Установлено, что точка, соответствующая моменту эквивалентности на кривой титрования, и точка момента изменения цвета индикатора не совпадают. То есть при определении ацетилсалициловой кислоты с индикатором фенолфталеином возникает индикаторная погрешность. Поэтому все дальнейшие эксперименты мы проводили методом потенциометрического титрования.

Для примитивного моделирования системы желудочно-кишечного тракта человека и установления формы нахождения АСК в нем были приготовлены раствор соляной кислоты с рН 3 и водный раствор аммиака с рН 8,5. Значения рН растворов выбраны в соответствии со средней кислотностью содержимого желудка и кишечника. Таблетку аспирина в той или иной лекарственной форме взвешивали и помещали в среду с рН 3, перемешивали, добавляли этанол и определяли содержание АСК по описанной выше методике. Затем таблетку аспирина такой же лекарственной формы помещали в среду с рН 8,5, перемешивали, добавляли этанол и определяли содержание АСК.

Установлено, что традиционные таблетки аспирина растворяются и в «желудке», и в «кишечнике». В первом случае на кривой титрования наблюдалось 2 скачка, которые соответствуют нейтрализации соляной кислоты и АСК, во втором случае – один скачок, соответствующий нейтрализации АСК. Аналогичные результаты получены при определении АСК в растворимых шипучих таблетках фирм «Байер» и «Упса».

При анализе таблеток аспирина в кишечнорастворимой оболочке установлено, что в среде с рН 3 АСК из таблетки не освобождается, так как при титровании образца на кривой титрования формируется один скачок, соответствующий нейтрализации соляной кислоты. После пребывания такого препарата в среде с рН 8,5 на кривой титрования формируется скачок, соответствующий нейтрализации АСК.

Результаты определения ацетилсалициловой кислоты в различных лекарственных формах аспирина представлены в таблице.

Таблица. Результаты определения ацетилсалициловой кислоты в различных лекарственных формах аспирина (n = 4, P = 0,95)

Название препарата	Введено, мг	Определено, мг	
		рН 3	рН 8.5
АСК МС	270	270±8	265±8
	310	302±10	315±10
Аспинат Кардио	50	-	52±4
Аспирин Кардио	100	-	98±7
Тромбо АСС	50	-	50±5
Аспирин – С	500	695	485

Заключение

1. Проведена сравнительная оценка индикаторного и потенциометрического кислотно-основного титрования. Показано, что потенциометрическое титрование позволяет избежать индикаторной погрешности.

2. Проведено исследование состояния лекарственных форм ацетилсалициловой кислоты в модели желудочно-кишечного тракта. Установлено, что лекарственные формы аспирина в оболочке устойчивы в кислой среде, то есть не растворяются в желудке.

3. Установлено, что шипучие таблетки содержат ацетилсалициловую кислоту, биодоступную как в желудке, так и в кишечнике.

Литература

1. Государственная фармакопея СССР. 10-е издание. – М.: Медицина, 1968. – 1079 с.
2. *Отто М.* Современные методы аналитической химии. В 2-х т. Том 1. – М.: Техносфера, 2003. – 416 с.
3. *Рабинович В.А., Хавин З.Я.* Краткий химический справочник. – Л.: Химия, 1977. – 432 с.
4. *Халецкий А.М.* Фармацевтическая химия. – Л.: Медицина, 1966. – 762 с.

Изучение особенностей радикальной полимеризации метакриловой кислоты

Краснова Анастасия

10 класс

Научный руководитель А.В. Томилина,
аспирант ННГУ



Методом радикальной полимеризации в 15 мас.% водном растворе при 60° С была синтезирована полиметакриловая кислота различной молекулярной массы. В качестве инициатора использовали персульфат калия ($K_2S_2O_8$), его количество варьировали от 1 до 10 % по отношению к массе мономера. Молекулярную массу (ММ) полученных полимеров определяли вискозиметрическим методом. Ее значения изменяются от 5 до $15 \cdot 10^4$. Показано, что с увеличением количества инициатора при полимеризации уменьшается величина молекулярной массы полимера. Изучены размеры полимерных клубков в растворе, а также оценено влияние молекулярной массы на эти параметры. Рассчитаны размеры макромолекул ПМАК различной молекулярной массы и показано, что ММ оказывает существенное влияние на среднеквадратичное расстояние между концами клубка и на радиус инерции молекул.

Молекулярная масса является важнейшей характеристикой высокомолекулярных соединений – полимеров, определяющей их физические и технологические свойства. Так, с увеличением молекулярной массы изменяются вязкость, прочность, эластичность, температура стеклования и другие важнейшие характеристики полимеров. Поэтому синтез полимеров с заранее заданными свойствами является необходимым условием любого технологического процесса. Одним из способов получения полимеров с различными молекулярными массами является изменение количества инициатора радикальной реакции.

Поэтому целью данной работы стало получение полиметакриловой кислоты (ПМАК) с различной молекулярной массой (ММ), а также изучение влияния молекулярной массы на физические свойства данного полимера. В работе решались задачи синтеза полиметакриловой кислоты с различной молекулярной массой и проведения вискозиметрических измерений, позволяющих рассчитать основные параметры макромолекул.

Синтетические полимеры получают путем ступенчатой или цепной полимеризации низкомолекулярных соединений – мономеров.

При цепной полимеризации макромолекулы полимера образуются в результате раскрытия кратных связей или циклов мономеров при действии на них активных центров, находящихся на концах растущих цепей. Первичные радикалы, необходимые для инициирования радикальной полимеризации, могут быть получены в результате химических реакций и при физическом воздействии на мономер. При химическом иницировании очень важно располагать данными, характеризующими скорость распада инициатора при температуре реакции, а также эффективность инициирования для данного вещества. От этих значений будет зависеть скорость дальнейшего процесса, которая пропорциональна концентрации инициатора. Кроме того, от количества первичных радикалов, участвующих в реакциях роста, зависят длина молекулярных цепей и их количество.

При проведении исследования в качестве мономеров при радикальной полимеризации использовали МАК. Ее предварительно очищали от ингибитора и примесей методом вакуумной перегонки ($T_{\text{кип}} \text{ МАК} = 60^\circ \text{C}/12 \text{ мм рт.ст.}$).

В качестве инициатора радикальной полимеризации использовали персульфат калия. Его очищали перекристаллизацией из воды. Для этого готовили 50% раствор соли в теплой дистиллированной воде ($40 - 50^\circ \text{C}$), быстро фильтровали его через складчатый фильтр и охлаждали фильтрат льдом. Выпавшие кристаллы отфильтровывали на воронке Бюхнера, промывали небольшим количеством ледяной воды и сушили при температуре 40°C до постоянной массы.

Синтез полиметакриловой кислоты проводили методом радикальной полимеризации в 15 мас.% водном растворе при температуре 60°C в атмосфере аргона. В качестве инициатора использовали персульфат калия, количество инициатора варьировали от 1 до 10 мас.% по отношению к массе мономера. Конверсию контролировали дилатометрически и гравиметрически. Она составила 98%. После синтеза полимер сушили в вакууме до постоянного веса, затем растворяли в этаноле. Далее высаживали диэтиловым эфиром и вновь сушили до постоянного веса. Для определения средневязкостной ММ использовали вискозиметр Уббелюде с висязим уровнем (рис. 1).

Концентрацию раствора полимера c рассчитывали по формуле:

$$c = c_0 \cdot V_0 / V_i,$$

где c_0 – исходная концентрация полимера, г/дл; V_0 – начальный объем раствора в вискозиметре, мл; V_i – объем растворителя в вискозиметре после добавления порции растворителя, мл.

Далее рассчитывали относительную, удельную и приведенную вязкости по формуле:

$$\eta_{отн} = t/t_0,$$

где t и t_0 – соответственно время истечения раствора и чистого растворителя (плотности раствора полимера и растворителя приняты равными). Через $\eta_{отн}$ рассчитывается удельная и приведенная вязкости растворов полимеров:

$$\eta_{уд} = \eta_{отн} - 1, \eta_{пр} = \eta_{уд}/c = (\eta_{отн} - 1)/c.$$

Зависимость приведенной вязкости от концентрации для разбавленных растворов полимеров имеет прямолинейный характер. Экстраполируя эту зависимость к нулевой концентрации, получаем предельное значение вязкости, которое называется характеристической вязкостью $[\eta]$ (рис. 2):

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} (\eta_{уд} / c).$$



Рис. 1. Вискозиметр Уббелоде

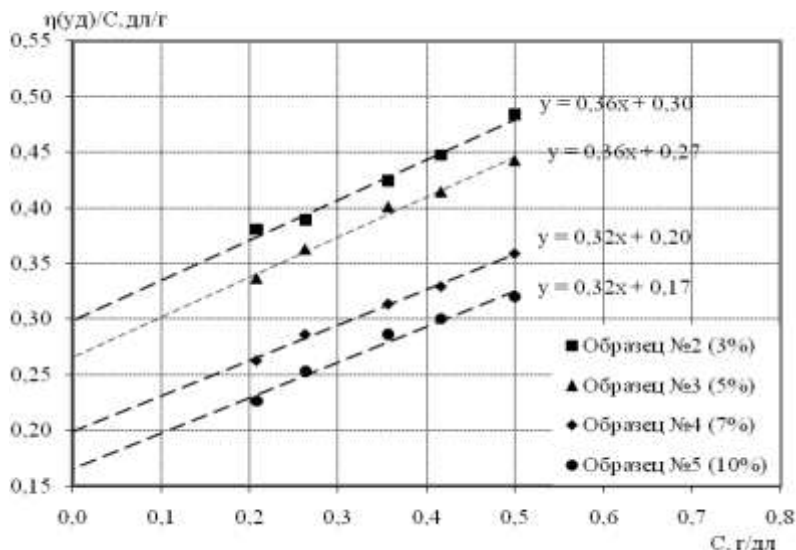


Рис. 2. Зависимость вязкости ПМАК в 0,2 М водном NaCl от концентрации

Экстраполяция данных опыта к нулевой концентрации обусловлена необходимостью исключения межмолекулярных взаимодействий макромолекул.

Только для предельно разбавленных растворов можно считать, что в растворе находятся отдельные изолированные макромолекулы. Для расчета молекулярной массы применяется уравнение Марка – Куна – Хаувинка. Для ПМАК в 0,2 М NaCl при 26 °С $K = 1,3 \cdot 10^{-4}$, $a = 0,62$.

$$[\eta] = K \cdot MM^a.$$

Значения молекулярных масс полученных полимеров и характеристические вязкости представлены в таблице.

Основными параметрами, характеризующими размеры клубка, являются среднеквадратичное расстояние между концами цепи $\langle R^2 \rangle^{1/2}$ и среднеквадратичный радиус инерции $\langle S^2 \rangle^{1/2}$, которые связаны друг с другом соотношением Дебая:

$$\langle R^2 \rangle = 6 \langle S^2 \rangle.$$

Среднеквадратичное расстояние между концами цепи находится из уравнения Флори – Фокса:

$$[\eta] = \Phi \langle R^2 \rangle^{3/2} / MM,$$

где Φ – постоянная Флори, равная $2,84 \cdot 10^{21}$ моль⁻¹ при выражении $[\eta]$ в дл/г, MM – средняя молекулярная масса.

Значения среднеквадратичных расстояний между концами цепи и среднеквадратичных радиусов инерции полученных полимеров представлены в таблице.

Таблица. Молекулярно-массовые характеристики макромолекул ПМАК

Номер образца	Количество инициатора (С), мас. %	p	$[\eta]$, г/дл	$MM_4 \cdot 10^{-4}$	$\langle R^2 \rangle$, нм	$\langle S^2 \rangle$, нм
1	1		Не растворился			
2	3	1800	0,30	15	63	10,5
3	5	1500	0,27	12	51	8,5
4	7	920	0,20	7	31	5,2
5	10	690	0,17	5	22	3,7

Выводы

1. Методом радикальной полимеризации в водном растворе получена полиметакриловая кислота различной молекулярной массы.
2. Определены значения характеристической вязкости и рассчитаны средневязкостные молекулярные массы полученных полимеров. Показано, что с увеличением количества инициатора при полимеризации уменьшается величина молекулярной массы полимера.

3. Рассчитаны размеры макромолекул ПМАК различной молекулярной массы, показано влияние ММ на среднеквадратичное расстояние между концами клубка и на радиус инерции молекул. Полученные в работе результаты могут быть полезны в дальнейших исследованиях свойств полиметакриловой кислоты и сополимеров на ее основе.

Литература

1. *Бирштейн Т.М.* Конформации макромолекул // Соросовский образовательный журнал. 1996. №11. С. 26 – 29.
2. *Киреев В.В.* Высокомолекулярные соединения. – М.: Высш. школа, 1992. – 512 с.
3. Лабораторная техника органической химии / Под ред. Б. Кейла (Пер. с чешского). – М.: Мир, 1966. – 751 с.
4. *Липатов Ю.С., Нестеров А.Е., Гриценко Т.М., Веселовский Р.А.* Справочник по химии полимеров. – Киев: Наукова думка, 1971. – 535 с.
5. *Рафиков С.Р., Павлов С.А., Твердохлебова И.И.* Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 335 с.
6. *Семчиков Ю.Д.* Высокомолекулярные соединения. – М. – Н.Новгород.: Изд-во «Академия», 2003. – 367 с.
7. *Тенфорд Ч.* Физическая химия полимеров. – М.: Химия, 1965. – 772 с.
8. *Шур А.М.* Высокомолекулярные соединения. – М.: Высш. школа, 1981. – 656 с.

Мониторинг содержания свободно-го и связанного хлора в водах централизованного водоснабжения Нижнего Новгорода

Лощилова Татьяна

10 класс

Научный руководитель Е.В. Елипашева,
канд. хим. наук



Целью работы являлось проведение мониторинга содержания остаточного, свободного и связанного хлора в водах централизованного водоснабжения Н.Новгорода. Определение указанных компонентов осуществляли по методике ГОСТ 18190-72. «Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора». Контроль осуществлялся еженедельно в период с октября по декабрь 2010 года. Установлено, что концентрации анализов удовлетворяют требованиям СанПин 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения (0,3 – 0,5 мг/л – для свободного хлора; 0,8 – 1,2 мг/л – для связанного хлора и менее 1,2 мг/л – для остаточного хлора). Выявлено, что содержание определяемых компонентов варьируется в пределах 20 % в зависимости от даты контроля.

Под обеззараживанием питьевой воды понимают мероприятия по уничтожению в воде бактерий и вирусов, вызывающих инфекционные заболевания. Наиболее распространенным способом дезинфекции воды является хлорирование. Хлорирование обеспечивает микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети в любой момент времени благодаря эффекту последствия. Все остальные методы обеззараживания воды, в том числе озонирование и ультрафиолет, не обеспечивают обеззараживающего последствия и, следовательно, требуют хлорирования на одной из стадий водоподготовки. В настоящее время используют сочетание ультрафиолетового обеззараживания, озонирования и хлорирования.

Целью работы являлось проведение мониторинга содержания остаточного, свободного и связанного хлора в водах централизованного водоснабжения Н.Новгорода.

При обработке вод хлором или его соединениями (кроме взаимодействия с микроорганизмами) часть хлора реагирует с веществом, содержащимся в воде, связывая его в так называемый «связанный

хлор». Связанный хлор – часть общего хлора, присутствующая в воде в виде хлораминов. Другая его часть называется «свободным хлором». Свободный хлор присутствует в воде в виде хлорноватистой кислоты или (и) гипохлорит-ионов. Хлор, остающийся в воде после хлорирования в виде свободного или связанного хлора или в обоих видах сразу, принято называть остаточным (суммарным) хлором.

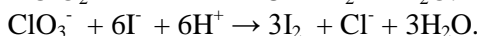
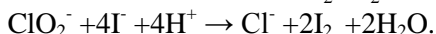
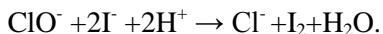
Согласно СанПин 2.1.4-1074-01 содержание свободного хлора должно находиться в пределах: 0,3 – 0,5 мг/л; содержание связанного хлора – 0,8 – 1,2 мг/л. При одновременном присутствии свободного и связанного хлора их концентрация не должна превышать 1,2 мг/л.

Экспериментальная часть

Метод определения остаточного хлора основан на окислении йодида активным хлором до йода, который титровали тиосульфатом натрия. Озон, нитриты, окись железа и другие соединения в кислом растворе выделяют йод из йодистого калия, поэтому пробы воды подкисляли буферным раствором с pH 4,5. Буферный раствор готовили следующим образом: 102 мл 1 М уксусной кислоты и 98 мл 1 М раствора ацетата натрия наливали в мерную колбу вместимостью 1 л и доводили до метки дистиллированной водой.

В качестве внутреннего стандартного раствора использовали 0,1 М раствор тиосульфата натрия. Рабочий 0,005 М раствор тиосульфата натрия готовили разбавлением стандартного непосредственно перед проведением анализа. Индикатором являлся 0,5% раствор крахмала.

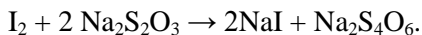
В основу данной методики положены следующие реакции:



Побочный процесс $\text{ClO}_3^- + \text{Cl}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{HClO}_2 + \text{HClO}$ идет очень медленно, и им можно пренебречь.

В коническую колбу насыпали 0,5 г йодистого калия, растворяли его в 1–2 мл дистиллированной воды, затем добавляли 25 мл буферного раствора, после чего добавляли 300 мл анализируемой воды.

Выделившийся йод титровали 0,005 М раствором тиосульфата натрия до появления светло-желтой окраски.



После чего прибавляли 1 мл 0,5 %-ного раствора крахмала и раствор титровали до исчезновения синей окраски.

Содержание суммарного остаточного хлора (X), мг/л вычисляли по следующей формуле:

$$X = \frac{V_m \cdot 0,177 \cdot 1000}{V_{np}},$$

где V_m – объем 0,005 моль/л раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование, мл; 0,177 – содержание активного хлора, соответствующее 1 мл 0,005 моль/л раствора тиосульфата натрия; V_{np} – объем пробы воды, взятый для анализа, мл.

Метод определения свободного хлора основан на окислении свободным хлором метилового оранжевого, в отличие от хлораминов, окислительная способность которых недостаточна для разрушения метилового оранжевого.

Титрантом являлся 0,005% раствор метилового оранжевого. Раствор указанной концентрации готовили растворением 50 мг метилового оранжевого в 1 л дистиллированной воды. 1 мл этого раствора соответствует 0,0217 мг свободного хлора.

100 мл анализируемой воды помещали в колбу, добавляли 2 – 3 капли 5 моль/л раствора соляной кислоты и, помешивая, быстро титровали раствором метилового оранжевого до появления не исчезающей розовой окраски.

Содержание свободного остаточного хлора (X_1), мг/л вычисляли по формуле:

$$X_1 = \frac{0,04 + (V_{м/о} \cdot 0,0217) \cdot 1000}{V_{np}},$$

где $V_{м/о}$ – объем 0,005% раствора метилового оранжевого, израсходованного на титрование, мл; 0,0217 – титр раствора метилового оранжевого; 0,04 – эмпирический коэффициент; V_{np} – объем воды, взятой для анализа, мл.

По разности между содержанием остаточного (суммарного) хлора, определенного йодометрическим методом, и содержанием свободного остаточного хлора, определенного методом титрования метиловым оранжевым, находят содержание связанного хлора (X_2):

$$X_2 = X - X_1.$$

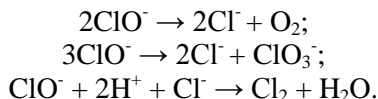
Результаты и их обсуждение

Указанные выше методики были применены для анализа питьевых вод различных районов Нижнего Новгорода. Мониторинг осуществляли с октября по декабрь 2010 года раз в неделю. Результаты, полученные в ходе данного исследования, представлены в таблице.

Таблица. Содержание остаточного, свободного и связанного хлора в водах централизованного водоснабжения Нижнего Новгорода
($P = 0,95$, $n = 3$)

Район Нижнего Новгорода	Содержание, мг/л		
	Остаточный хлор	Свободный хлор	Связанный хлор
Советский	$0,60 \pm 0,07$	$0,11 \pm 0,02$	$0,49 \pm 0,06$
Автозаводский	$0,51 \pm 0,05$	$0,11 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,05$
Сормовский	$0,19 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,05$
Московский	$0,62 \pm 0,07$	$0,10 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,05$
Приокский	$0,44 \pm 0,06$	$0,10 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,05$
ПДК	1,2	0,3 — 0,5	0,8 — 1,2

Проводили анализ воды на содержание остаточного хлора в зависимости от времени отстаивания (рис. 1). Установлено, что со временем наблюдается уменьшение содержания остаточного хлора. Дело в том, что малостабильный гипохлорит-ион (основной дезинфектант) разрушается под действием солнечного света или нагревания с образованием смеси хлорид-иона (Cl^-), молекулы кислорода (O_2) и хлората (ClO_3^-) в результате следующих реакций:



Следовательно, способ отстаивания может быть использован для уменьшения в воде указанных компонентов.

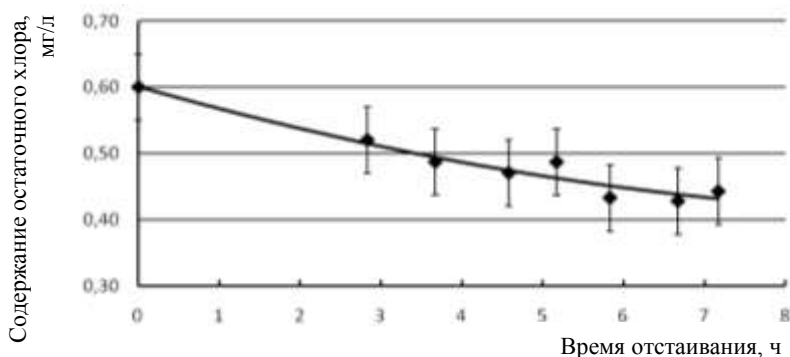


Рис. 1. Зависимость содержания остаточного хлора от времени отстаивания воды

Выводы

1. Проведен контроль содержания свободного и связанного хлора в водах централизованного водоснабжения Нижнего Новгорода:
 - содержание свободного хлора равняется примерно 0,1 мг/л;
 - содержание связанного хлора от 0,15 до 0,55 мг/л;
 - содержание остаточного хлора не превышает 1,2 мг/л в зависимости от района города и находится в пределах 20% в зависимости от даты контроля.
2. Указанные концентрации удовлетворяют требованиям нормативных документов.

Литература

1. СанПин 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. – 103 с.
2. ГОСТ Р 20813-2002. Вода и водоподготовка. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 15 с.
3. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 13 с.
4. ГОСТ 18190-72. Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 6 с.
5. *Кольтгоф И.М.* Объемный анализ. Т.3. Практическая часть. Методы окисления – восстановления. – М.: Гос. научно-технич. изд-во хим. лит-ры, 1961. – 840 с.
6. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. – М.: Изд-во «Протектор», 1995. – 624 с.
7. *Фрумина Н.С., Лисенко Н.Ф., Чернова М.А.* Хлор (Аналитическая химия элементов). – М.: Наука, 1983. – 200 с.

Идентификация ионов золота в растворах

Пименов Владимир

9 класс

Научный руководитель Р.В. Абражеев,
канд. хим. наук



В работе исследованы возможности реакций идентификации ионов золота в растворах. Использовались такие методы, как качественный анализ и рентгенофлуоресцентный анализ. Был сравнен широкий круг качественных реакций на ионы золота. Установлено, что наибольшей чувствительностью обладает реакция с сульфатом железа(II), а наименьшей – с йодидом калия. Показано отсутствие мешающего влияния сопутствующих компонентов ювелирных сплавов – серебра и меди – на идентификацию целевого иона.

Золото – элемент побочной подгруппы первой группы шестого периода периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева, с атомным номером 79. Это важнейший ювелирный, а также технический металл. Несмотря на то, что свойства ионов золота уникальны, этот элемент и его соединения редко становятся объектом аналитического исследования, так как стоимость их велика. Поэтому многие юные (и не очень) химики-экспериментаторы никогда в практической деятельности не сталкивались с соединениями золота. Для обнаружения соединений золота в растворах предложено большое число качественных реакций, однако обоснованная информация о сравнении этих реакций друг с другом отсутствует. В связи с этим, *цель* работы состояла в выборе оптимальной качественной реакции для обнаружения ионов золота в водных растворах.

Были поставлены и решались следующие задачи:

- 1) найти в литературе реакции идентификации золота в растворах;
- 2) приготовить раствор золота в «царской водке»;
- 3) провести реакции обнаружения золота с полученным раствором, наблюдать аналитические сигналы;
- 4) выявить наличие или доказать отсутствие мешающего влияния сопутствующих компонентов сплава (медь и серебро) на результаты обнаружения золота;

- 5) сравнить реакции по доступности реагентов, чувствительности и селективности и на основе этого выбрать оптимальную реакцию для идентификации ионов золота в растворах.

В работе использованы два метода: качественный анализ и рентгено-флуоресцентный анализ.

На первом этапе работы выбрали качественные реакции из литературных данных. В качестве объекта анализа использовали раствор ювелирного изделия в «царской водке». Состав изделия установлен рентгено-флуоресцентным анализом. Он соответствует золоту 585 пробы. С приготовленным раствором провели более 10 качественных реакций на ионы золота. По результатам наблюдения была заполнена таблица 1.

Таблица 1. Взаимодействие раствора ювелирного сплава и раствора сульфата меди с различными реактивами

Реактив	Результаты наблюдений при реакции с Au^{3+}	Результаты наблюдений при реакции с Cu^{2+}
Хлорид ртути (Hg_2Cl_2)	Выпал серо-фиолетовый осадок	Выпал белый осадок
Нитрат ртути (HgNO_3)	Выпал черный осадок	Видимых изменений нет
Перекись водорода (H_2O_2)	Выделились газ и хлопья восстановленного золота, раствор окрасился в темно-синий цвет	Выделился газ, раствор окрасился в бледно-желтый цвет
Сульфат железа(II) (FeSO_4)	Раствор окрасился в темно-синий цвет	Видимых изменений нет
Хлорид олова (SnCl_2)	Раствор окрасился в желтый цвет	Видимых изменений нет
Йодид калия (KI)	Раствор окрасился в желто-коричневый цвет, выделился осадок	Раствор окрасился в желтый цвет

Большинство указанных реакций представляют собой окислительно-восстановительные процессы, в ходе которых ионы золота

восстанавливаются. Частицы восстановленного золота либо выпадают в форме осадка, либо в коллоидном состоянии плавают в растворе, придавая ему характерную окраску.

Так как в объект анализа кроме золота входили еще медь и серебро, то изучалась селективность обнаружения ионов золота в присутствии указанных металлов. Ионы серебра, из-за присутствия хлорид-ионов в «царской водке», выпали в осадок на дно сосуда в виде хлорида серебра. Поэтому они не могут в данных условиях оказывать мешающее влияние на результаты идентификации ионов золота. Наблюдаемые эффекты, которые возникают при добавлении реактивов к раствору сульфата меди, несколько не похожи на те, что появляются в присутствии ионов золота. Поэтому идентификация золота в растворе в присутствии меди по выбранным реакциям селективна.

На втором этапе с целью оценки чувствительности реакций идентификации определили пределы обнаружения некоторых из них (табл. 2).

Таблица 2. Пределы обнаружения ионов золота с некоторыми реактивами

Реактивы	Результат
KI	$1 \cdot 10^{-3}$ моль/л
H ₂ O ₂ +NaOH	$6 \cdot 10^{-4}$ моль/л
FeSO ₄	$5 \cdot 10^{-4}$ моль/л

Таким образом, по результатам проделанной работы можно считать, что наилучшей реакцией для обнаружения ионов золота является реакция с сульфатом железа(II). Она обладает наибольшей чувствительностью, ее результат хорошо заметен, реактив доступен.

В ходе работы был израсходован не весь приготовленный раствор ювелирного сплава, поэтому, возможно, при ее продолжении будет изучена возможность получения золота из приготовленного раствора.

Литература

1. Бусев А.И. Аналитическая химия Золота. – М.: Наука, 1973 . – 265 с.
2. Потемник С.В. Благородный 79-й. – М.: Недра, 1988 . – 176 с.

Укрепление текстильных материалов водорастворимыми акриловыми сополимерами

Слепченков Александр

10 класс

Научный руководитель А.В. Томилина,
аспирант ННГУ



Исследованы водорастворимые сополимеры (СПЛ) на основе метакриловой кислоты с ее алкиловыми эфирами. Методом радикальной полимеризации в присутствии персульфата калия синтезированы сополимеры метакриловой кислоты (МАК) и ее алкиловых эфиров: этилакрилата и метилакрилата (ЭА и МА) в процентном содержании по массе 95 мас.% и 5мас.% (95МАК – 5ЭА и 95МАК – 5МА). Изучено проникновение в гидрофильную хлопчатобумажную ткань сополимеров посредством капиллярного впитывания их водных растворов. Выявлено, что с увеличением концентрации полимерных растворов и увеличением доли эфирных звеньев скорость капиллярного поднятия жидкости снижается. Исследовано влияние концентраций растворов полимеров на механические свойства ткани. С увеличением концентрации прочность ткани, обработанной полимерами, повышается. Увеличение доли звеньев алкилакрилатов в сополимере также способствует укреплению ткани.

Текстильные материалы (ткани) активно стареют. Волокна теряют крепость, мягкость, нормальную гигроскопичность и эластичность. Это вызывает разрушение структуры волокна. В зависимости от условий, в которых ткань находилась, и от технологической обработки волокна этот процесс может ускориться или замедлиться. Однако, с другой стороны, мы имеем археологические ткани, которые, находясь в погребениях, хотя и не подвергались действию солнечного света, тоже совершенно разрушились, дойдя до предельной стадии распада – руинированного порошкообразного состояния. Поэтому полевая консервация археологических находок – ответственный этап в комплексе реставрационных мероприятий.

Распространенными консервантами памятников остаются растворы полимеров в органических растворителях, которые, несмотря на все свои преимущества, имеют ряд существенных недостатков. Часто при археологических полевых раскопках фрагменты обнаруживаемых материалов находятся в сырой почве, могилах, в сырых

склепах церквей. Перед выемкой требуется предварительное укрепление артефактов памятников в сыром грунте. Растворы полимеров в органических растворителях в этом случае не пригодны, так как вода дисперсного грунта коагулирует консервант, осаждает его на поверхности и не связывает грунт и памятник. В связи с этим наиболее перспективным направлением является разработка новых водорастворимых консервантов памятников на основе дифильных акриловых сополимеров.

Поэтому мы поставили перед собой *цели* получить сополимеры на основе метакриловой кислоты и изучить закономерности укрепления текстильных материалов водными растворами полученных сополимеров. Перед нами стояли две *задачи*: синтез водорастворимых сополимеров на основе метакриловой кислоты и изучение процессов капиллярной пропитки, смачивания и укрепления пористой хлопковой ткани полученными сополимерами.

Синтез сополимеров метакриловой кислоты с метилакрилатом или с этилакрилатом мы проводили методом радикальной полимеризации в 20 мас.% водном растворе при температуре 60° С в атмосфере аргона. В качестве инициатора использовали персульфат калия, взятый в количестве 4 мас.% по отношению к массе сополимеров. Конверсию контролировали dilatометрически и гравиметрически. Она составила 97%.

В качестве объекта исследования была выбрана ткань бельевая – бязь (ГОСТ – 29298-92) производства «Зиновьевская мануфактура» г. Иваново. В дополнение к заводским характеристикам были определены кажущаяся пористость, объем пор и диаметр капилляров ткани.

Для определения кажущейся пористости и кажущегося объема пор брали кусочек ткани размером 1,5×1,5 см, толщину измеряли микрометром, она составила 0,29 мм. Затем погружали ткань в изопропиловый спирт (ИПС) на 72 часа при комнатной температуре. После этого образец вынимали с такой скоростью, чтобы спирт успевал стечь с его поверхности.

Кажущийся объем пор V_k находили по формуле:
$$V_k = \frac{P_2 - P_1}{\gamma_2},$$

где P_1 – масса исходного образца, г; P_2 – масса образца после пребывания в спирте, г; γ_2 – плотность спирта, г/см³.

Кажущуюся пористость W_k находили по формуле:

$$W_{\kappa} = \frac{P_2 - P_1}{V_1} * 100 ,$$

где V_1 – объем образца до пропитывания.

$$V_{\kappa} = 0,0415 \text{ см}^3; W_{\kappa} = 63,6 \% .$$

Радиус капилляров ткани определяли по скорости капиллярного поднятия изопропилового спирта. Для этого ткань подвешивали так, чтобы нижний конец был слегка погружен в ИПС (рис. 1). Затем рассчитывали радиус капилляров при помощи уравнения Уошборна:

$$r = \frac{8k\eta}{2\sigma \cos \theta} ,$$

где η – вязкость изопропилового спирта, σ – его поверхностное натяжение, а $k = h^2/t$ (рис. 2).

По нашим подсчетам радиус капилляров составил 3,5 мкм.



Рис. 1. Прибор для измерения скорости капиллярного впитывания жидкости

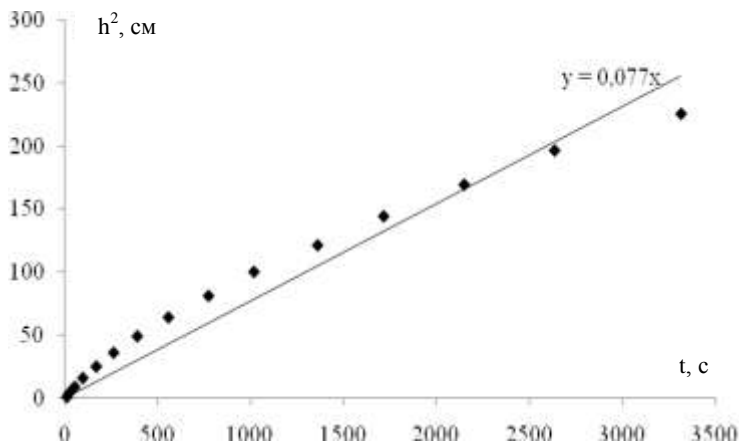


Рис. 2. Зависимость квадрата высоты капиллярного впитывания ИПСа в целлюлозную ткань от времени

Укрепление ткани растворами сополимеров

Поскольку ткань является капиллярно-пористым коллоидным материалом, состоящим из переплетенных между собой волокон целлюлозы, постольку одним из способов ее укрепления является

капиллярная пропитка растворами сополимеров. Растворы с концентрациями 0,1; 0,3 и 0,5 мас.% готовили, растворяя в дистиллированной воде требуемую навеску полимера. Затем изучали скорость капиллярного поднятия растворов сополимеров в ткань так же, как это было описано выше.

Результаты измерений представлены на рисунках 3 и 4.

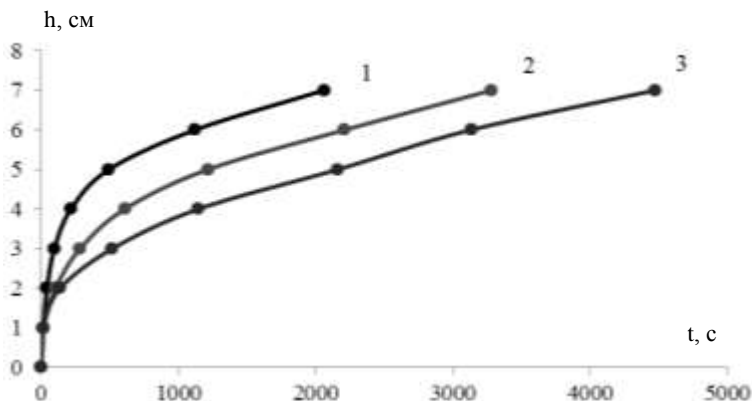


Рис. 3. Зависимость высоты капиллярного впитывания от времени СПЛ 95МАК – 5МА различной концентрации:
1 – 0,1 мас.%; 2 – 0,3мас.%; 3 – 0,5мас%

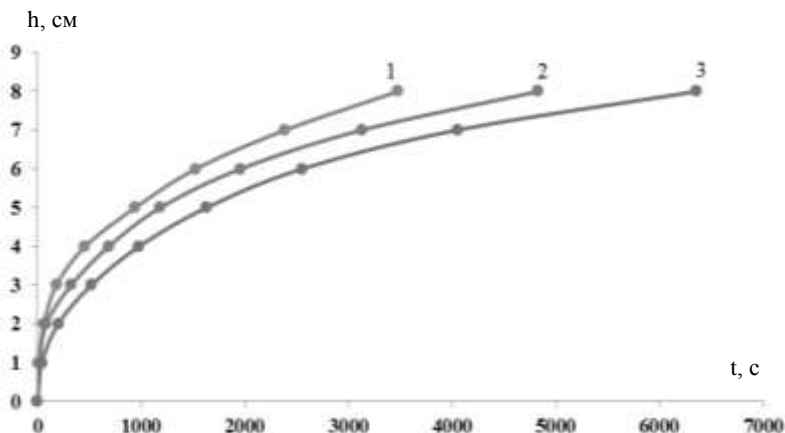


Рис. 4. Зависимость высоты капиллярного впитывания от времени СПЛ 95МАК – 5ЭА различной концентрации:
1 – 0,1 мас.%; 2 – 0,3мас.%; 3 – 0,5мас%

Композиции ткань – сополимер готовили, пропитывая образцы ткани длиной 8 см и шириной в 5 нитей водными растворами изучаемых сополимеров с концентрациями 0,1; 0,3 и 0,5 мас.%. Затем образцы сушили при комнатной температуре до постоянной массы.

Физико-механические испытания полученных композиций ткань – сополимер проводили на разрывной машине Zwick Z005.

Результаты эксперимента представлены на рисунке 5.

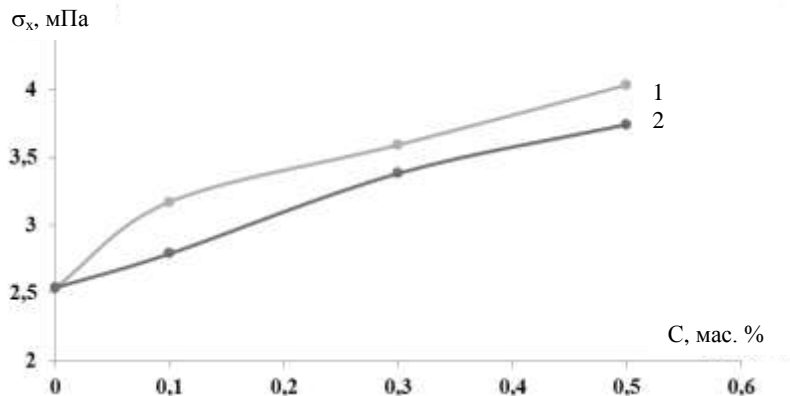


Рис. 5. Зависимость разрывного напряжения от концентрации:
1 – СПЛ 95МАК – 5ЭА; 2 – СПЛ 95МАК – 5МА

Выводы

1. Методом радикальной полимеризации получены сополимеры метакриловой кислоты и метилакрилата (МАК – МА) и метакриловой кислоты и этилакрилата (МАК – ЭА).
2. Исследовано капиллярное впитывание водных растворов полученных сополимеров в целлюлозную ткань – бязь. С увеличением концентрации растворов полимеров наблюдается увеличение их вязкости и, как следствие, падение скорости течения их в капиллярах ткани.
3. Изучено влияние состава сополимера на скорость капиллярного впитывания. Так, скорость растворов СПЛ МАК – МА значительно превышает скорость поднятия растворов СПЛ МАК – ЭА. Это может быть связано с гидрофобными взаимодействиями эфирных групп этилакрилата, оказывающих влияние на смачивание стенок капилляров целлюлозной ткани, которые являются гидрофильными.

4. Исследована разрывная прочность композиций ткань – сополимер. Показано, что с увеличением концентрации пропитывающего раствора сополимера прочность композиции увеличивается. Однако прочность композиций с МАК – МА выше, чем с МАК – ЭА. Причиной неравномерного распределения полимера в порах и капиллярах ткани является худшее смачивание ткани растворами СПЛ МАК – ЭА, и это в свою очередь влияет на прочность композиций.

Литература

1. *Воюцкий С.С.* Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых материалов дисперсиями полимеров. – Л.: Химия, 1969. – 336 с.
2. *Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф.* Краткий справочник по химии. – Киев: Наукова думка, 1974. – 992 с.
3. *Емельянов Д.Н., Волкова Н.В.* Критерии и методы применения синтетических полимеров для реставрации и консервации произведений искусства // Доп. № 665Д81. – Черкаassy, 1981. С. 20.
4. *Емельянов Д.Н., Волкова Н.В., Шеронова О.И.* Капиллярное впитывание растворов полимеров в пористые тела // Обработка дисперсных материалов и сред. 2001. Вып.11. – Одесса: НПО ВОТУМ. С. 151 – 154.
5. *Емельянов Д.Н., Волкова Н.В., Шеронова О.И.* Физико-химические закономерности консервации целлюлозной бумаги полимерами // ЖПХ. 2006. Т. 79. Вып. 8. С. 1367 – 1372.
6. *Семчиков Ю.Д.* Высокомолекулярные соединения. – М. – Н.Новгород: Изд-во «Академия», 2003. – 367 с.
7. *Шур А.М.* Высокомолекулярные соединения. – М.: Высш. школа, 1981. – 656 с.

Прикладная информатика



Моделирование спектра молекулы CO квазиклассическими методами

Аникин Всеволод

9 класс

Научный руководитель Р.И. Овсянников,
канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник ИПФ РАН

В работе проведено компьютерное моделирование классического движения ядер молекулы под действием внутренних сил и взаимодействия с внешним излучением. Рассмотрены случаи слабого и сильного взаимодействия в зависимости от частоты излучения. Построена общая зависимость изменения энергии молекулы в зависимости от частоты внешнего излучения – классический аналог спектра молекулы.

Молекулярная спектроскопия играет важную роль в астрономии. Исследование спектров излучения удаленного объекта позволяет оценивать химический состав на его поверхности. Существует множество других приложений, в которых используются теоретические спектры молекул, например, моделирование процессов поглощения в земной и звездных атмосферах. Часто используются теоретические списки линий для идентификации линий в экспериментальных спектрах.

Однако нахождение молекулярных состояний в рамках квантовой механики требует громоздких расчетов. В квазиклассической модели описание молекулярных состояний является более простым и интуитивно понятным. Поэтому необходимо установить возможность описания молекулярных спектров квазиклассическими методами.

Цель работы: определить зависимость изменения энергии молекулы от частоты внешнего излучения.

Задачи: написать квазиклассическую модель движения молекулярных составляющих (ядер), составить компьютерную программу, позволяющую рассчитывать траектории движения ядер, провести серию расчетов траекторий движения ядер.

Для решения данных задач мы использовали следующие *методы*: численное дифференцирование – нахождение производных для определения действующих в молекуле сил; численное интегрирование – нахождение траекторий движения; метод Монте-Карло – случайный выбор начальных условий.

СО как простое вещество

Оксид углерода (II) – бесцветный ядовитый газ без вкуса и запаха. Его химическая формула – СО. Концентрация угарного газа в воздухе, равная 12,5 – 74 %, взрывоопасна. Молекула СО так же, как и изоэлектронная ей молекула азота, имеет тройную связь. Так как эти молекулы сходны по строению, то и свойства их похожи – очень низкие температуры плавления и кипения, близкие значения стандартных энтропий и т.п.

В рамках метода валентных связей строение молекулы СО можно описать формулой $\text{:C}\equiv\text{O:}$, причем третья связь образована по донорно-акцепторному механизму, где углерод является акцептором электронной пары, а кислород – донором. Электроны на несвязывающих σC -орбитали и σO -орбитали соответствуют двум электронным парам, одна из которых локализована у атома углерода, другая – у атома кислорода.

Благодаря наличию тройной связи молекула СО весьма прочна (энергия диссоциации 1069 кДж/моль, или 256 ккал/моль, что больше, чем у любых других двухатомных молекул) и имеет малое межъядерное расстояние ($d\text{C}\equiv\text{O}=0,1128$ нм или $1,13\text{\AA}$).

Молекула слабо поляризована, электрический момент ее диполя $\mu = 0,04 \times 10^{-29}$ Кл·м (направление дипольного момента $\text{O}\rightarrow\text{C}+$). Ионизационный потенциал 14,0 в, силовая константа связи $k = 18,6$.

Что такое спектроскопия?

Спектроскопия – раздел физики и аналитической химии, посвященный изучению спектров взаимодействия излучения, в том числе электромагнитного, акустических волн и др., с веществом. В физике спектроскопические методы используются для изучения всевозможных свойств этих взаимодействий. В аналитической химии – для обнаружения и определения веществ при помощи измерения их непосредственно в «среде обитания» объекта, бесконтактно, то есть методами спектрометрии. К существенным преимуществам спектроскопии можно отнести возможность дистанционной диагностики без какой-либо специальной подготовки объекта. Задачами спектроскопии являются предсказание вида спектра вещества, исходя из знаний о его строении, составе и прочем; определение характеристик вещества, не являющихся непосредственно наблюдаемыми величинами, по свойствам его спектров (которые наблюдаются непосредственно

и напрямую зависят как от определяемых характеристик, так и от внешних факторов). Все это относится и к молекуле угарного газа.

Проводить спектроскопические расчеты в общепринятых системах единиц (например, СИ) неудобно. Возникают числа с большим количеством нулей, что приводит к увеличению вероятности ошибок. Поэтому в спектроскопии используется специальная система единиц, где многие величины оказываются, в некотором смысле, близки к единице.

Единица атомной массы $M(O_{16})/16 = (1,65983 \pm 0,0001) 10^{-24}$ г.

Радиус Бора $a_0 = \hbar^2/m_e e^2 = 0,52917706 10^{-10}$ м – приблизительное расстояние, на котором электрон вращается вокруг ядра в атоме водорода.

Постоянная Планка $h = 6,626176 10^{-34}$ Дж с – связь энергии E кванта света с его частотой в герцах ν : $E = h \nu$, что позволяет оценить характерные энергии по характерным частотам.

$\hbar = 1,0545887 10^{-34}$ Дж с – связь энергии E кванта света с его частотой в радианах ω : $E = \hbar \omega$.

Ангстрем $\text{\AA} = 10^{-10}$ м. Скорость света $c = 299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с.

$\nu[\text{см}^{-1}] = 1/\lambda$ – частота излучения в обратных сантиметрах – принятая в спектроскопии единица измерения частоты. Фактически это обратная длина волны, выраженная в сантиметрах.

Для нахождения связи между $\nu[\text{см}^{-1}]$ и $\nu[\text{Гц}]$ запишем следующее выражение: $\nu[\text{Гц}] = 1/T = c/\lambda$. Отсюда видно, что частота излучения в обратных сантиметрах оказывается пропорциональна обычной частоте (в герцах):

$$\nu[\text{см}^{-1}] = \nu[\text{Гц}] / c[\text{см/сек}] = 0,033564 \nu[\text{Гц}].$$

$E[\text{см}^{-1}] = \Delta\nu[\text{см}^{-1}]$ – энергия в обратных сантиметрах – принятая в спектроскопии величина измерения энергии. Фактически она равна частоте в обратных сантиметрах ($E = h \nu$, а $h=1$ в спектроскопической системе единиц). Найдем связь между $E[\text{см}^{-1}]$ и $E[\text{Дж}]$:

$$E[\text{Дж}] = h[\text{Дж с}] \Delta\nu[\text{Гц}];$$

$$E[\text{см}^{-1}] = E[\text{Дж}] \Delta\nu[\text{см}^{-1}] / (h[\text{Дж с}] \Delta\nu[\text{Гц}]) = 5,03 10^{22} E[\text{Дж}] \quad (1 \text{ Дж} = 5,03 10^{22} \text{ см}^{-1}).$$

Описание исследуемой модели

Две материальные точки (ядра С и О) движутся в плоскости под действием внутренних и внешних сил. Внутренняя сила вводится для учета внутримолекулярного притяжения или отталкивания. Для простоты моделирования эта сила бралась гармонической: $F = k(r - r_e)$, где F – сила взаимодействия, k_1 – коэффициент жесткости, r –

мгновенное расстояние между ядрами, r_e – равновесное расстояние. Внешняя сила учитывала взаимодействие молекулы с электромагнитным излучением по формуле $k_2 \cdot \sin(\omega \cdot T)$, где k_2 – коэффициент связи молекулы с излучением, ω – частота излучения, T – время. Нахождение мгновенных положений и

скоростей ядер проводилось методом численного интегрирования. Для этого брался неизмеримо малый интервал дискретизации Δt , поэтому можно считать все величины практически неизменными на протяжении этого интервала и использовать простейшие формулы изменения положений и скоростей ядер. Однако нельзя брать такое Δt , при котором значения переменных оставались действительно неизменными, потому что точность расчетов сильно уменьшится.

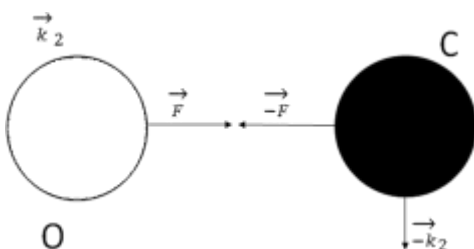


Рис. 1. Графическая модель
(F – сила внутреннего взаимодействия,
 K_2 – сила воздействия внешней среды)

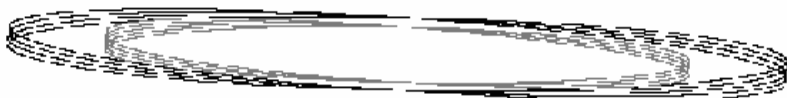


Рис. 2. Траектории движения ядер молекулы для случая слабого взаимодействия ($Nu = 0,4$)

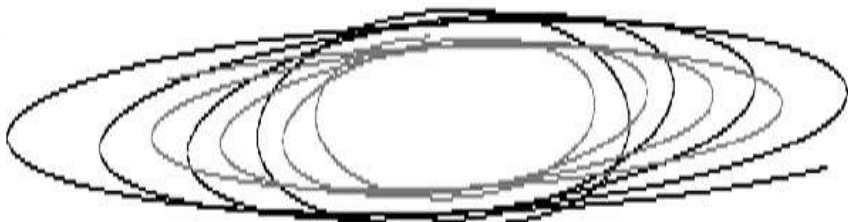


Рис. 3. Траектории движения ядер молекулы для случая сильного взаимодействия ($Nu = 0,04422$)

Решалась задача нахождения значения изменения энергии при воздействии на вещество излучения с различной длиной волны. Из закона сохранения энергии следует, что изменение внутренней энер-

гии молекулы равно (с обратным знаком) изменению энергии излучения. Поэтому, следя за энергией молекулы в зависимости от частоты внешнего излучения, можно оценить ее спектр.

Используя модель, получены графики траекторий атомов (рис. 2, 3). На рисунке 2 представлены траектории движения ядер молекулы для случая слабого взаимодействия ($Nu = 0,4$). Видно, что амплитуда колебаний практически не изменяется (каждое последующее колебание похоже на предыдущее). На рисунке 3 представлен случай сильного взаимодействия ($Nu = 0,04422$). Амплитуда колебаний изменяется значительно (наблюдается резонанс).

Используя модель, получены расчетные данные зависимости E от Nu . Построен график зависимости E от Nu (рис. 4), который моделирует степень взаимодействия молекулы с излучением в зависимости от частоты излучения. На диаграмме также виден резонанс (максимум).

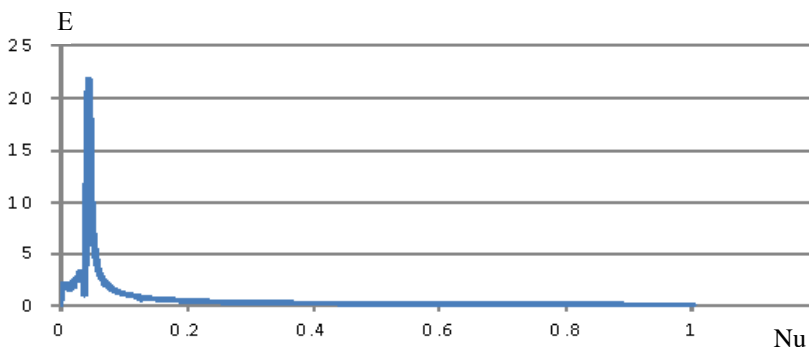


Рис. 4. Зависимость степени взаимодействия молекулы с излучением в зависимости от частоты излучения

Нами построена расчетная модель, на ее основе построены две расчетные программы. С их использованием проведены расчеты внутримолекулярного движения и молекулярных спектров. Таким образом, проведено моделирование молекулярных спектров классическими методами.

Литература

1. *Марченко А.И., Марченко Л.А.* Программирование в среде Turbo Pascal 7.0. – ВЕК Корона Принт, 2004.
2. *Таунс Ч., Шавлов А.* Радиоспектроскопия. – М.: Изд. иностр. лит-ры, 1959.

Метод Монте-Карло и его применение

Ермолаев Артем

9 класс

Научный руководитель Т.Р. Ахмеджанов,
ст. лаборант-исследователь ИПФ РАН



В данной работе метод Монте-Карло был применен к решению двух задач: определению значения числа π и вычислению значения некоторых определенных интегралов. При решении первой из поставленных задач был проведен как реальный, так и численный эксперимент, получено искомое значение числа π , построен и проанализирован график зависимости погрешности метода от числа испытаний. При решении задачи численного интегрирования был создан полноценный программный продукт, позволяющий интегрировать многочлены и доступный в использовании широкому кругу пользователей.

Метод Монте-Карло – это численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин. В современной науке под словами «метод Монте-Карло» подразумевают общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи.

В рамках данной работы была поставлена задача ознакомиться с методом Монте-Карло и применить его к некоторым задачам. Речь, в частности, идет о двух проблемах: нахождение числа π и интегрирование методом Монте-Карло.

На первом этапе работы, с методическими целями, метод Монте-Карло был применен к простейшей задаче – нахождению числа π . Эта задача была выбрана не случайно, так как ее можно решить не только численно, но и поставив реальный физический опыт. Результатом исследований на данном этапе работы, помимо непосредственно нахождения значения числа π , стало исследование зависимости погрешности метода от числа статистических испытаний и сравнение этой зависимости с теоретической.

Второй этап работы состоял в непосредственном применении метода Монте-Карло к вычислению некоторых интегралов, используя простейшее определение интеграла как площади под графиком. При этом был создан полноценный программный продукт с интуитивно понятным пользователю интерфейсом.

Нахождение числа π методом Монте-Карло

Для постановки физического опыта было использовано следующее оборудование: линейка, циркуль, два листа бумаги, несколько небольших тяжелых предметов (гайки, шарики и другие), копировальная бумага.

Пусть на некоторую плоскую область площади S ставится множество равномерно распределенных по координатам точек. При этом вероятность p попадания в некоторую фигуру пропорциональна ее площади $S_{\text{фиг}}$. Если количество точек N велико, то, по закону больших чисел, $\frac{N_{\text{фиг}}}{N} \rightarrow \frac{S_{\text{фиг}}}{S}$.

Таким образом, можно экспериментально установить соотношение площадей двух фигур. В частности, определяя соотношение площади круга и прямоугольника с известными радиусом и сторонами, можно измерить число π .

Эксперимент был проведен следующим образом. Построим на листе бумаги окружность и прямоугольник с характерными размерами, равными примерно половине или трети листа. Пусть стороны прямоугольника – a и b , радиус окружности – r . Наложим сверху лист копировальной бумаги и накроем ее листом обычной бумаги. Будем бросать мелкие тяжелые предметы с определенной высоты. При этом точки их падения будут отмечены на нижнем листе за счет копировальной бумаги. Эти точки будут распределены равномерно, по крайней мере, в некоторой области листа (круг и прямоугольник должны находиться в этой области). При этом отношение площадей $\frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{пр}}} = \frac{\pi r^2}{ab} \approx \frac{N_{\text{кр}}}{N_{\text{пр}}}$, где $S_{\text{пр}}$ и $S_{\text{кр}}$ – площади прямоугольника и круга соответственно, а $N_{\text{пр}}$ и $N_{\text{кр}}$ – количество попаданий в эти фигуры.

При этом можно экспериментально определить число π : $\pi \approx \frac{N_{\text{кр}} ab}{N_{\text{пр}} r^2}$.

Опираясь на полученные формулы, был создан программный код, который позволяет численно смоделировать описанный физический эксперимент. Отметим убывание погрешности метода Монте-Карло с ростом числа испытаний (рис. 1) – качественно зависимость погрешности от числа испытаний совпадает с теоретическими предсказаниями (убывает как единица на корень из числа испытаний).

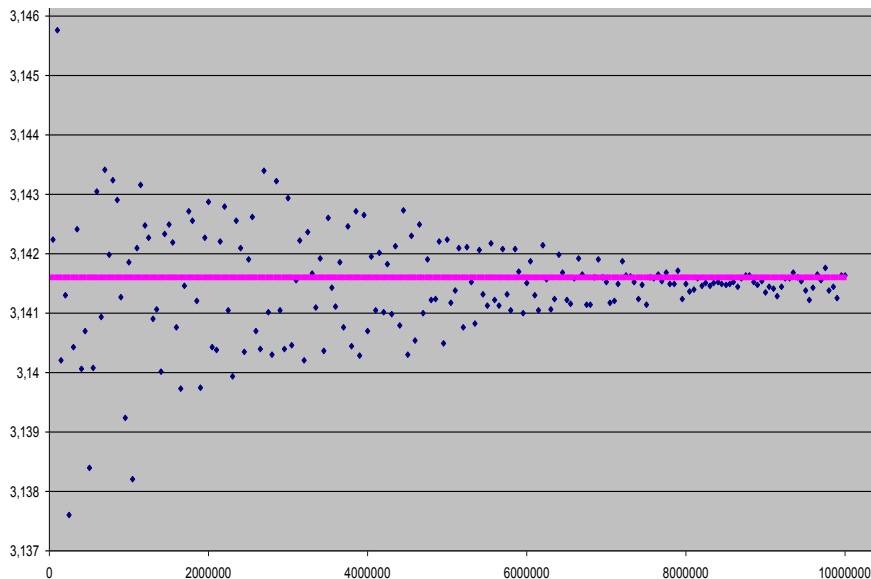


Рис. 1. Результаты численного моделирования числа π
(точки – значения числа π при различном количестве бросков,
линия – усредняющий график)

Интегрирование методом Монте-Карло

Метод Монте-Карло был применен также к взятию определенных интегралов. Понимая под определенным интегралом площадь под графиком функции, достаточно просто применить метод Монте-Карло к нахождению соответствующей площади и значения интеграла. При этом в качестве теоретической базы можно использовать те же формулы, что и при нахождении числа π . Таким образом, был создан программный код, позволяющий находить значения некоторых интегралов. В качестве примера работы такой программы было

численно найдено значение интеграла $\int_{-2}^2 x dx$. Результаты (в зависимости от числа точек от брошенных предметов) приведены в таблице. Как видно, с ростом числа точек алгоритм дает результат, все более близкий к истинному значению интеграла ($5\frac{1}{3}$).

Таблица 1. Результаты физического эксперимента по нахождению числа π методом Монте-Карло

Число бросков	Число π	Результат
1000 000	3,141592	3,135549
1000 000	3,141592	3,133785
1000 000	3,141592	3,132531
100 000	3,141592	3,123925
100 000	3,141592	3,127893
100 000	3,141592	3,129571
10 000	3,141592	3,119036
10 000	3,141592	3,114536
10 000	3,141592	3,119466
1000	3,141592	3,106721
1000	3,141592	3,104395
1000	3,141592	3,103652

Таблица 2. Результаты вычисления интеграла $\int_{-2}^2 x dx$ (точное значение $5\frac{1}{3}$)

Число точек	Результат
10 000 000 000	5,33331
1000 000 000	5,32512
100 000 000	5,32267
10 000 000	5,29864
1000 000	5,22442
100 000	5,20963
10 000	5,19627
1000	5,16403

Заключение. В результате проделанной исследовательской работы метод Монте-Карло был применен к решению двух практических задач.

Число π было найдено как с помощью численного моделирования, так и в реальном физическом эксперименте. Полученные результаты являются вполне отвечающими действительности. Кроме того, в рамках численного эксперимента была получена зависимость погрешности метода от числа испытаний. Как видно, погрешность убывает с ростом числа испытаний (примерно как единица на корень из их числа).

Задача интегрирования методом Монте-Карло также была успешно решена: создана программа, позволяющая интегрировать некоторые функции в определенных пределах. Результаты такого интегрирования совпадают с результатами аналитических расчетов.

Литература

1. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика – М.: Высшая школа, 2003.
2. *Ермаков С.М.* Метод Монте-Карло и смежные вопросы – М.: Наука, 1975.
3. *Копченова Н.В., Марон И.А.* Вычислительная математика в примерах и задачах. – М.: Наука, 1972.
4. *Маделунг Э.* Математический аппарат физики. Справочное руководство. – М.: Наука, 1968.
5. *Уоллес В.* Visual Basic .NET для «чайников». – М.: Вильямс, 2002.

Векторизация водных объектов на спутниковых снимках

Рой Виктор

10 класс

Научный руководитель П.А. Калинин,
мл. научный сотрудник ИПФ РАН



На языке программирования Borland Delphi 7 была написана программа, с помощью которой можно выделять водные объекты на рисунках формата .bmp. Полученная программа может быть использована для выделения водных объектов по спутниковым снимкам для уточнения и составления новых карт.

В настоящее время в свободном доступе находятся спутниковые снимки почти всей поверхности Земли, отражающие ее актуальное состояние. Тем не менее, они доступны лишь в виде растровых фотографий, а во многих приложениях желательны карты, на которых будут явно выделены различные объекты. Еще лучше, если объекты (или их контур) будут выделены отдельно, желательно в векторном виде, то есть в виде ломаной линии с вершинами, заданными географическими координатами.

Цель работы: написать комплекс программ, позволяющий выделять на спутниковых снимках водные объекты (реки и озера), векторизовать их и экспортировать результат в распространенный векторный формат. Программа должна быть широко настраиваемой, чтобы иметь возможность адаптации к различным спутниковым фотографиям, а также иметь возможность автоматической настройки параметров по данному снимку.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи: написать программу для распознавания однотонных областей на данном рисунке; осуществить подбор функции близости цветов с целью наиболее адекватного выделения водных объектов; написать программу, которая на данном спутниковом снимке будет закрашивать область, занятую озером или рекой; создать удобный пользовательский интерфейс для операционной системы Windows; добавить функционал по векторизации полученных областей с получением контура береговой линии озера или линии русла реки, в последнем случае также с выделением берегов реки.

Реализация. Программа написана на языке программирования Borland Delphi 7. Рисунки, загружаемые в программу, должны находиться в разрешении .jpeg.

Алгоритм, который мы использовали для поиска рек и озер, носит название «поиск в ширину», а также «обход в ширину» или «breadth-first search». Сначала мы выделяли некую начальную точку – пиксель, проверяли, нужна она нам или нет. После этого таким же образом проверяли все соседние точки. Таким образом, поиск в ширину осуществляется с помощью структуры «очередь». В «очередь» встают «соседи» «соседей» так, чтобы при этом выполнялось условие «первый пришел – первый ушел».

Так как основная задача на данный момент – это нахождение и выделение таких водных объектов, как реки и озера, нужно было придумать, как проверять картинку на наличие водных объектов. При этом возникает проблема, связанная с тем, что почти всегда водные объекты состоят из различных оттенков синего цвета, и если задать машине задачу искать конкретный оттенок, то ничего хорошего программа не выдаст. Следовательно, нужно реализовать проверку пикселя не на синий цвет, а на цвета, лежащие в диапазоне рядом с синим. Для сравнения двух цветов мы раскладываем их на красную, зеленую и синюю компоненты, после чего проверяем, верно ли, что компоненты цветов достаточно близки. Цвета считаются близкими, если одновременно их красные компоненты отличаются не более, чем на dR , зеленые – не более чем на dG , синие – не более чем на dB , где dR , dG , dB – константы, задаваемые заранее пользователем: $|r_1 - r_2| < dR$; $|g_1 - g_2| < dG$; $|b_1 - b_2| < dB$.

В начале работе мы сравнивали цвета пикселей с цветом начальной точки, то есть с первым выделенным пикселем. Но это было не всегда эффективно, так как из-за этого могли возникнуть проблемы: вместе с рекой или озером выделялась часть берега или не выделялась часть озера, где вода в разных частях имеет существенно разный цвет. Этот алгоритм зависел также от того, какой пиксель указать начальным. Поэтому мы добавили в программу возможность сравнения пикселя с их соседями, что частично помогло избавиться от проблем, описанных выше. В данном алгоритме уже было не важно, какой пиксель мы выберем начальным.

Интерфейс программы интуитивно понятен. Большую часть пространства занимает поле картинки, которую мы загружаем из файла

с помощью кнопки «открыть файл». Рядом с кнопкой «открыть файл» находится кнопка «обновить», которая сбрасывает результаты предыдущего поиска озера, чтобы можно было начинать поиск заново.

В правом верхнем углу окна программы находятся три поля ввода – это поля для ввода констант dR, dG, dB. В правой части окна программы можно выбрать, как будет осуществляться проверка пикселя: он будет сравниваться с соседним или с начальным пикселем. В нижней части окна программы находится строка текущего состояния. На ней показаны координаты и r,g,b компоненты двух пикселей – начального и того, на который в данный момент показывает стрелка мыши. Также в строке состояния можно найти площадь выделенного нами объекта.

Таким образом, нами была написана программа, с помощью которой можно выделять водные объекты на рисунках формата .jpeg. Почти все поставленные задачи были выполнены, кроме выделения берегов озера или реки. Далее планируется создать возможность выбора между выделением водного объекта полностью или только его контура, автоматизировать подбор коэффициентов для улучшения поиска, улучшить поиск с помощью специальной функции удаления «шумов», создать функции векторизации выделенного контура, выделить реки.

Полученный комплекс программ может быть использован для выделения водных объектов по спутниковым снимкам, для уточнения и составления новых карт. Комплекс программ может быть полезен всем, кому требуется точное знание расположения водных объектов (например, туристам).

Литература

1. *Гофман В., Хомоненко А.* Delphi быстрый старт. – М.: БХВ-Петербург, 2003. – 288с.
2. *Осипов Д.* Delphi. Профессиональное программирование. – М.: Символ-Плюс, 2006. – 1056 с.

Наука как призвание и профессия



Наука есть ясное познание истины, просвещение разума, непорочное увеселение жизни, похвала юности, старости подпора, строительница градов, полков, крепость успеха в несчастии, в счастии украшение, везде верный и безотлучный спутник.

Михаил Васильевич Ломоносов (1711 – 1765),
русский ученый, философ,
основатель Московского университета

Умственные занятия оказывают на человека такое благотворное влияние, какое солнце оказывает на природу; они рассеивают мрачное настроение, постепенно облегчают, согревают, поднимают дух.

Александр Гумбольдт (1769 – 1859),
немецкий естествоиспытатель, географ и путешественник,
один из основоположников современной геофизики и гидрографии

Я вполне сознаю, что могу увлечься ложным, обманчивым, пойти по пути, который заведет меня в дебри; но я не могу не идти по нему, мне ненавистны всякие оковы моей мысли, я не могу и не хочу заставить ее идти по дорожке, практически важной, но такой, которая не позволит мне хоть несколько более понять те вопросы, которые мучают меня... И это искание, это стремление есть основа всякой научной деятельности.

Владимир Иванович Вернадский (1863 – 1945),
русский естествоиспытатель и философ,
создатель науки биогеохимии

В жизни ученого и писателя главные биографические факты – книги, важнейшие события – мысли.

Василий Осипович Ключевский (1841 – 1911),
русский историк, академик,
автор «Курса русской истории»

Ученые и наука

Продолжая традицию публиковать в сборнике размышления выдающихся ученых о науке и обсуждать вопросы, возникающие у молодых людей при выборе профессии ученого, мы адресуем эту главу тем, кто активно стремится к самостоятельным поискам истины.

В предыдущем сборнике были представлены блестящие образцы научного творчества немецкого социолога, историка и экономиста Макса Вебера, русского христианского философа, писателя и публициста Ивана Александровича Ильина и нашего современника академика Анатолия Леонидовича Бучаченко. Читатели познакомились с тремя статьями о науке: «Наука как призвание и профессия» М. Вебера, «Мы, академики. Исповедь» из книги «Взгляд в даль. Книга размышлений и упований» И.А. Ильина и «Очарование наукой» А.Л. Бучаченко. Знакома юных исследователей с названными статьями, мы надеялись привлечь их к обсуждению вопросов о научном призвании, идеале научности, мотивах и ответственности при выборе профессии ученого.

Мы хотели бы продолжить этот разговор. И поэтому предлагаем читателям диалог двух исследователей науки: отечественного философа Владимира Ивановича Вернадского (1863 – 1945) и американского философа Томаса Куна (1922 – 1996). Это условный, мысленный диалог двух науковедов: в реальной жизни они не могли встретиться, однако нам интересен диалог их взглядов как «столкновение разных умов, разных истин, несходных культурных позиций, составляющих единый ум, единую истину и общую культуру».

Термин «диалог» (греч. *dialogos*) существует в транскрипции двух переводов: *di(s)* – «два» и *dia* – «между». В первом случае «диалог» означает разговор двух, «трилог» – трех, «полилог» – многих лиц. Для подчеркивания противоположности процесса – односторонней коммуникации – широко употребляется термин «монолог». Второй перевод термина – «между» – обуславливает расширенное толкование понятия «диалог» и предполагает взаимосвязь коммуникаций естественного и искусственного миров, общение с реальными и воображаемыми собеседниками. На наш взгляд, вторая трактовка точнее передает природу диалога.

Биографическая справка

Вернадский Владимир Иванович (1863 – 1945) – историк науки, естествоиспытатель, академик. Разрабатывал теорию ноосферы и развивал традиции русского космизма.

В 1918 – 1919 гг. В.И. Вернадский принимал активное участие в организации научной работы на Украине в качестве академика Российской Академии наук и эксперта. Вопросом, беспокоившим ученого в этот период, была консолидация научных сил и поиски форм их объединения. В начале августа 1918 года должен был состояться первый всеукраинский съезд естествоиспытателей. Но съезд не собрался. Из 250 делегатов прибыли лишь 26, поэтому вместо съезда прошло совещание естествоиспытателей. Публикуемый текст является наброском доклада, с которым В.И. Вернадский выступил на его открытии.¹

Как развивается наука? Какую роль в ней играют научные теории? Что такое научная парадигма и какова ее роль? Ответы на эти вопросы мы будем искать вместе с выдающимся американским историком и философом XX века Т. Куном. **Томас Кун** (1922 – 1996) – один из главных исследователей революционного процесса в науке, а его теория научных революций как смены парадигм стала основой современной философии науки, предопределив понимание науки и научного знания в современном обществе. Под парадигмой учёный подразумевал «признанные всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений».

В данном сборнике мы публикуем фрагменты из его книги «Структура научных революций».²

Итак, проследим за диалогом воображаемых собеседников.

¹ *Вернадский В.И.* О науке. Т. II. Научная деятельность. Научное образование. – СПб.: Изд-во РХГИ, 2002. С. 70 – 78.

² *Кун Т.* Структура научных революций / Пер. с англ. И.З. Налетова. – М.: АСТ:АСТ МОСКВА, 2009. – 317 с.

Тема 1. Для чего нужна научная работа, чем оправдывается научная деятельность и возможно ли согласие в науке?

В.И. Вернадский

На эти вопросы, то есть вопросы о научной работе как цели жизни – в общих и широких чертах – в зависимости от моральных типов человеческой личности, человечество дало три ряда и типа ответов. Жизнь имеет ценности как искание истины, достижение наибольшего проявления человеческой личности, ее блаженства или ее раскрытия. Жизнь человека имеет значение как облегчение страданий окружающих, служение ближнему, проявление чувства любви и сострадания. Наконец, третье – жизнь имеет значение как проявление нравственного закона справедливости, устройства жизни личности в обществе, построенном на нормах нравственного закона. В науке и религии, в философии и социальных исканиях мы видим проявление этих трех различных попыток оправдания жизни, и только этих трех...

Мне нет надобности после того, что сказал, касаться значения научной работы как цели искания истины. Этот индивидуальный ответ ярко связан с неизменностью значения науки в общем сознании в эпоху крушения и колебания других устоев жизни. Он оправдан жизнью тех, кто в этом искании видит цель жизни. Очевидно, они должны и дальше идти тем же путем.

Но я хочу в немногих словах остановиться на двух других формах выражения цели жизни – на альтруистическом оправдании ее как проявления любви и сострадания и на социальном оправдании ее как нравственного закона.

Т. Кун

Никакую естественную историю нельзя интерпретировать, если отсутствует хотя бы в неявном виде переплетение теоретических и методологических предпосылок, принципов, которые допускают отбор, оценку и критику фактов. Если такая основа присутствует уже в явной форме в собрании фактов (в этом случае мы располагаем уже чем-то большим, нежели просто факты), она должна быть подкреплена извне, может быть с помощью обыденной философии, или посредством другой науки, или посредством установок личного или общественно-исторического плана. Не удивительно поэтому, что на ранних стадиях развития любой науки различные исследователи, сталкиваясь с одними и теми же категориями явлений, далеко не

всегда одни и те же специфические явления описывают и интерпретируют одинаково. Можно признать удивительным и даже в какой-то степени уникальным именно для науки как особой области, что такие первоначальные расхождения впоследствии исчезают.

Ибо они действительно исчезают, сначала в весьма значительной степени, а затем и окончательно. Более того, их исчезновение обычно вызвано триумфом одной из допарадигмальных школ, которая в силу ее собственных характерных убеждений и предубеждений делает упор только на некоторой особой стороне весьма обширной по объему и бедной по содержанию информации. Те исследователи электрических явлений, которые считали электричество флюидом и, следовательно, делали особое ударение на проводимости, дают этому великолепный пример. Руководствуясь этой концепцией, которая едва ли могла охватить известное к этому времени многообразие эффектов притяжения и отталкивания, некоторые из них выдвигали идею заключения «электрической жидкости» в сосуд. Непосредственным результатом их усилий стало создание лейденской банки, прибора, которого никогда не сделал бы человек, исследующий природу вслепую или наугад, и который был создан по крайней мере двумя исследователями в начале 40-х годов XVIII века фактически независимо друг от друга.

Тема 2. Чей путь в науке оправдан жестоким опытом жизни?

В.И. Вернадский

Я помню в дни моей молодости горячие споры о том, как скорее и лучше подойти к избавлению человечества от горя, нищеты и страданий. Путем социальной революции и установления социалистического строя – отвечали одни. Путем увеличения общего богатства порабощением новых сил природы, познанием Природы и человека – отвечали другие. Жестокую пробу первого ответа дала переживаемая социальная революция. Совершился великий социальный опыт, и он дал такой ответ, такое разрешение спора, которое не рисовалось в самых фантастических предположениях и критике защитников научного искания как средства борьбы со страданиями человечества и несправедливостями социального строя. И в то же время жизнь не тронула идеала научных работников, искавших в науке не только научную истину, но и орудие любви и социальной справедливости. Правда, этот путь как был, так и остался долгим.

Невольно мысль переносится в прошлое, к биографиям социальных мыслителей и творцов науки. Чей жизненный путь оправдан жестоким опытом жизни? Ответ ясен, и передо мной встает образ того ученого, в жизненных научных исканиях которого ярко блистал элемент любви и сострадания, образ Пастера как человека, указывающего в то время, о котором я говорю, путь, сейчас оправданный историей.

Тема 3. Как развивается наука? Какую роль в ней играют научные теории?

В.И. Вернадский

Пуанкаре указал, что истина в наших областях знания, охватываемых математическим анализом и логикой символов, многообразна. Одно и то же может быть выражено в виде нескольких, на первый взгляд различных, законов, в действительности отмечающих разные стороны одного и того же явления. Но мысль Пуанкаре не охватывает все области проявления научной работы в творящем ее человеке. Человек в научном творчестве не только получает научную истину и этим создает науку, влияет на свою жизнь и свое мировоззрение, живет наукой. Он живет наукой при самом процессе научного творчества и научной работы. И в оправдании и в объяснении этого процесса научного творчества, в сознании его необходимости и важности для жизни, в его значении для цели жизни мы видим другую форму указанного Пуанкаре многообразия научной истины. Мы видим, что многообразие – достижение одного и того же, исходя из разных, казалось бы противоположных, построений, касается не только законов Космоса, не только получаемого натуралистами результата, но и касается тех поводов, которые заставляют нас, натуралистов, стремиться к достижению истины изучением Природы, – мотивов нашей научной деятельности.

Я думаю, что совпадение двух сторон научной работы – процесса и достижения – не есть случайность... В различных формах научных законов мы видим выражение одной и той же научной истины, в различных оправданиях научной работы как цели жизни мы видим проявление единой науки как всем обязательной единой формы искания научной истины.

Т. Кун

(*Кризисы в науке*) разрешаются не в результате размышления и интерпретации, а благодаря в какой-то степени неожиданному и не-

структурному событию... После этого события ученые часто говорят о «пелене, спавшей с глаз», или об «озарении», которое освещает ранее запутанную головоломку, тем самым приспособаблявая ее компоненты к тому, чтобы увидеть их в новом ракурсе, впервые позволяющем достигнуть ее решения...

...новая парадигма или подходящий для нее вариант, обеспечивающий дальнейшую разработку, возникает всегда сразу, иногда среди ночи, в голове человека, глубоко втянутого в водоворот кризиса. Какова природа этой конечной стадии – как индивидуум открывает (или приходит к выводу, что он открыл) новый способ упорядочения данных, которые теперь все оказываются объединенными, – этот вопрос приходится оставить здесь не рассмотренным, и, может быть, навсегда. Отметим здесь только один момент, касающийся этого вопроса. Почти всегда люди, которые успешно осуществляют фундаментальную разработку новой парадигмы, были очень молодыми, либо новичками в той области, парадигму которой они преобразовывали. И возможно, этот пункт не нуждается в разъяснении, поскольку, очевидно, они, будучи мало связаны предшествующей практикой с традиционными правилами нормальной науки, могут скорее увидеть, что правила больше не пригодны, и начинают подбирать другую систему правил, которая может заменить предшествовавшую.

В результате переход к новой парадигме является научной революцией...

Тема 4. Какую роль в развитии науки играет личность ученого?

В.И. Вернадский

Я перейду теперь к конкретному следствию из общих положений, нами полученных, – к вопросу о том, каким путем лучше и сильнее осуществить здесь, на Украине, широкую постановку научной творческой и исследовательской работы ее научных сотрудников.

Ибо раз только научная работа в текущий момент властно выставляется жизнью как такая цель жизни, которая имеет себе величайшее оправдание, совершенно независимое от событий, самих впечатлений дня, то, очевидно, мы должны поставить эту деятельность в условия, в которых она могла бы развиваться и проявляться наиболее широко, глубоко и разнообразно.

Научная деятельность общества и государства складывается сейчас из: 1) личной творческой работы, великой или малой – безразлично, отдельных людей, 2) из организации научной работы многих, 3) из создания центров и орудий научной работы – библиотек, музеев, лабораторий, исследовательских институтов.

Несомненно, в научной деятельности личная научная творческая работа, свободная и ничем не связанная, кроме личных вкусов и понимания науки, является основной ее чертой. Без нее нет научной деятельности. Научная работа – наряду с художественным творчеством – есть одно из самых ярких проявлений человеческой личности, ее индивидуальности. Целые века наука только и жила этой свободной самостоятельностью личностей.

Т. Кун

История исследования электрических явлений в первой половине XVIII века дает более конкретный и более известный пример того, каким образом развивается наука, прежде чем выработает свою первую всеми признанную парадигму. В течение этого периода было почти столько же мнений относительно природы электричества, сколько и выдающихся экспериментаторов в этой области, включая таких, как Хауксби, Грей, Дезагюлье, Дюфе, Ноллет, Уотсон, Франклин и другие. Все их многочисленные концепции электричества имели нечто общее – в известной степени они вытекали из того или иного варианта корпускулярно-механической философии, которой руководствовались все научные исследования того времени. Кроме того, все они были компонентами действительно научных теорий, – теорий, которые частично были рождены экспериментом и наблюдением и которые отчасти сами детерминировали выбор и интерпретацию дальнейших проблем, подлежащих исследованию. Несмотря на то, что все эксперименты были направлены на изучение электрических явлений и большинство экспериментаторов были знакомы с работами своих коллег, их теории имели друг с другом лишь весьма общее сходство.

Одна ранняя группа теорий, следуя практике XVII — XVIII веков, рассматривала притяжение и электризацию трением как основные электрические явления. Эта группа была склонна истолковывать отталкивание как вторичный эффект, обусловленный некоторым видом механического взаимодействия, и, кроме того, откладывать насколько возможно как обсуждение, так и систематическое иссле-

дование открытого Греем эффекта электрической проводимости. Другие «электрики» (как они сами себя называли) рассматривали притяжение и отталкивание как в равной мере элементарные проявления электричества и соответственно модифицировали свои теории и исследования. (Фактически эта группа была удивительно немногочисленна; даже теория Франклина никогда полностью не учитывала взаимное отталкивание двух отрицательно заряженных тел). Но и эти исследователи, как и члены первой группы, сталкивались со многими трудностями при анализе и сопоставлении всех (кроме самых простейших) явлений, связанных с электропроводностью. Однако электропроводность стала исходной точкой еще для одной, третьей группы исследователей, склонной говорить об электричестве как о «флюиде», который мог протекать через проводники. Эту точку зрения они противопоставляли представлению об «истекании», источником которого служат тела, не проводящие электричества. Но в то же время этой группе также трудно было согласовать свою теорию с рядом эффектов отталкивания и притяжения. Только благодаря работам Франклина и его ближайших последователей была создана теория, которая смогла, можно сказать, с одинаковой легкостью учесть почти все без исключения эффекты и, следовательно, могла обеспечить и действительно обеспечила последующее поколение «электриков» общей парадигмой для их исследований.

Если не считать дисциплин, подобных математике и астрономии, в которых первые прочные парадигмы относятся к периоду их предыстории, а также тех дисциплин, которые, подобно биохимии, возникают в результате разделения и перестройки уже сформировавшихся отраслей знания, ситуации, описанные выше, типичны в историческом плане. Поэтому и в дальнейшем я буду использовать это, может быть, не очень удачное упрощение, то есть символизировать значительное историческое событие из истории науки единственным и в известной мере произвольно выбранным именем (например, Ньютон или Франклин). При этом я полагаю, что фундаментальные разногласия, подобные рассмотренным, характеризовали, например, учение о движении до Аристотеля и статику до Архимеда, учение о теплоте до Блэка, химию до Бойля и Бургава или историческую геологию до Геттона. В таких разделах биологии, как, например, учение о наследственности, первые парадигмы появились в самое последнее время; и остается полностью открытым вопрос, имеются ли такие парадигмы в каких-либо разделах социологии. Ис-

тория наводит на мысль, что путь к прочному согласию в исследовательской работе необычайно труден.

Вопросы для размышления

1. Что является основанием для посвящения себя научной работе в нашем быстро меняющемся мире?
2. Как исторические события, социальные изменения влияют на науку и должна ли она меняться в вихре истории?
3. Что наука может дать человеку, посвятившему себя научному творчеству?
4. Согласны ли вы с утверждением Т. Куна, что «путь к прочному согласию в исследовательской работе необычайно труден»? Чья точка зрения на вопрос о пути к согласию в науке вам ближе: Т. Куна (к согласию приводит парадигмальность) или В.И. Вернадского (согласие обусловлено нравственным законом).
5. В чем, по мнению В.И. Вернадского, состоит красота научных занятий как целей жизни?
6. Как вы понимаете наблюдение Т. Куна: «всегда люди, которые успешно осуществляют фундаментальную разработку новой парадигмы, были очень молодыми, либо новичками в той области, парадигму которой они преобразовывали»?
7. Разделяете ли вы мнение В.И. Вернадского о том, что «научная работа – наряду с художественным творчеством – есть одно из самых ярких проявлений человеческой личности, ее индивидуальности», или вам ближе понимание Т. Куном роли в судьбе ученого принадлежности к общей парадигме?
8. Как изменилась организация научной работы в современном обществе? Чем это обусловлено?

Вопросы ценности знания являются общекультурными, поэтому они всегда волновали не только научное сообщество, к ним обращались поэты и писатели, политики и общественные деятели. Яркую образную картину науки создал в своей басне «Полезность знания» французский писатель XVII века Жан де Лафонтен (1621 – 1695)¹.

¹ Эзоп, Лафонтен, Крылов. Полное собрание басен в одном томе / Пер. с греч. и фр. – М.: «Издательство АЛЬФА-КНИГА», 2010. С. 545 – 546.

Жан де Лафонтен
Польза знания
(L'Avantage de la Science)

Два горожанина поспорили когда-то.
Один знавался с нищетой,
Хотя и был учен; другой
 Был неуч, – жил богато.
И неуч думал одержать
 Победу в распре шумной:
Он говорил, что уважать
Его обязан каждый умный.
Был просто глуп чужак: за что нам почитать
 Того, за кем и не водилось прежде,
 Да и теперь не числится заслуг?
Ученый волю дал кичливому невежде:
 «Друг,
 Болтал мой неуч, увлекаясь,
Себя считаешь ты влиятельным лицом.
 Скажи – для всех открыт твой дом?
Что толку – целый век читать, не отрываясь?
Живут ученые в подвалах да углах,
 Зимой как летом одеваясь;
За камердинера – их тени на стенах.
Сознаться, родина немного получает
 От тех, что медный тратят грош.
По мне, тот гражданин и дорог, и хорош,
Чья роскошь пышная богатство расточает;
А в этой пышности живем лишь мы! Дойдут
 Все те из прихотей, которых знатный просит,
К купцу и к мастеру, и к тем, что платья шьют,
 И к той, которая их носит;
Затронут и ученых, вас,
 Нам посвящающих подчас
Свои, оплаченные золотом, творенья».
Смолк неуч... Эту речь бесстыдного глумленья

Постиг заслуженный урок:
Ученый не сказал ни слова в заключение,
И что он тут сказать бы мог?
Но за ученого отомстила
Война:
Разрушена была цветущая страна,
Где наших горожан жизнь мирно проходила.
Покинули они родимый городок...
Куда ни приходил невежда разоренный,
Нигде он выпросить пристанища не мог;
С любовью встречен был повсюду мой ученый.
Так распря их судьбой была разрешена.

Пусть мелют дурни – речь дурацкая смешна:
У знания есть своя цена.

Перевод П. Порфирова

Для тех, кто уже определился в своих интересах к исследовательской работе, будут полезны советы итальянского ученого – философа, профессора Болонского университета, писателя с мировой славой Умберто Эко, о выборе темы исследования. Мы предоставляем вниманию читателей главу из его книги «Как написать дипломную работу»², в которой рассматриваются требования к теме научного исследования. Надеемся, что данные рассуждения помогут юным исследователям определить свой путь в науке и добиться на нем успеха.

Умберто Эко

Что значит «научная» тема?

Многие считают «научными» только естественные дисциплины или количественные исследования: работа-де не «научна», если в ней нет формул и диаграмм. При подобной логике «не научна» работа по морали у Аристотеля, но в той же степени «не научна» и рабо-

² Эко Умберто. Как написать дипломную работу / Пер. с ит. Е. Костюкович. – М.: Книжный дом «Университет», 2001. С. 38 – 44.

та по классовой борьбе и крестьянским восстаниям в Европе в эпоху Реформации.

Разумеется, вовсе не так воспринимают «научность» в университетах. «Научная» модель в принципе была задана естественными дисциплинами еще в семнадцатом веке и с тех пор предполагает соблюдение следующих норм:

1) *Предмет исследования должен обладать узнаваемостью и поддаваться описанию.*

«Предмет» не обязательно существует в жизни, «предметом» может выступать квадратный корень, хотя никто этого корня не видел. Социальные классы – законный предмет науки. Если кто возразит, что при бесспорном существовании отдельных личностей и бесспорном существовании статистических масс классы как таковые существованием не обладают, на это имеется ответ, что не существует и класс простых чисел, больших 3725, а математики этим классом занимаются.

Определить предмет значит определить условия, при которых можно о предмете говорить на основании правил, которые мы сами себе установили или которые другими установлены до нас. Когда мы устанавливаем правило, на основании которого простое число, большее 3725, поддается узнаванию при встрече с ним, значит, мы установили правило узнавания предмета работы.

Разумеется, возникают аналогии: может ли, в частности, выступать предметом науки *вымышленная* реальность, которой, по общему представлению, существование не присуще, например, кентавры?

Рассмотрим три возможных пути определения кентавров как предмета. Прежде всего, взять кентавров как элемент греческой мифологии: предмет сделается общеузнаваемым и определимым, поскольку будут анализироваться тексты (вербальные или визуальные), содержащие кентавров. Задачей будет показать, какими свойствами должна характеризоваться данность, содержащаяся в греческой мифологии, дабы быть опознанной как кентавр.

Во-вторых, попытаться определить свойства, которыми должна характеризоваться данность вероятного мира (отличного от мира реального), дабы быть названной кентавром. При этом задача – обозначить условия этого вероятного мира, предуведомив, что все рассуждение развернется в сфере этой гипотезы. Сохраняя верность первоначальной постановке вопроса, прийти к выводу, что предмет

исследования в вероятном мире имеет вероятную возможность быть предметом научного рассмотрения.

В-третьих, мы можем заявить, будто обладаем доказательствами, что кентавры действительно существуют. Чтоб определить предмет исследования, мы обязаны предъявить эти доказательства (скелеты, костные останки, отпечатки в вулканической лаве, фотографии в инфракрасных лучах, сделанные ночью в лесах Пелопоннеса, или что еще мы там раздобудем). Истинна наша гипотеза или ложна, но что-то, подлежащее обсуждению, в данном случае существует.

Разумеется, пример парадоксален, вряд ли кого привлекает диплом по кентаврам, в особенности в третьем рассматриваемом варианте. Я просто хочу убедить, что предмет исследования всегда определим и он будет всегда узнаваем, лишь бы соблюдались первоначальные условия. Что применимо к кентаврам, явно приложимо и к моральной линии поведения, к желаниям, к ценностям или к идее исторического прогресса.

2) В исследовании *должно быть сказано о предмете нечто, чего еще не говорилось*, или должны быть как-то переосмыслены идеи, уже кем-либо высказанные. Математически точная работа, доказывающая традиционным способом теорему Пифагора, научной не является, поскольку нового не открывает. Самое большее, она может претендовать на титул научно-популярной, равно как и руководство по строительству собачьей будки с употреблением фанеры, досок, пилы и молотка с гвоздями. ... даже компилятивная [работа] может оказаться научно полезной, если компилятор распределил системно и по порядку суждения, высказывавшиеся разными учеными по одному и тому же вопросу. Поэтому руководство, как построить собачью будку, не является научной работой; а, напротив, сравнительно-сопоставительное исследование многообразных известных на свете методологий строительства песчых будок вполне может претендовать на научную ценность.

Нужно только учитывать вот что. Компилятивное исследование имеет хоть какой-то научный смысл лишь при условии, что ничего подобного на эту тему до тех пор не создавалось. Если собачьи конуры уже выступали предметом сравнительно-сопоставительного компендиума, делать сызнова то же самое есть непростительная растрата времени (или грабеж интеллектуальной собственности).

3) *Исследование должно быть полезно для других.* Полезна статья, описывающая новое открытие о поведении элементарных частиц. Полезна и заметка, описывающая, каким образом был отыскан неизвестный черновик Леопарди, и содержащая полную публикацию текста. Работа научна, если (при учете требований норм 1 и 2, см. выше) добавляет хоть что-либо к тому, что человечеству было ведомо прежде, и если все будущие работы по предмету должны будут, хотя бы по теории, учитывать этот вклад. Разумеется, степень научной ценности вклада пропорциональна степени необходимости его для окружающих. Существуют сообщения, после появления которых ученые, если не учтут их, не сделают ничего путного. А другие сообщения хотя в общем для ученых и бесполезны, но не учитывая их, никто не умрет...

4) *Исследование обязано намечать пути проверки и опровержения предлагаемой идеи,* то есть содержать наброски для продолжения работы другими исследователями. Это требование принципиальное. Я свободен доказывать, будто существуют кентавры на Пелопоннесе, но я обязан соблюсти четыре обязательных условия: а) пусть будут представлены доказательства существования там кентавров (как уже говорилось: хоть одна прихвостная кость); б) пусть будет сказано, как и где удалось найти это прихвостье; в) пусть будет намечен путь, которым следует идти, чтоб отыскать остальные реликты; г) вдобавок должно быть указано, кость какого фасона, будучи найдена, разнесет в мелкую пыль всю мою великолепную гипотезу.

Итак, вы не только приведете доказательства своей идеи, но и сделаете все возможное, чтоб другие могли пойти вслед за вами, дабы подтвердить вашу идею – или опровергнуть ее.

Все это применимо к любому материалу...

С помощью предложенного ниже теста вы можете заняться самостоятельной диагностикой таких качеств ума, необходимых исследователю, как быстрота и сообразительность.

Тест «КОТ» – Краткий ориентировочный тест (русскаяязычная адаптация теста Вандерлика)

Инструкция: Перед вами 12 вопросов. Задания, включенные в текст, разной сложности. Время выполнения – 8 минут. Засекайте время и не обманывайте себя.

1. Одиннадцатый месяц года – это октябрь, май, ноябрь, февраль?
2. Слово «суровый» является противоположным по значению слову: а) резкий, б) строгий, в) мягкий, г) жесткий, д) неподатливый?
3. Какое из приведенных слов отлично от других: а) определенный, б) сомнительный, в) уверенный, г) доверие, д) верный?
4. Ответьте «да» или «нет». Сокращение «н.э.» означает «нашей эры» (новой эры)?
5. Какое из следующих слов отлично от других: а) петь, б) звонить, в) болтать, г) слушать, д) говорить?
6. Какое из приведенных слов относится к слову «жевать» как «обоняние» к «нос»? Слова: а) сладкий, б) язык, в) запах, г) зубы, д) чистый.
7. Предприниматель купил несколько подержанных авто за 3500 долларов, а продал их за 5500 долл., заработав при этом 50 долл. за каждый автомобиль. Сколько машин он перепродал?
8. Слова «стук» и «сток» имеют а) сходное значение, б) противоположное, в) ни то, ни другое.
9. Три лимона стоят 45 копеек. Сколько стоят 1,5 дюжины?
10. Какое число является наименьшим? 6; 0,7; 9; 36; 0,31; 5.
11. Расставьте предлагаемые слова в таком порядке, чтобы получилось правильное предложение. Слова: есть, соль, любовь, жизнь.
12. Смысл двух английских пословиц: «Швартоваться лучше двумя якорями»; «Не клади все яйца в одну корзину» а) схож, б) противоположен, в) ни то, ни другое.

Итак, оцените свою сообразительность, исходя из 12 баллов, присваивая 1 балл за каждый правильный ответ. Ответы см. на стр. 190. Количество правильных ответов от одного до четырех означает, что это качество развито слабо или вы «тугодум»; 5 – 8 баллов означают быстроту и гибкость мышления, а 9 – 12 правильных ответов говорят о хорошей организованности и сообразительности выше средней.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
-------------------	---

ВОПРОСЫ СОДЕРЖАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ

<i>Ермилин А.И., Перфильева Е.И.</i> Интеллектуальное воспитание одаренных школьников в условиях дополнительного образования	13
--	----

ФИЗИКА

<i>Барышникова Наталья.</i> Выявление изменения плотности воды при нагревании	28
<i>Богданов Андрей.</i> Экспериментальное исследование свойств медицинского ртутного термометра	31
<i>Глявина Мария.</i> Использование лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии для исследования растений на примере листа каланхоэ	35
<i>Ермилин Елисей.</i> Исследование проводимости электролитов	41
<i>Иванова Анастасия.</i> Исследование распределения магнитной индукции вокруг источников магнитного поля	45
<i>Карпов Егор.</i> Проверка уравнения Менделеева – Клапейрона и закона Фарадея для электролиза	49
<i>Клейменов Павел.</i> Эффект Баркгаузена	53
<i>Локтев Федор.</i> Устройство «веревочного телефона»	58
<i>Паришина Наталья.</i> Измерения показателя преломления жидкости с помощью линзы	63
<i>Преображенский Глеб.</i> Измерение скорости испарения воды по изменению влажности	67
<i>Раксин Александр.</i> Коронный и искровой разряд в воздухе: продолжение исследования	70
<i>Рябинин Иван.</i> Построение генератора инфразвуковых колебаний	75
<i>Савкин Сергей.</i> Исследование зависимости качества воспроизведения звука от громкости работы динамика	80
<i>Садова Дарья.</i> Уникальные свойства света лазера	84
<i>Сидоров Дмитрий.</i> Компьютерное теплофизическое моделирование герметичных квазиоптических окон приборов терагерцового диапазона длин волн	89
<i>Стивак Алексей.</i> Исследование волн на поверхности воды: от гравитационных волнений до капиллярных возмущений.....	94
<i>Сучкоусов Андрей.</i> Измерение постоянной Больцмана методами спектроскопии	99

<i>Шайкина Анастасия. Исследование эффекта Фарадея</i>	106
<i>Шалаева Полина. Применение метода сканирования углового спектра для контроля крупногабаритной астрономической оптики</i>	111
<i>Шампоров Василий. Исследование шумовых параметров радиоприемных устройств при криогенных температурах</i>	115
<i>Шимкевич Рут. Исследование броуновского движения</i>	120
<i>Штейн Вадим. Левитация магнитов</i>	124
<i>Ягилев Михаил. Анизотропия бумаги</i>	129

АСТРОНОМИЯ

<i>Надришина Яна. Расчет времени гравитационного коллапса протозвездного облака</i>	134
---	-----

ХИМИЯ

<i>Бояркин Михаил. Лекарственные формы аспирина и их определение</i>	138
<i>Краснова Анастасия. Изучение особенностей радикальной полимеризации метакриловой кислоты</i>	141
<i>Лоцилова Татьяна. Мониторинг содержания свободного и связанного хлора в водах централизованного водоснабжения Нижнего Новгорода</i>	146
<i>Пименов Владимир. Идентификация ионов золота в растворах</i>	151
<i>Слепченков Александр. Укрепление текстильных материалов водорастворимыми акриловыми сополимерами</i>	154

ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

<i>Аникин Всеволод. Моделирование спектра молекулы СО квазиклассическими методами</i>	162
<i>Ермолаев Артем. Метод Монте-Карло и его применение</i>	167
<i>Рой Виктор. Векторизация водных объектов на спутниковых снимках</i>	172

НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ

<i>Ученые и наука</i>	177
<i>Лафонтен Ж. Польза знания</i>	186
<i>Эко Умберто. Что значит «научная» тема?</i>	187
<i>Тест «КОТ»</i>	191