

# **Школа юного исследователя**

Сборник  
исследовательских работ учащихся

*Выпуск 5*

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., 2012. – ISBN 978-5-93530-289-4.

Вып 5 / Под общ. ред. А.И. Ермилина, Е.В. Ермилиной. – 208 с.

### **Под общей редакцией**

канд. пед. наук

*А.И. Ермилина,*

канд. пед. наук

*Е.В. Ермилиной*

e-mail: ermilin-aleksandr@mail.ru

### **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, старший преподаватель ННГУ им. Н.И. Лобачевского  
*Е.В. Елипашева*

**Р и с у н к и** *Е.И. Гачева и Е.Н. Гачева*

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся ШЮИ – призеров VII итоговой конференции школьников «В мире знаний», прошедшей в апреле 2012 года в ННЦ РАН.

ISBN 978-5-93530-383-9 (вып. 5)  
ISBN 978-5-93530-289-4

© Нижегородский научный центр РАН, 2012  
© Оформление. ИП Гладкова О.В., 2012

## ПРЕДИСЛОВИЕ

2012 год богат на юбилеи. Мы празднуем в этом году три важных события: десятилетие программы дополнительного научного образования школьников «В мире знаний» и двадцатипятилетие летней физико-математической школы (ЛФМШ), которые реализуются на базе летнего лагеря им. Н.С. Талалушкина и научно-образовательного комплекса ИПФ РАН. В этом году мы празднуем и свой личный, рабочий юбилей – двадцать лет назад мы возглавили лагерь им. Н.С. Талалушкина и по сей день организуем его работу.

В 2002 году в качестве пилотного проекта нами была задумана и реализована программа «В мире знаний». Десять лет программа разрасталась, включая новые направления, идеи, заинтересованных сотрудников ИПФ РАН, педагогов вузов и профильных школ Нижнего Новгорода. Сегодня она включает не только летние смены «Умные каникулы», но и Школу юного исследователя Нижегородского научного центра РАН, а также конференцию исследовательских работ школьников «В мире знаний».

В юбилейный год возобновилось еще одно направление программы, не развивавшееся последние три года из-за трудностей с финансированием, – образовательный туризм. Призеры летних исследовательских смен в сентябре 2012 года отправились в призовую поездку в город Чкаловск Нижегородской области – на родину нашего знаменитого земляка В.П. Чкалова. Поездка приурочена к еще одному юбилею этого года – 75-летию перелета В.П. Чкалова по маршруту Москва – Северный полюс – Ванкувер.

Юбилейный год побудил по-новому оценить нашу деятельность. Так родился новый символ летних смен. Теперь на футболках участников летних исследовательских смен красуется ЛИСенок – летняя исследовательская смена. Аббревиатура подсказала и логотип – лисенок всегда воспринимается добрым, подвижным, ищущим новых знаний и восприятий. Ему интересно все, в том числе и то, как устроен мир. Он хочет понять законы, по которым мир существует: Почему восходит солнце? Почему трава зеленая? Почему велосипед не падает? Разгадывая эти загадки, мы становимся исследователями, получаем новые знания. А это и есть цель научной деятельности.

В летние исследовательские смены мы предлагаем ребятам попробовать свои возможности в качестве ученого-исследователя. Это удастся не всем, но многие проявляют уникальные способности. Та-

ким школьникам мы стараемся предоставить возможность проявить свои исследовательские таланты на более серьезном уровне, надеясь на то, что из них получатся настоящие ученые, которые дадут нам возможность более полно понимать окружающий нас мир.

Наша задача заключается в том, чтобы популяризировать науку как сферу деятельности человека, заинтересовать школьников поиском новых знаний, познакомить их с миром науки. Те из них, кто продолжили занятия в Школе юного исследователя (ШЮИ), впоследствии получили признание на всероссийских и международных научно-исследовательских конференциях, многие приняли решение заниматься наукой профессионально. У тех, кто родом своей деятельности избрал творческие и управленческие профессии, навсегда останется уважение к науке, осознание необходимости ее существования. Победой это назвать нельзя, но сказать, что «интеграл положительен», можно.

Научные секции программы традиционны и имеют естественно-научную направленность – физика, астрономия, химия, биология, информатика, математика. Они все популярны среди школьников, причем исключена какая-либо эзотерика. Кроме того, организуются и гуманитарные секции – психология, история и литература. Исследователю важно уметь доносить свою мысль до других людей. Поэтому особое внимание уделяется журналистике и ораторскому искусству, которые учат ребят формулировать мысли как устно, так и письменно, управлять собой, не бояться публичных выступлений. Выбор ребятами секций – процесс индивидуальный, он зависит от интересов всех участников. Большую роль в этом играет личность педагога, его готовность создать исследовательскую команду, и желание молодежи в этой команде поработать. Лето – это время, когда можно отдыхать и проявлять свои интересы и способности в различных сферах деятельности. В лагере прекрасно работают спортивные секции, изостудия, музыкальный кружок, шахматная секция, существует система самоуправления со всеми элементами, присущими организации *city*.

Время диктует свои законы. Изучение иностранных языков становится объективно необходимым, но этим должна заниматься школа; за 21 день невозможно обучить языку. В рамках смены мы можем предоставить возможность попрактиковаться в разговорном языке. Подобный опыт у нас есть – студенты и преподаватели из Англии, США, Франции проводили отпуска в Талалушкино. Если будет возможность, мы возобновим такую практику.

Шустрый талалушкинский лисенок успеваает везде: в кружке он с лупой и книжкой, на футбольном поле – с мячом, в изостудии – с палитрой, в мэрии – в строгом галстуке. Он исследует окружающий мир и везде «сует свой нос».

Что бы выбрал я, если бы был школьником? Не знаю. Поиск – это нормальное состояние человека. Всегда хочется узнать что-то новое. Мир науки широк. Физику можно делить на оптику, механику, гидрофизику и прочее, химию – на аналитическую, физическую, коллоидную и т.д. В современном мире нужно обладать знаниями во всех областях. Поэтому я бы попробовал все!

Победителей летних смен мы приглашаем продолжать занятия в течение учебного года в Школе юного исследователя. Однажды включившись в исследовательскую деятельность, ребята очень редко ее покидают. Они снова и снова едут в лагерь, хотя порой занимаются исследованиями в лабораториях ИПФ, ННГУ и НГТУ, участвуют и побеждают во всероссийских и международных конференциях. Чем же так притягателен для них лагерь? Исследовательский лагерь – это не только интересные занятия, это особое сообщество ребят и педагогов, объединенных общими интересами и стремлениями. Это возможности поиска новой проблемы, знакомства с новой областью знаний, выбора занятий, на которые в учебном году не хватало ни сил, ни времени.

Кажется, что двадцать дней это мало и ничего серьезного сделать за этот период нельзя. В действительности – это три недели, когда педагог и подросток не только встречаются на несколько часов во время занятий, но и живут в одном месте, где дух исследования буквально витает в воздухе. Здесь педагога можно найти в любое время и задать ему интересующий вопрос: на лавочке, на тропинке, даже в столовой. Да и время занятий используется намного эффективнее, чем в учебном году – никуда не надо ехать, бежать, опаздывать, все рядом: лабораторный и компьютерный классы, педагоги, научная библиотека, товарищи, которые занимаются рядом своими экспериментами. Сама среда порождает вопросы и дает возможность обсудить их сразу же, а не ждать следующей встречи. Для ребят с пытливым умом это именно та обстановка, к которой они стремятся. Поэтому и приезжают они в лагерь снова и снова.

Но при этом сложности возникают у педагогов. В отличие от ШЮИ, где у научного руководителя один – два ученика, с которыми он проводит совместную исследовательскую работу, в лагере у педагога 10, а иногда и больше ребят, еще столько же посещают занятия,

но выполняют работу по другим предметам. Подростков, желающих вести самостоятельное исследование, в смене много, а отказать настоящий педагог, а только такие работают в лагере, никому не может. С каждым ребенком педагогу нужно придумать интересную тему, поставить эксперимент, проанализировать результаты, подготовить выступление. Поэтому летние работы – учебные, это только проба поиска проблемы и одного из путей ее решения. В ШЮИ временной период продолжительнее, можно тщательно изучить и обдумать проблему, подойти к ней с разных сторон, скорректировать эксперимент на основе полученных данных и провести его снова.

Конференция – это главное итоговое мероприятие смены и учебного года, на которой молодые исследователи представляют свои работы на суд высокого жюри. В состав жюри включаются научные сотрудники НИИ и вузов Нижнего Новгорода. Я выражаю всем коллегам благодарность, за содействие и участие в проведении конференций. Данная общественная инициатива позволяет формировать, сохранять и развивать научное сообщество.

В этом году случилось и еще одно значимое событие – Нижегородский научно-просветительский центр «Знание-НН» начал работу со школьниками. Всесоюзное общество «Знание», созданное в нашей стране в июле 1947 года под руководством президента Академии наук СССР С.И. Вавилова, имело свои региональные отделения по всей стране, в том числе и в городе Горьком – современном Нижнем Новгороде. После двадцатилетнего перерыва в работе, в течение которой традиции просветительства и популяризации научного знания были в значительной степени утрачены, еще одна общественная инициатива все активнее возвращается в нашу жизнь. 9 ноября 2011 года в нашем городе состоялась первая открытая лекция С.П. Капицы «Парадоксы роста и человеческого развития». А год спустя лекцией «Озоновый щит Земли» доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника ИПФ РАН Ю.Ю. Куликова открылся школьный лекторий. Ведущие ученые Нижегородского научного центра готовы рассказать школьникам о важнейших научных открытиях, проблемах и перспективах современной науки.

В недалеком будущем в управлении государством будут принимать участие наши дети. И решения они будут принимать на основе знаний, полученных как самостоятельно, так и тех, которые мы сегодня им можем и стараемся передать. А значит наш труд – это инвестиции в будущее.

*А.И. Ермилин*

# Научное руководство как исследовательская деятельность



*Пусть ученик не заучивает науку, а выдумывает ее сам.*

*Час работы научит больше, чем день объяснения.*

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

*Самым поучительным предметом, самым живым примером для ученика является сам учитель.*

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



## Образы науки и ученого в представлении школьников



**А.И. Ермилин**

кандидат педагогических наук,  
Институт прикладной физики РАН



**Е.В. Ермилина**

кандидат педагогических наук,  
Институт прикладной физики РАН

Процесс идентификации себя в научном мире во многом обусловлен представлениями школьника об образе ученого и специфике научной деятельности. В психологических исследованиях обсуждаются две модели исследовательского поведения научного работника: первая, основанная на позитивизме, предусматривает полную погруженность исследователя в свою научную проблему, вторая – ученый с широкими взглядами, обладающий не только культурной эрудицией, но и социальными, культурными компетенциями, тонко разбирающийся в гуманитарных проблемах своего времени.

Эстонский психолог К. Рамуль (1879 – 1975) собрал интересные исторические факты о природе исследовательской деятельности и на их основании перечислил следующие необходимые или важные для каждого ученого качества:

- спонтанная любознательность. Известный пример рано пробудившейся у ученого неутомимой и никогда не ослабевавшей «жажды знаний» мы имеем в личности М.В. Ломоносова;
- способность продолжительное время заниматься решением одной и той же проблемы. Всем известны примеры ученых, в исключительной степени обладавших способностью долго и упорно работать над разрешением одной важной научной проблемы – Ч. Дарвин и И.П. Павлов. Первый опубликовал свой главный труд «О происхождении видов» лишь после более чем двадцатилетней работы над теорией эволюции, а второй около тридцати

пяти лет, до самой смерти, занимался исследованием (главным образом, с помощью метода условных рефлексов) высшей нервной деятельности человека и животных;

- сравнительно высокая степень научной одаренности. Научная одаренность предполагает развитие следующих способностей: память, творческое мышление, фантазия, наблюдательность.

Особый интерес в статье ученого и педагога К.А. Рамуля вызывает раздел «Отдельные черты личности». Автор называет, помимо «научной одаренности», энтузиазм, прилежание, дисциплинированность, способность к самокритике, беспристрастие и умение ладить с людьми [2, с. 128].

Психолог А.В. Юревич попытался систематизировать разнообразие представлений о личности ученого. У него получился образ, включающий следующие компоненты.

1. Высокий интеллект, часто отождествляемый с высокой творческой одаренностью (это не одно и то же, поскольку можно быть умным, но не творческим человеком, и наоборот).
2. Полная уверенность во всеилии логического мышления и умение его осуществлять.
3. Совершенные навыки экспериментирования, обеспечивающие оптимальный сбор абсолютно надежных данных.
4. Объективность и эмоциональная нейтральность, лояльность только к истине.
5. Гибкость, состоящая в постоянной готовности изменить свое мнение, но под давлением фактов, а не из желания кому-либо угодить.
6. Скромность и личная незаинтересованность в славе и признании.
7. Коллективизм, проявляющийся в постоянной готовности делиться знаниями и вступать в кооперативные отношения с коллегами.
8. Отсутствие категоричных суждений в тех случаях, когда факты недостаточны или неоднозначны.

Понимая, что эти категории отражают максимализм нравственных требований к личности, А.В. Юревич называет такой образ ученого «сказочным».

А каким видят человека науки современные школьники? Мы предлагаем результаты исследования представлений школьников о науке и образе ученого, проведенного Научно-образовательным центром ИПФ РАН в 2010 – 2011 гг. Мы предложили участникам летних исследовательских смен (ЛИС) и ученикам Школы юного исследователя (ШЮИ ННЦ РАН) описать в свободной форме свое представ-

ление о человеке науки. Нами были проанализированы 912 суждений, высказанных 122 участниками ЛИС и 90 учениками ШЮИ.

Приведем составленный на основе анкетирования рейтинг представлений о личностных качествах и профессиональных способностях, необходимых, по мнению наших респондентов, для научно-исследовательской деятельности:

- 1) интеллектуальные способности: эрудированный, интеллектуальный, владеющий обширными современными разносторонними знаниями, хорошо образованный, постоянно учащийся;
- 2) исследовательские творческие способности: пытливый склад ума, высокий уровень логического мышления, развитая фантазия и воображение, способность творчески подходить к новым задачам, уверенность в себе;
- 3) волевые качества;
- 4) отношение к работе: интерес к науке, любовь к своей работе, стремление постичь как можно глубже свою специальность, усердие в работе, трудолюбие, альтруизм, оптимизм, неиссякаемый энтузиазм;
- 5) ораторские способности: просветитель, умело передающий знания другим людям, своим ученикам, правильно излагающий свои мысли и доказывающий свою точку зрения;
- 6) способность к рефлексии: осознание необходимости такой деятельности, ответственность, желание быть полезным, способность к самоанализу и исправлению своих ошибок.

Насколько информированы сегодняшние школьники в вопросах истории науки? Изучая общую информированность школьников об исторических судьбах науки, мы попросили учеников Школы юного исследователя ответить на следующие вопросы: Каковы наиболее примечательные результаты науки, оказавшие влияние на нашу жизнь? Назовите фамилии наиболее крупных, с вашей точки зрения, ученых? Какие достижения (изобретения, открытия и т.д.) отечественных ученых вы знаете? Кого из отечественных ученых вы можете назвать. Были получены следующие результаты.

1. Взгляд школьников в основном обращен в прошлое. 40 учащихся ШЮИ назвали 63 научных открытия, оказавших, по их мнению, решающее влияние на жизнь людей. Возглавляет рейтинг открытие радиоволн, на основе которого были созданы радио, средства связи и телевидение – 14 ответов (22,2%). Далее следуют компьютерные технологии – 9 ответов (14,3%). На третьем месте созда-

ние сначала парового двигателя, а затем двигателя внутреннего сгорания, позволивших создать современный парк машин – 6 ответов (9,5%). Открытие электричества и достижения ядерной физики (атомная энергетика, ядерное оружие) получили по 5 ответов (по 7,9%). Далее следуют изобретение лазера, полеты людей в космос и достижения органической химии (нефтепродукты, пластмассы). Школьники также назвали открытие антибиотиков, книгопечатание и изобретение колеса.

2. Среди достижений отечественных ученых главным, по мнению школьников, было изобретение А.С. Поповым радио. Всего школьниками было дано 79 ответов, из них изобретение радио было названо 22 раза (27,8%). Следующим открытием отечественных ученых, с которым знакомы школьники, является периодическая система Д.И. Менделеева – 17 ответов (21,5%). Изобретение водородной бомбы А.Д. Сахаровым заняло третье место – 15 ответов (19%). Среди отечественных изобретений школьниками также названы разработки первого русского телефона и электродвигателя (по 3 ответа – 3,8%), однако имена русских ученых П.М. Голубицкого и Б.С. Якоби учащимся оказались неизвестны. По два ответа (2,7%) были отданы изобретениям графена А.К. Геймом и дирижабля К.Д. Циолковским. Все остальные ответы носят единичный характер.

3. В восприятии школьников человек науки – человек вне времени. Как правило, это мужчина, и в большинстве случаев ученый прошлого. Всего было дано 207 ответов и названы 53 ученых с мировым именем. 10%-ный барьер выборки преодолели три имени: И. Ньютона, А. Эйнштейна, Д.И. Менделеева, чуть менее 10% – М.В. Ломоносова, А.С. Попова, А.Д. Сахарова. Далее школьники указали Архимеда, Галилея, П. Кюри, Леонардо да Винчи (по 6 упоминаний), Н.И. Лобачевского, А. Нобеля, Мари Склодовскую – Кюри, 3. Фрейда (по 5 упоминаний).

Среди отечественных ученых школьники назвали 35 человек, все из них мужчины. Среди названных имен 9 принадлежат нашим современникам, из них 7 – научные сотрудники ИПФ РАН, где получают дополнительное научное образование учащиеся Школы юного исследователя (9 ответов из 142). Более 14% ответов получили отечественные ученые М.В. Ломоносов, Д.И. Менделеев, А.Д. Сахаров и А.С. Попов. Менее 10% ответов содержат имена Н.И. Лобачевского, П.Л. Капицы и И.П. Павлова.

### *Обсуждение результатов и выводы*

Общий перечень свойств, характеризующих образ ученого у современных школьников, почти не отличается от списка К. Рамуля или «идеального» образа А.В. Юревича. Это сходство объясняется, по нашему мнению, общностью социальных представлений о научной деятельности, сложившихся еще в классический период развития науки. Настоящим ученым в период великих научных открытий признавался тот, кто всегда объективен, беспристрастен, все подвергает сомнению, бескорыстно делится своими открытиями и открывает истины, которые верны в любое время и в любой части мира [3, с. 95].

Социальные представления о жизни ученых выполняют двойную функцию: делать невидимое воспринимаемым и непонятное привычным, так как «мир ученого настолько далек от повседневной жизни, что совершенно чужд человеку непосвященному» [1, с.403]. Это объясняет и другую особенность портрета, созданного школьниками: восприятие мира науки вне времени и места. В силу последнего обстоятельства М.В. Ломоносов, А.С. Попов, А.Д. Сахаров упоминаются в одном ряду и с одинаковой частотой.

Обращает на себя внимание почти полное отсутствие в списке школьников представителей гуманитарных наук. Очевидно, что при изучении в школе литературы, истории, обществознания школьники знакомятся с именами ученых-гуманитариев, но гуманитарное научное познание в современной школьной программе не отражено. Если знание естественных наук фиксирует вечные законы природы, то культура, язык, личность, творчество, мышление, произведения искусства как знание о знаниях не входят, судя по опросу, в научный мир школьников.

Канадский физиолог Г. Селье в шутку предложил систематизацию ученых, насчитывающую более 70 типов, от «большого босса» до «книжного червя». В восприятии современных школьников человек, посвятивший себя науке, прежде всего Интеллектуал, затем Исследователь и Наставник.

### **Литература**

1. *Московиси С.* Машина, творящая богов. – М.: Центр психологии и психотерапии, 1998.
2. *Рамуль К.А.* О психологии ученого и в частности о психологии ученого-психолога // Вопросы психологии. 1965. № 6. С. 126 – 135.
3. *Юревич А.В.* Психологи тоже шутят. 2-е издание. – М.: ПЕР СЭ, 2005.

## **От ученичества – к тьюторству: руководство научно-исследовательской работой школьников**

А.И. Ермилин, Е.В. Ермилина

Образование «замечательно тем, что в нем всегда сосуществуют, борются, соревнуются консервативные и динамические составляющие и свойства» [2, с. 4]. Ученичество и тьюторство как традиционный и инновационный виды взаимодействия участников образовательного процесса «соревнуются» в современном дополнительном научном образовании школьников, демонстрируя его диалогическую природу.

Проявляя историческую гибкость, ученичество приобретает в наши дни новые смыслы и формы, оставаясь неизменным по своей педагогической природе. Десятки веков ученичество выполняло широчайший спектр социально-педагогических функций: от консервации цеховых секретов до развития творчества и мастерства. Ученичество в его педагогической сути – естественный диалог Мастера и Ученика. Такое взаимодействие предполагает не только высокие требования к личности мастера, но и гуманистический характер взаимоотношений, наставничество, воспитание примером. Отток талантливых педагогов из образования в другие сферы деятельности, «старение» учительства, произошедшие за последние десятилетия, усиливают необходимость процесса возрождения ученичества.

Современная педагогическая ситуация сравнима с периодом российской истории конца XIX – начала XX веков, когда потребности образования и культурного просвещения, нехватка учительства привели в образование людей различных профессий. В эту рубежную эпоху почти не встречалось среди деятелей просвещения «только педагогов», теоретиков педагогики. «Новая педагогика» того времени привлекала в свои ряды специалистов в естественных науках, политике, медицине, истории. Некоторые из них одновременно разрабатывали проблемы философии и психологии, были крупными государственными и общественными деятелями, писателями. Педагогическое движение рубежа веков захватило ученых, духовных деятелей, военных, активное участие в нем принимали Л.Н. Толстой, Ф.М. Достоевский, Н.А. Рубакин, А.Г. Небольсин и другие.

«У нас нет самого главного – того, что было создано в других странах за последние годы, а именно общенациональной системы поиска и развития талантливых детей и молодежи. Причем речь идет о формировании сети и научных, естественного цикла, и гуманитарных центров при ведущих университетах страны, о заочных школах для

одаренных школьников», – констатировал Д.А. Медведев на заседании президиумов Государственного совета, Совета по культуре и искусству и Совета по науке, технологиям и образованию 22.04.2010 года.

Понимая научное образование как диалогическое взаимодействие, межузбъектный обмен знаниями, способами деятельности, переживаниями, ценностями и смыслами между поколением состоявшихся ученых и молодым поколением школьников, студентов, аспирантов, мы должны признать огромное влияние на становление личности будущего ученого общения с увлеченным человеком, который учит мыслить и анализировать ход, направленность развития своей деятельности. Автор уникальных исследований по физике Солнца, вице-президент Международного астрономического союза академик А.Б. Северный писал: «Особенно дорог для меня школьный учитель Николай Васильевич Волков. Преподавал он русский язык и литературу, но делал несравненно большее – прививал нам культуру, любовь к знаниям. Энциклопедически образованный человек – впоследствии читал институтский курс высшей математики, стал доктором философии. И при этом он был личностью, мыслил свежо, ярко, всегда неожиданно. Николай Васильевич был прекрасным художником, считался крупным теоретиком искусства, специалистом по проблеме психологии творчества. Под влиянием Н.В., его обаяния, убеждений и я, грешен, начал рисовать еще школьником. Дело, однако, не в самом этом факте. Я таким образом открыл для себя еще одно окошко видения мира. Обсуждение отображенного с каждым разом становилось все более глубоким и содержательным. В конце концов, Н.В. привил мне настоящую любовь к философии. Это обстоятельство сыграло в моей последующей жизни исключительную роль, вооружило, пожалуй, самым действенным и надежным инструментом осмысления своих же научных результатов» [1, с. 48].

Важная составляющая научного образования – процесс ученичества в его исходном значении, то есть передача навыков научной работы, присущих специалисту, ученому, исследователю, мастеру. Это особый вид общения, в основе которого не обмен информацией, а межузбъектное взаимодействие, обмен переживаниями, способами деятельности и способами мышления. «Юный ученый должен научиться самостоятельно, непосредственно воспринимать свой предмет, находить его, переживать, узнавать, созерцать, исследовать. А опытный ученый должен передавать ему это искусство» [3, с.51 – 52].

Теоретическое осмысление позиций ведущих ученых в области философии и теории образования, а также данных эксперименталь-

ных исследований по проблемам научного самоопределения и формирования научного мировоззрения показало, что поддержание направленности школьника на ценности научной картины мира требует дополнительного внешнего влияния в начальный период профессиональной деятельности. В этот период научно-исследовательские институты выполняют двойную роль, – во-первых, демонстрируют успешность и привлекательность профессии ученого, во-вторых, осуществляют эффективную подготовку молодых научных кадров [5].

Создание системы дополнительного научного образования школьников на базе научно-исследовательских учреждений позволяет решать задачу воспитания нового поколения молодых интеллектуальных лидеров путем интеграции науки и образования, ученичества и тьюторства. В 110 научных учреждениях Академии наук в настоящее время работают более 150 базовых кафедр 40 ведущих вузов страны, что позволяет приобщить к научным исследованиям студентов и аспирантов вузов. В вузах, колледжах, лицеях читают лекции и ведут практические занятия более 6000 сотрудников РАН – докторов и кандидатов наук. Силами Академии наук и вузов создается единая система образования – «школа – институт – аспирантура – докторантура», которая позволяет выявлять, отбирать, целенаправленно готовить к научной работе способных молодых людей. В систему академического образования приходят научные работники, изобретатели, конструкторы, талантливые инженеры, программисты, у которых нет профессиональной педагогической подготовки, но имеется потребность передавать свои знания и любовь к науке новому поколению. Они находят свое место в системе тьюторства, в роли наставника юного исследователя. Главной задачей тьютора сегодня, как и в классических средневековых европейских университетах, где этот феномен зародился, остается сопровождение процесса самообразования ученика. Эта педагогическая позиция более соответствует условиям и миссии дополнительного образования, в отличие от школьного образования, выполняющего в первую очередь образовательные функции. Тьютор – «не обучающий «властелин ученических душ», а старший, обладающий культурой, знаниями и опытом человек, создающий оптимальные педагогические условия для самореализации, саморазвития будущего взрослого успешного человека» [4, с. 382].

Развитию системы тьюторства способствуют современные информационные технологии, предоставляющие возможность доступа к различным источникам информации в сети Интернет. Это ослабляет временные, пространственные и финансовые барьеры в распростране-



нии информации и общении. Современный уровень информационного обеспечения общества сделал возможным предоставление учащимся теоретической части учебного материала в форме лекций, контрольных вопросов и заданий для самостоятельного изучения через электронный ресурс сайтов. Через электронную почту или в онлайн-режиме школьник может установить взаимодействие с преподавателем в режиме консультаций для обсуждения и уяснения вопросов теории, вызвавших затруднения, проверки самостоятельной работы над изучаемой темой или обсуждения вопросов самостоятельной исследовательской работы. Это дает возможность интенсификации учебного процесса и повышения самостоятельности ребенка в обучении. Однако при дистанционном обучении исчезает живое общение между ученым, преподавателем и учащимся, в рамках которого происходит развитие личности и становление профессионализма. Формирование готовности к научной деятельности осуществляется исключительно в процессе живого общения с реалиями науки. Именно такое общение порождает страстное увлечение наукой – основу научного призвания. Только живое общение с учеными, наряду с широким использованием современных информационных технологий, создает уникальную среду обучения, доступную широкой аудитории, и позволяет сохранить гуманитарную составляющую образования.

Привлечение в дополнительное научное образование специалистов, ориентированных на занятие наукой и наделенных «сознанием собственного присутствия», необходимо еще и потому, что результат образования во многом зависит не только от уровня способностей ученика, но и от профессионализма учителя. Задачу научного руководства исследовательской работой школьников, при условии осуществления необходимой и достаточной психолого-педагогической подготовки, могут успешно решать аспиранты. Это подтверждает опыт работы Школы юного исследователя Нижегородского научного центра РАН.

За семь лет в ШЮИ сложился педагогический коллектив, основу которого составляют научные сотрудники академических институтов и вузов, педагоги профильных лицеев, аспиранты. Они учат ребят самостоятельно проводить исследования, помогают в постановке экспериментов, структурировании работы.

В исследовательской работе со школьниками их привлекает, прежде всего, возможность самовыражения, которой не хватает в повседневной жизни, возможность попробовать себя в новой сфере деятельности, необычность процесса работы и общения с детьми.

Для одних исследовательская деятельность – это форма собственного бытия, для других – хобби, третьи видят в ней эффективный метод обучения. Но всех их объединяет любовь к жизни, интерес к исследованиям и желание общаться с детьми. Именно исследовательская деятельность, по их мнению, дает возможность не стоять на месте, а двигаться вперед, познавая что-то новое. Научное руководство исследовательской работой школьника – это прекрасная возможность поучиться друг у друга как педагогу, так и ученику. Процесс обучения в этом случае приобретает ярко выраженный двусторонний характер, в процессе которого рождаются интересные идеи и гипотезы.

Результат совместной деятельности педагога видят как в конкретных знаниях, полученных школьником при выполнении исследования, навыках планирования, работы с источниками информации, проведения экспериментов и обработки результатов, умениях представлять и защищать свою работу, так и в интеллектуальном и творческом росте ребят, укреплении их стремления заниматься наукой, получении бесценного опыта самостоятельной творческой деятельности. «Главный результат – это счастливые глаза детей, довольных результатом своей работы», – утверждает преподаватель химии ШЮИ О.В. Барина. Для себя результатом совместной исследовательской деятельности со школьниками педагоги считают удовлетворение личного научного интереса в каком-либо вопросе. Занятия с детьми повышают их профессиональный уровень, позволяют приобрести опыт индивидуальной работы со школьниками, создают возможность моделирования новых экспериментов, применения собственных знаний при исследованиях в необычных условиях, стимулируют желание двигаться вперед, развиваться самому, а главное – приносят чувство удовлетворения от общения с любознательными и пытливыми детьми.

### Литература

1. Горский В.А. Российские научно-технические общества // Теория и практика дополнительного образования. 2007. № 7.
2. Зинченко В.П. О целях и ценностях образования // Педагогика. 1997. № 5. С. 3 – 16.
3. Ильин И.А. Наши задачи. Собр. соч. в 10 т. Т. 2, кн.1. – М.: Русская книга, 1993. – 496 с.
4. Кузнецова Г.Н. Классический учитель и тьютор: кто больше нужен школьнику сегодня // Исследовательская деятельность учащихся. Научно-метод. сборник в 2-х т. / Под. ред. А.С.Обухова. Т. 1. – М.: Исследователь, 2007. – 701 с.
5. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг. Постановление Правительства РФ от 28.07.2008. № 568.

## Заповеди психологической педагогики (и в шутку, и всерьез)

Так назвал В.П. Зинченко (действительный член РАО, профессор Самарского государственного педагогического университета) одну из статей своей книги «Живое знание»<sup>1</sup>. В ней автор сформулировал шутливые «заповеди» педагогической работы, которые заслуживают того, чтобы в них вдуматься. Это не перечень крылатых фраз, а скрытая за ними невидимая «структура и ткань возможного учебника по психологической педагогике». Научные руководители школьников далеко не всегда профессиональные педагоги. Это молодые ученые, аспиранты, для которых «заповеди» могут стать материалом для размышления и поиска своего педагогического стиля, помогут развить профессиональные навыки руководителя исследовательской группы. Большое количество цитат связано не только с желанием автора дать почувствовать читателю прелесть оригинала. Это та смысловая нить, которой свойственна «неумолкаемость».

*Не сравнивай. Живущий несравним.* (О. Мандельштам)

- Сравнивай. Только с собой и в пользу несравненного.
- Будь уверен, что ученик априори способнее тебя. И не глупее.

*Ребенок – непризнанный гений*

*Средь буднично серых людей.* (М. Волошин)

- Помни. Ты – актуальность – уже ставшее. Ученик – потенциальность. Он еще в пути.

*Мальчишка океан встает из речки пресной*

*И чашиками воды швыряет в облака.* (О. Мандельштам)

- Когда ученик тебя покидает, не обижайся и не сердись. Можешь лишь сожалеть. Храни спокойствие.
- Успехам ученика радуйся больше, чем своим собственным.
- Не жалея времени, чтобы понять ученика.
- Не стыдись учиться у ученика.
- Не присваивай себе успехов и достижений ученика.
- Не требуй от ученика благодарности. На том свете зачтется.

*Человек есть дробь. Числитель – сравнительно с другими – это достоинства человека. Знаменатель – это оценка человеком самого себя.* (Л. Толстой)

---

<sup>1</sup> Зинченко В.П. Живое знание. Материалы к курсу лекций. Ч. I. – Самара: 1998. – 216 с. С. 199 – 205.

*Сущность человека – это такая совокупность общественных отношений, которые человек в состоянии выдержать.* (А. Зинченко)

*Воспитание как умышленное формирование людей по образцам известным не плодотворно, не законно и не возможно.* (Л. Толстой)

*Из всех насилий,  
Творимых человеком над людьми,  
Убийство – наименьшее,  
Тягчайшее же воспитание.* (М. Волошин)

- Не стесняйтесь признаваться в своем невежестве.
- Помни, что ты сам и каждый ученик должны сами писать свой «дневник».
- Не скупись на похвалы ученика и не принимай их от ученика.
- Признай в ученике человека, и он сам найдет свое призвание, а потом получит признание других.
- Помни, что 100-процентное понимание в принципе невозможно.
- Оставляй степени свободы для понимания и непонимания. Ученик способен додумать, в том числе и за тебя.

*Специалист (и педагог) подобен флюсу. Полнота его односторонняя.* (Козьма Прутков) – Между прочим, от твоего флюса зубы болят у ученика.

*Непонятная мысль перестает быть мыслью. Она – «речевой труп» мысли.* (Л. Веккер)

- Если ты пришел на урок (лекцию) в плохом настроении, а ушел в хорошем, значит с тобой все в порядке. Ты имеешь шанс стать педагогом.
- Если ты пришел на педагогический (ученый) совет в хорошем настроении, а ушел в плохом, с тобой все в порядке. Ты уже почти педагог.
- Перестать быть педагогом не стыдно. Стыдно быть плохим педагогом.

*Познай себя, что толку в том,  
Познаю, а куда бежать потом?* (И. Гете)

- Нет ученика, которого не за что было бы полюбить.
- Питомцев можешь не любить, но вежлив с ними быть обязан.
- Духовность не роскошь, а средство обучения.

- Если ты создал собственную философию (систему) образования, значит, ты кончился как педагог, но, возможно, начался как философствующий дидакт. Выбери, что лучше.

*Если системы вообще существуют, то это всегда предсказание задним числом, вещание после самого события мысли.* (П. Флоренский)

- Не путай принятие решений с решением проблем. Последнее, как минимум, увлекательней.

*Конечно, век экспериментов*

*Над нами – интересный век...*

*Но от щекочущих моментов*

*Устал культурный человек.* (И. Северянин)

*Упражнение – это повторение без повторения.* (Н. Бернштейн)

*Повторение – мать учения и прибежище ослов.* (Педагогический фольклор)

- Ложь, грубость, невежливость лишают весь твой труд убедительности.

*Невежда начинает с поучения, а кончает кровью.* (Б. Пастернак)

*Образование – это повторяющееся усилие держать две несовместимые вещи – закон и свободу.* (М. Бахтин)

- Береги честь смолоду: не погружайся в методологию. Устанешь.

*Не надо вооружаться компасом, переезжая через лужу.* (П. Зинченко)

- Умный простит, когда его назовут дураком. Дурак – никогда: не экспериментируй с руководством.

- Не мучайся проблемами бытия и сознания. Лучше превращай свое существование в бытие.

*Личность не продукт коллектива, а его основание.* (В. Давыдов)

*По-моему, для блага революции не обязательно попираť личность.* (М. Шагал)

- Помни, что рефлекторное устройство от рефлексивного отличается всего лишь союзом и заглавной буквой: *Рефлекс* или *Рефлекс*=и=Я. Одно и то же, но какая разница!

- Изначальная духовность человека может быть разрушена, в том числе и с твоей помощью.

*Внутреннюю связь элементов личности гарантирует только единство ответственности и вины.* (М. Бахтин)

*Догмат, понятия – это очки. От живого дыхания настоящего эти очки запотевают, и в ясных понятиях мы ничего не видим. (А. Белый)*  
*Признать свои мыли окончательными, хотя бы в силу того, что они систематически изложены, может только тот, кто мыслит в первый раз. (Н. Грот)*

- Не удивляйся, когда ученик выходит из образа, которым ты его наделил или за него построил. Это нормально.

*Ребенком я чувствовал, что во всех нас есть некая тревожная сила.  
Вот почему мои персонажи оказались в небе раньше  
космонавтов. (М. Шагал)*

- «Врастить» мышление и сознание в действие не менее важно, чем «вырастить» их из действия.
- Образование без души опустошает душу.
- Учитель! Будь конгениален ученику.  
*Мудр тот, кто имеет знания и делает вид, что не знает.  
Глуп тот, кто, не имея знания, делает вид, что знает. (Лао-Цзы)*

# Физика



## **Моделирование движения капель воды при ветро-волновом взаимодействии**

Балагуров Владимир

11 класс

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



*Взаимодействие турбулентного ветрового потока с водной поверхностью – сложный и многосторонний процесс. Одна из его составляющих – капли воды, образующиеся в большом количестве, способные подавлять турбулентные флуктуации. В работе рассмотрен процесс их образования, изучено и смоделировано их последующее движение. Составленная математическая модель движения реализована в виде программы, способной визуализировать их, а также собирать статистические данные о движении множества капель.*

Изучение и составление адекватного описания взаимодействия движущегося ветрового потока с водной поверхностью важно для решения широкого спектра задач: от прогнозирования ветрового волнения до предсказания глобальных изменений климата.

По аналогии с законом сопротивления плоской пластины в турбулентном потоке вводят определения коэффициента обмена импульсом или коэффициента аэродинамического сопротивления. Одним из факторов, влияющих на коэффициент, является водное волнение. Очевидно, что при увеличении скорости ветра возрастает волнение поверхности, а с ним и коэффициент сопротивления. Но в теоретической работе Керри Эмануэля было описано явление наличия определенного значения скорости ветра, после преодоления которого коэффициент сопротивления перестает расти [3]. Позже это было установлено эмпирически, а само явление названо эффектом кризиса сопротивления.

Единой механики эффекта кризиса нет, но одной из составных частей может являться обрушение гребней волн, происходящее вследствие дисперсии. При обрушении гребнем захватывается атмосферный воздух. Он разбивается на пузырьки, которые, всплывая, лопаются, образуя мелкие водяные капли. Взаимодействуя с ветром, капли двигаются в нем, образуя так называемую стратификацию,



пространственную неоднородность плотности ветрового потока, способную подавлять турбулентные флуктуации [2].

Во-первых, необходимо выяснить параметры образования капель (модуль скорости и направление вектора вылета). Рассматривая процесс лопания пузырька, можно заметить его симметричность относительно нормали к спокойной поверхности волнения. Это свидетельствует о том, что в среднем капли вылетают перпендикулярно, поэтому при моделировании использовалось приближение (все капли вылетают перпендикулярно поверхности воды). Начальная скорость капли определялась полученными в последнее время результатами исследования таковой [1]. Для моделирования использовались результаты вычисления скорости для капель с радиусами 20 и 200 мкм. Они представляют две группы капель с различными характеристиками движения, наиболее интересными для исследования. Для каждой из групп капель были рассмотрены два случая их образования: с подножия волны и с ее гребня, различающиеся по вертикальной координате начала движения.

Затем была рассмотрена динамика последующего движения капли. Помимо силы тяготения и силы Архимеда на каплю действует сила аэродинамического сопротивления, определяемая соотношением:  $F = C \frac{\rho V^2}{2} S$  [5], где  $\rho$  – плотность воздуха,  $V$  – скорости капли

относительно ветрового потока,  $S$  – диаметрально сечение капли, а  $C$  – безразмерный аэродинамический коэффициент сопротивления,

получаемый из критерия подобия Рейнольдса:  $Re = \frac{VL}{\nu}$ , где  $V$  – ско-

рость капли относительно ветрового потока,  $L$  – характерный размер капли (диаметр), а  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха. В работе использовалось одно из математических отображений зависимости коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса:

$$C(Re) = \begin{cases} \frac{24}{Re} & \text{при } Re \leq 3,4 \\ \frac{13}{\sqrt{Re}} & \text{при } 3,4 < Re \leq 873 \\ 0,44 & \text{при } Re \geq 873 \end{cases}.$$

При этом замечено присутствие взаимной зависимости скорости капли и силы сопротивления. Этот факт определил применение итеративного метода моделирования, являющегося приближением определения непрерывной на промежутке функции:

$$\forall x_0 \in [a; b] \lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0), \text{ каковыми являются функции зависимо-}$$

сти координат от времени и скорости от времени.

Для вычисления значения силы сопротивления необходимо знать скорость окружающего ветрового потока. Поскольку турбулентный поток представляет собой сложную неоднородную структуру (развивающуюся турбулентность), данные о скорости ветрового потока были взяты из готовых реальных измерений методом оптической цифровой анемометрии (PIV) [4]. Он заключается в том, что в движущемся ветровом потоке распыляются мелкие полиамидные шарики, которые в силу малой массы увлекаются потоком и движутся вместе с ним. Они подсвечиваются плоским световым пучком (лазерным ножом), а их движение фиксируется на высокоскоростную камеру. Кадры разбиваются на ячейки, большие, чем смещение частиц за время задержки между кадрами, но меньшее размеров пространственной неоднородности течения. Посредством программного обеспечения вычисляется усреднение отношения смещений частиц в ячейке к времени между кадрами, а это и есть средняя скорость частиц в ячейке. В работе использовались результаты измерения скорости ветра над твердым плоским дном, что обеспечило постоянство начальных условий моделирования капель, но отличалось большей адекватностью измерений по сравнению с измерениями над водной поверхностью, что вызвано наличием капель воды в поле измерения скорости и их влиянием на измерения.

Составление компьютерного алгоритма позволило создавать точные численные модели движения, а также собирать и обобщать статистические данные о движении множества капель. Количество капель, моделируемых при одном запуске программы, во-первых, диктовалось необходимостью применения статистического метода теории вероятностей, а во-вторых – конечностью времени моделирования. Оптимальным явилось моделирование 5000 капель за запуск.

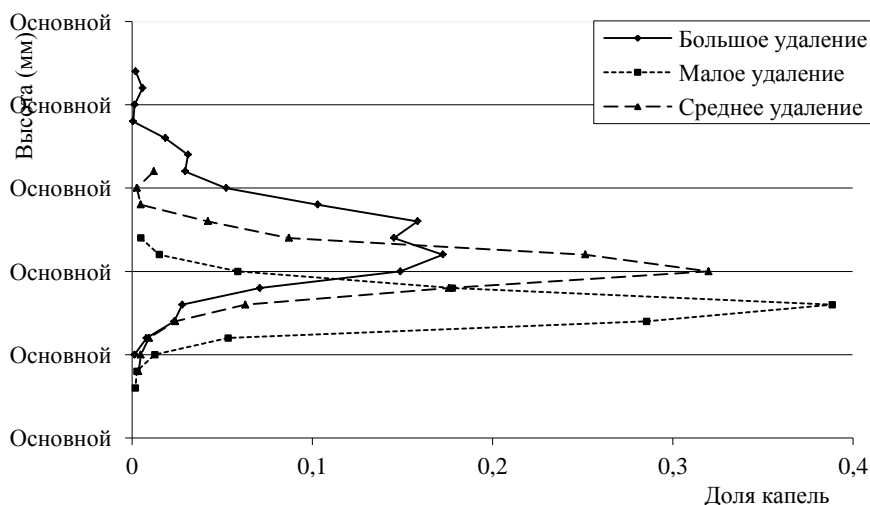
Среди особенностей моделирования отметим метод искусственного увеличения времени нахождения капли в поле моделирования, что является использованием свойства однородности потока в продольном направлении. Капли, достигшие правой границы поля, ис-

кусственно перемещаются к его левой границе и продолжают движение. Применение этого метода позволило получать результаты, соответствующие действительности. После оценки физической адекватности результатов, а также ручной проверки вычислений, проводимых внутри алгоритма, и его отладки были получены численные и визуальные модели движения капель в ветровом потоке.

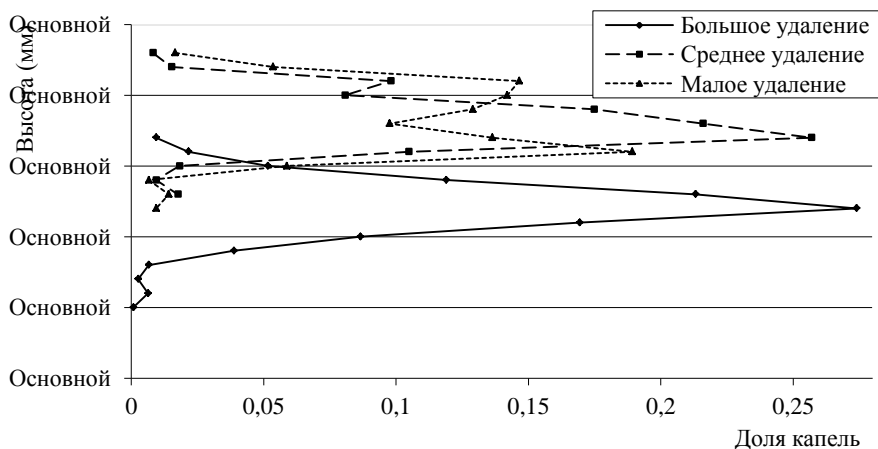
Программа была применена для четырех частных случаев, описанных выше. По результатам моделирования были построены графики распределения капель по высоте, демонстрирующие развитие распределения капель по мере их удаления от источника.

Среднее отклонение скорости капли с радиусом 20 мкм за время моделирования составляет 1 – 3% от скорости ветрового потока в той же точке. Отмечены увеличение ширины распределения капель по мере их удаления от источника, а также максимум распределения на определенной высоте.

Для капель с радиусом 200 мкм среднее отклонение скорости от скорости ветрового потока в той же точке составило 50 – 55%, а увеличение ширины распределения было практически незаметно (на 2 мм за все время моделирования), также по мере удаления от источника заметно уменьшение высоты распределения капель. Это связано с большей инертностью капель.



**Рис. 1.** Распределение капель с радиусом 20 мкм



**Рис. 2.** Распределение капель с радиусом 200 мкм

Результатом работы стало создание инструмента теоретической физики в области гидроаэродинамики, способного эффективно моделировать одну из составляющих сложного взаимодействия ветрового потока с водной поверхностью. Его надежность была проверена вручную, а возможности сбора комплекса статистических данных продемонстрированы на частных примерах. Из таковых получены схемы распределения капель по высоте, из которых могут быть сделаны выводы о стратификации, образуемой каплями разного радиуса. Результаты, получаемые посредством разработанного алгоритма, могут найти применение в моделях, описывающих ветро-волновое взаимодействие. Возможность добавлять на реальные PIV-снимки смоделированные капли может найти применение в изучении адекватности PIV-измерений над водной поверхностью при высоких скоростях ветра.

### Литература

1. *Andreas E.L., Jones K.F., Fairall C.W.* (2010) Production velocity of sea spray droplets // J. Geophys. Res. 115, C12065, doi:10.1029/2010JC006458.
2. *Barenblatt G.I., Golitsyn G.S.* Local structure of mature dust storms // J. Atmos. Sci. 1974, v.31, №7. P. 1917–1933.
3. *Emanuel K.A.* Sensitivity of tropical cyclones to surface exchange coefficients and a revised steady-state model incorporating eye dynamics // J. Atmos. Sci. 1995, v.52. P. 3969 – 3976.
4. *Melling, A.* (1997). Tracer particles and seeding for particle image velocimetry // Measurement Science and Technology 8 (12): 1406. Bibcode 1997MeScT...8.1406M. doi:10.1088/0957-0233/8/12/005.

5. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. – М., 1964.

## **Исследование характеристик дифракционных решеток**

Грошева Ксения

11 класс

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



*В настоящей работе рассмотрены особенности дифракции лазерного излучения на фазовой дифракционной решетке. Изучены методы вычисления основных параметров дифракционной решетки – период, угол скоса и длина штриха. Реализован метод определения длины волны излучения лазерной указки при помощи дифракционной решетки.*

Дифракционная решетка – прибор, предназначенный для анализа спектрального состава оптического излучения. Она представляет собой совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками. Формула, связывающая такие величины, как угол падения  $\alpha$ , угол рассеяния  $\beta$ , период решетки  $d$ , порядок дифракционного максимума  $m$  и длину волны излучения  $\lambda$ , носит название формулы дифракционной решетки и записывается в следующем виде:  $d(\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

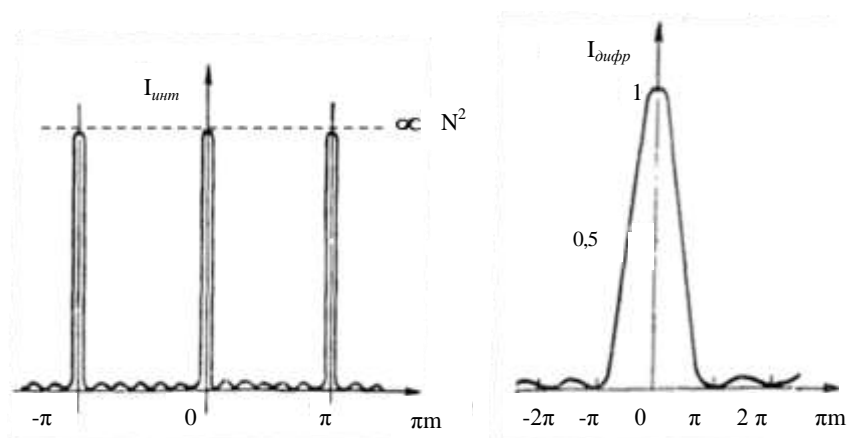
Распределение энергии по спектрам разных порядков показывает, что значительная часть энергии сосредоточена в спектре нулевого порядка, а по мере перехода к высшим порядкам энергия быстро убывает. Спектральные приборы, снабженные такими дифракционными решетками, были бы мало светосильны, так как угловая дисперсия находится в прямой зависимости от порядка дифракционного максимума.

Важным практическим усовершенствованием решеток является изменение распределения по спектрам, основанное на введении дополнительной разности хода в пределах каждого штриха решетки. С этой целью решетку гравировать так, что каждый штрих длиной  $b$  составляет угол  $\gamma$  (угол скоса) с плоскостью заготовки, благодаря чему при отражении (или прохождении) возникает добавочная разность хода от одного края борозды до другого. Подбирая профиль штриха, удастся сконцентрировать энергию в спектре того или иного порядка, ослабляя остальные. Такие решетки носят название фазовых ди-

фракционных решеток, так как они пространственно модулируют не амплитуду, а фазу световой волны.

При падении на фазовую решетку параллельного пучка лучей на каждой зеркальной площадке происходит дифракция, как на узкой щели, и пучки, дифрагированные на всех площадках, интерферируют. Функции, описывающие интенсивность дифрагированного и интерферированного излучения, а также их графики представлены на рисунке 1.

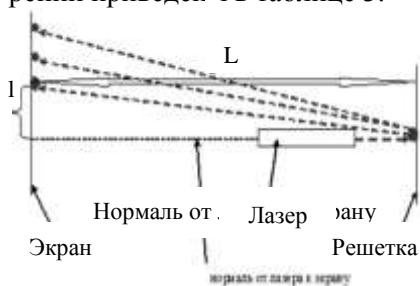
$$I_{инт} = I_{02} \frac{\sin^2 \left[ \frac{d\pi \cdot N}{\lambda} (\sin \alpha + \sin \beta) \right]}{\sin^2 \left[ \frac{d\pi}{\lambda} (\sin \alpha + \sin \beta) \right]}, \quad I_{дифф} = I_{01} \frac{\sin^2 \left[ \frac{b\pi}{\lambda} (\sin(\alpha - \gamma) + \sin(\beta - \gamma)) \right]}{\left[ \frac{b\pi}{\lambda} (\sin(\alpha - \gamma) + \sin(\beta - \gamma)) \right]^2}.$$



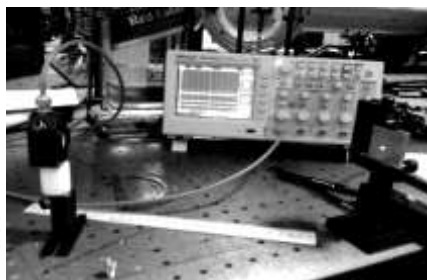
**Рис. 1.** Распределение интенсивности дифрагированного и интерферированного излучения

Экспериментальная часть работы состояла из трех исследований. В первом, используя микроскоп, был вычислен период дифракционной решетки № 1. С этой целью решетка рассматривалась под микроскопом и считалось количество штрихов в мм (табл. 1). Во втором был найден период решеток и длина волны излучения лазерной указки. Для этого мы собрали установку, схематично изображенную на рисунке 2. Измерения проводились с помощью формулы дифракционной решетки, используя данные, полученные экспериментально: углы падения и отражения, а также порядок максимума (табл. 2). В

третьем исследовании были найдены угол скоса и длина штриха решеток. Для этого мы собрали установку, изображенную на рисунке 3. Экспериментально вычислив напряжение в четырех самых ярких максимумах, мы строили нормированный график распределения интенсивности. Максимумы располагаются в точках пересечения графиков, иллюстрирующих дифракционную и интерференционную картину. Используя этот факт, мы подбирали такие угол скоса и длину штриха решетки, чтобы теоретическое распределение интенсивности совпало с полученным в эксперименте. Результаты измерений приведен в таблице 3.



**Рис. 2.** Схема эксперимента № 2



**Рис. 3.** Фотография эксперимента № 3

*Таблица 1.* Результаты вычислений в эксперименте № 1

Значение $d$ , мкм	
Паспортное	Полученное
13,3	$12,99 \pm 2,7$

*Таблица 3.* Результаты вычислений в эксперименте № 3

№ решетки	$b$ , мкм	$\gamma, ^\circ$
1	$6,7 \pm 0,8$	$-16 \pm 2$
2	$1,4 \pm 0,2$	$-9 \pm 1$

*Таблица 2.* Результаты вычислений в эксперименте № 2

№ эксперимента	$d_1$ , мкм	$d_2$ , мкм	$\lambda$ , нм
Измерения при $\alpha = 0$	$13,5 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,1$	$533 \pm 21$
Измерения при $\alpha \neq 0$	$13,3 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,2$	$530,8 \pm 16$
Паспортное значение	13,3	3,3	532

Следует отметить, что метод вычисления периода дифракционной решетки при помощи микроскопа имеет значительную погрешность – порядка 20 %. Поэтому предпочтителен второй метод, где погрешность проведенных измерений не превышает 6%. Точность рассмотренного метода можно повысить при более тщательных измерениях углов падения и рассеяния, то есть за счет увеличения расстояния от дифракционной решетки до экрана, или при использовании гониометра.

В настоящей работе рассмотрены особенности дифракции лазерного излучения на фазовой дифракционной решетке. Экспериментально и теоретически изучены методы вычисления таких параметров дифракционной решетки, как период, угол скоса и длина штриха. Реализован метод определения длины волны излучения лазерной указки при помощи дифракционной решетки.

С помощью дифракционной решетки можно решить важную задачу – исследовать спектральный состав падающего излучения. Именно поэтому изучение данного оптического прибора представляется существенным и необходимым.

#### **Литература**

1. *Ахманов С.А., Никитин С.Ю.* Физическая оптика: Учебник. – М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 656 с.
2. *Ландсберг Г.С.* Оптика. Учеб. пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
3. *Мальшев В.И.* Введение в экспериментальную спектроскопию. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979.



# Определение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн

Ермилин Елисей

8 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина,  
учитель высшей категории

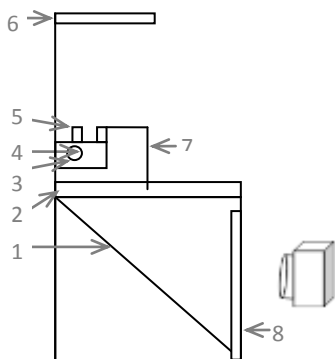


*Работа посвящена определению коэффициента поверхностного натяжения методом измерения длины капиллярной волны на поверхности жидкости. Исходя из анализа результатов опытов, можно сделать некоторые выводы: метод капиллярных волн для измерения коэффициента поверхностного натяжения может быть достаточно просто реализован; КПН водопроводной воды при температуре 20°C, измеренный нами, отличается от соответствующего табличного значения на 10%; с ростом концентрации соли в воде при постоянной температуре коэффициент поверхностного натяжения возрастает; снять зависимость КПН воды от температуры не представляется возможным из-за большой площади свободной поверхности жидкости.*

Свойства поверхности жидкости играют важную роль в природе и технике, на них оказывают влияние такие факторы, как, например, температура и содержание в жидкости различных растворенных веществ. Многие вещества изменяют коэффициент поверхностного натяжения (КПН) жидкостей. Это может иметь как положительные, так и отрицательные результаты, поэтому важно уметь измерять коэффициент поверхностного натяжения жидкости. Мы использовали метод капиллярных волн, так как он показался нам наиболее интересным, дал возможность познакомиться не только с капиллярными явлениями, но и волновыми процессами.

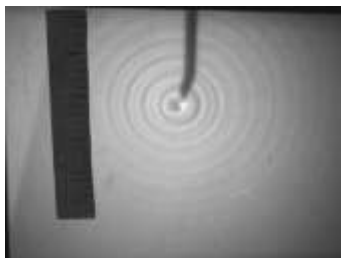
Мы определяли коэффициент поверхностного натяжения, измеряя длину капиллярной волны на поверхности жидкости. Для этого с помощью установки «Волновая ванна» на поверхности жидкости возбуждалась волна заданной частоты (рис. 1). Изображение в ванне проецировалось на экран в соотношении 1:2. Волны создавались вибратором, к которому прикрепляли тонкий вертикальный стержень. Стержень касался поверхности жидкости. При возбуждении вибратора он колебался и вызывал на поверхности воды волны, которые распространялись во все стороны от стержня. Плоская кювета заполнялась водой так, чтобы жидкость не доходила до края примерно на 1 см (глубина жидкости около 1 см). Затем включали гене-

ратор, с помощью которого возникают колебания вибратора и прикрепленного к нему стержня.



**Рис. 1.** Схема установки «Волновая ванна»

1 – зеркало, 2 – кювета, 3 – вибратор, 4 – регулятор частоты вибрации, 5 – регулятор амплитуды колебаний, 6 – стробоскоп (осветитель), 7 – насадка для генерирования волн, 8 – экран (матовое стекло)



**Рис. 2.** Фотография волны

сти волны с учетом капиллярного и гравитационного факторов.

Аналогично проводились опыты с соленой водой. Приготавливался насыщенный раствор поваренной соли. Порциями по 50 мл раствор добавлялся в воду, затем измерялся коэффициент поверхностного натяжения уже описанным методом. Сначала мы измерили КПН чистой воды. При температуре  $t^0=20^0\text{C}$  коэффициент поверх-

Размер кюветы достаточно велик, поэтому отраженные от боковых стенок волны не влияли на форму фронта возбуждаемой на поверхности жидкости капиллярной волны. Затем волна фотографировалась в известном масштабе, а длина волны измерялась при обработке изображения в программе «Photoshop». Для увеличения точности мы измеряли длину нескольких волн [4], затем делили полученную величину на количество волн. В каждом опыте делали по пять снимков для увеличения точности измерения. Волны мы возбуждали сферические (рис. 2), так как при возбуждении плоской волны обработке изображения мешали краевые эффекты из-за конечных размеров вибратора-пластины. Измерения проводились по взаимно перпендикулярным направлениям, а затем полученные значения усреднялись. Погрешности измерения вычислялись по отклонению от среднего значения.

Полученное значение длины волны использовалось для определения коэффициента поверхностного натяжения по

$$\text{формуле: } \sigma = \rho \frac{\lambda^3 v^2}{2\pi} - \rho \frac{\lambda^2 g}{4\pi^2} \quad (1),$$

полученной из дисперсионного соотношения бегущей по поверхности жидко-

ностного натяжения воды  $\sigma = 0,08 \text{ Дж/м}^2$ , но по сравнению с табличным значением  $\sigma_m = 0,073 \text{ Дж/м}^2$  ошибка составляет 10%.

Затем мы попытались снять зависимость коэффициента поверхностного натяжения воды от концентрации в ней соли. В наших опытах коэффициент поверхностного натяжения незначительно увеличивался с ростом солёности воды от  $0,08 \text{ Дж/м}^2$  для чистой воды до  $0,09 \text{ Дж/м}^2$  для солёной воды с массовой концентрацией соли 30%. Достоверно заметное изменение происходит при плотности воды  $1320 \text{ кг/м}^3$ .

Нам хотелось также исследовать зависимость КПН от температуры. Мы оценили возможность этого исследования в условиях нашего эксперимента. В формуле (1) от температуры зависит плотность жидкости. Коэффициент объёмного расширения воды  $0,003 \text{ 1/градус}$  небольшой, разницы в КПН при повышении температуры воды при невысокой точности наших опытов мы заметить не должны, кроме того, из-за большой площади свободной поверхности воды в ванне теплообмен с окружающей средой происходит настолько быстро, что сделать два снимка подряд при температурах, отличающихся меньше, чем на  $1^\circ$ , не удастся, таким образом, температура опыта постоянно меняется. Опыт мы провели, но КПН с изменением температуры от  $20^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$ , как и ожидалось, не изменялся.

В ходе работы мы убедились, что можно измерять коэффициент поверхностного натяжения жидкости методом капиллярных волн в достаточно простых лабораторных условиях.

Исходя из анализа результатов опытов, можно сделать *выводы*.

1. Метод капиллярных волн для измерения коэффициента поверхностного натяжения может быть достаточно просто реализован.
2. КПН водопроводной воды при температуре  $20^\circ\text{C}$ , измеренный нами, отличается от соответствующего табличного значения на 10%.
3. С ростом концентрации соли в воде при постоянной температуре коэффициент поверхностного натяжения возрастает, но зависимость не выявлена, так как изменения длины волны незначительны с заметным ростом концентрации соли в растворе.

#### Литература

1. Детлаф А.А., Яворский В.М., Милковская Л.Б. Курс физики: в 3 т. Т. 1. – М., 1973. С. 306 – 309.
2. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа, 2002.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики: в 3 т. Т. 2. – М., 1977. С. 414 – 421.
4. Фаддеев М.А., Лебедева О.В. Молекулярная физика: Учебное пособие по решению задач. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2012. – 195 с.

## Повышение информативности ОКТ-изображений бумаги

Ермолаев Артем

10 класс

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



*В работе было исследовано влияние просветления на формирование ОКТ-изображения. В качестве объектов рассматривались два типа бумаги: бумага для печати и промокательная бумага. В качестве просветляющих веществ использовались вода, глицерин и водный раствор этилового спирта. В процессе исследований было получено следующее: ОКТ-изображения сухой бумаги характеризуются высоким уровнем сигнала и отсутствием сигнала от фольги, которая использовалась в качестве опорного объекта. На ОКТ-изображениях бумаги после просветления наблюдалось снижение сигнала от бумаги и проявление сигнала от фольги. Сигнал, отраженный от фольги, возрастает при уменьшении разницы между показателями преломления целлюлозы и просветляющего вещества. Наибольший сигнал, равный 37,18 дБ, наблюдался при просветлении бумаги для печати глицерином. Также в работе была исследована зависимость просветления бумаги для печати от времени.*

Оптическая когерентная томография (ОКТ) является методом наблюдения внутренней структуры сильно рассеивающих объектов на глубинах до единиц миллиметров с разрешением до единиц микрон [1 – 3]. Основной областью применения ОКТ является биомедицинская диагностика, однако данный метод может быть успешно использован и для визуализации структуры других сильно рассеивающих объектов (бумаги, керамики и т.п.).

Метод ОКТ основан на принципе низкокогерентной интерферометрии. Основным элементом установки является интерферометр Майкельсона. В одном из плеч интерферометра располагается источник низкокогерентного излучения, из которого посылается пучок фотонов. Попадая на делитель, пучок делится на 2 части: первая уходит на глухое зеркало (опорное плечо), вторая – в объект (предметное плечо). Отраженный от глухого зеркала пучок уходит обратно на делитель, где интерферирует с пучком, вернувшимся от объекта. В силу низкой когерентности источника, сигнал на источнике

возникает только тогда, когда длины путей от делителя до объекта и от делителя до зеркала равны. Таким образом, изменяя длину опорного плеча, можно селективировать сигнал с определенной глубины из объекта. Зависимость интенсивности принимаемого сигнала от глубины называется А-сканом. Из набора А-сканов, полученных с помощью поперечного смещения пучка, можно получить двумерную внутреннюю структуру исследуемого объекта – В-скан. Исследование проводилось на оптическом когерентном томографе, поперечное разрешение составляло 15 мкм, по глубине – 20 мкм, глубина сканирования 1,5 мм, динамический диапазон – 60 дБ.

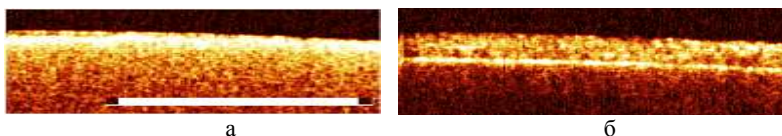
*Целью* данной работы было повышение информативности ОКТ-изображений применительно к задаче контроля качества бумаги путем использования просветляющих веществ для понижения рассеяния в объекте и пространственного и временного усреднения для снижения уровня зашумленности получаемых ОКТ-изображений.

В качестве объекта исследования была выбрана бумага. Бумага является сильно рассеивающим объектом в видимом диапазоне длин волн. Она состоит из спрессованных волокон целлюлозы, однако между этими волокнами есть полости. Рассеяние происходит там, где существует резкое изменение коэффициента преломления. Когда мы капаем на бумагу некую жидкость, она, растекаясь, заполняет воздушные полости и, поскольку ее коэффициент преломления ближе к коэффициенту преломления целлюлозы (1,53), чем коэффициент преломления воздуха (1,00), это приводит к выравниванию коэффициента преломления внутри объекта, что ведет к уменьшению коэффициента рассеяния. В наших экспериментах использовались 3 жидкости: вода ( $n=1,33$ ), 40%-ый водный раствор этилового спирта ( $n=1,36$ ) и глицерин ( $n=1,47$ ).

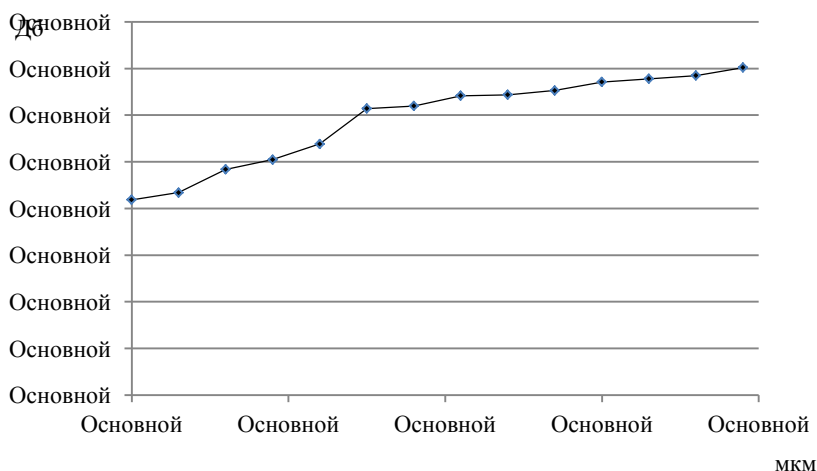
В качестве опорного объекта была использована фольга, которая помещалась под лист бумаги для контроля нижней границы исследуемого образца. ОКТ-зонд размещался на поверхности исследуемого объекта и получалось ОКТ-изображение сухого листа бумаги.

Затем на поверхность наносилось несколько мкл испытуемых жидкостей. После впитывания в бумагу получалось ОКТ-изображение объекта при просветлении. На рисунке 1 приведены характерные ОКТ-изображения бумаги для печати до просветления и после просветления глицерином.

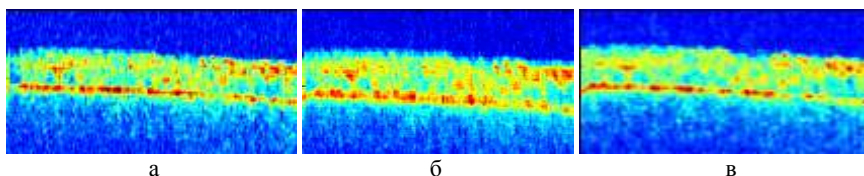
Для сравнения эффективности просветляющих агентов на усредненном А-скане мы выделяли уровень сигнала от фольги. Чем выше данный сигнал, тем меньшая часть зондирующего излучения рассеивается в толще бумаги и тем лучше считался просветляющий агент. Наибольший сигнал, равный 37,18 дБ, наблюдался при просветлении бумаги для печати глицерином.



**Рис. 1.** ОКТ-изображения печатной бумаги до просветления (а), при просветлении глицерином (б) (белая полоса соответствует масштабу в 1 мм)



**Рис. 2.** Зависимость величины сигнала, отраженного от фольги, от времени



**Рис. 3.** ОКТ-изображение бумаги для печати при просветлении глицерином (а), при просветлении глицерином с усреднением по времени (б) и пространственным усреднением (в)

На следующем этапе было исследовано проникновение просветляющего агента (глицерина) в бумагу для печати. В качестве критерия просветления был выбран сигнал от фольги, которая использовалась как опорный объект на ОКТ-изображении. На рисунке 2 приведена зависимость величины сигнала, отраженного от фольги, от времени появления отраженного от фольги сигнала. Видно, что величина отраженного сигнала возрастает с течением времени.

Далее для ОКТ-томограмм был применен метод усреднения по времени А-сканов, полученных с одного участка бумаги через 5 секунд (рис. 3б), а также метод усреднения по пространству. Во втором случае бралось среднее арифметическое соседних А-сканов одной томограммы (рис. 3в). На полученных изображениях мы видим более размытую верхнюю границу и усреднение шумов в нижней части томограмм. В то же время граница фольги более выражена, нежели на предыдущих томограммах.

В работе было исследовано влияние просветления на формирование ОКТ-изображения. Наибольший сигнал, равный 37,18 дБ, наблюдался при просветлении бумаги для печати глицерином. На последнем этапе была проведена программная обработка полученных ОКТ-изображений. Было показано, что на обработанных ОКТ-изображениях более размыта верхняя граница и снижен уровень шумов в нижней части томограмм, а граница фольги выражена более четко, чем на томограммах без обработки.

Таким образом, из исследованных просветляющих веществ наиболее эффективным для просветления исследуемого типа бумаги является глицерин. Применяемые алгоритмы обработки позволили понизить зашумленность получаемых ОКТ-изображений, однако ухудшили разрешающую способность метода.

### Литература

1. *Fujimoto J.G., Pitris C., Boppart S.A., et al.* Optical Coherence Tomography, An Emerging Technology for Biomedical Imaging and Optical Biopsy // *Neoplasia*. 2000. Vol. 2. P. 9 – 25.
2. *Gelikonov V.M., Gelikonov G.V., Dolin L.S., Kamensky V.A., Sergeev A.M., Shakhova N.M., Gladkova N.D., Zagaynova E.V.* Optical Coherence Tomography: Physical Principles and Applications // *Laser Physics*. 2003. V. 13. № 5. P. 692 – 702.
3. *Sergeev A.M., Dolin L.S., Reitze D.N.* Optical tomography of biotissues past, present, and future // *Optics & Photonics News*. 2001. P. 28 – 35.

## **Микросканер эндоскопического зонда для прибора оптической когерентной томографии**

Калынова Елизавета

11 класс

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



*Исследованы системы линз для микросканеров эндоскопических зондов для оптической когерентной томографии. Предложена и исследована новая схема сканера для эндоскопического зонда для ОКТ. Показано, что качество пучка в модернизированной системе на порядок лучше, чем в прототипе.*

Для оптической когерентной томографии разработано большое количество сканирующих устройств, предназначенных преимущественно для офтальмологического применения. Однако внимание исследователей было уделено и созданию эндоскопических вариантов сканеров. В начале 2010 года вышла обзорная работа, посвященная перспективам развития оптического сканирования в ОКТ [2], систематизирующая основные подходы создания зондов в ОКТ.

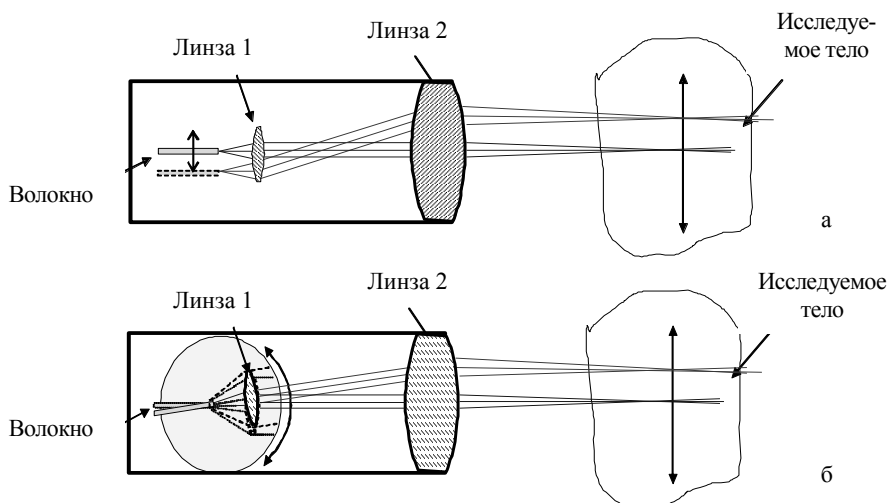
Для моделирования прототипа была использована принципиальная оптическая схема, предложенная в работе [1] (рис.1а), параметры которой были подобраны таким образом, чтобы наглядно продемонстрировать недостатки и уязвимость к абберациям схемы прототипа. Для моделирования усовершенствованной системы использовались те же оптические элементы, что и для моделирования прототипа.

Модель сканера, выбранная в качестве прототипа и описанная в [2], состоит из двух двояковыпуклых линз. Радиус кривизны поверхности первой линзы 1,0 мм, толщина вдоль оптической оси 0,2 мм. Радиус кривизны поверхности второй линзы 4,0 мм, толщина – 0,8 мм. Расстояние между линзами 2,5 мм. Для моделирования использовалось излучение с длиной волны 500 нанометров.

Основным недостатком представленного устройства является то, что сканирование осуществляется источником света (торцом волокна, как показано стрелкой на рис.1а), что приводит к возникновению аббераций, поскольку система становится не параксиальной [3]. Кроме того, область, в которой происходит фокусировка в такой системе, существенно смещается вдоль оптической оси относительно



своего положения при нулевом смещении, что классифицируется как наличие аберрации кривизны поля. На рисунке 2 представлено экспериментально зарегистрированное сечение пучка в области фокусировки при максимальном смещении источника излучения – торца волокна – от оптической оси системы. В пронумерованных вносках представлены четырехкратно увеличенные пятна фокусировки, полученные при различном взаимном расположении оптических элементов. Качество пучка в случае схемы, собранной по принципу прототипа, является крайне неудовлетворительным (расчет показывает, что для модельной системы в этом случае число Штреля составляет порядка 0,1). Этот факт объясняется существенным влиянием аберраций комы и астигматизма.

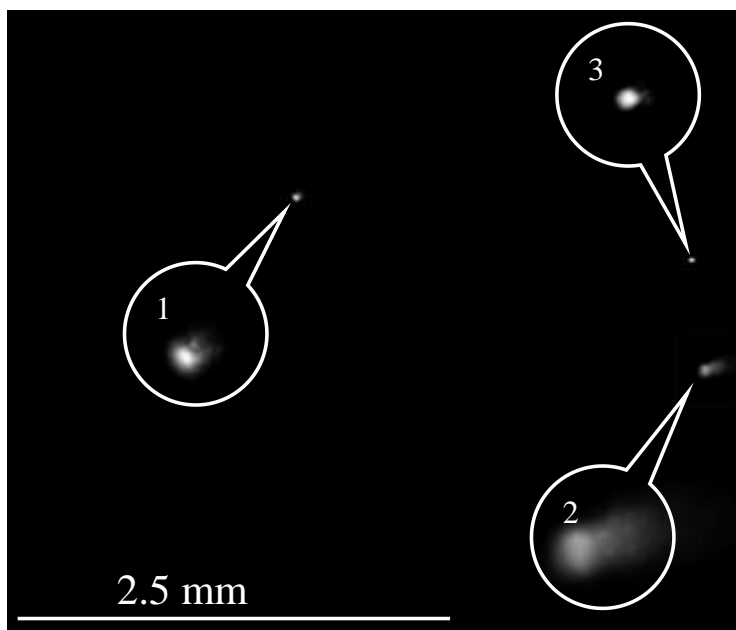


**Рис. 1.** Принципиальная оптическая схема модели эндоскопического сканера для ОКТ

Принципиальная оптическая схема оптимизированного эндоскопического зонда для ОКТ представлена на рисунке 1б. Она отличается тем, что первая линза не закрепляется неподвижно, а монтируется в одном блоке с оптическим волокном, помещенным в ее фокус. Это позволяет осуществлять сканирование не перемещением волокна в фокальной плоскости первой линзы, а поворотом всей системы в специальном шаровом шарнире. Угол поворота системы «источник – первая линза» для достижения необходимого смещения зондирую-

щего луча в области объекта исследования при заданных параметрах составил примерно  $10^\circ$ .

На рисунке 2 (выноска 3) представлена форма пятна фокусировки, получаемого при использовании предложенной оптической схемы. Для удобства наблюдения положения точек фокусировки для прототипа и новой схемы разнесены в пространстве фотоприемника, а изображение рисунка 2 получено компоновкой трех отдельно снятых кадров для различных относительных положений элементов схемы. Из рисунка 2 видно, что качество пучка при повороте системы «источник – первая линза» практически не отличается от идеального, что объясняется в численном эксперименте близостью числа Штреля для данной системы к единице. Это позволяет сделать вывод о том, что наиболее эффективным является сканирование, которое осуществляется поворотом относительно главной оптической оси сканера главного луча источника, расположенного на этой оси в точке фокуса выходной линзы.



**Рис. 2.** Фокусировка пучка в центре (1) и на краю области сканирования:  
2 – в модельной схеме, собранной по принципу прототипа,  
3 – в модельной реализации предложенной схемы

Таким образом, в ходе работы была предложена и исследована новая схема сканера для эндоскопического зонда для ОКТ, основным отличием которой от прототипа, разработанного в ИПФ РАН, является то, что сканирование осуществляется путем поворота относительно оптической оси сканера системы, состоящей из торца волновода и первой линзы сканера. Показано, что качество пучка в модернизированной системе лучше, чем в прототипе. Кроме того, исследован ряд оптических систем микросканеров эндоскопических зондов по литературным источникам.

### Литература

1. *Feldchtein F.I., Gelikonov V.M., Gelikonov G.V.* Design of OCT Scanners // In: Handbook of Optical Coherence Tomography, Bouma B.E., Tearney G.J., Editors. New York, Basel: Marcel Dekker, Inc. 2002. P. 125 – 142.
2. *Virgil-Florin Duma, Jannick P. Rolland, Adrian Gh. Podoleanu.* Perspectives of optical scanning in OCT // Proc. of SPIE Vol. 7556, 2010, pp. 75560B-1-12.
3. Физическая энциклопедия // Под ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1988.

## **Исследование неоднородности распределения интенсивности в лазерном ноже системы подсветки PIV-анемометрического комплекса**

Квак Дмитрий

9 класс

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



*Исследование и совершенствование бесконтактных анемометрических методов является важной задачей в свете значительного увеличения потребности их использования в ряде прикладных задач. Особенно значительна эта потребность при изучении пограничных слоев, в частности, взаимодействия системы «океан – атмосфера», так как именно в таких комплексных системах применение традиционных контактных измерений затруднено.*

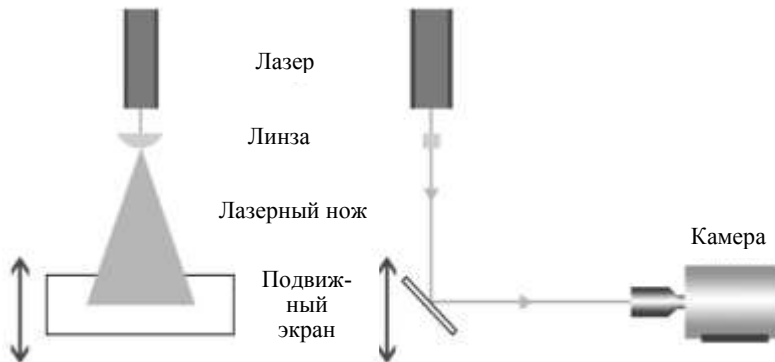
Для измерения скорости потока жидкости или газа можно проследить за движением искусственно добавленных в поток частиц, имеющих очень малый размер и поэтому двигающихся вместе с потоком. Существует несколько способов измерения скорости движения таких частиц [2]. Измерительная система, основанная на одном из таких методов, используется для изучения параметров ветра при моделировании процессов взаимодействия между атмосферой и океаном на высокоскоростном ветро-волновом канале ИПФ РАН [3]. Название этого метода происходит от английского «particle image velocimetry» (измерение скорости по изображениям частиц). Общая схема измерения выглядит так: плоский световой нож освещает мелкие частицы, взвешенные в исследуемом потоке, а цифровая камера фиксирует изображения частиц. Скорость потока определяется расчетом перемещения, которое совершают частицы за время между кадрами.

Источником света в ноже является лазер [3]. В исследуемой PIV-системе используется непрерывный лазер. Излучение такого лазера имеет зеленый цвет, соответствующий длине волны 532 нм. Из лазера выходит параллельный пучок диаметром  $\sim 3$  мм, который затем попадает на цилиндрическую линзу. Такая линза преломляет свет лишь в одном направлении, а не в двух (как сферическая) [1]. В результате параллельный пучок света преобразуется в так называемый «лазерный нож». В эксперименте использовались плоско-выпуклые линзы. Ход лучей в такой оптической системе следующий: из лазера (расположен сверху) вертикально вниз выходит параллельный пучок, падающий

перпендикулярно верхней (плоской) поверхности линзы и входящий в линзу не преломляясь. При выходе из линзы лучи преломляются в сторону оси линзы и собираются в точке фокуса, а затем расходятся.

К чему приводит неоднородность интенсивности лазерного ножа? При обработке PIV-изображений сравниваются два последовательных кадра. Движущаяся частица на разных кадрах, находясь в разных положениях, имеет различную интенсивность. Это затрудняет сравнение кадров и может приводить к ошибкам вычисления скорости.

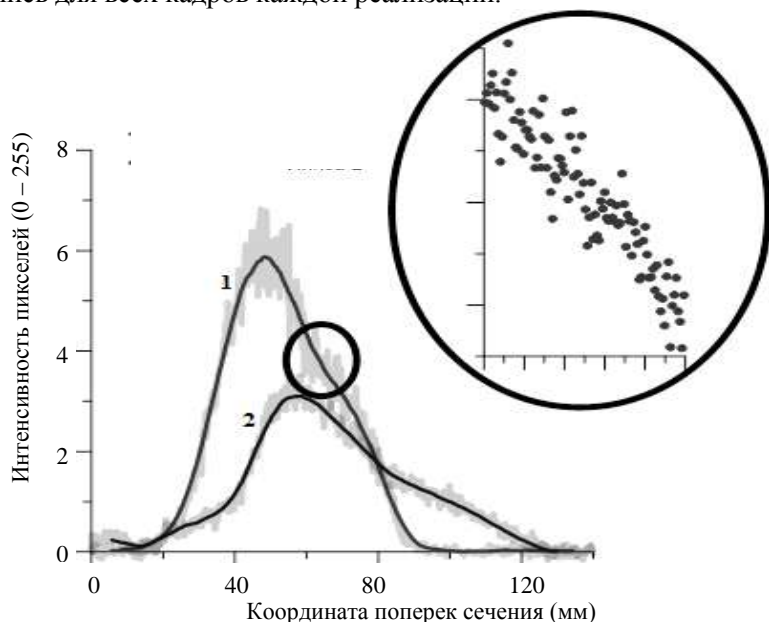
Мы попробовали измерить, как неоднородность лазерного ножа влияет на неоднородность яркости изображения. При этом исследовалась не интенсивность прямого излучения лазера, а интенсивность попадающего в камеру излучения, рассеянного частицами. Был изготовлен экран, на который проецировался лазерный нож. Изображение лазерного ножа снималось с помощью высокоскоростной камеры (рис. 1). Экран мог перемещаться в плоскости лазерного ножа вверх и вниз, что позволяло получить изображения для различных сечений лазерного ножа. Такая конфигурация системы позволила измерять профили интенсивности в различных сечениях лазерного ножа. Для этого экран закреплялся на определенном расстоянии от линзы, проводилась съемка нескольких кадров для дальнейшей обработки.



**Рис. 1.** Схема эксперимента (слева – вид спереди, справа – вид сбоку)

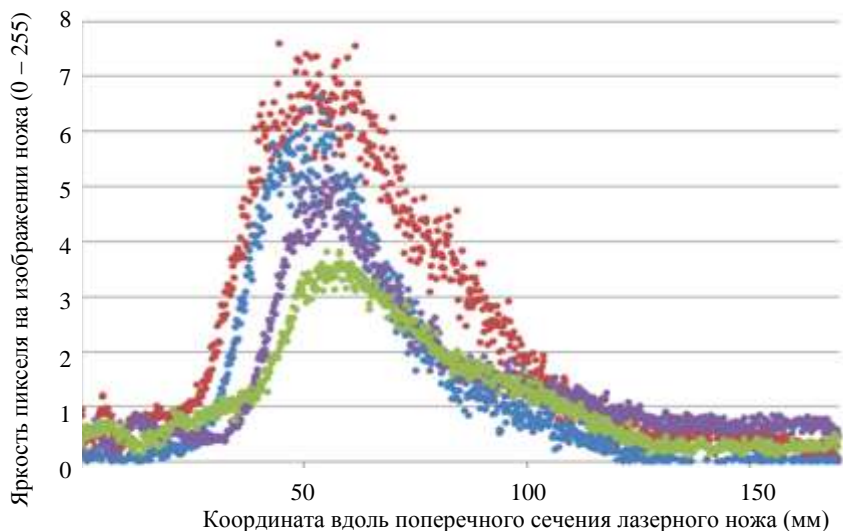
Изображение лазерного ножа, полученное в результате эксперимента, представляет собой узкую белую полосу на темном фоне. Для того чтобы убрать этот фон использовался прием «вычитание фона». На изображении присутствуют статические шумы матрицы камеры, которые можно получить в чистом виде, если закрыть объ-

ектив камеры крышкой и провести запись. Затем их можно вычистить из интересующих изображений. Чтобы получить профиль яркости, проводилось усреднение интенсивности пикселей изображения лазерного ножа в направлении, перпендикулярном полоске, и строилась зависимость этой усредненной яркости от расстояния вдоль полоски. Полученные зависимости яркости от поперечной координаты усреднялись для всех кадров каждой реализации.

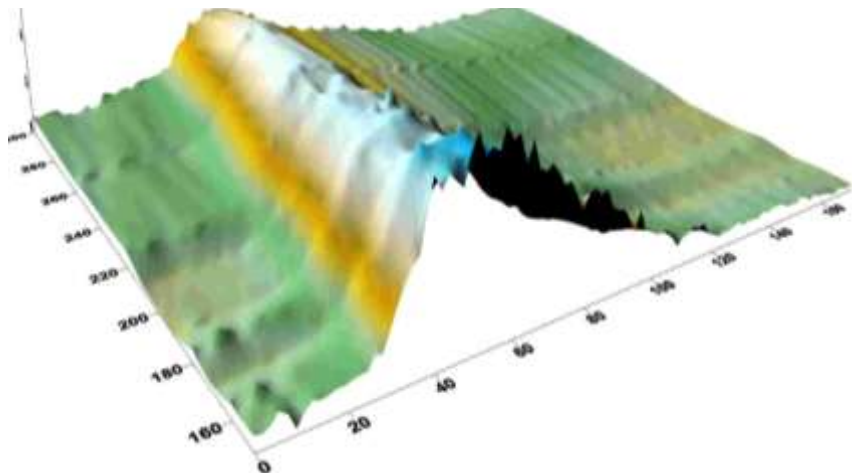


**Рис. 2.** Профили усредненной яркости пикселей изображения лазерного ножа для линз с разным радиусом кривизны (линза 2 имеет меньший радиус). По горизонтали отложена горизонтальная координата (вдоль поперечного сечения лазерного ножа). Отдельно показан участок профиля в более крупном масштабе

Измерения проводились для двух линз с разными радиусами кривизны. Можно сравнить зависимости яркости пикселей от поперечной координаты одинакового сечения для разных линз (рис. 2). Зависимости, очевидно, не симметричны. Это может быть вызвано как не идеальностью исходного лазерного пучка, так и не идеальностью юстировки линз. Несимметричность профилей и несовпадение максимумов для различных линз не позволяет однозначно расположить начало поперечной координаты в центре пучка, поэтому выбрано положение начала координат на левой границе кадра камеры. Отрицательные



**Рис. 3.** Профили интенсивности для разных поперечных сечений одного и того же ножа (зеленым показано наиболее близкое к линзе сечение, красным – наиболее удаленное)



**Рис. 4.** Картина интенсивности рассеянного лазерного излучения По двум горизонтальным координатам на графике отложены вертикальная координата в эксперименте и горизонтальная координата вдоль сечения. По вертикали отложена яркость изображения на камере в соответствующем месте нужного сечения. Это – объединение всех полученных для одной линзы профилей интенсивности в одно изображение.

значения яркости соответствуют ситуации, когда яркость пикселя из-за шумов оказывается ниже яркости фонового изображения.

Заметим, что чем больше радиус линзы, тем уже распределение и тем выше его максимум. Это связано с тем, что линза меньшего радиуса имеет меньшее фокусное расстояние по сравнению с линзой большего радиуса, эффективный угол расхождения лучей которой больше. При этом суммарная интенсивность в каждом сечении меняться не должна, так как она зависит только от мощности лазера. Видимая на графике толщина линии профиля при ближайшем рассмотрении оказывается просто разбросом значений интенсивности в соседних пикселях. Сравним зависимости для одной и той же линзы и разных сечений (рис. 3). Чем ближе сечение к лазеру, тем уже распределение. Это отвечает представлению о расходящемся ноже.

Используя все полученные для одной линзы профили интенсивности, можно построить картину интенсивности рассеянного лазерного излучения. Она показывает, что максимальная интенсивность в сечении более близком к линзе меньше, чем в более удаленном. Казалось бы, это расходится с представлением о том, что суммарная интенсивность в каждом сечении должна сохраняться или убывать с удалением от линзы. Это объясняется тем, что мы исследуем рассеянное излучение и должны учитывать то, что углы рассеяния для частиц, расположенных на разных горизонтах, различаются. Таким образом, оказалось, что эта особенность рассеянного излучения вносит в неоднородность интенсивности вклад, противоположный влиянию расходимости пучка. Это оставляет возможность компенсировать неоднородность интенсивности в вертикальном направлении изменением геометрии расположения камеры. Для выбора оптимального положения камеры можно использовать предложенный способ измерения.

Еще одним результатом работы является построение соответствующего полученному распределению интенсивности двумерного изображения, которое в дальнейшем может использоваться для коррекции PIV-изображений. Там, где оно ярче, яркость изображения будет уменьшена, там, где темнее – увеличена. Это должно привести к искусственному выравниванию яркости изображения и компенсации неоднородности лазерного ножа.

### Литература

1. *Бегунов Б.Н.* Геометрическая оптика. 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1966.
2. *Дубнищев Ю.Н., Арбузов В.А., Белоусов П.П., Белоусов П.Я.* Оптические методы исследования потоков. – Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2003. – 416 с.
3. *Звелто О.* Принципы лазеров. – М.: Мир, 1990. – 559 с.



## Составные дифракционные решетки для сверхмощных лазерных систем

Логинова Дария

11 класс

Научный руководитель И.В. Яковлев,  
научный сотрудник ИПФ РАН



*Одной из задач лазерной физики является создание лазеров с все большей пиковой мощностью излучения. Существуют методы, позволяющие продвинуться дальше в решении этой проблемы, некоторые из них предполагают использование в лазерных установках составных дифракционных решеток, которые требуют соответствующей настройки для корректной работы системы. В настоящей работе представлены методы настройки составных решеток на примере двух независимых дифракционных решеток.*

В последние годы в мире, в том числе в России в ИПФ РАН и РФЯЦ-ВНИИЭФ, созданы лазерные установки петаваттного уровня мощности. Основным препятствием к дальнейшему наращиванию мощности является оптическая стойкость дифракционных решеток компрессоров лазерного излучения. Для уменьшения оптической нагрузки на решетки приходится увеличивать поперечные размеры пучка лазерного излучения. Соответственно, необходимо увеличивать и размеры оптических элементов, в частности, дифракционных решеток. Современные технологии не позволяют производить голографические решетки размером более полуметра в диаметре. Поэтому в компрессорах сверхмощных лазерных систем перспективно применение составных («мозаичных») или «черепичных») решеток. Поскольку дифракционная решетка является более сложным оптическим элементом по сравнению с зеркалом, взаимная настройка элементов составных решеток превращается в одну из главных задач настройки компрессора, а следовательно и лазерного комплекса в целом.

Целью работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование свойств составных дифракционных решеток, методов их настройки, разработка методики настройки двух независимых дифракционных решеток по угловым степеням свободы.

В настоящей работе рассмотрены два метода настройки составной решетки. Первый из них заключается в настройке двух независимых дифракционных решеток с помощью автоколлиматора АКТ-

15 (рис. 1а). Суть метода состоит в наблюдении с помощью автоколлиматора составной дифракционной решетки сначала в нулевом порядке дифракции: в данном положении производится настройка параллельности рабочих поверхностей решеток, входящих в состав черепичной, затем наблюдения в автоколлиматоре проводятся под углом, соответствующим углу Литтрова для первого порядка дифракции решеток при этом производится настройка параллельности штрихов.

Во втором методе настройки производились по наблюдениям за отраженным от поверхностей дифракционных решеток лазерным пучком (рис. 1б). В данной ситуации автоколлиматор выступает в качестве зрительной трубы, и таким образом осуществляется контроль за траекторией отраженных от каждой решетки лазерных лучей. Наблюдения так же, как и в предыдущем методе, ведутся в нулевом и первом порядках дифракции.

Перед выполнением экспериментов был произведен теоретический расчет отражения света дифракционной решеткой при произвольном угле падения волны. Был рассмотрен случай, когда на дифракционную решетку по произвольному направлению падает плоская световая волна, волновой вектор  $\mathbf{k}$  которой направлен так, как показано на рисунке 2. Длина волнового вектора равна  $|\mathbf{k}| = 2\pi/\lambda$ , углы  $\Theta^n$  и  $\varphi^n$  отсчитываются от оси OZ и OX соответственно.

Проекции волнового вектора  $\vec{\mathbf{K}}$  на оси координат выражаются следующим образом:

$$\begin{cases} kx^n = -|\mathbf{k}| \cdot \sin \Theta^n \cdot \cos \varphi^n, \\ ky^n = -|\mathbf{k}| \cdot \sin \Theta^n \cdot \sin \varphi^n, \\ kz^n = -|\mathbf{k}| \cdot \cos \Theta^n. \end{cases}$$

Для отраженного в первый порядок дифракции луча будем иметь:

$$\begin{cases} kx^0 = |\mathbf{k}| \cdot \sin \Theta^0 \cdot \cos \varphi^0, \\ ky^0 = |\mathbf{k}| \cdot \sin \Theta^0 \cdot \sin \varphi^0, \\ kz^0 = |\mathbf{k}| \cdot \cos \Theta^0. \end{cases}$$

Пусть вектор  $\mathbf{R}$  – волновой век-

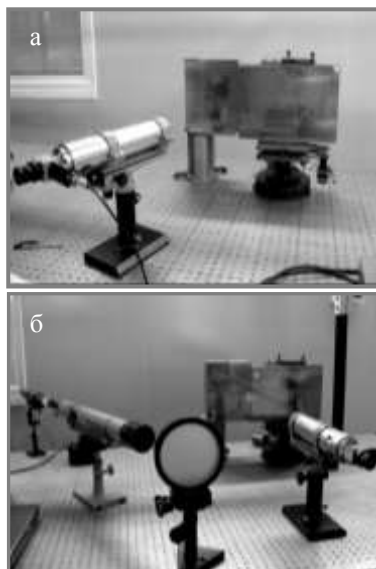
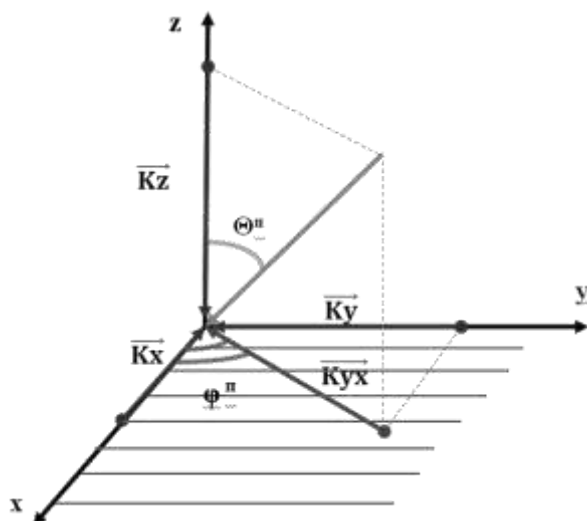


Рис. 1. Экспериментальные установки

тор дифракционной решетки, направленный перпендикулярно штрихам решетки и расположенный в одной плоскости с ее рабочей поверхностью. Модуль волнового вектора решетки равен  $|\mathbf{R}|=2\pi/d$ .



**Рис. 2.** Проекции волнового вектора падающей волны на координатные оси

По закону сохранения тангенциальной компоненты волнового вектора в плоскости решетки (XOY) должно выполняться следующее условие:

$$\mathbf{k}_{yx}^n = \mathbf{k}_{yx}^0 + \mathbf{R},$$

где  $\mathbf{k}_{yx}^n$  и  $\mathbf{k}_{yx}^0$  – вектора – проекции падающего и отраженного волновых векторов на плоскость XOY.

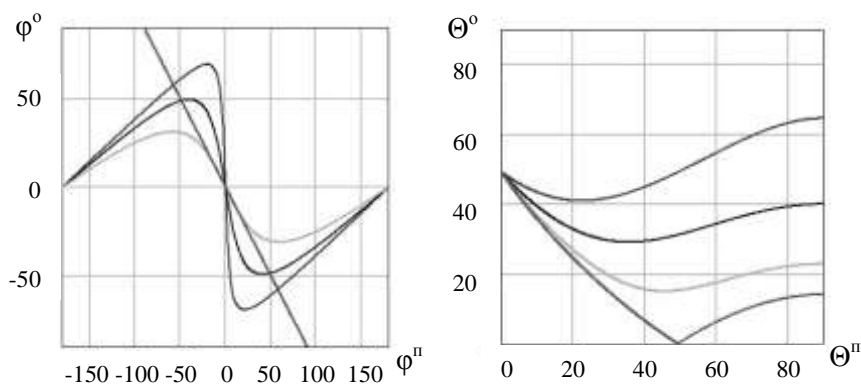
Проецируем последнее выражение на оси OY и OX:

$$\begin{cases} k_y^n = k_y^0, \\ k_x^n = k_x^0 - R. \end{cases}$$

Решением данной системы является зависимость углов отражения от углов падения:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi^0 &= (\sin \Theta^n \cdot \sin \varphi^n) / (\sin \Theta^n \cdot \cos \varphi^n - \lambda/d), \\ \sin \Theta^0 &= -\sin \Theta^n \cdot \sin \varphi^n / \sin \varphi^0. \end{aligned}$$

По полученным зависимостям производились расчеты в экспериментальной части.



**Рис. 3.** Зависимости угла отражения  $\phi^\circ$  от угла падения  $\phi''$  при значениях угла  $\Theta'' = 23, 35$  и  $45$  градусов и зависимости угла отражения  $\Theta^\circ$  от угла падения  $\Theta''$  при значениях угла  $\phi'' = 0, 20, 40$  и  $60$  градусов

При проведении экспериментов получен неожиданный результат, на основе которого разработан метод по определению разницы штрихов двух дифракционных решеток. Установив параллельность поверхностей и штрихов настраиваемых решеток, было замечено, что лучи He-Ne лазера продолжают отражаться под углами, отличными друг от друга, что не соответствовало ожидаемым результатам. По данным наблюдениям был сделан вывод о том, что причиной этого являются не ошибки в настройке угловых степеней свободы, а разница плотности штрихов используемых решеток. Расчеты показали, что таким образом можно определить разницу штрихов до сотых долей штриха на миллиметр.

### Литература

1. Bodefeld R., Hornung M., Siebold M., Schnepf M., Hein J., Podleska S., Sauerbrey R. Alignment of mosaic gratings in a tw/pw- CPA system with a slant grating separation of 5,6 meters. – Institute of Optics and Quantum Electronics. Jena. Annual Report . 2004.
2. Hornung M., Bodefeld R., Siebold M., Schnepf M., Hein J., Sauerbrey R., Kaluza M.C. Alignment of a tiled-grating compressor in a high-power chirped-pulse amplification laser system. – Applied optics. V.46. N 30. P. 7432. 2007.
3. Крюков П.Г. Фемтосекундные импульсы. Введение в новую область лазерной физики. – М.: Физматлит, 2008. – 208 с.
4. Летохов В.С. Фемтосекундные лазерные импульсы: перспективы и применение. – Вестник российской академии наук. 2002. Т. 72. № 9. С. 779 – 785.

## **Явление электромагнитной индукции в системе двух коаксиальных соленоидов**

Надршина Яна

8 класс

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



*Работа посвящена явлению электромагнитной индукции. Экспериментально было выяснено, когда и при каких условиях возникает индукционный ток. Рассмотрено правило Ленца и приведены примеры его использования. В ходе эксперимента по установлению зависимости напряжения от частоты, подаваемой на соленоид, было замечено, что при частоте меньше 1 кГц напряжение растет линейным образом, а при частоте выше 1 кГц ведет себя нелинейным образом. В данной работе приводится объяснение такого результата.*

В 1831 году Фарадеем и Ленцем выявлены законы электромагнитной индукции. Огромное значение открытия электромагнитной индукции проявляется в настоящее время благодаря развитию электротехники, которое немыслимо без генераторов, основанных на данном явлении.

Открытию Фарадея предшествовали эксперименты Г.Х. Эрстеда, который в 1820 году доказал, что протекающий ток в цепи порождает магнитное поле. Расположив магнитную стрелку параллельно проводу, Эрстед обнаружил, что при замыкании цепи она поворачивается. А Фарадей в 1822 году в своем дневнике записал: «Превратить магнетизм в электричество», что он и сделал спустя 10 лет.

Явление электромагнитной индукции в проводниках заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре (если контур замкнут, или в возникновении электродвижущей силы, если контур не замкнут) при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего площадь, охваченную контуром.

На рынке в данный момент появляются устройства, которые используют явление электромагнитной индукции для подзарядки, однако КПД таких устройств незначителен.

Магнитное поле, изменения которого вызывают возникновение токов индукции, может быть создано или магнитами, находящимися вблизи индуцируемого контура, или же токами в других контурах,

находящихся по соседству с индуцируемым контуром. Контуры, создающие магнитное поле, носят название индуцирующих; контуры, в которых возникает индукционный ток, – индуцируемых.

В работе проанализированы оба случая, приводящие к появлению индукционного тока в контуре.

В качестве основной проблемы мы рассмотрели построение и качественное объяснение кривой зависимости напряжения на внутренней обмотке коаксиального соленоида от частоты тока, который подается на внешнюю обмотку. Устройство экспериментальной установки представлено двумя соленоидами (один в другом), звуковым генератором, вольтметром, который с помощью переключателя подключается к внутреннему и внешнему соленоиду (рис. 1а).

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть промежуточные задачи, позволяющие облегчить процесс понимания происходящих явлений. Промежуточные задачи включают повторение опыта Фарадея, выявление качественных зависимостей наблюдаемых явлений.

Установка, на которой Фарадей сделал свое открытие, представляла кольцо из мягкого железа примерно 2 см шириной и 15 см диаметром, на каждую половину которого намотано много витков медной проволоки. Цепь одной обмотки замыкала проволока, в витках которой находилась магнитная стрелка, удаленная настолько, чтобы не сказывалось действие магнетизма, созданного в кольце. Через вторую обмотку пропусклся ток от батареи гальванических элементов. При включении тока магнитная стрелка совершала несколько колебаний и успокаивалась; когда ток прерывали, стрелка снова колебалась [3].

Установка, на которой проводился эксперимент Фарадея, представлена на рисунке 1.

Индукционный ток в катушке возникает при следующих условиях: 1) при перемещении постоянного магнита от-



**Рис. 1.**

Экспериментальная установка

носителем катушки; 2) при перемещении электромагнита относительно катушки; 3) при изменении тока в цепи электромагнита; 4) при замыкании и размыкании цепи [5].

В ходе эксперимента мы подключили катушку к гальванометру. При опускании и извлечении постоянного магнита из катушки стрелка на гальванометре отклонялась. Чем быстрее опускается и извлекается магнит из катушки, тем на большее количество делений отклонялась стрелка гальванометра, то есть в катушке возникал больший ток. Причем, когда магнит опускается в катушку северной стороной, стрелка отклоняется сначала вправо, а потом влево, а когда магнит опускается в катушку южной стороной, стрелка отклоняется сначала влево, а потом вправо. Это следует из правила Ленца: возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток [2].

Далее на подключенную к гальванометру катушку установили вторую катушку, подключенную к источнику питания. Когда включали и выключали источник питания, стрелка на гальванометре отклонялась и возвращалась в исходное положение. Это свидетельствует о том, что при включении и выключении источника питания индукционный ток в катушке также возникает. При включении и выключении источника создается магнитное поле, поэтому во второй катушке возникает индукционный ток. Направление, в котором отклонялась стрелка, также объясняется правилом Ленца.

Результаты данных экспериментов подтверждают условия возникновения индукционного тока.

Качественная зависимость изменяемых величин в процессе эксперимента может быть представлена в следующем виде:

$$E \sim - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

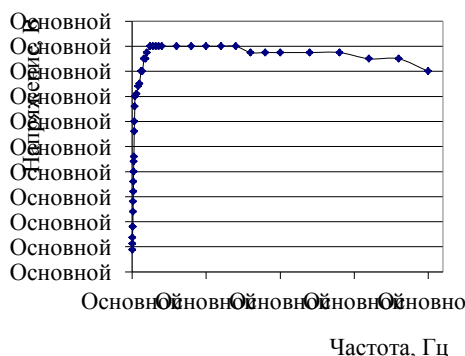
где  $E$  – электродвижущая сила, действующая вдоль произвольно выбранного контура,  $\Delta \Phi$  – изменение магнитного потока.

$$\Phi = \Delta B \times \Delta S,$$

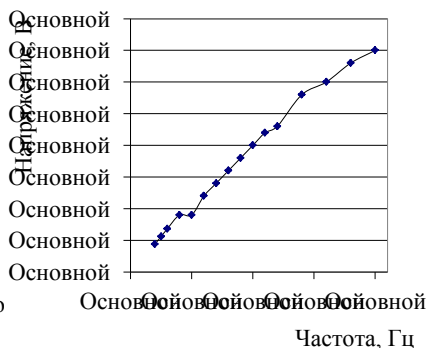
где  $\Delta B$  – изменение магнитной индукции,  $\Delta S$  – изменение площади.

ЭДС индукции возникает либо при изменении индукции, либо площади. ЭДС индукции в замкнутом контуре прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную этим контуром. Если скорость изменения влияет на вели-

чину ЭДС индукции, то при увеличении частоты изменения переменного тока, который подается на внешний соленоид, на внутреннем соленоиде ЭДС будет увеличиваться. Напряжение, подаваемое на внешний соленоид, равно 2 В и поддерживается постоянным. Частота изменяется от 200 Гц до 200 кГц. График зависимости напряжения на внутреннем соленоиде от частоты представлен на рисунке 2. Результаты зависимости при частотах от 200 Гц до 1 кГц приведены на рисунке 3.



**Рис. 2.** Зависимость напряжения на внутреннем соленоиде от частоты на внешнем соленоиде



**Рис. 3.** Зависимость напряжения от частоты при малых частотах

Представим математическое объяснение результатов.

По внешней катушке протекает ток  $I = I_0 \cos \omega t$ , где  $I_0$  – амплитуда силы тока,  $\omega$  – частота, регулируемая на генераторе. Внутреннюю катушку пронизывает переменный магнитный поток:

$$\Phi = NBS = \gamma N S I_0 \cos \omega t, \quad E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \gamma N S I_0 \omega \sin \omega t,$$

$$E = E_0 \sin \omega t, \quad E_0 = \gamma N S I_0 \omega.$$

Таким образом, напряжение прямо пропорционально частоте и должно возрастать до бесконечности с ростом частоты. Но при проведении эксперимента оказалось, что поведение кривой отличается от математической записи.

Рассмотрим полное сопротивление системы:  $Z = \sqrt{(\omega L)^2 + R^2}$ , где  $L$  – индуктивность внутренней катушки, которая значительно меньше единицы,  $R$  – сопротивление проволоки, из которой намотана катушка.



При небольших частотах реактивным сопротивлением можно пренебречь, то есть  $\omega L \rightarrow 0$ , тогда общее сопротивление  $Z = R$ .

Получаем закон Ома, при котором зависимость представляется прямой линией, что и отражается на графике при небольших частотах. Как только частоты становятся значимыми для реактивного сопротивления, пренебрегать им нельзя. Вторая часть графика, где напряжение перестает расти и падает, объясняется наличием реактивного сопротивления.

Основные *выводы* эксперимента формулируются в следующем виде. Если постоянный магнит вдвигать внутрь катушки, происходит изменение потока индукции магнитного поля, что приводит к возникновению тока в цепи. Электрический ток возникает и в том случае, когда магнит неподвижен, а движется катушка (вверх или вниз). Когда движение прекращается, ток исчезает. Однако не при всяком движении магнита (или катушки) возникает электрический ток. Если вращать магнит вокруг вертикальной оси, ток не возникает. Индукционный ток в катушке возникает вследствие изменения магнитного потока. Возникающая в замкнутом контуре ЭДС прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока. Была установлена и объяснена зависимость напряжения на внутреннем соленоиде от частоты, подаваемой на внешний соленоид в системе коаксиальных соленоидов.

### Литература

1. Аксенович Л.А. Физика в средней школе // Электромагнитная индукция. Опыты Фарадея. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. – С. 344 – 345.
2. Кабардин О.Ф. Физика: справочные материалы. Учебное пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1985. – 359 с.
3. Роуэлл Г., Герберт С. Физика / Пер. с англ. под ред. В.Г. Разумовского. – М.: Просвещение, 1994. – 576 с.
4. Чуянов В.А. Энциклопедия юного физика. – М., 1991.
5. Элементарный учебник физики: Учебное пособие / Под ред. Г.С. Ландсберга. Т. 2. Электричество и магнетизм. – Репринт. 10 изд. – М.: ШРАЙК, В.РОДЖЕР, 1995. – 480 с.
6. Основные законы физики. [Электронный ресурс]: <http://www.reprint1.narod.ru>.
7. Физика для любознательных. [Электронный ресурс]: <http://classfizika.narod.ru>.
8. Электронный учебник физики. [Электронный ресурс]: <http://www.physbook.ru/index.php>.

## Исследование некоторых особенностей механических свойств неньютоновской жидкости

Паршина Наталья

10 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина,  
учитель высшей категории



*Неньютоновских (аномальных, с точки зрения гидравлики) жидкостей немало. Они широко распространены в нефтяной, химической, перерабатывающей и других отраслях промышленности. Понимание природы поведения неньютоновских жидкостей позволит модифицировать промышленные и технологические процессы, протекающие с участием таких жидкостей. Для их использования необходимо изучить свойства и закономерности поведения неньютоновских жидкостей при изменении внешних условий.*

Важное свойство жидкостей – вязкость. Она определяется как способность оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой. Когда соседние слои частиц, составляющих жидкость, движутся относительно друг друга, неизбежно происходит столкновение частиц, при этом возникают силы, затормаживающие их упорядоченное движение. Кинетическая энергия упорядоченного движения частиц переходит в тепло, что аналогично результату действия сил сухого трения, когда трущиеся поверхности разогреваются. Вязкостью обладают все жидкости, но у всех она разная. Наибольшей вязкостью обладают не однокомпонентные, не однофазные, а сложные системы: гели, эмульсии, суспензии. Вязкость – коэффициент пропорциональности между образующейся в жидкости в ответ на деформацию силой вязкого трения и изменением скорости этой деформации.

Ньютоновская вязкость зависит только от вида жидкости, температуры, давления и не зависит от скорости деформации. Ньютоновскими является большая часть жидкостей, с которыми мы привыкли иметь дело: вода, водные растворы, нефтепродукты, ацетон и т.п. Неньютоновскими, или аномальными, называют жидкости, вязкость которых зависит от градиента скорости. Такие жидкости можно разделить на три группы.

1. Неньютоновские вязкие жидкости: а) вязкопластичные жидкости; б) псевдопластичные жидкости; в) дилатантные жидкости.

2. Неньютоновские нереостаби́льные жидкости.
3. Неньютоновские вязкоупругие жидкости.

К дилатантным относятся жидкости с большим содержанием твердых частиц. При движении с небольшим градиентом скорости жидкость играет роль смазки между твердыми частицами и уменьшает трение. При дальнейшем увеличении градиента скорости вязкость увеличивается. Типичными примерами дилатантных жидкостей являются концентрированные суспензии твердых частиц, например, зыбучий песок.

Нам показалось интересным исследовать качественные отличия поведения неньютоновской и ньютоновской жидкости и по возможности провести количественное сравнение. В своих опытах мы использовали такую дилатантную жидкость, как крахмальное молочко (2 части крахмала на 1 часть воды).

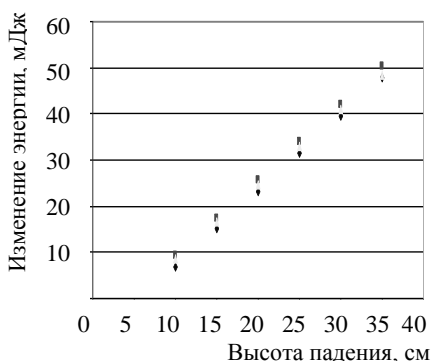
Мы наблюдали вытекание неньютоновской жидкости и воды из пластикового сосуда через отверстия, проделанные в дне и боковой стенке сосуда. Также мы наблюдали поведение пузырей воздуха, выдуваемых из трубки в неньютоновской жидкости и воде, пытаясь найти различия в процессе образования пузырей при их всплывании. Эластичная оболочка, заполненная крахмальным молочком, с наклонной плоскости скатывается так же, как и оболочка, заполненная водой. Качественных различий во всех перечисленных экспериментах мы не нашли.

Затем мы проверили, как будет вести себя крахмальное молочко при кратковременном воздействии, проведя серию экспериментов по падению стальных шариков (масса шарика радиусом 0,8 см –  $16,7 \pm 0,1$  мг, масса шарика радиусом 3,5 мм –  $1,4 \pm 0,1$  мг) на поверхность жидкости. Мы роняли шарики с различной высоты (35–10 см) на поверхность жидкости, налитой в пластиковый сосуд, причем рассматривали 2 случая: когда глубина жидкости порядка размера шарика и когда много больше. Так как процесс падения происходит очень быстро, мы вели видеозапись, а затем по кадрам анализировали результат взаимодействия шарика с поверхностью, на которую он падал. Время фиксировалось той же видеокамерой.

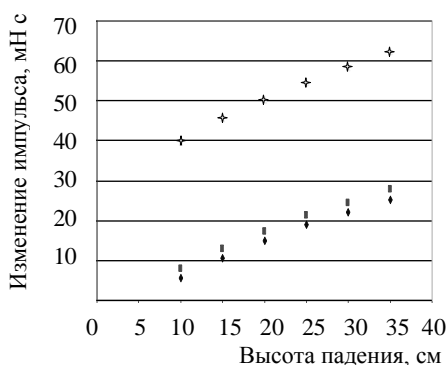
Вначале мы проверили, с каким ускорением падают шарики, чтобы иметь возможность определять скорость перед ударом и после него. Сила сопротивления воздуха при падении обоих шариков в наших экспериментах оказалась много меньше силы тяжести, так как время падения совпадает с временем, рассчитанным по формуле для

времени свободного падения. Это значит, что можно вычислить скорость шарика перед началом взаимодействия с жидкостью по закону сохранения энергии.

Затем была проведена серия опытов по определению высоты подъема большого и маленького шариков после взаимодействия с жидкостью на небольшой глубине. Опыты проводились с крахмальным молочком. Вначале определялась высота подъема шариков при отскоке от пустой емкости, затем измерялась высота подъема шариков при отскоке от поверхности жидкости; мы определяли по ней время подъема и скорость при отскоке, находили изменение скорости, импульса и кинетической энергии шарика. Получилось, что при отскоке шариков от дна во всех исследованных случаях происходило превращение механической энергии в тепло, потери энергии прямо пропорциональны начальной механической энергии системы. Эта зависимость, очевидно, обусловлена взаимодействием шарика при ударе с пластиковым дном сосуда, так как во всех трех описанных выше случаях потери энергии практически одинаковы (рис. 1). Импульс же больше изменяется при отскоке от поверхности, покрытой слоем крахмального молочка; в двух других случаях изменения импульса почти одинаковы для всех высот, с которых падал шарик (рис. 2).



**Рис. 1.** Изменение энергии шарика при отскоке от дна



**Рис. 2.** Изменение импульса шарика (нижние графики – отскок от дна пустого сосуда и дна, покрытого неглубоким слоем воды; верхний график – от дна, покрытого тонким слоем крахмального молочка)

Затем были проведены опыты по падению шариков на поверхность крахмального молочка в высокой емкости (глубина жидкости много больше размера шарика). Шарик отскакивали от поверхности жидкости, но на такую небольшую высоту, что она не могла быть измерена нашим методом с помощью видеозаписи, то есть почти вся кинетическая энергия шарика переходила в итоге в тепло.

Если представить модель дилатантной жидкости как последовательное соединение упругого и вязкого элементов, то в начальный момент воздействия деформация вязкого элемента равна нулю, вся деформация сосредоточивается в упругом элементе. В результате возникает начальное напряжение, под его действием происходит деформация вязкого элемента, деформация упругого элемента уменьшается и напряжение спадает, при этом происходит диссипация на вязком элементе энергии, запасенной на упругом, что делает поведение системы в таком режиме термодинамически и механически необратимым. При времени воздействия, большем некоторого характерного, такая система близка по свойствам к жидкости, а при меньшем – больше напоминает упругое тело.

Когда же слой жидкости тонкий, начинает, очевидно, играть роль размер шарика (поперечное сечение): маленький шарик отскакивает гораздо хуже при падении с любой высоты. Из-за небольшого поперечного сечения энергия, запасенная в упругом элементе, мала и быстро происходит диссипация на вязком элементе, как и в случае с большой глубиной жидкости. При этом почти вся кинетическая энергия шарика переходит в тепло вне зависимости от ее начального значения. У большого же шарика энергия упругого элемента больше, потери на вязком элементе не успевают возникнуть за время распространения возмущения до упругого дна сосуда. Таким образом, появляется дополнительная сила упругости со стороны дна сосуда. При этом потери кинетической энергии большого шарика при отскоке от дна пустого сосуда и дна сосуда, покрытого тонким слоем как воды, так и крахмального молочка, одинаковы в пределах погрешностей и линейно возрастают с увеличением начальной энергии шарика. Импульс же изменяется по-разному: при падении на дно сосуда и дно, покрытое водой изменение импульса одинаковое, с крахмальным молочком импульс меняется заметно сильнее, несколько медленнее с возрастанием скорости шарика перед ударом. Можно предположить, что за счет вязкости увеличивается время

взаимодействия шарика с деформируемым препятствием, а слой крахмального молочка играет роль амортизатора.

В результате проведенных исследований можно сделать *вывод*: различия в поведении дилатантной жидкости и ньютоновской жидкости становятся заметными только при кратковременном воздействии – ударе, свойства неньютоновской жидкости изменяются за счет увеличения вязкости.

### Литература

1. Глинка Н.Л. Общая химия. – М.: Химия, 1971.
1. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл.: Учебник для углубленного изучения физики. – 5-е изд. – М.: Дрофа, 2002.
2. Фаддеев М.А., Лебедева О.В. Молекулярная физика: Учебное пособие по решению задач. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2012. – 195 с.
3. Физика: Учеб. для 10 кл. шк. и кл. с углубленным изучением физики / Под ред. А.А. Пинского – М.: Просвещение, 2003.
4. Механическое поведение жидкостей. [Электронный ресурс]: <http://www.splav.ru/press/tech/d3o/d3o-science.aspx>.

## Наблюдение подъема ферромагнитной жидкости в капиллярах в присутствии магнитного поля

Преображенский Глеб

9 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина,  
учитель высшей категории



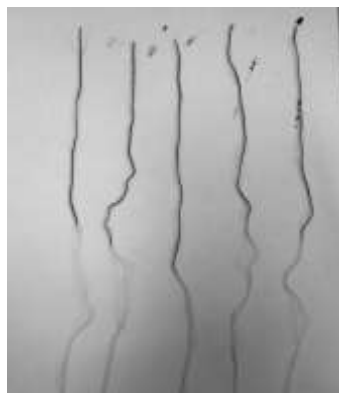
*Если подъемом жидкости в капилляре можно управлять при помощи, например, магнитного поля, то возникают новые возможности для применения ферромагнитной жидкости и исследования поверхностных явлений. Мы попытались изучить поведение ферромагнитной жидкости в магнитном поле и без его воздействия при подъеме в капиллярах некоторых пористых тел.*

В настоящее время пользуются популярностью так называемые ферромагнитные жидкости, которые вызывают интерес своим поведением в магнитных полях в такой степени, что с их использованием создаются произведения искусства – скульптуры из ферромагнитных жидкостей. Однако такие жидкости могут широко использоваться и в технических отраслях. В настоящее время ферромагнитные жидкости применяются в электронике, машиностроении, оборонной и авиакосмической отраслях промышленности, аналитических приборах, медицине, трансформаторах, генераторах ультразвука. Заполняя магнитной жидкостью различные материалы пористой структуры, помещая затем эти материалы в магнитное поле и измеряя скорость подъема жидкости по капиллярам, можно, например, оценивать пористость материалов. В своей работе мы решили рассмотреть одно из возможных применений ферромагнитной жидкости: для исследования веществ пористой структуры. *Цель нашей работы – исследование зависимости высоты подъема ферромагнитной жидкости по капиллярам пористых тел в присутствии магнитного поля.*

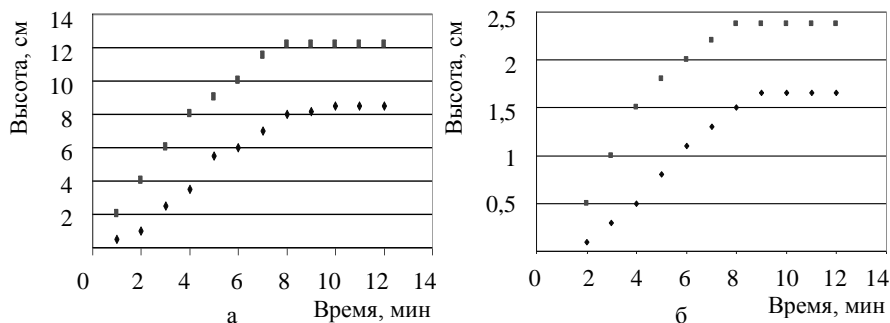
В своих опытах мы попытались исследовать поведение ферромагнитной жидкости в магнитном поле и без него при подъеме в капиллярах некоторых пористых тел. В качестве образцов мы использовали нитки и бумагу различной структуры. В дальнейшем образцы будут соответственно именоваться: № 1 – нитки белые мулине; № 2 – нитки белые швейные № 60; № 3 – нитки коричневые швейные № 10; № 4 – бумага акварельная; № 5 – бумага писчая. Источник магнитного поля – постоянный магнит.

Мы работали с двумя различными жидкостями: готовой (заказали через Интернет) и самодельной, сделанной из технического масла и тонера для лазерного принтера. Магнитные частицы в самодельной жидкости крупные, порядка микрометра, в готовой жидкости – нанометровые, поэтому они не удерживаются во взвешенном состоянии в масле долго за счет броуновского движения и оседают из-за большой массы на дно, слипаются там, а жидкость теряет свойства феррофлюида. В нашем случае это происходило в течение суток.

Исследуемый материал закреплялся вертикально, его край опускался по нанесенную метку в жидкость. После прекращения подъема жидкости измерялась высота подъема.



**Рис. 1.** Подъем ферромагнитной жидкости в нескольких образцах ниток



**Рис. 2.** Высота подъема жидкости а) в материале № 3, б) в материале № 4 (нижний график – без магнитного поля, верхний – с магнитным полем)

Сначала мы исследовали, как высоко поднимается ферромагнитная жидкость в образцах без магнитного поля. Мы измерили высоту подъема ферромагнитной жидкости в пяти материалах и вычислили среднюю скорость подъема. Для увеличения точности высота измерялась для каждого опыта пять раз в одинаковых условиях, а затем значения усреднялись (рис. 1). В нитках высота подъема готовой жидкости больше, чем в бумаге, как в присутствии магнитного поля, так и без него. Это можно объяснить большой пористостью ниток,



но из-за неравномерного их скручивания разброс значений высот в нитках больше, чем в бумаге. В магнитном поле высота подъема ферромагнитной жидкости и средняя скорость подъема возрастают во всех образцах в среднем на 40% (рис. 2).

Мы рассмотрели одно из возможных применений ферромагнитной жидкости – для исследования веществ пористой структуры. Изучалось поведение ферромагнитных жидкостей в капиллярах пористых материалов в присутствии магнитного поля, а для сравнения проводились аналогичные опыты без магнитного поля. Для дополнительного контроля измерялась высота подъема в исследуемых материалах технического масла без ферромагнитных частиц. Несмотря на то, что точность измерений в наших экспериментах была невелика и то, что мы использовали магнит с небольшой индукцией, можно по результатам опытов сделать некоторые *выводы*.

1. В нитках высота подъема готовой жидкости больше, чем в бумаге, как в присутствии магнитного поля, так и без него.
2. Увеличение высоты подъема заметнее в материалах № 3 и 4, в них же заметно увеличивается средняя скорость подъема жидкости, возможно, это объясняется неоднородностью образцов.
3. Воздействие на магнитную жидкость сил со стороны внешнего магнитного поля дает возможность управления процессом капиллярного подъема магнитной жидкости.
4. В пористых материалах магнитное поле заметно увеличивает среднюю скорость подъема ферромагнитной жидкости по капилляру.

Все перечисленное может быть использовано для разработки методики определения степени пористости материалов. Для этого необходимо провести еще несколько серий дополнительных опытов, чтобы исключить влияние посторонних факторов на чистоту эксперимента.

### Литература

1. *Борисенко О.В.* Исследование капиллярного подъема ферромагнитной жидкости при воздействии неоднородного магнитного поля. – Ставропольский государственный университет. 1997.
2. *Глинка Н.Л.* Общая химия. – М.: Химия, 1971.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Высш. шк., 2002. – 542 с.
4. Физика: Учеб. для 10 кл. шк. и кл. с углубленным изучением физики / Под ред. А.А. Пинского. – М.: Просвещение, 2003.

# Эффект разрыва капли кулоновскими силами

Рябинин Иван

9 класс

Научный руководитель П.М. Савкин,  
учитель высшей категории



*В работе рассматривалось взаимодействие двух сил – силы поверхностного натяжения жидкости и кулоновских сил. Капли исследуемых жидкостей подвергались воздействию сильного электрического поля. Наблюдался интересный процесс деформации висящей капли и ее последующее медленное разрушение. Теоретическое обоснование наблюдаемых процессов достаточно сложное и, по-видимому, требует дальнейшей тщательной проработки.*

Поверхностное натяжение играет большую роль в нашей жизни. Оно определяет некоторые важные свойства жидкостей. Например, от него зависит эффективность моющего средства или жидкой смазки. Цель работы – найти зависимость между коэффициентом поверхностного натяжения жидкости и кулоновскими силами, разрывающими каплю. Задачи:

- 1) измерить значение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом отрыва рамки;
- 2) собрать высоковольтную экспериментальную установку;
- 3) проверить возможность существования электростатического метода. Если эта задача выполнима, то:
- 4) выявить зависимость напряжения разрыва капли от коэффициента поверхностного натяжения;
- 5) определить границы возможности использования данного метода.

Поверхностное натяжение – термодинамическая характеристика поверхности раздела двух находящихся в равновесии фаз, определяемая работой обратимого изотермокинетического образования единицы площади этой поверхности раздела при условии, что температура, объем системы и химические потенциалы всех компонентов в обеих фазах остаются постоянными.

Сила поверхностного натяжения направлена по касательной к поверхности жидкости, перпендикулярно к участку контура, на который она действует, и пропорциональна длине этого участка. Коэффициент пропорциональности  $\gamma$  – сила, приходящаяся на единицу

длины контура, называется коэффициентом поверхностного натяжения. Он измеряется в ньютонах на метр.

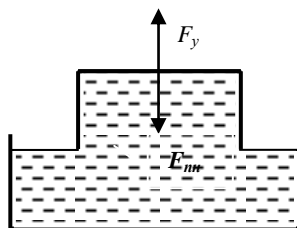
С поверхностью жидкости связана свободная энергия  $E=\sigma S$ , где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения,  $S$  – полная площадь поверхности жидкости. Свободная энергия изолированной системы стремится к минимуму, а жидкость (в отсутствие внешних полей) стремится принять форму, имеющую минимальную площадь поверхности, то есть форму сферы.

При использовании электростатического метода силой, противостоящей силе поверхностного натяжения, являются силы кулоновского взаимодействия. Взаимодействие между зарядами определяется законом Кулона: два точечных заряда взаимодействуют друг с другом с силами, прямо пропорциональными произведению зарядов и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

*Получение значения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва рамки*

При образовании тонкой пленки жидкости шириной  $\ell$  вдоль границы поверхности жидкости действует сила поверхностного натяжения  $F=\sigma 2\ell$ .

Для измерения коэффициента поверхностного натяжения проволочную петлю полностью погружают в жидкость, а затем медленно вытягивают из жидкости. При этом на петле образуется пленка. Когда сила упругости пружины динамометра  $F_y$  станет равной силе поверхностного натяжения  $F_{nn}$ , пленка разрывается. Силу поверхностного натяжения  $F_{nn}$  измеряют чувствительным динамометром типа ДПН, а ширину пленки  $\ell$  (равную ширине проволочной рамки) – линейкой. Этим способом измерены коэффициенты поверхностного натяжения  $F_{nn}$ .



**Рис. 1.** Силы, действующие на пленку

*Таблица 1.* Измерение КПН методом отрыва рамки

Жидкость	$\sigma$ , мН/м	$l$ , м	$F$ , мН
Водопроводная вода	56,3	0,04	4,5
Дистиллированная вода	71,9		5,8
Мыльная вода	40,6		3,2
Ацетон	25		2
Глицерин	62,5		5

*Исследование зависимости значения напряжения высоковольтного источника, при котором разрываются капли, от коэффициента поверхностного натяжения различных жидкостей*

Суть метода заключается в том, что при наличии на капле заряда он распределяется по капле равномерно, и на поверхности капли возникают силы отталкивания между частицами. Когда их воздействие превышает силу поверхностного натяжения, капля разрывается.

При проведении данного эксперимента катод и анод достаточно удалены друг от друга. В нашем эксперименте не имеется возможности измерять напряженность электрического поля, к тому же нереально исключить возможность взаимодействия полей различных частей установки и проводников. Поэтому результаты зависимости связи между коэффициентом поверхностного натяжения и кулоновскими силами будут косвенными через какой-то постоянный коэффициент.

Поскольку одноименные заряды отталкиваются, на поверхности капли должны возникнуть силы кулоновского взаимодействия, стремящиеся разорвать каплю. Этого не происходит, пока эти силы не превысят силу поверхностного натяжения. От силы поверхностного натяжения зависит напряжение высоковольтного источника, при котором капля разорвется.

При подаче напряжения на каплю воды силы кулоновского взаимодействия направлены по касательной к поверхности капли. Большинство зарядов тогда перемещается близко к поверхности капли, так как они выталкиваются наружу зарядами внутри капли.

Первоначально электродом была игла, на которой находилась капля. Но, поскольку игла острая, заряд скапливался на ее конце, и каплю «сдувало». Для более равномерного распределения потенциала вдоль стержня, на котором висят капли, было решено установить шарик на конце электрода. Также шарик предотвращал возникновение коронного разряда на конце стержня.

Поскольку на каплю действует сила тяжести, капля слегка вытягивается вниз, принимая форму, отличающуюся от сферической. При этом заряды начинают скапливаться на заостренном конце капли, тем самым провоцируя его дальнейшее заострение (на заостренном конце капли напряженность поля повышенная, и электростатические силы при превышении ими сил поверхностного натяжения начинают сбрасывать с заостренного конца мельчайшие капли). Таким образом, капля разрывается не целиком, а постоянно выбрасывая маленькие капли жидкости (рис. 2).

Чем ближе капля находилась к источнику питания, тем меньше требуется напряжение для разрыва капли. Чем меньше длина стержня, тем больше напряженность электрического поля и тем меньше напряжение высоковольтного источника необходимо для разрыва капли. Длина стержня и место капли на нем для всех видов жидкости во всех экспериментах были постоянными.



Рис. 2. Разрыв капли

Напряжение разрыва капли при проведении измерений на катоде и аноде не изменялось, и мы можем смело утверждать, что от полярности напряжения получаемый результат не зависит.

Таблица 2. Зависимость напряжения разрыва капли от КПН

	Водопроводная вода	Вода дистиллированная	Мыльный раствор	Ацетон	Глицерин
$U, \text{кВ}$	12	14,5	11,4	11	12,8
$\sigma, \text{Н/м}^2$	55	72,8	40	24	63

При проведении эксперимента с *электропроводящими* жидкостями данные, полученные с помощью высоковольтной установки, совершенно не согласовывались с данными, полученными методом отрыва рамки. Следовательно, данная конструкция применима только для веществ-диэлектриков.

Сопоставляя график (рис. 3), построенный на основе полученных результатов, с графиками известных функций, нами было сделано предположение о том, что график является степенной функцией с показателем  $1/2$ .

Если  $r$  – рассто-

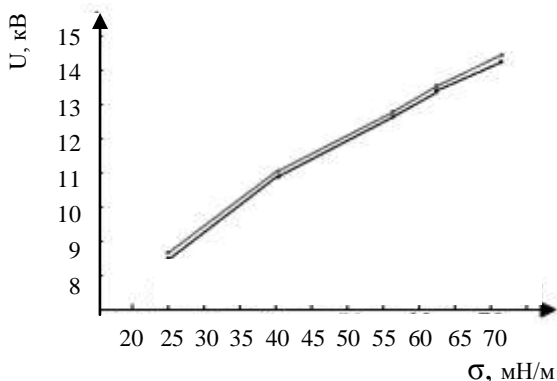


Рис. 3. График зависимости  $U$  от КПН (верхний график – эксперимент, нижний – расчет)

яние между зарядами,  $R$  – радиус капли,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $F_k = kq^2/r^2$  – сила Кулона,  $F_{nn} = 2\sigma\pi R$  – сила поверхностного натяжения, тогда условие разрыва капли:  $F_k = F_{nn}$ , то есть  $kq^2/r^2 = 2\sigma\pi R$ . Учитывая, что  $k = (1/4)\pi\varepsilon_0$ , выражение примет следующий вид:  $(1/4)\pi\varepsilon_0 q^2/r^2 = 2\sigma\pi R$ . Несложно показать, что  $\sigma = \varepsilon_0 q^2/8r^2 R$ .

Значит, наше предположение было верно – КПН прямо пропорционален квадрату заряда на капле. А заряд прямо пропорционален напряжению, что было проверено нами с помощью электрометра.

В процессе выполнения работы были сделаны следующие *выводы*.

1. Для жидкостей-диэлектриков при большем коэффициенте поверхностного натяжения для разрыва капли необходимо большее напряжение, причем напряжение разрыва капли прямо пропорционально квадратному корню из значения коэффициента поверхностного натяжения.
2. Применять иглу в качестве электрода не позволял электронный ветер, который «сдувал» каплю с электрода. Поэтому была разработана конструкция, исключающая возможность значительного влияния электронного ветра, которая также препятствовала возникновению коронного разряда и выравнивала напряженность поля на электроде.
3. Напряжение разрыва капли не зависит от полярности напряжения.
4. Чем ближе капля находится к источнику тока, тем меньшее напряжение требуется для разрыва капли. Чем меньше длина проводника, тем выше напряженность поля и тем меньше необходимое напряжение источника. Поэтому была выбрана одна точка электрода, и все измерения производились на ней.

Полученные результаты по существу являются косвенными. По большому счету выявлена возможность существования зависимости коэффициента поверхностного натяжения от диэлектрической проницаемости слабопроводящей жидкости. Для дальнейшего изучения этой зависимости могут потребоваться дополнительные исследования. Это может стать темой следующих работ.

### Литература

1. Беленов А.Ф., Савкин П.М. Методические рекомендации и лабораторные работы по физике для 10-х классов. – Н.Новгород: НОЦ ИПФ РАН, 2005.
2. Дубровский И.М., Егоров Б.В., Рябошапка К.П. Справочник по физике. – Киев: Наукова думка, 1986.
3. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т. 2. – М.: Наука, 1971.
4. Перышкин А.В. Физика 8-й класс. – М.: Дрофа, 2003.

# Исследование влияния свойств жидкостей на частоту звучания сосуда с жидкостью

Савкин Сергей

8 класс

Научный руководитель П.М. Савкин,  
учитель высшей категории



*Тема работы, на первый взгляд, является довольно банальной – автоколебания сосуда с налитой в него жидкостью. Но выяснилось, что частота звуковых колебаний зависит не только от количества жидкости, но и от ее свойств. Была выявлена связь между частотой, плотностью жидкости и скоростью звука в ней. Анализировались физические процессы в колебательной системе «бокал – жидкость».*

Все слышали прекрасный, чистый звон хрустальных бокалов. Многие замечали, что тон звучания изменяется, если в бокал налита жидкость, а при размешивании сахара в стакане с чаем тон звучания от ударов ложки по стеклу понижается при растворении сахара. Исследование причин таких малозначительных на первый взгляд событий может представлять значительный интерес.

*Цель работы – исследование влияния свойств жидкостей на частоту звучания сосуда с жидкостью. Метод исследования: лабораторный эксперимент.*

Оборудование и материалы: весы рычажные, набор гирь, мензурка 50 мл, смычок скрипичный, бокал хрустальный, генератор звуковой ГЗ-102, генератор звуковой ГЗ-34, осциллограф С1-73, телефон, микрофон, ацетон, вода водопроводная, раствор NaCl в воде, сироп шиповника.

Довольно много людей за последние три века занималось экспериментами со звучащими хрустальными сосудами. Было создано несколько вариантов музыкальных инструментов, которые используются музыкантами в разных странах мира. Одним из первых удачно усовершенствовал такой необычный инструмент Б.Франклин – политик, дипломат и физик.

Интересные исследования по физике звучащих сосудов проводились и в нашей стране (М. Бражников, А. Калинин и другие). Исследовалась зависимость частоты звуковых колебаний сосуда от формы, размеров, толщины стенок сосуда, количества налитой в него воды.

А. Калинин утверждал: «Объяснение физики поющего бокала достаточно сложно и не может быть во всей полноте представлено в рамках школьного курса (да и институтского общего курса физики). Поэтому при изложении вопроса лучше идти от закономерностей, которые были открыты в результате обобщения экспериментов». Для расчета частоты колебаний использовались следующие закономерности: частота колебаний  $\nu$  зависит от параметров бокала  $\nu \sim l/d^2$ , где  $l$  – толщина стенки, а  $d$  – диаметр бокала. Кроме того, частота понижается с уменьшением  $h$  – глубины сосуда. При расчете частоты колебаний авторы замечали численные расхождения между расчетными и экспериментальными данными, объясняя их конкретными условиями и параметрами используемого оборудования.

Нами было сделано предположение, что частота звуковых колебаний сосуда зависит не только от формы, размеров, толщины стенок, количества налитой в сосуд воды, но и от плотности содержащейся в сосуде жидкости.

#### *Определение плотности исследуемых жидкостей*

Для определения  $\rho$  плотности выбранных для экспериментов жидкостей использовался следующий стандартный метод: взвешивалась пустая мензурка ( $m_m$ ); в мензурку наливалось определенное количество жидкости (в нашем случае 50 мл); определялась масса мензурки с жидкостью ( $m_{м+жс}$ ); вычислялась масса налитой жидкости ( $m_{жс} = m_{м+жс} - m_m$ ); вычислялась плотность исследуемой жидкости ( $\rho_{жс}$ ).

Пример расчета плотности соляного рассола:

$$m_m, \text{ г} = 20 + 20 + 5 + 2 + 0,5 + 0,2 = 47,7 \text{ г};$$

$$m_{м+жс}, \text{ г} = 100 + 2 + 1 + 0,5 = 103,5 \text{ г};$$

$$m_{жс}, \text{ г} = 103,5 - 47,7 = 55,8 \text{ г}.$$

Объем рассола  $V_{жс} = 50 \pm 0,5 \text{ мл}$ .

Плотность рассола

$$\rho_{жс} = \frac{m_{жс}}{V_{жс}} = \frac{55,8}{50} = 1,116 \text{ г/см}^3.$$

*Таблица 1. Плотность жидкостей*

Жидкость	$\rho, \text{ г/см}^3$
Ацетон	0,781
Вода водопроводная	1,0
Рассол	1,116
Сироп шиповника	1,39

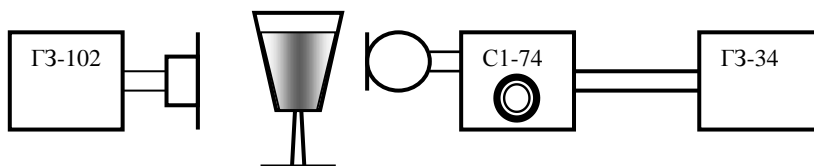
Подобным образом были определены плотности исследуемых жидкостей (табл. 1).

#### *Исследование зависимости частоты звуковых колебаний хрустального бокала от плотности $\rho$ налитой в него жидкости*

На бокале делалась метка, до которой в бокал наливались исследуемые жидкости, то есть объем жидкостей во всех опытах одинако-



вый. При помощи скрипичного смычка, скользящего по верхней кромке бокала, возбуждались звуковые колебания. Частота колебаний измерялась методом фигур Лиссажу. Для более оперативного измерения частоты пришлось использовать вспомогательный звуковой генератор ГЗ-102 и телефонный наушник. Частоты колебаний мембраны телефона и звучащего бокала совмещались на слух. На основном генераторе ГЗ-34, имеющем шкалу с большим разрешением, устанавливалась найденная приблизительно частота. Сигналы с этого генератора и с микрофона, стоящего рядом со звучащим бокалом, подавались на осциллограф. Точной подстройкой частоты генератора мы добивались устойчивой фигуры на экране, соответствующей равенству частот. Так как колебания стенок бокала не являются синусоидальными, форма фигуры на экране не была окружностью, но равенство частот было явным.



**Рис. 1.** Блок-схема экспериментальной установки

Этим методом были измерены частоты колебаний сосуда для четырех жидкостей и для воздуха. Наше предположение о зависимости частоты колебаний сосуда с жидкостью от плотности жидкости подтвердилось.

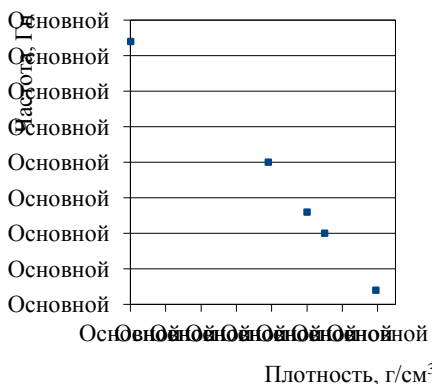
*Таблица 2. Частоты колебаний сосуда*

	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Частота, Гц
Воздух	0,0013	1920
Ацетон	0,781	1750
Вода водопроводная	1,0	1680
Рассол	1,1	1650
Сироп шиповника	1,39	1570

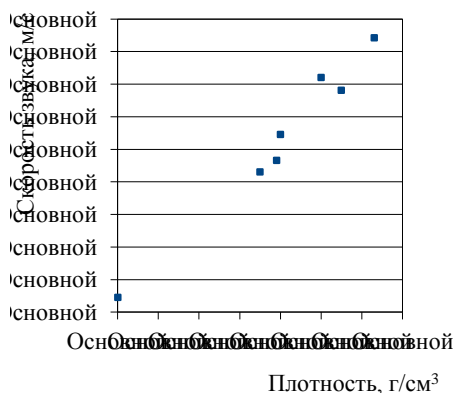
#### *Зависимость скорости звука в среде от плотности среды*

Для дальнейших рассуждений о физике звучащего бокала с налитой в него жидкостью необходимо обнаружить связь между скоростью звука в среде и плотностью среды. В список жидкостей, плотность которых мы измеряли, добавлено еще несколько (табл. 3).

Для этого достаточно было воспользоваться известными табличными данными. Но некоторые из них имеют усредненные значения, поскольку эти вещества бывают различных марок.



**Рис. 2.** Зависимость частоты от плотности среды



**Рис. 3.** Зависимость скорости звука от плотности среды

*Таблица 3. Плотность жидкостей*

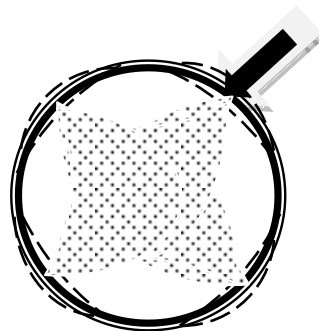
	воздух	бензин	ацетон	керосин	вода	рассол	глицерин	сироп
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,0013	0,7-0,78	0,781	0,78-0,85	1,0	1,1	1,261	1,39
$V$ , м/с	330	1100	1170	1330	1680	≈1600	1923	?

Зависимость близка к линейной. Пользуясь графиком, определим скорость звука в сиропе.  $V_{\text{сир}} \approx 2030$  м/с.

*Что же происходит в колеблющемся сосуде с жидкостью?*

После нескольких попыток можно увидеть, что поверхность жидкости в «звучащем бокале» покрывается рябью (стоячие волны), которая рождается в четырех точках у колеблющихся стенок бокала.

Волны этих колебаний передаются по жидкости от одной стенки бокала к другой. Дойдя до противоположной стенки, они отражаются от нее и идут обратно, навстречу колебаниям от другой стенки. То есть колебания жидкости и стенок бокала влияют друг на друга. В итоге возникает результирующая частота всей колебательной системы. Эта частота зависит как от свойств бокала, так и от плотности жидкости, налитой в бокал.



**Рис. 4.** Колебания стенок бокала под воздействием смычка

В связи с вышеизложенным возникает интересное соображение. Все музыкальные инструменты делятся на два типа. В одних колебания воздуха создает вся конструкция инструмента (струнные, ударные). В других звучит столб воздуха внутри инструмента, а материал, из которого изготовлен инструмент, не влияет на частоту (духовые инструменты).

Таким образом, бокал с жидкостью представляет собой самостоятельный тип музыкального инструмента, в котором звучащей системой одновременно являются как корпус инструмента (сам бокал), так и среда, содержащаяся внутри инструмента (жидкость, налитая в бокал). Аналогичными рассуждениями можно объяснить причину повышения тона голоса человека, вдохнувшего вместо воздуха гелий, скорость звука в котором больше, чем в воздухе.

#### *Выводы*

1. Частота колебаний бокала с жидкостью зависит не только от количества жидкости в бокале, но и от ее плотности.
2. Колебания жидкости и стенок бокала влияют друг на друга, то есть звучащей системой являются как сам бокал, так и жидкость, налитая в него.
3. Частота колебаний системы прямо связана со скоростью звука в жидкости.
4. Выявленные зависимости скорости звука в жидкости от ее плотности позволяют приблизительно оценить скорость звука в любой жидкости.

Установлено, что частота колебаний системы «сосуд – жидкость» зависит от количества жидкости в сосуде и ее плотности (скорости звука в жидкости). Остается неисследованным влияние материала, из которого изготовлен сосуд, на частоту колебаний и, возможно, на тембр звучания.

#### **Литература**

1. *Беленов А.Ф., Савкин П.М.* Методические рекомендации и лабораторные работы по физике для 10-х классов. – Н.Новгород: НОЦ ИПФ РАН, 2005.
2. *Дубровский И.М., Егоров Б.В., Рябошапка К.П.* Справочник по физике. – Киев: Наукова думка, 1986.
3. *Енохович А.С.* Справочник по физике и технике. – М.: Высшая школа, 1986.
4. *Рокуэлл Г., Герберт С.* Физика. – М.: Просвещение, 1993.
5. *Стекло́нная гармо́ника Франклина.* [Электронный ресурс]: [http://deeep.me/наука\\_i\\_техника/fizika/2323-steklyannaya\\_garmonika\\_franklina](http://deeep.me/наука_i_техника/fizika/2323-steklyannaya_garmonika_franklina)

## Исследование теплозащитных свойств зимней обуви

Самсонов Александр

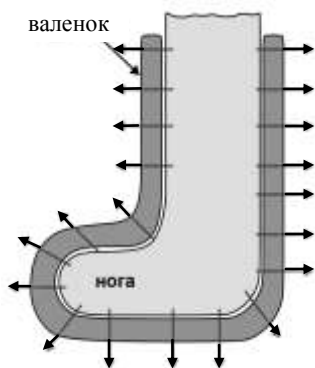
10 класс

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



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

Устройство валенка основано на изоляции теплообмена. При изготовлении валенок следует учитывать не только низкий коэффициент теплопроводности материала, но и его прочность. Таким материалом является войлок. Он обладает достаточно низким коэффициентом теплопроводности в сочетании с высокой прочностью. Однако валенок уступает в своих теплозащитных свойствах современной обуви, изготовленной из таких теплозащитных материалов, как, например, этиленвинилацетат.



**Рис. 1.** Тепловые потоки при теплоизоляции ноги в валенке

Для изучения физических процессов, происходящих в валенке, обратимся к рисунку 1. Стрелками обозначены тепловые потоки, проходящие через валенок. Так как валенок обладает низким коэффициентом теплопроводности, тепло от ноги не полностью проходит через поверхность, часть тепла остается внутри валенка.

Далее будем приводить данные, полученные с определенного валенка.

В данном случае конвекцией можно пренебречь, так как воздушное пространство между ногой и валенком мало. Учитывая постоянную Стефана – Больцмана,

температуры 37°C (310 K) и –10°C (263 K) и площадь валенка 0,2 м<sup>2</sup>, оценим мощность излучения. Получим значение  $R \approx 31$  мВт. Так как значение слишком мало, будем пренебрегать им.

Для расчета мощности теплового потока, проходящего через поверхность валенка, будем пользоваться формулой:

$$P = \frac{\lambda_{\text{войл}}}{\delta_{\text{матер}}} (T_{\text{внутр}} - T_{\text{внеш}}) S_{\text{валенка}}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности войлока,  $\delta$  – толщина материала,  $S$  – площадь поверхности валенка.

Коэффициент теплопроводности войлока взят из книги [1] –  $\lambda = 0,03 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$ . Измеренная толщина  $\approx 0,005$  м. Площадь была рассчитана с помощью разбиения валенка на простейшие геометрические фигуры (цилиндр, полусфера, плоскость). Были получены следующие данные:  $S_{\text{валенка}} \approx 0,201 \text{ м}^2$  (также был использован метод обертки валенка бумагой и дальнейшего расчета площади бумаги; в таком случае  $S_{\text{валенка}} \approx 0,212 \text{ м}^2$ ). Считая разность температур равной 47°C (37°C – температура ноги, –10°C – температура на улице), можно рассчитать, что  $P \approx 56 \text{ Вт}$ .

Используя полученные данные, можно определить оборудование, нужное для проведения эксперимента. В частности, в эксперименте для симуляции ноги использован источник тока, дающий данную мощность; в качестве нагревателей были выбраны резисторы.

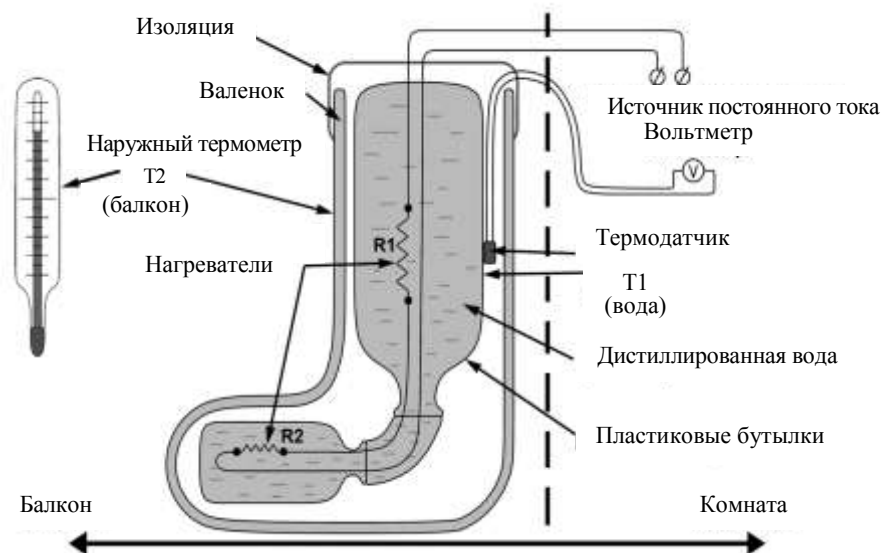
*Цель эксперимента* – определить мощность теплового потока, проходящего через площадь валенка/сапога, необходимую для поддержания постоянной разности температур. Оборудование: источник постоянного тока, цифровой вольтметр, температурный датчик. Материалы: валенок, тепловая модель ноги (пластиковые бутылки, дистиллированная вода, нагревательные элементы (резисторы)).

Началом эксперимента являлось нагревание дистиллированной воды (в отдельной емкости на газовой плите) до температуры чуть больше 37°C. Для эксперимента была выбрана дистиллированная вода, чтобы избежать ненужного окисления резисторов, которое могло бы привести к изменению их сопротивления. Затем вода заливалась в бутылки, имитирующие человеческую ногу, которые помещались в валенок. В бутылки были предварительно помещены резисторы, являющиеся нагревателями воды. В маленькой бутылке (0,25 л), имитирующей стопу, находились 2 резистора общим сопротивлением 2,5 Ом, а в большой бутылке (2 л), имитирующей голень – резистор

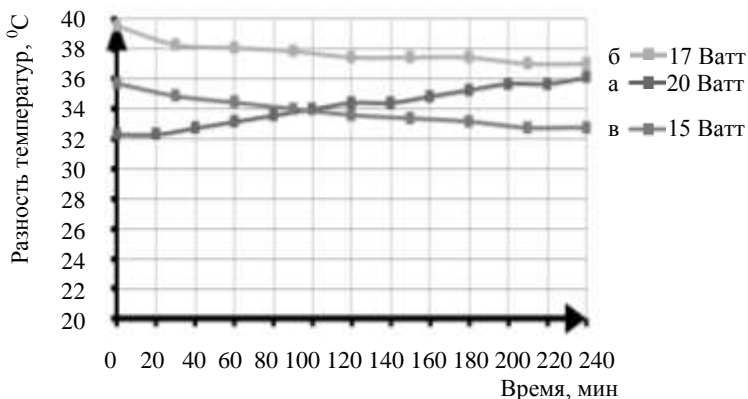
сопротивлением 5 Ом. Провода, подводящие электричество к резисторам, выведены наружу и подсоединены к источнику тока, который был оборудован дисплеем, показывающим напряжение и силу тока. Датчик температуры располагался на внутренней поверхности большой бутылки; провода от него также выведены наружу (рис. 2). Валенок помещался на балкон, в то время как вольтметр, соединенный с датчиком температуры, и источник тока находились в комнате. Через определенные промежутки времени показания вольтметра записывались в таблицу; при этом контролировались величина и постоянство мощности, идущей на нагрев воды в бутылках.

Температурный датчик основан на транзисторе и внутреннем источнике питания (батарейка). Для данного датчика считается, что измеряемая температура линейно пропорциональна напряжению. Для определения коэффициента пропорциональности перед началом измерений производилась калибровка датчика по известным температурам, измеренным стандартным термометром ( $100^{\circ}\text{C}$  и  $-26^{\circ}\text{C}$ ). Далее температура определялась по показаниям вольтметра с помощью уравнения, полученного после калибровки температурного датчика.

В итоге строился график зависимости изменения разности температур с течением времени (рис. 3).



**Рис. 2.** Схема эксперимента



**Рис. 3.** Графики эксперимента

Данное исследование было проведено несколько раз. Эксперименты отличались мощностью электрического тока, которая влияла на постоянство разности температур; в итоге мощность, необходимая для поддержания постоянной разности температур, была определена. Эксперимент был также проведен с разными моделями зимней обуви, чтобы в дальнейшем сравнить их теплофизические свойства.

*Результат.* На основе анализа данных, полученных в ходе экспериментов, мы сделали вывод о теплоизоляционных свойствах различных моделей зимней обуви. Оказалось, что валенок уступает в теплозащите современным аналогам. Например, валенок пропускает тепловой поток мощностью 18 Ватт, тогда как два разных современных сапога – 15 Ватт.

Однако эксперименты проводились при различных условиях. В каждом отдельном случае температура на балконе была разной. Поэтому следует интерпретировать результаты.

Будем считать, что  $P_{\text{стац.}} = k \cdot \Delta T$ , где  $k$  – некоторый коэффициент. Учитывая, что разность температур должна быть 47°C, посчитаем эти коэффициенты для каждого сапога по формуле:  $k = \frac{P_1}{\Delta T_1}$ , где  $\Delta T_1$  – разность температур с некоторой температурой на балконе,  $P_1$  – мощность тока. Умножив на данный коэффициент мощность теплового потока, проходящего через тот или иной сапог, получим нужную стационарную мощность: валенок – 21 Вт, сапог Norfin Blizzard – 16 Вт, сапог Lemigo Arctic termo – 15 Вт.

В итоге всех экспериментов и теоретических расчетов были получены следующие результаты.

1. Экспериментальный результат с нагревом – 21 Вт.
2. Экспериментально-теоретический результат по естественному остыванию воды – 12 Вт.
3. Теоретическая оценка дает результат 56 Вт (для  $\Delta T = 47^\circ\text{C}$  и  $\lambda_{\text{войлока}} = 0,03 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ).

Расхождение первого и второго результатов можно, по-видимому, объяснить неравномерным прогревом объема воды в первом случае. Расхождение первого и третьего результатов можно объяснить неизвестностью значения  $\lambda_{\text{войлока}}$  для конкретного валенка и наличием воздушного слоя между моделью ноги (бутылки с водой) и валенком в первом случае.

Во время выполнения исследовательской работы экспериментальная установка несколько раз изменялась: первоначально в качестве температурного датчика использовалась термопара, которая затем была заменена на датчик, основанный на транзисторе и постороннем источнике энергии (батарейке); также была изменена конфигурация резисторов. Изначально в каждой бутылке находились резисторы сопротивлением по 5 Ом, однако в ходе первых экспериментов было замечено, что нужной циркуляции воды не происходит, нижняя маленькая бутылка сильно перегревалась и даже оплавилась. После этого сопротивление в нижней бутылке было уменьшено до 2,5 Ом.

Значимость исследования заключается в том, что оно практически доказывает, что наука не стоит на месте и внедряется в производство, например, зимней обуви. Интерпретируя полученные результаты мощности, можно перевести в калории энергию, которая выделяется ногой, например, за 1 час:  $Q = P_{\text{стац.}} \cdot 3600 \text{ с} = 43200 \text{ Дж} = 10318 \text{ Кал} \approx 10 \text{ ККал}$ . Такое количество энергии эквивалентно 1/3 кубика шоколада, что является очень маленьким значением; то есть для поддержания обеих ног в валенках в тепле в течение трех часов надо съесть 2 кубика шоколада.

В связи с расхождением полученных результатов работа будет продолжена в направлении поиска причин расхождения экспериментальных и теоретических результатов и их устранения, оценки погрешности эксперимента и теоретической модели и создания системы термостабилизации.

### Литература

1. Вентура Г., Ризегари Л. Искусство криогеники. 2011.
2. Гольдин И.И. Русские валенки // Теория теплозащиты валенка (так ли прост русский валенок?!). 2009. – С. 36 – 42.



# **Интерференционный метод измерения фазовых искажений, вносимых различными оптическими компонентами лазерных установок**

Терешкина Дарья

9 класс

Научный руководитель Е.И. Гачева,  
младший научный сотрудник ИПФ РАН



*В работе описан метод оценки фазовых искажений, вносимых оптическими элементами в лазерный пучок. На основе теоретической модели производился анализ интерференционных картин, полученных при помещении в одно из плеч интерферометра Майкельсона трех различных образцов. По итогам работы сформулирован критерий качества оптического элемента.*

Качество оптических компонентов лазерной схемы, например, протяженных активных сред, зачастую кардинально влияет на форму фазового фронта и, как следствие, на поперечное распределение интенсивности лазерного излучения. Для осуществления подбора компонентов, проектировки и построения лазерной системы необходимо владеть корректным методом оценки такого влияния. Поэтому актуальной задачей становится предсказание фазовых искажений, вносимых оптическим элементом, до помещения его в рабочий пучок.

В работе для измерения фазовых искажений, вносимых различными образцами твердотельных протяженных сред, используется интерферометр Майкельсона с гелий-неоновым лазером ( $\lambda = 632,8$  нм) в качестве источника когерентного излучения. При обработке результатов были применены основы теории распространения и интерференции когерентного излучения, построена теоретическая модель.

Интерференция – изменение интенсивности излучения, обусловленное суперпозицией двух или нескольких световых волн. Распределение чередующихся максимумов и минимумов интенсивности называется интерференционной картиной. При интерференции света происходит перераспределение энергии в пространстве. При сложении двух плоских монохроматических волн с равными интенсивностями  $I_1 = I_2 = I_0/2$  и фазами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  на экране, перпендикулярном биссектрисе угла между их волновыми векторами  $\vec{k}_1$  и  $\vec{k}_2$ , интенсивность  $I$  в интерференционной картине выражается следующим образом:

$$I=I_0(1+\cos((\varphi_2 - \varphi_1)+Kx)), \quad (1)$$

где  $\vec{K}=\vec{k}_1-\vec{k}_2$ , ось  $x$  лежит в плоскости экрана и сонаправлена  $\vec{K}$ .

Разность фаз  $\varphi_2 - \varphi_1$  в интерферометре Майкельсона выражается через разность хода лучей в плечах интерферометра (каждое плечо обходится два раза – туда и обратно):

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{4\pi}{\lambda}(l_1 - l_2), \quad (2)$$

где  $l_1, l_2$  – длины плеч интерферометра. Результирующая интенсивность переписывается:

$$I=I_0(1+\cos(\frac{4\pi}{\lambda}(l_1 - l_2)+Kx)). \quad (3)$$

*Цель* нашего эксперимента – научиться оценивать качество оптических элементов, анализируя интерференционные картины, получаемые при помещении образцов в плечо интерферометра. Фазовые искажения, вносимые тестируемым оптическим элементом в один из интерферирующих пучков, нарушают плоскую фазу этого пучка, что проявляется в искривлении интерференционных полос.

При условии помещения образца в первое плечо интерферометра эффективная длина плеча изменилась на  $\Delta l_1$ . Обозначим за  $\xi$  сдвиг интерференционной картины в единицах полос, тогда, очевидно, верно следующее равенство:

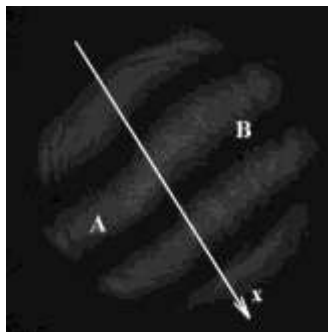
$$\frac{4\pi}{\lambda} \Delta l_1 = 2\pi\xi, \text{ или} \quad (4)$$

$$\Delta l_1 = \frac{\xi\lambda}{2}. \quad (5)$$

Формула (5) необходима для оценки полученных нами экспериментальных результатов.

Было проведено три эксперимента с различными образцами. В первом эксперименте мы сначала получили интерференционную картину без образца, а затем поместили в плечо интерферометра цилиндр из оптического стекла К8 так, что лазерный луч проникал в него через торцы. Как следует из нашей теории (формула (5)), если эффективное изменение длины плеча интерферометра при внесении образца много меньше длины волны, то искривление интерференционных полос не заметно. Примером такого качества является оптическое стекло К8. Из интерферограмм видно, что данный оптический элемент не внесет каких-либо значимых искажений в фазу пучка.

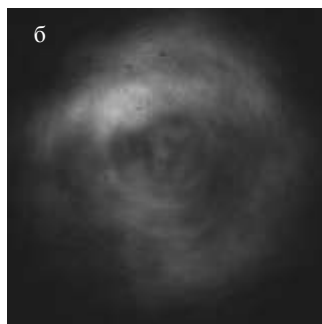
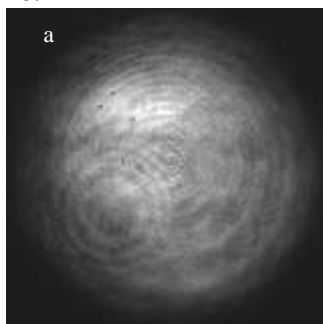
Во втором эксперименте мы исследовали активный элемент лазерного усилителя из кристалла Nd:YLF. Этот образец содержит заметный дефект. Если направить полосы интерференции перпендикулярно дефекту, совмещенному с осью  $x$  на рисунке 1, смещение полос наиболее заметно. Величина смещения составила  $40/98$  периода.



**Рис. 1.** Интерферограмма с образцом – кристаллом Nd:YLF

Дефект как бы разделяет поперечное сечение образца на две области. Оценим эффективное изменение длины плеча интерферометра при переходе из области А в область В (рис. 1). Подставив в формулу (5)  $\xi=40/98$  и  $\lambda=632,8$  нм, получим  $\Delta l_1 \approx 130$  нм.

Изменение эффективной длины плеча интерферометра в этом эксперименте становится сравнимо с длиной волны:  $\Delta l_1 = 0.2\lambda$ . Именно коэффициент пропорциональности между  $\Delta l_1$  и  $\lambda$  является ключевым параметром, по положению которого относительно единицы можно судить об оптическом качестве образца. Подвергавшийся анализу активный элемент ранее вызвал серьезные трудности при построении коммерческой лазерной системы и стимулировал работы по интерферометрическому исследованию элементов схемы. Самое опасное в этом образце то, что значительное искажение фазы набирается в узком дефекте, который как бы разрезает лазерный пучок пополам. Для примера можно привести характерные поперечные распределения пучка после одного (рис. 2а) и двух (рис. 2б) проходов элемента. Дефект здесь расположен горизонтально.



**Рис. 2.** Характерные поперечные распределения лазерного пучка после одного (а) и двух (б) проходов элемента из кристалла Nd:YLF



**Рис. 3.** Интерферограмма с образцом – кристаллом Nd:YAG

В третьем эксперименте мы оценили качество активного элемента из кристалла Nd:YAG. Смещение интерференционных полос (рис. 3) на 3 – 4 периода свидетельствует о наличии катастрофических дефектов. Изменение эффективной длины плеча интерферометра в этом случае больше длины волны. После прохождения такого элемента пучок теряет всю информацию о своем первоначальном поперечном распределении.

Таким образом, нами были проанализированы интерферограммы трех оптических элементов разного качества. По итогам работы можно сформулировать критерий оценки качества оптических элементов. Эффективное изменение длины плеча интерферометра на поперечном сечении пучка, прошедшего через образец, является ключевым параметром данной оценки. Если это число много меньше длины волны излучения, искривления интерференционных полос не наблюдается, существенных искажений фазы пучка не происходит. Но при приближении параметра снизу к  $\lambda$  возникает опасность появления существенных дефектов. Примером влияния таких дефектов на поперечное распределение рабочего лазерного пучка служит рисунок 3. Если же параметр достигает нескольких длин волн, дефекты становятся катастрофическими, полностью разрушая поперечную структуру пучка.

Метод, примененный в нашем исследовании, позволяет связать интерференционную картину с трехмерной формой фазового фронта, которая без специального оборудования, как правило, не наблюдается. В дальнейшем полученные таким образом оценки могут использоваться при выборе оптических элементов для лазерных схем.

#### Литература

1. Квантовая электроника – маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969.
2. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. – М.: Физматлит, 2003. – 656 с.
3. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика: Учеб. для 10 кл. сред. шк. – 9-е изд. – М.: Просвещение, 1987. – 319 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. IV. Оптика. – М., 1980. – 752 с.
5. Энциклопедический словарь юного физика / Под ред. А.Б. Мигдал. – М.: Педагогика, 1991.

## Исследование влияния примесей спирта на совершение работы газом

Титова Софья  
8 класс

Научный руководитель Т.В. Севрюгина,  
учитель высшей категории



*В статье рассматривается влияние примесей на совершение механической работы, в частности, влияние примеси этилового спирта в воде на скорость увеличения давления их паров для совершения работы по выбиванию пробки из колбы.*

Рассмотрим сосуд с газом, закрытый пробкой, сквозь которую проходит трубка. Давление газа в ней определяется по формуле:  $P = \frac{F}{S}$ , где  $P$  – давление газа,  $F$  – модуль силы, создающей давление,  $S$  – площадь поверхности, на которую оказывается давление (в данном опыте площадь пробки).

Силу давления можно подобрать постоянной, если опускать пробку до одного и того же уровня. Действительно, в момент выбивания пробки силы, действующие на пробку, скомпенсированы, поэтому пробка начинает движение. На нее действуют сила тяжести  $\vec{F}_T$ , сила трения  $\vec{F}_{тр}$ , сила давления воздуха  $\vec{F}_д$ .

Найдем равнодействующую сил:

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_д = \vec{0}.$$

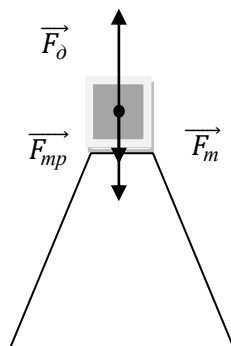
Учитывая направления векторов сил, получим:

$$F_д - F_T - F_{тр} = 0, \text{ то есть: } F_д = F_T + F_{тр}.$$

Итак, для выбивания пробки газом при данных условиях должна совершаться одинаковая работа при одинаковом давлении.

Объем колбы определяем экспериментально. Для этого нальем в нее воды и с помощью мензурки определим ее объем – это и есть объем воздуха в колбе.

Для определения рабочего давления воздуха по выбиванию пробки будем накачивать воздух в колбу через манометр. Зафиксируем показания манометра, повторим опыт несколько раз. Как правило, выбивание пробки происхо-



**Рис. 1.** Силы, действующие на пробку

дит при одинаковом значении давления:  $\Delta P = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Напомним, что это добавочное давление к атмосферному, под которым находился воздух в колбе до нагнетания воздуха. Атмосферное давление можно не учитывать, так как оно действует на пробку с обеих сторон.

Нальем в колбу 100 мл воды комнатной температуры, тогда объем воздуха в ней будет равен:  $V = 312 - 100 = 212 (\text{см}^3) = 212 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ .

Определим температуру воды ( $t = 22^\circ \text{C}$ ), равную температуре окружающего воздуха, переведем градусы Цельсия в градусы Кельвина:  $T = 22 + 273 = 295 \text{ К}$ .

Проведем опыт по выбиванию пробки из колбы при наличии в ней воды. Для этого будем накачивать воздух в колбу с водой через манометр. Зафиксируем показания манометра:  $\Delta P_{\text{воздуха}} = 0,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

Определим добавочное давление водяных паров:

$$\Delta P_{\text{воды}} = 1 \cdot 10^5 - 0,9 \cdot 10^5 = 0,1 \cdot 10^5 (\text{Па}).$$

Определим молярную массу воды, используя таблицу Менделеева.

Применим уравнение Менделеева – Клапейрона для определения массы паров воды, образовавшихся в колбе во время работы насоса:

$$pV = \frac{m}{M} RT \rightarrow m_{\text{воды}} = \frac{\Delta P_{\text{воды}} V_2 M_{\text{воды}}}{RT}.$$

Подставим значения величин, полученных при проведении эксперимента:  $m_{\text{воды}} = 0,016 \text{ (г)}$ .

Масса паров очень мала, определить потерю такой массы с помощью лабораторных весов нельзя. Поэтому эксперимент был повторен 10 раз, чтобы суммарная масса испарившейся воды была определена не только теоретически, но и проверена практически. Теоретические расчеты дают значение массы испарившейся воды: 0,16 г. Точность использованных весов позволяет определять массу с точностью до 0,1 г. Взвесив колбу до начала опытов и после десяти повторенных в одинаковых условиях, определили, что колба действительно стала легче примерно на 0,1 г. Погрешность опытных данных большая, так как при совершении работы газом по выбиванию пробки в колбе образовывался туман, при этом часть паров воды конденсировалась и оставалась в колбе.

Затем провели новый эксперимент, добавив в воду несколько капель этилового спирта. В этом случае пробка была выбита при давлении  $\Delta P_{\text{воздуха}} = 0,75 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

Определим давление паров спирта, образованных внутри колбы при закачивании воздуха, аналогично давлению паров воды:

$$\Delta P_{\text{спирта}} = \Delta P - \Delta P_{\text{воздуха}} - \Delta P_{\text{воды}}, \text{ то есть } \Delta P_{\text{спирта}} = 0,15 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Определим молярную массу этилового спирта, используя таблицу Менделеева (химическая формула  $C_2H_5OH$ ). Определим массу паров спирта, образовавшихся в колбе во время работы насоса по уравнению Менделеева:  $m_{\text{спирта}}=0,060(z)$ .

Проверить расчеты с помощью весов практически невозможно, поскольку провести многократно опыт с примесью спирта нельзя – слишком мала масса примеси в общей массе воды.

Определим скорость испарения жидкости как число частиц, покинувших жидкость в единицу времени (испарение воды и спирта происходило в одинаковое время – время проведения опыта  $\Delta t$ ):

$$v = \frac{N}{\Delta t}.$$

Число молекул воды и спирта  $N$  определим:  $N = \frac{m}{M} N_A$ , где  $N_A$  – число Авогадро.

Сравним скорости испарения воды и спирта:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\frac{m(C_2H_5OH)}{M_2}}{\frac{m(H_2O)}{M_1}} = \frac{m(C_2H_5OH)}{m(H_2O)} \frac{M_1}{M_2}.$$

Подставив численные значения масс испарившихся жидкостей и их молярные массы, получим:  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{0,060 \cdot 18}{0,016 \cdot 46} = 1,5$ .

**Вывод.** Спирт испаряется в 1,5 раза быстрее, чем вода. Поэтому давление паров воды и спирта, необходимое для совершения механической работы, увеличивается быстрее, чем при давлении паров чистой воды. Можно считать, что наличие примеси спирта в воде ускоряет процесс совершения работы, в данном случае по выбиванию пробки из колбы.

### Литература

1. *Евграфова Н.Н., Каган В.Л.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 1984.
2. *Мякишев Г.Я., Сияков А.З.* Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 класс. – М.: Дрофа, 2002.
3. *Перышкин А.В.* Физика 7 класс, 8 класс. – М.: Дрофа, 2010.

## **Спекл-контрастная визуализация кровеносных сосудов**

**Фомин Всеволод**

9 класс

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



*Нами был проведен анализ литературы по визуализации кровотока в биологических тканях. Разработана модель возникновения картины спеклов и реализован алгоритм расчета спекл-картин от произвольного числа независимых подвижных источников когерентных волн. Проведен анализ общих принципов визуализации кровотока в биологических тканях при помощи оценки контраста спекловых картин. Получены экспериментальные изображения спекл-структур с движущимися рассеивателями, осуществлена визуализация областей с движением.*

Одним из актуальных направлений развития методов медицинской диагностики является построение изображений кровеносных сосудов в приповерхностных тканях или глазном дне человека. Мониторинг пространственно-временных характеристик наиболее важен для изучения нормальных и патофизиологических условий тканевого метаболизма, например, при планировании хирургической операции по пересадке фрагментов печени или при проведении операций по имплантации донорских органов, а также для послеоперационного мониторинга при подобном вмешательстве. Не менее актуальным является получение информации о состоянии сосудов глазного дна человека, поскольку это позволяет судить о возможности или необходимости некоторых видов хирургического вмешательства или лекарственного лечения.

В настоящее время существует несколько технологий измерения скоростей. Одна из них, впервые предложенная Ферчером и Бриерсом в 1981 году [2], основана на использовании пространственной статистики проинтегрированной во времени спекловой картины. Впоследствии более детально методику разрабатывали Дунн и Боас [1].

Учитывая конечность времени интегрирования световой мощности на квадратичном детекторе (фотопленка, CCD-матрица), контраст спекловой картины, получаемой при облучении объекта исследования когерентным излучением, уменьшается в той области изображения, в ко-



торой присутствует движение. Таким образом, при выделении на изображении областей с наименьшим контрастом становится возможной визуализация сосудов, в которых происходит движение крови.

При моделировании спекл-картин за основу берется тезис о том, что спеклы возникают при интерференции света, рассеянного от большого количества источников, расположенных на случайно-различных расстояниях. Поскольку поверхность шероховатого объекта имеет сложную для описания форму, объект может быть формально заменен плоским отражателем, от разных участков которого свет отражается с различной фазой. Фаза отражения определяется расстоянием от поверхности реального объекта до опорной плоскости:

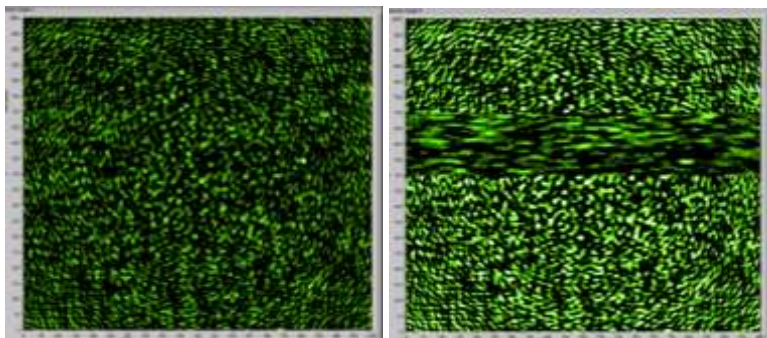
$\varphi C_i = 2k \cdot \Delta z_i + \varphi_i$ . Для каждой точки плоскости наблюдения определяется суммарное поле по формуле  $E_C = \sum_n E_n \sin(kr_{nC} + \varphi_n)$ , в

которой индекс  $n$  определяет конкретный рассеиватель в опорной плоскости объекта. Поскольку слагаемое  $\omega t$ , входящее в аргумент синуса, исключается в ходе математических преобразований, оно опущено в приводимом выражении.

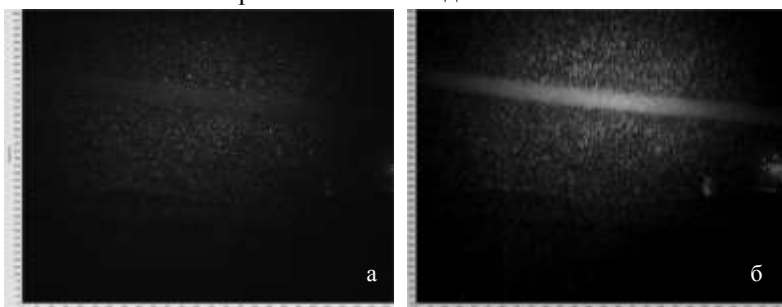
Приведенная модель позволяет построить картину спеклов для произвольного количества как независимых, так и связанных источников. Однако ввиду ограниченности вычислительных ресурсов используемой ЭВМ в задании поля рассеивателей участвует не вся опорная плоскость, а только небольшое (около десятка) число точек с определяемыми вручную координатами. Использование большего количества точек не представляется целесообразным, поскольку не приводит к качественному изменению наблюдаемой в численном эксперименте картины и существенно снижает скорость выполнения вычислений. Для демонстрации работы программы, реализующей предложенную модель, построен рисунок 1, на котором в левой части представлена картина спекл-поля для целиком неподвижного объекта, а в правой части – при введении постоянного смещения в течение времени экспозиции, включенного в программу как отдельный параметр.

Реализованная в программе модель позволила предложить способ выделения областей с движением на заспеклованных изображениях по определению уровня минимальных значений засветки фотоматрицы. Действительно, при наличии движения из-за «замазывания» спекл-структуры происходит исчезновение черного с картины,

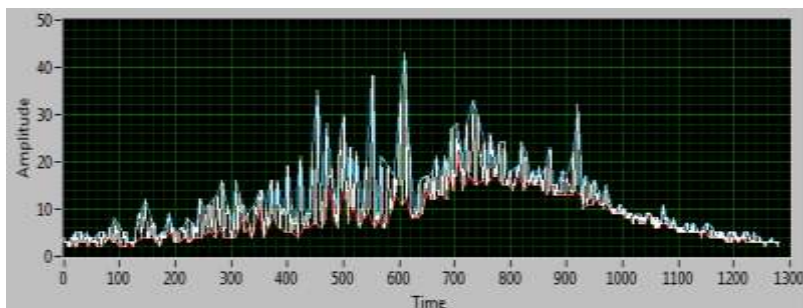
который заменяется серыми цветами – поднимается уровень засветки в минимумах спекл-картины. Это явление не всегда может быть зарегистрировано визуально, однако при построении профиля изображения, как это показано на рисунке 3, потеря уровня черного становится более заметной.



**Рис. 1.** Модельная спекл-картина для стационарного объекта и при наличии в нем движения



**Рис. 2.** Экспериментально зарегистрированное спекл-изображение и уровень минимальных значений



**Рис. 3.** Профиль экспериментально зарегистрированного спекл-изображения

На рисунке 2 представлены экспериментально полученные изображения рассеивающей среды, в которую введен сосуд с текущей в нем мутной жидкостью. Среда облучалась лазерным излучением с длиной волны 532 нм, спекл-картина регистрировалась матричным фотоприемником производства Thorlabs (США). Для получения изображения использовался объектив Юпитер-3 с фокусным расстоянием 50 мм. На рисунке 2а представлено непосредственно зарегистрированное изображение, на котором можно увидеть изменение контраста и исчезновение уровня черного в области, в которой расположен сосуд с током жидкости. На рисунке 2б представлено изображение уровня локальных минимумов – изменение «уровня черного» на левой картинке. Отчетливо видно положение сосуда.

Для пояснения механизма получения изображения на правой части рисунка 2 построен рисунок 3, на котором представлен вертикальный срез изображения левой части рисунка 2. Белая линия на рисунке 3 определяет функцию освещенности и соответствует величине сигнала, снимаемого с отдельного элемента в выбранной строке фотоматрицы. Красным цветом представлена огибающая для минимальных значений функции освещенности, по ее поведению можно судить об изменении уровня черного на изображении. Построение двумерной огибающей локальных минимумов левой части рисунка 2 позволяет выделять и контрастировать участки с различным уровнем черного в изображении, что делает возможной визуализацию областей, в которых происходит движение. Синяя кривая на рисунке 3 соответствует огибающей для максимальных значений функции освещенности, в рамках задач данной работы не использовалась.

Таким образом, в работе предложена модель образования спекл-структуры при рассеянии на случайно неоднородной поверхности, продемонстрировано размытие спекл-картины при регистрации движущихся объектов, экспериментально продемонстрирована возможность визуализации областей мутной среды, в которых происходит движение, методом анализа размытия спекл-картин.

### Литература

1. *Dunn A.K., Bolay H., Moskowitz M.A. and Boas D.A.* Dynamic imaging of cerebral blood flow using laser speckle // *J. Cereb. Blood Flow Metab.* 2001. 21. P. 195 – 201.
2. *Fercher A.F., Briers J.D.* Flow visualization by means of single-exposure speckle photography // *Opt. Commun.* 1981. V. 37, № 5. P. 326.

## Исследование сферической абберации плосковыпуклой линзы

Щенникова Анастасия

9 класс

Научный руководитель С.Ю. Миронов,  
канд. физ.-мат. наук,  
научный сотрудник ИПФ РАН



*В работе выполнен теоретический анализ влияния сферической аберрации, вносимой плосковыпуклой линзой. Экспериментально исследована зависимость размера изображения в фокальной плоскости от величины фокусного расстояния линзы. Установлена наиболее оптимальная ориентация линзы относительно направления распространения светового пучка, обеспечивающая минимизацию влияния сферической аберрации.*

В настоящее время достижения оптики занимают значительное место в повседневной жизни. Линзы являются универсальным элементом в большинстве таких оптических систем, как бинокли, телескопы, оптические прицелы, микроскопы, фото- и видеотехника. Человек очень ограничен в своих визуальных возможностях восприятия мира, поэтому достижения оптики чрезвычайно расширяют границы познания. Благодаря оптическим приборам человек смог проникнуть как в тайны микромира, так и сделать шаги к пониманию Вселенной. Одной из наиболее важных сфер применения оптики является офтальмология. Оптические приборы используются как для диагностики, так и для коррекции недостатков зрения. Например, близорукость и дальнозоркость могут быть исправлены с помощью линз.

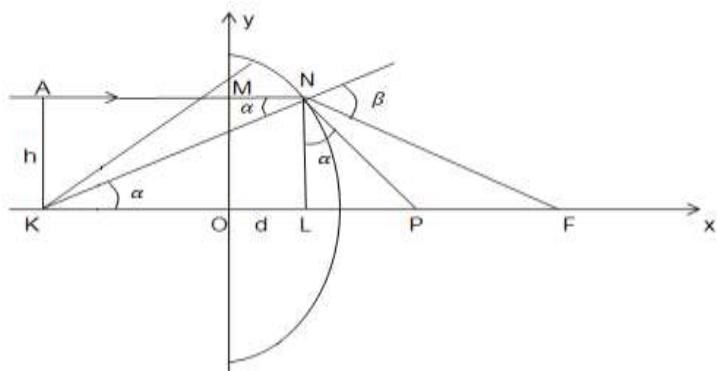
Линзы, применяемые в оптических системах, аберрационны, то есть вносят искажения в переносимые изображения. Сферическая аберрация – это искажение изображения, при котором лучи, падающие на край линзы, собираются в другой точке, нежели лучи, проходящие через центр линзы. Расположение линз относительно светового пучка может существенно повлиять на проявление аберраций.

Целью данной работы являлось исследование сферических аберраций плосковыпуклой линзы. В работе рассмотрены два возможных случая ориентирования плосковыпуклой линзы относительно направления распространения светового пучка. Проанализированы зависимости фокусного расстояния от высоты хода светового луча.

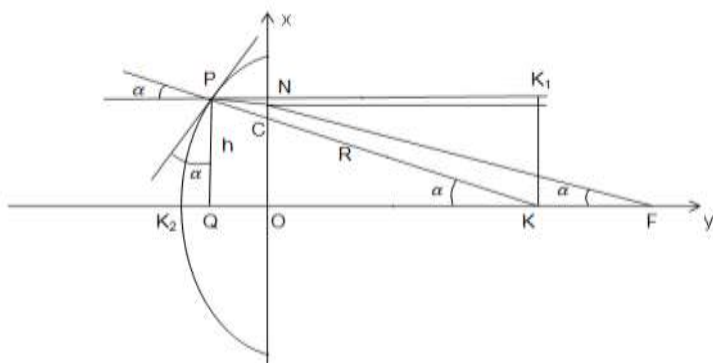
Выбрана оптимальная ориентация линзы. Выполнены эксперименты по исследованию зависимости фокусного расстояния плосковыпуклой линзы от радиуса кривизны поверхности.

Для изучения особенности фокусировки, используя элементарную геометрию и закон Снелиуса, найдем зависимость фокусного расстояния  $OF$  от высоты хода луча  $h$  в случае, когда линза ориентирована плоской стороной к падающему на нее параллельно оптической оси световому пучку (рис.1):

$$OF = \sqrt{R^2 - h^2} - R + d + R \frac{\sqrt{1 - \frac{h^2}{R^2}} \sqrt{1 - \frac{n^2 h^2}{R^2}} + \frac{n \cdot h^2}{R^2}}{n \sqrt{1 - \frac{h^2}{R^2}} - \sqrt{1 - \frac{n^2 h^2}{R^2}}}. \quad (1)$$



**Рис. 1.** Ход лучей в собирающей линзе



**Рис. 2.** Ход лучей в собирающей линзе, ориентированной выпуклой частью к падающему световому пучку

Считая, что выполняется условие, когда  $\frac{h}{R} \ll 1$ , разложим (1) в ряд по малому параметру  $(\frac{h}{R})$ :

$$OF = d + \frac{R}{n-1} - \frac{n^2 h^2}{2(n-1)R}. \quad (2)$$

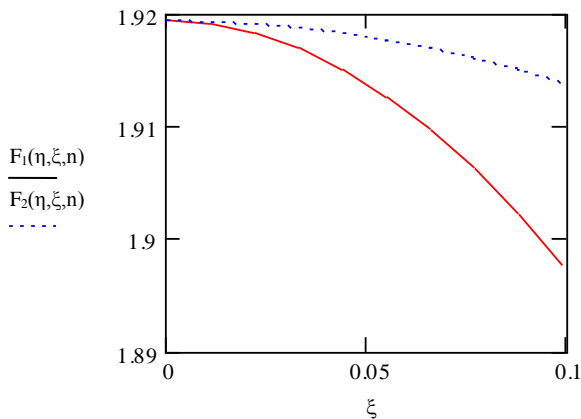
Согласно формуле (1) фокусное расстояние квадратично зависит от координаты входного луча  $h$ . Увеличение координаты  $h$  приводит к тому, что фокусное расстояние уменьшается.

Во втором случае линза ориентирована выпуклой стороной к падающему световому пучку (рис. 2).

Зависимость фокусного расстояния от высоты хода луча, как можно предположить, при условии, что  $\frac{h}{R} \ll 1$ , имеет следующий вид:

$$OF_2 = \frac{R-d(1-\frac{1}{n})}{n-1} + \frac{R}{2n^3} \cdot \frac{-n^5+2n^4+n^2+\frac{d}{R}(n^5-3n^4+2n^3+2n^2-3n+1)}{n-1} \left(\frac{h}{R}\right)^2. \quad (3)$$

Согласно выражению (3) фокусное расстояние также квадратично зависит от координаты входного пучка и убывает с ростом  $h$ .

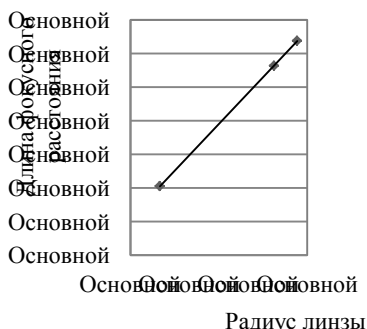


**Рис. 3.** График зависимости нормированных фокусных расстояний  $OF_1$  (сплошная линия) и  $OF_2$  (пунктирная линия) от безразмерного параметра  $\xi$

Сравнивая коэффициенты перед квадратичными слагаемыми  $(\frac{h}{R})$  для характерных значений показателя преломления, мы получили следующее: величина отклонения значения фокусного расстояния для центральных лучей от краевых значительно меньше в случае ориентации линзы выпуклой стороной к световому пучку. Данный вывод подтвер-

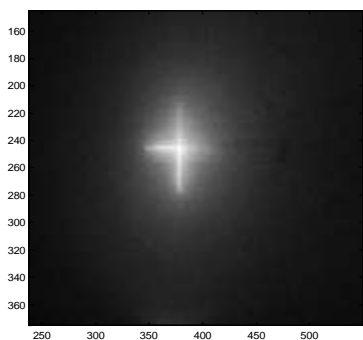
ждают графики зависимости фокусных расстояний, нормированных на радиус кривизны линзы от безразмерного параметра  $\xi = \frac{h}{R}$  (рис. 3).

В экспериментальных исследованиях проводились измерения фокусных расстояний линз с помощью автоколлиматора, камеры и компьютера. Перед автоколлиматором поочередно устанавливались линзы. Пучок света, испускаемый автоколлиматором, проходил через светофильтр и линзу, а затем фокусировался на матрицу камеры. Камера передавала изображение на экран компьютера. Положение камеры выбиралось из условия наибольшей четкости креста автоколлиматора. Экспериментально измеренные зависимости фокусного расстояния линзы от радиуса кривизны представлены на рисунке 4. Важно отметить, что зависимость получилась линейная. Для сравнения, фокусное расстояние было теоретически определено для каждой плоско-выпуклой линзы по формуле:  $F = \frac{R}{n-1}$ , где  $n = 1,5$ . Результаты измерений находятся в хорошем согласовании с теорией.

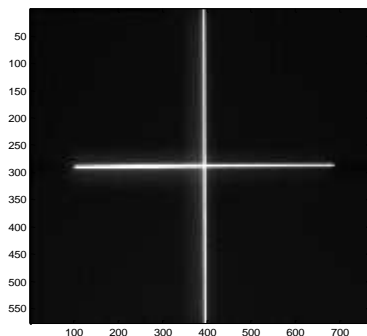


**Рис. 4.** Зависимость фокусного расстояния от радиуса линзы

В ходе экспериментов наблюдались сферические aberrации у короткофокусной плосковыпуклой линзы. Изображение, переносимое такой линзой, было расплывчатое (рис. 5), в отличие от изображения, получаемого с использованием правильно ориентированной длиннофокусной линзы (рис. 6).



**Рис. 5.** Короткофокусная двояковыпуклая линза (70 мм)



**Рис. 6.** Правильная ориентация, длиннофокусная линза (766 мм)

Таким образом, с помощью математического моделирования в приближение геометрической оптики исследована зависимость фокусного расстояния плосковыпуклой линзы от координаты входного луча. Установлена оптимальная ориентация линзы относительно направления распространения светового пучка, обеспечивающая минимизацию влияния сферической аберрации. Получены аналитические выражения для расчета фокусных расстояний плосковыпуклых линз. В экспериментальной части работы наблюдались сферические аберрации, измерены фокусные расстояния линз в зависимости от радиуса кривизны поверхности.

### **Литература**

1. Джанколи Д. Физика. Т. II. / Перевод с англ. Ю.А. Данилова и А.С. Доброславского. Под ред. Е.М. Лейкина. – М.: Мир, 1989.
2. Марон А.Е., Мякишев Г.Я., Дубицкая Э.Г. Физика 12. – М.: Просвещение, 1990.
3. Школа юного исследователя: Сборник исследовательских работ учащихся / Под общ. ред. А.И. Ермилина. – Выпуск 4. – Н.Новгород, 2011.



# Астрономия



## Фотометрические исследования катаклизмической переменной ER UMa

Кабаев Кирилл

11 класс

Научный руководитель А.Н. Перхняк,  
зав.обсерваторией Нижегородского планетария



*Основными направлениями данной работы является построение кривой изменения блеска переменной и определение основных параметров системы. Наблюдения проводились в НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» на 38-сантиметровом телескопе Кассагрена К-380, оснащенном ПЗС матрицей в период с 23.02.2011 по 12.03.2011 года. Проводилась обработка данных при помощи пакета программы MaximDL, были построены графики и измерены основные характеристики переменной с помощью специализированной программы построения графиков OriginLab. Проведено описание графиков и измерены основные характеристики переменной (период, магнитуда блеска) в течение пяти ночей наблюдений.*

Катаклизмические переменные – класс астрономических объектов, относящихся к переменным звездам и проявляющих катаклизмическую (вспышечную) активность.

Карликовые новые звезды являются типичными представителями обширного класса катаклизмических переменных звезд. Они представляют собой тесные двойные системы с периодами от 80 мин до 8 ч, состоящие из звезд позднего спектрального класса, теряющих вещество через внутреннюю точку Лагранжа (рис. 1.) на первичный компонент системы – белый карлик. Однако перед этим вещество образует аккреционный диск вокруг белого карлика [1].

Вспышки в таких системах происходят раз в несколько недель или месяцев, и изменение блеска составляет  $3^m - 6^m$ . Эти вспышки, согласно современным представлениям, вызваны падением вещества из аккреционного диска на поверхность белого карлика.

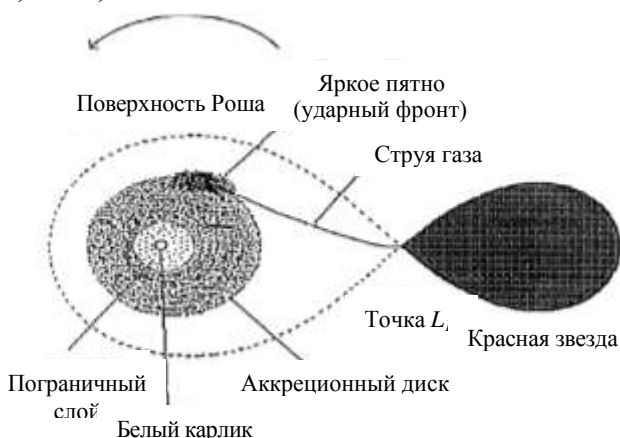
Как теория, так и наблюдения свидетельствуют о том, что вспышки карликовых новых звезд можно объяснить нестабильностью аккреционных процессов в системах таких звезд, в то время как вспышки классических новых звезд являются результатом термоядерных процессов в оболочке белого карлика, формирующейся в результате аккреции вещества с холодного спутника.

Карликовые новые звезды типа SU Большой Медведицы (UG-SU) характеризуются наличием двух видов вспышек — нормальных и сверхвспышек. Сверхвспышки ярче нормальных на  $2^m$ , более чем в пять раз продолжительнее (шире) и наступают более чем в три раза реже нормальных [1]. Во время сверхвспышек на кривой блеска наблюдаются накладывающиеся на нее периодические колебания — «сверхгорбы» (superhumps) с периодом, близким к орбитальному, и амплитудами около  $0,2^m - 0,3^m$ .

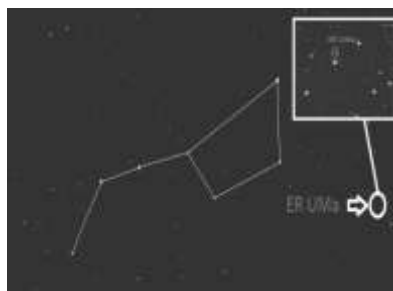
Объектом исследования был PG 0943+521 (позже названный как ER UMa). Первоначально его обнаружил Green (1986), позже он был подтвержден как катаклизмическая переменная (рис. 2). В 1992 году карликовая природа

новой звезды была сначала замечена М. Iida (Hurst, Poyner 1992; Iida 1994). Наблюдения показали, что объект изменяет свой блеск от  $12,3^m$  до  $15,2^m$  (Iida 1994; Hurst, Poyner 1992). Самое специфическое фотометрическое поведение этого объекта — это присутствие сверхвспышки после минимумов некоторых нормальных вспышек (Iida 1994) [3]. ER UMa показывает частые сверхвспышки (с интервалами от 19 суток до трех месяцев), амплитуды вспышек этой звезды не превосходят  $3^m$ .

Данная система принадлежит типу UGSU. Значение орбитального периода системы составляет  $0,06549 \pm 0,003$  д. ( $1ч.34м. \pm 4м.$ ). Данные были получены AAVSO (американской ассоциацией наблюдателей



**Рис. 1.** Катаклизмическая переменная



**Рис. 2.** Расположение ER UMa на звездном небе

переменных звезд). Координаты ER UMa:  $\alpha=9^h.47^m.11.89s.$ ,  $\delta=+51^\circ54'08.7''$  (J2000) (рис. 2).

Данные наблюдений, предоставленные нам младшим научным сотрудником НИИ «КрАО» Д.А. Самсоновым, были получены на 38-сантиметровом телескопе Кассагрена K-380 (рис. 3) в Крымской астрофизической обсерватории. Телескоп был установлен в 1998 году, в настоящее время оснащен ПЗС камерой SBIG ST-7 и набором фильтров BVRI системы Джонсона [2]. Основная цель использования телескопа – фотометрические исследования катаклизмических переменных звезд.

Мы использовали метод апертурной фотометрии. Принцип апертурной ПЗС-фотометрии состоит в суммировании значений интенсивности пикселей внутри некоторой области. Обычно суммирование производится внутри круга или эллипса.

Первичная обработка полученного материала проводилась при помощи программы MaximDL. В программу загружались изображения с ПЗС матрицы. Затем производилось вычитание «темнового» сигнала и деление на плоское поле. ПЗС матрица обладает различной чувствительностью по всему полю, по этой причине значение блеска в разных местах измерения изображения имеет разное значение.

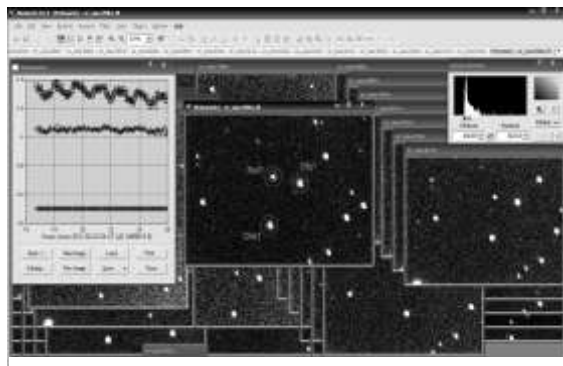


Рис. 4. Обработка Maxim DL



Рис. 3. 38-сантиметровый телескоп Кассагрена

Для устранения такого недостатка используют учет плоского поля (снимок равномерно освещенной поверхности). Необходимо учитывать и шумовые токи в матрице.

В процессе работы прибора появляются электроны, не обусловленные регистрацией фотона, что приводит к увеличению погрешности измерений.

Проделявая процедуру учета шумовых токов и плоского поля, программа автоматически вычитает оба этих измерения и позволяет получить значения блеска без учета этих факторов.

Затем работа продолжалась с изображениями, которые уже прошли процедуру учета плоского поля и «темнового» сигнала. Далее мы выставляли апертуры (указаны на рис. 4 с помощью окружностей, в центре которых находится объект и звезды сравнения). С их помощью мы проводили измерение яркости объекта Obj1, а затем сравнивали ее с яркостью звезд сравнения – Chk1 и Ref1. Измерения изменения блеска Obj1 проходили относительно блеска звезды сравнения Ref1, в свою очередь блеск Ref1 сравнивался со звездой Chk1. При выборе этих фотометрических стандартов необходимо помнить, что они должны иметь то же «покраснение», вызванное поглощением межзвездной среды, а также быть примерно одного спектрального класса, что и наш исследуемый объект (такой подход исключает погрешности в измерениях). В итоге мы получаем файлы, в которых содержится юлианская дата, величина блеска объекта и двух звезд сравнения. В дальнейшем с помощью программы Origin 7.0 строим кривые блеска объекта, то есть зависимости изменения блеска от времени.

Наблюдения ER UMa проводились в течение пяти ночей (23 февраля, 2,3,4 и 12 марта 2011 года). Все представленные кривые блеска построены в одних и тех же осях. По вертикальной оси отложено значение изменения интегрального блеска исследуемого объекта относительно звезд сравнения (Chk1 и Ref1), а по горизонтальной оси – время в виде юлианской даты. Шаг изменения времени на всех графиках составлял 144 минуты. Однако 2 марта шаг измерения по времени составлял 72 минуты. Такое отклонение было вызвано малым промежутком времени наблюдений.

Анализируя кривую блеска 23 февраля, мы наблюдали шесть «горбов». Период наблюдений в эту ночь составлял 11 часов 48 минут. На графике видно, что средний блеск системы падает, но несмотря на это, продолжительность «горбов» оставалась одинаковой и составляла 86 мин. (продолжительность «горбов» – это промежуток времени между двумя ближайшими минимумами блеска). У первых двух «горбов» амплитуда составляет  $0,2^m$ , а вторая и третья пара имеют амплитуду соответственно  $0,17^m$  и  $0,1^m$ , где  $^m$  или delta magnitude – значение относительной звездной величины нашего объекта. В эту ночь система вела себя стабильно, плавно переходя от минимума к максимуму.

Период наблюдений 2 марта составлял 4 часа. Обратим внимание

на два больших «горба» амплитудой  $0,25^m$  и продолжительностью 86 минут. Последняя амплитуда значительно возросла, что сильно отличается от средних значений «обычной» амплитуды.

3 марта наблюдалось сильное изменение блеска, причем амплитуда с каждым новым «горбом» увеличивалась. Блеск, по сравнению с предыдущей ночью, возрос до  $1^m$ . Очевидно, что в данный период наступили условия приливной нестабильности и произошла сверхвспышка. Амплитуда блеска увеличилась от  $0,23^m$  до  $0,35^m$ . Во время сверхвспышки такие «горбы» называют «сверхгорбами» (superhumps), период таких «горбов» близок к орбитальному и составляет 93 минуты.

4 марта мы наблюдали сложную картину, частота экспозиций

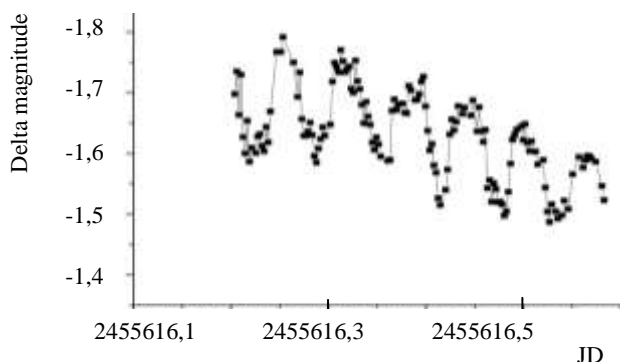


Рис. 5. Кривая блеска 23 февраля

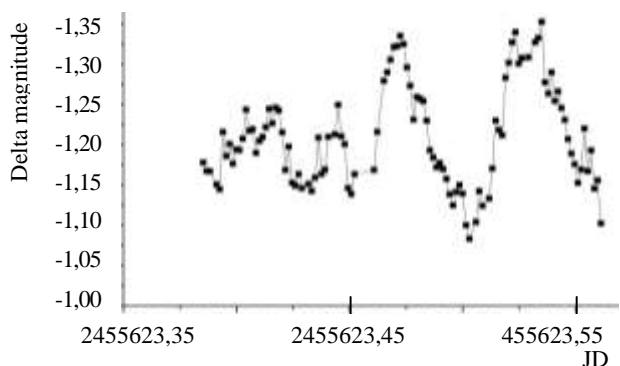


Рис. 6. Кривая блеска 2 марта

высока, поэтому в данную ночь в колебаниях явно больше «хаоса». Такое поведение блеска не исключено во время сверхвспышки, система явно вошла в максимум блеска, амплитуда «горбов» не растет. Продолжительность наблюдений в эту ночь составила 7ч.12мин.

В последнюю ночь наблюдался резкий спад после сверхвспышки, которая длилась несколько ночей. Наблюдения длились 9ч.36мин. Амплитуды блес-

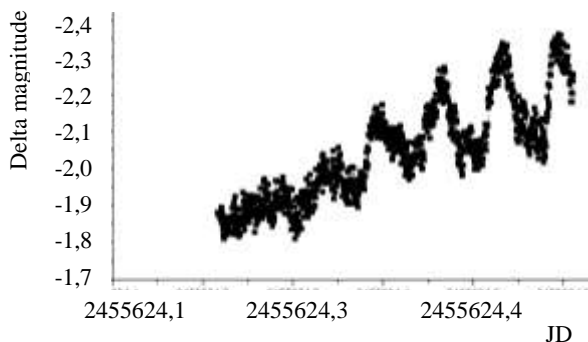


Рис. 7. Кривая блеска 3 марта

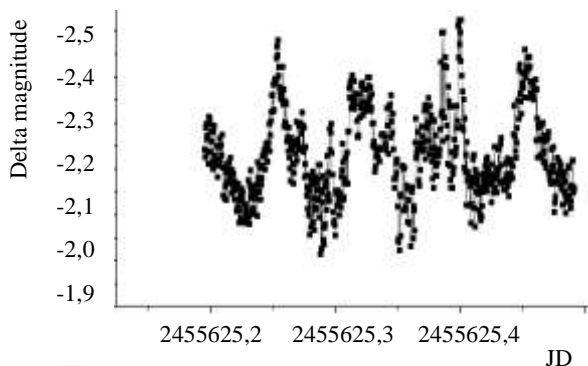


Рис. 8. Кривая блеска 4 марта

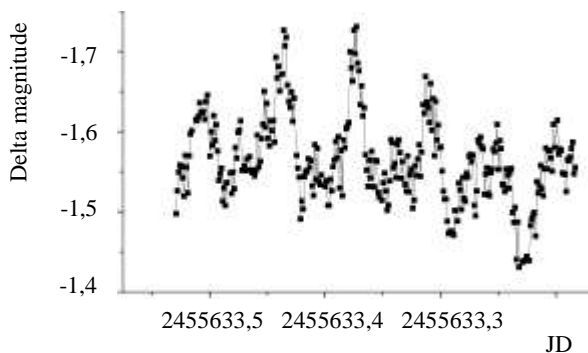
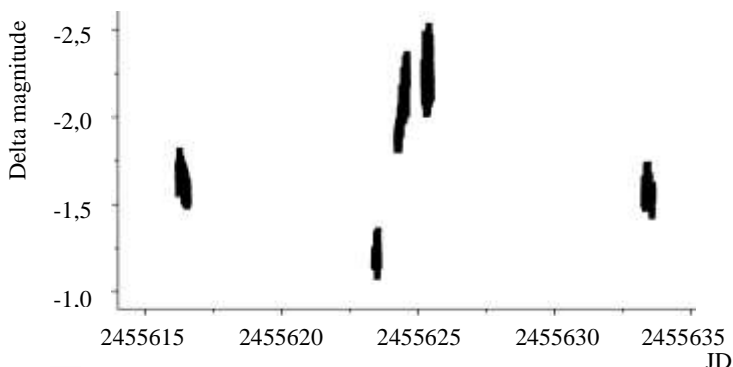


Рис. 9. Кривая блеска 12 марта

ка схожи с первой ночью и входят в промежуток от  $0,2^m$  до  $0,15^m$ . Период «горбов» и их продолжительность соответственно 90 и 86 мин.

В итоге мы построили общий график продолжительностью 18 дней. На нем четко прослеживается вхождение системы в состояние сверхвспышки с увеличением амплитуды блеска и продолжительности «сверхгорбов». После этого произошел спад активности, и система вновь вошла в спокойное состояние. Отметим, что наблюдаемую нами вспышку зарегистрировали также независимые наблюдения американской ассоциации наблюдателей переменных звезд AAVSO [3].

В итоге было построено 5 кривых блеска, которые соответствуют пяти ночам наблюдений данного объекта в период с 23.02.2011 по 12.03.2011 года. Анализ кривых блеска первой и последней ночей наблюдений, на которых не наблюдалось сложных периодических колебаний, позволил определить орбитальный период системы. Он



**Рис. 10.** Общий график

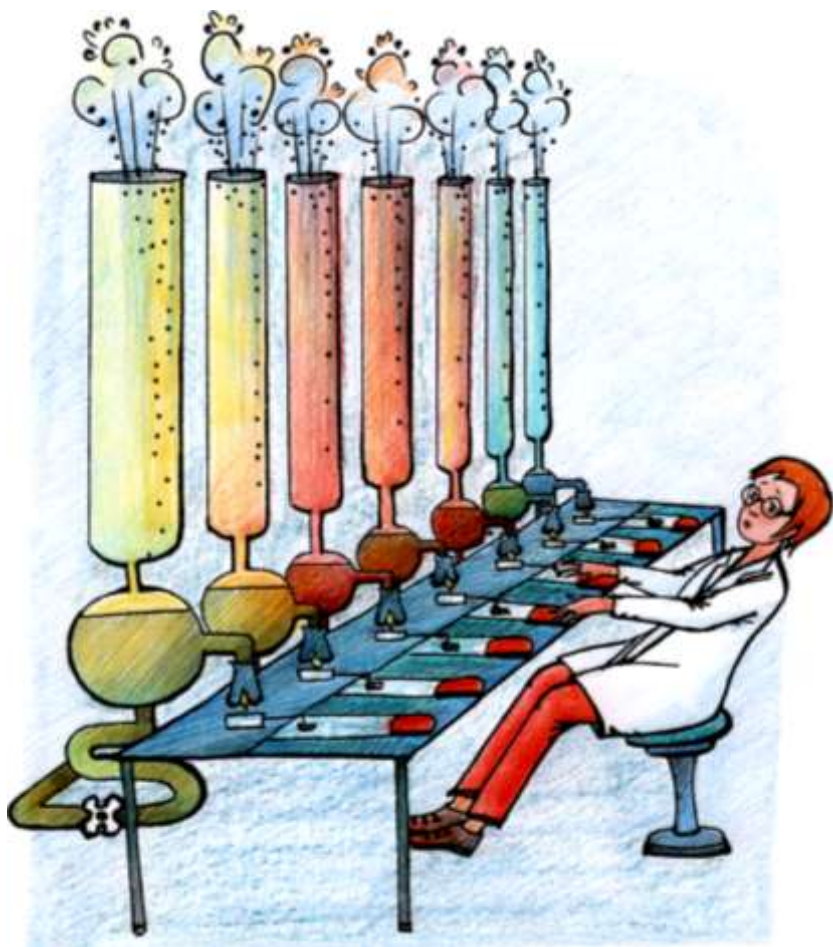
составил 93 мин., что согласуется с результатами независимых расчетов, полученных AAVSO для этого же периода наблюдений [3]. Наиболее интересная картина наблюдалась 3 марта 2011 года, где явно прослеживалось резкое увеличение блеска, причем амплитуда с каждым новым «горбом» увеличивалась. Блеск по сравнению с предыдущей ночью возрос до  $1^m$ . Это – явное проявление сверхвспышки, которое характерно для систем данного типа. Амплитуда блеска «горбов» возрастает и увеличивается в пределах от  $0,23^m$  до  $0,35^m$ . Присутствие сверхвспышки хорошо наблюдается на общем графике, построенном для всех ночей.

### Литература

1. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики. 1988.
2. ER UMa звезд, или RZ LMi звезд. [Электронный ресурс]: <http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/vsnet/DNe/eruma.html>.
3. Вспышка ER UMa // Информационный сайт для астрономов-наблюдателей. [Электронный ресурс]: <http://www.astroalert.su/2012/02/04/er-uma-25>.
4. Крымская астрофизическая обсерватория. [Электронный ресурс]: <http://www.crao.crimea.ua>.



# Химия



## Проточно-инжекционная кондуктометрия: определение карбонатной щелочности снеготалых вод

Гущин Тимофей

10 класс

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

старший преподаватель ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Целью работы являлось определение карбонатной щелочности снеготалых вод методом проточно-инжекционного кондуктометрического титрования и оценка загрязнения некоторых территорий Нижнего Новгорода и Нижегородской области. Отбор снежных проб производился в период с декабря 2011 года по январь 2012 года. Было отобрано 27 проб снежного покрова с девяти территорий Нижнего Новгорода и Нижегородской области. Значения обобщенных показателей снеговых осадков в период отбора проб составили: карбонатная щелочность – от 19 до 32 мг/л; удельная электропроводность – 14 – 40 мкСм/см; рН – 5,5 – 6,5. Относительная погрешность анализа составляет 10 – 30%. Нижняя граница определяемых концентраций гидрокарбонат-ионов – 10 мг/л.*

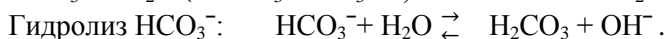
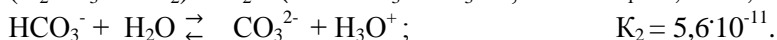
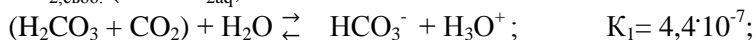
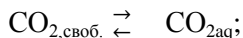
В условиях динамической урбанизации сохранение экологического равновесия окружающей среды весьма проблематично, особенно когда речь идет о городах со всеми загрязняющими факторами. Химический состав атмосферных осадков отражает химический состав атмосферы, включающий как естественные, так и загрязняющие компоненты, и может быть использован в качестве индикатора качества окружающей среды, в том числе состояния воздушного бассейна в холодный период.

*Целью работы являлось определение карбонатной щелочности снеготалых вод методом проточно-инжекционного кондуктометрического титрования и оценка загрязнения некоторых территорий Нижнего Новгорода и Нижегородской области.*

Химический состав снеготалых вод может быть использован в качестве индикатора качества воздушной среды. Такие обобщенные показатели, как удельная электропроводность, величина рН и карбонатная щелочность характеризуют соответственно общее содержание солей, кислотность или щелочность атмосферных осадков и концентрацию растворенного диоксида углерода.

Щелочностью воды называют содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами. Карбонатная щелочность обусловлена присутствующими в пробе гидрокарбонат-ионами.

Между угольной кислотой и ее анионами устанавливается подвижное равновесие. Представим образование и диссоциацию  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :

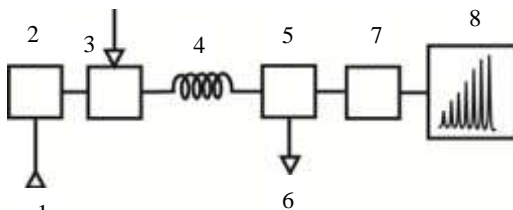


В зависимости от pH среды растворенный в воде  $\text{CO}_2$  находится в равновесии с гидрокарбонат- или карбонат-ионами.

Отбор снежных проб производился в местах, удаленных от автомагистралей, в глубине дворов, в парках – там, где снеговой покров имел равномерную площадь, не был нарушен или загрязнен ветровым привносом. При этом шурф выполнялся на всю глубину снежной толщи. В углах модельной площадки площадью  $3 \times 3$  м отбирались три пробы методом конверта. Подготовка проб включала плавление снега при комнатной температуре, суммирование пробы из каждой «точки» отбора и удаление взвешенных частиц фильтрованием.

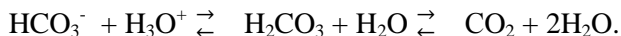
Для определения гидрокарбонат-ионов в водных растворах использовали проточно-инжекционный метод анализа с кондуктометрическим детектированием. Работу выполняли на установке проточно-инжекционного анализа (ПИА), блок-схема которой представлена на рисунке 1.

При титровании протекает следующая реакция:

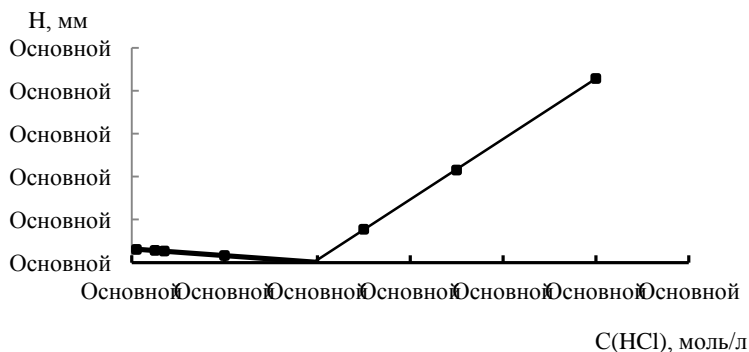


**Рис. 1.** Блок-схема установки ПИА

- 1 – анализируемая вода (или стандартный раствор гидрокарбонат-ионов);
- 2 – перистальтический микронасос (скорость потока 8 мл/мин);
- 3 – устройство ввода порции титранта (раствор  $\text{HCl}$  заданной концентрации (от  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  М),  $V_{\text{титранта}} = 125$  мкл);
- 4 – реакционная спираль;
- 5 – кондуктометрическая ячейка;
- 6 – слив;
- 7 – кондуктометр;
- 8 – самописец.



Концентрацию гидрокарбонат-ионов находили, пользуясь кондуктограммой, построенной в координатах: высота аналитического сигнала – концентрация соляной кислоты. Пример кривой кондуктометрического титрования представлен на рисунке 2.



**Рис. 2.** Кривая проточно-инжекционного кондуктометрического определения карбонатной щелочности снеготалых вод (место отбора пробы – парк «Швейцария»)

Апробацию рекомендуемой методики осуществляли титрованием модельных растворов гидрокарбоната натрия. Результаты представлены в таблице 1.

*Таблица 1.* Результаты определения карбонатной щелочности (мг/л) модельных растворов  $\text{NaHCO}_3$  методом ПИА ( $n=3$ ;  $P=0,95$ )

Введено	Найдено
10,0	$(12,6 \pm 2,2)$
20,0	$(20 \pm 1)$

Полученные результаты удовлетворяют искомым значениям с относительной погрешностью эксперимента 20%.

В таблице 2 представлены результаты определения карбонатной щелочности, удельной электропроводности и pH снеготалых вод различных территорий Нижегородской области.

Значения определяемых параметров находятся в следующих интервалах:

- удельная электропроводность: 14 – 40 мкСм/см;
- pH: 5,5 – 6,5;

– карбонатная щелочность: от 19 до 32 мг/л.

Таблица 2. Результаты определения карбонатной щелочности, удельной электропроводности и pH снеготалых вод различных территорий Нижегородской области (n=3; P=0,95)

№	Место отбора пробы	C(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	α, мкСм/см	pH
1	ул. Нестерова	27 ± 3	19,8 ± 0,9	6,0 ± 0,05
2	парк «Швейцария»	24 ± 3	31 ± 2	5,45 ± 0,05
3	ННГУ	19 ± 3	37 ± 1	5,6 ± 0,05
4	ННГАСУ	29 ± 4	40 ± 1	5,9 ± 0,05
5	Сормово	22 ± 3	14,1 ± 0,7	5,5 ± 0,05
6	пл. Сенная	32 ± 3	47 ± 1	6,15 ± 0,05
7	г. Саров	30 ± 3	31 ± 2	5,3 ± 0,05
8	г. Бор	28 ± 4	20 ± 0,9	6,0 ± 0,05
9	Зеленый город	< 10	10 ± 0,5	6,50 ± 0,05

Увеличение карбонатной щелочности снеговых проб связано с адсорбцией аэрозолей, образующихся на снеговой поверхности под воздействием автотранспорта. Наименьшие значения удельной электропроводности и минимальные величины щелочности зафиксированы в Зеленом городе. Это объясняется, по-видимому, меньшей величиной транспортной нагрузки, особенностями ветрового и температурного режимов.

Проверку правильности определения общей щелочности проводили сравнением результатов, полученных методом кислотно-основного титрования по методике ГОСТ (таблица 3).

Таблица 3. Проверка правильности результатов анализа (n=3; P=0,95)

Место отбора пробы	Содержание HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	
	Проточно-инжекционное кондуктометрическое титрование	Кислотно-основное титрование
ул. Нестерова	27 ± 3	29 ± 4
ННГУ	19 ± 3	20 ± 3
г. Бор	28 ± 4	25 ± 3

Имеет место хорошая сходимость результатов, полученных различными методами.

#### Выводы

1. Методом проточно-инжекционного кондуктометрического анализа определена карбонатная щелочность снеготалых вод раз-

личных регионов Нижегородской области. Относительная погрешность анализа составляет 10 – 30%. Нижняя граница определяемых концентраций гидрокарбонат-ионов 10 мг/л.

2. Значения обобщенных показателей снеговых осадков в период отбора проб составили: карбонатная щелочность – от 19 до 32 мг/л; удельная электропроводность – 14 – 40 мкСм/см; pH – 5,5 – 6,5.
3. Минимальные значения карбонатной щелочности и удельной электропроводности были обнаружены в пробах снежного покрова, отобранных в Зеленом городе. Максимальные значения указанных показателей были обнаружены в пробах снега, отобранных в районе площади Сенной. Это можно объяснить высокой транспортной нагрузкой на указанной территории.

### Литература

1. *Дьяченко Г.И.* Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг). – М.: Изд-во Новосибирского гос. тех. ун-та, 2003. – 159 с.
2. *Кристиан Г.* Аналитическая химия. В 2-х т. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. Т. 2. – 504 с.
3. *Отто М.* Современные методы аналитической химии. В 2-х т. – М.: Техносфера, 2003. Т. 1. – 416 с.
4. *Свистов П.Ф.* Антропогенные осадки: происхождение, состав и свойства // Экологическая химия. 2011. Т. 20, № 2. С. 105 – 113.
5. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. – М.: Протектор, 1995. – 652 с.
6. *Шпигун Л.К.* Проточно-инжекционный анализ // Журн. аналит. химии. 1990. Т. 45, № 6. С. 1045 – 1091.
7. Правительство Нижегородской области. [Электронный ресурс]: <http://www.government-nnov.ru> (дата обращения 05.03.2011).

## Изучение окислительно-восстановительных реакций и условий их протекания

Демидов Даниил

8 класс

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



*В работе изучены и экспериментально исследованы особенности протекания окислительно-восстановительных реакций в зависимости от природы веществ, кислотности среды, температуры и других факторов. Проведена теоретическая оценка чувствительности методов йодометрии и бихроматометрии с проверкой полученных результатов на практике. Экспериментально подтверждена способность аскорбиновой кислоты окисляться кислородом воздуха, установлено ее наименьшее содержание, надежно определяемое бихроматометрическим методом.*

Окислительно-восстановительные реакции или Redox-реакции – это встречно-параллельные химические реакции, протекающие с изменением степеней окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ, реализующихся путем перераспределения электронов между атомом-окислителем и атомом-восстановителем.

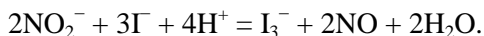
Redox-реакции играют важную роль не только в теоретической химии, но и во многих технологических, химических, экологических и прочих процессах. Окислительно-восстановительные реакции, происходящие при дыхании, являются основой биологических процессов в большинстве живых организмов.

Существует множество факторов, влияющих на протекание окислительно-восстановительных реакций. Некоторые из них мы исследовали в данной работе.

Влияние кислотности среды на протекание Redox-реакций было изучено на примере реакции окисления йодида калия нитритом натрия и щавелевой кислоты перманганатом калия.

В одной пробирке смешали растворы  $\text{NaNO}_2$  и  $\text{KI}$ . Признаки химической реакции отсутствовали, так как стандартный окислительно-восстановительный потенциал пары  $\text{NO}_2^-/\text{NO}$  ( $-0,45\text{ В}$ ) при  $\text{pH}>6$  меньше, чем у пары  $\text{I}_3^-/3\text{I}^-$  ( $+0,54\text{ В}$ ). Во второй пробирке смешали, предварительно создав кислую среду добавлением раствора уксус-

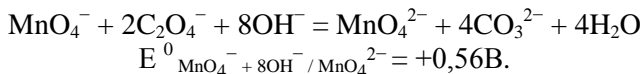
ной кислоты, те же реагенты. Появление бурого окрашивания раствора, а затем синего цвета при добавлении крахмала свидетельствует об образовании йода. Это указывает на то, что прошла реакция:



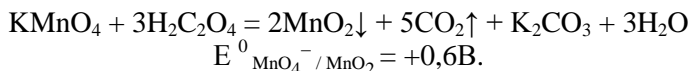
Это произошло потому, что в кислой среде стандартный потенциал пары  $\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+/\text{NO}$  (+1,20В) больше, чем потенциал пары  $\text{I}_3^-/3\text{I}^-$  (+0,54В).

При проведении следующего эксперимента было изучено влияние кислотности среды на протекание реакции с участием перманганата калия. В три пробирки налили одинаковое количество раствора щавелевой кислоты. В первую пробирку добавили NaOH для создания сильно-щелочной среды, во вторую пробирку добавили  $\text{H}_2\text{SO}_4$  для создания кислой среды, в третьей пробирке среду оставили слабо-кислой.

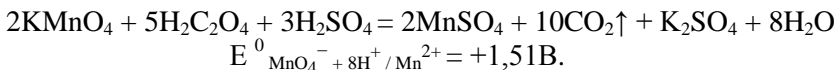
При добавлении к полученным растворам  $\text{KMnO}_4$  ( $\text{Mn}^{+7}$ ) в первой пробирке образовался изумрудно-зеленый манганат  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  ( $\text{Mn}^{+6}$ ):



Во второй образовался коричневый осадок  $\text{MnO}_2$  ( $\text{Mn}^{+4}$ ):



В третьей – бесцветный  $\text{Mn}^{2+}$ :

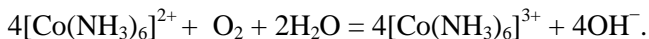


Этот эксперимент демонстрирует влияние кислотности среды на направление протекания Redox-реакций.

Влияние состояния вещества было продемонстрировано на примере реакции окисления ионов  $\text{Co}^{2+}$  кислородом воздуха.

Стандартный нулевой потенциал пары  $\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$  больше потенциала  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}/4\text{OH}^-$ , поэтому ионы  $\text{Co}^{2+}$  в растворе не окисляются кислородом воздуха в обычных условиях.

Но комплексный катион  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  способен окисляться до  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , так как его стандартный потенциал гораздо ниже:

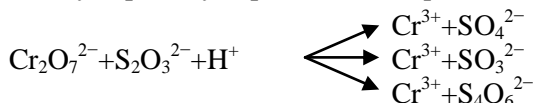


Влияние природы вещества изучали на примере реакции окисления тиосульфата натрия бихроматом калия.

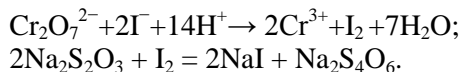


$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  является типичным окислителем ( $E^0_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ / 2\text{Cr}^{3+}} = +1,36\text{В}$ ), а  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  – типичным восстановителем ( $E^0_{\text{S}_4\text{O}_6^{2-} / 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = +0,09\text{В}$ ).

Эти вещества реагируют друг с другом, но известно, что реакция не стехиометрична. В проведенном эксперименте в продуктах реакции взаимодействия бихромата калия и тиосульфата натрия были обнаружены сульфат-, сульфит-ионы и сера.



Реакции же окисления йодида бихроматом калия и восстановления йода тиосульфатом натрия протекают в соответствии со стехиометрией:



Влияние температуры на протекание Redox-реакций наблюдается на примере окисления щавелевой кислоты перманганатом калия в кислой среде.

При добавлении перманганата калия к подкисленному раствору щавелевой кислоты реакция



начала протекать после длительного индукционного периода. При добавлении перманганата калия к такому же раствору, предварительно нагретому на водяной бане до температуры приблизительно  $50^\circ\text{C}$ , эта реакция прошла моментально.

Окислительно-восстановительные реакции широко используются в химическом анализе.

Важным разделом аналитической химии является титриметрический анализ. Один из основных методов титриметрии – метод, основанный на различных Redox-реакциях. В зависимости от применяемых титрантов различают такие методы, как перманганатометрия, йодометрия, бихроматометрия и другие.

Различают классическое и потенциометрическое титрование. В основной части работы были опробованы оба варианта. Теоретически была оценена чувствительность методов йодометрии и бихроматометрии. Затем полученные данные были подтверждены экспериментально.

В методе потенциометрического титрования о протекании реакции судят по величине потенциала индикаторного электрода. На

практике мы измеряли ЭДС электродной пары «платиновый электрод и хлоридсеребряный электрод сравнения».

Потенциометрические методы йодометрии и бихроматометрии были применены для оценки возможности определения аскорбиновой кислоты.

Аскорбиновая кислота ( $E^0_{\text{дегидроаск./аск.}} = -0,054\text{В}$ ) проявляет свойства восстановителя, то есть может быть окислена реагентами со значениями  $E^0 > \approx +0,15\text{В}$ .

Нами были выбраны и сравнены два возможных способа определения аскорбиновой кислоты как восстановителя, – окисление ее бихроматом калия и йодометрическое определение в варианте обратного титрования с потенциометрической регистрацией хода титрования.

*Таблица 1.* Определение аскорбиновой кислоты методами йодометрии и бихроматометрии

Бихроматометрия	Йодометрия
$3\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 8\text{H}^+ =$ $= 3\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ Теоретическая величина скачка бихроматометрического титрования: $\Delta E = 1,25\text{ В}$	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + \text{I}_2 = 2\text{HI} + \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ $\text{I}_2 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 2\text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ Теоретическая величина скачка йодометрического титрования: $\Delta E = 0,38\text{ В}$

Перед началом экспериментов были теоретически оценены величины скачков титрования. С этой целью были рассчитаны величины ЭДС электродной пары в моменты, соответствующие 99,9% и 100,1% добавленного титранта. По этим данным были рассчитаны величины скачков титрования ( $\Delta E$ ). Теоретический скачок бихроматометрического титрования значительно больше йодометрического, что позволяет сделать вывод о большей чувствительности первого метода.

Экспериментальные кривые титрования подтверждают теоретические расчеты.

Экспериментально установлено, что бихроматометрическим титрованием в потенциометрическом варианте можно надежно определить около 2,5 мг аскорбиновой кислоты в пробе, что составляет 1/40 от средней суточной нормы потребления аскорбиновой кислоты человеком. Показано также, что концентрация водного раствора аскорбиновой кислоты уменьшается при хранении, за неделю произошло изменение концентрации около 10%.

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

1. Протекание окислительно-восстановительных реакций зависит от целого ряда факторов: кислотности среды, температуры, состояния вещества, наличия координационных связей и т.д.
2. Бихроматометрический метод определения аскорбиновой кислоты более чувствителен, чем йодометрический.
3. Аскорбиновая кислота разрушается (окисляется) кислородом воздуха. В ходе эксперимента установлено, что ее концентрация в растворе за неделю уменьшилась на ~10%.

Полученные теоретические и практические знания дают возможность качественно и количественно определять аскорбиновую кислоту в различных биологических объектах и продуктах питания, а также продолжать изучение окислительно-восстановительных реакций на примере других соединений.

#### Литература

1. Кулешова Н.В., Абражеев Р.В., Нипрук О.В., Мельчакова Т.А. Аналитическая химия. Лабораторный практикум для студентов биологического факультета ННГУ. – Н.Новгород: Изд. ННГУ, 2004.
2. Скуг Д., Уэст Д. Основы аналитической химии. Т.1 и 2. – М.: Мир, 1979.
3. Эшворд М.Р.Ф. Титриметрические методы анализа органических соединений. Т.1 и 2. – М.: Химия, 1972.

## Коллоидно-химические свойства амфифильных акриловых сополимеров

Краснова Анастасия

11 класс

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



*Методом гетерогенной радикальной полимеризации синтезированы сополимеры метакриловой кислоты с метилакрилатом, этилакрилатом и бутилакрилатом. Изучена гидрофобизация стеклянных подложек полученными сополимерами. Показано, что при нанесении сополимера на поверхность подложки краевые углы смачивания увеличиваются пропорционально росту длины и количества гидрофобных эфирных групп в сополимере. Изучена адсорбция полученных сополимеров на каолине и показано, что значение предельной адсорбции зависит от состава сополимера и соотношения длины и количества гидрофобных групп.*

Сочетание в полимерной макромолекуле блоков различной природы позволяет получать сополимеры с уникальными свойствами. Все большее внимание исследователей в последнее время привлекают амфифильные сополимеры, сочетающие в макромолекуле гидрофильные и гидрофобные фрагменты. Ориентируясь на поверхности раздела фаз, они ведут себя как ПАВ, понижая поверхностное натяжение. В селективных растворителях такие структуры образуют мицеллы, размер которых может контролироваться как качеством растворителя, так и длиной одного из блоков. Такие ПАВ на основе амфифильных сополимеров являются эффективными и экологически безопасными деэмульгаторами, широко используемыми в нефтепереработке, а также в бытовых синтетических моющих средствах.

Лаборатория «Реставрация памятников полимерами» ННГУ им. Н.И. Лобачевского разрабатывает методы реставрации керамики амфифильными сополимерами. В последнее время в связи с тем, что повышенное загрязнение атмосферы вызывает ускоренное старение и разрушение памятников, потребность в их реставрации и консервации увеличивается.

Поэтому целью данной работы стал синтез и изучение коллоидно-химических свойств амфифильных сополимеров на основе метакриловой кислоты. Задачи: синтез амфифильных сополимеров на основе

метакриловой кислоты; изучение смачивания, поверхностного натяжения и адсорбционных свойств на границе раздела фаз «жидкость – твердое тело».

При проведении исследования в качестве мономеров при радикальной полимеризации использовали метакриловую кислоту (МАК), метилакрилат (МА), этилакрилат (ЭА) и бутилакрилат (БА). Их предварительно очищали от ингибитора и примесей методом вакуумной перегонки ( $T_{\text{кип}}$  (МАК) = 60°C/12 мм рт.ст.;  $T_{\text{кип}}$  (МА) = 28°C/100 мм рт.ст.;  $T_{\text{кип}}$  (ЭА) = 40°C/100 мм рт.ст.;  $T_{\text{кип}}$  (БА) = 57,4°C/100 мм рт.ст.).

Синтез сополимеров метакриловой кислоты с акриловыми эфирами – метилакрилатом, этилакрилатом и бутилакрилатом – проводили методом радикальной полимеризации в 40 об.% растворе хлороформа при температуре 60°C. Предварительно смесь дегазировали трехкратным перемораживанием в вакууме. Составы мономерных смесей приведены в таблице 1. В качестве инициатора радикальной полимеризации использовали 2,2'-азобис (2-метилпропионитрил), взятый в количестве 0,01 моль/л. Конверсию контролировали гравиметрическим методом.

По окончании синтеза полученные сополимеры сушили в вакуумном шкафу до постоянного веса. Затем очищали переосаждением из этанола диэтиловым эфиром и снова сушили в вакууме до постоянного веса. Основные характеристики полученных сополимеров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики полученных сополимеров

Состав мономерной смеси, мол. %	Состав сополимера, мол. %	Конверсия р, %	Характеристическая вязкость $[\eta]$ , дл/г	ММ · 10 <sup>-5</sup>
90МАК – 10МА	71МАК – 29МА	48	1,06	1,5
95МАК – 5МА	87МАК – 13МА	69	1,03	1,44
90МАК – 10ЭА	72МАК – 28ЭА	49	1,14	1,73
95МАК – 5ЭА	91МАК – 9ЭА	73	1,12	1,68
95МАК – 5БА	90МАК – 10БА	72	1,21	1,95

Составы полученных сополимеров определяли методом кондуктометрического титрования. Метод основан на изменении электропроводности ( $\chi$ ) раствора при химических реакциях, связанном с изменением концентрации ионов различной подвижности. Для определения средневязкостной ММ использовали вискозиметр Уббелоде с висязим уровнем. Поверхностное натяжение определяли методом капиллярного поднятия жидкости. Установка для измерения высоты капиллярного поднятия представлена на рисунке 1. Расчет проводили по формуле:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r},$$

где  $h$  – высота поднятия жидкости в капилляре,  $\theta$  – краевой угол смачивания жидкостью капилляра (в данном случае  $\cos\theta = 1$ , так как происходит полное смачивание),  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения,  $r$  – радиус капилляра.

Экспериментальные данные показали, что поверхностное натяжение растворов полимеров совпадает с поверхностным натяжением чистого этилового спирта. Это можно объяснить большим термодинамическим сродством сополимера и растворителя. Вследствие этого сополимер, образуя водородные связи, равномерно распределяется в объеме растворителя и не адсорбируется на поверхности раздела фаз «жидкость – воздух».

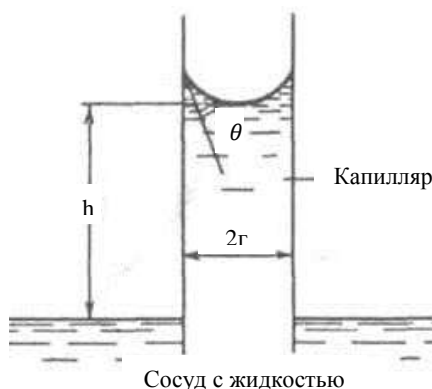
Исследования поверхностных свойств проводили путем измерения краевого угла смачивания, образуемого касательной, проведенной к поверхности капли в точку соприкосновения трех фаз. Для его измерения использовали установку, изображенную на рисунке 2.

Косинус краевого угла смачивания рассчитывали по формуле:

$$\cos\theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2},$$

где  $d$  – длина основания капли, мм;  $h$  – высота, мм.

Затем определяли значение краевого угла смачивания, которое усредняли по результатам серии.



**Рис. 1.** Установка для измерения высоты капиллярного поднятия столба жидкости



**Рис. 2.** Схема установки для определения краевого угла смачивания поверхности водой

*Таблица 2.* Краевые углы смачивания полимерных пленок водой

Состав сополимера, мол. %	$\cos\theta$	$\theta^\circ$
71МАК – 29МА	0,615	52
87МАК – 13МА	0,707	45
72МАК – 28ЭА	0,545	57
91МАК – 9ЭА	0,682	47
90МАК – 10БА	0,656	49

Из таблицы 2 видно, что с возрастанием количества эфирных групп в сополимере, а также с увеличением длины гидрофобного фрагмента, увеличивается значение краевого угла смачивания. Это объясняется тем, что при нанесении на стеклянную гидрофильную подложку молекулы сополимера ориентируются карбоксильными (гидрофильными) группами к подложке, а гидрофобными эфирными – наружу (к воздуху). Вследствие этого поверхность пленки становится гидрофобной, что хорошо видно при нанесении на нее каплю воды.

Изучение адсорбции полученных сополимеров из спиртовых растворов на каолине проводили следующим образом.

Готовили спиртовые растворы сополимеров с концентрациями 1 – 5 мас.% и измеряли показатели преломления приготовленных растворов на рефрактометре ИРФ-22, устройство которого основано на явлении полного внутреннего отражения. Затем строили калибровочные графики в координатах показателя преломления от концентрации.

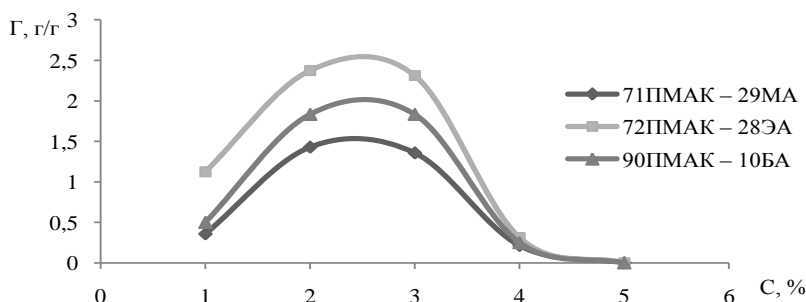
После этого к растворам сополимеров добавляли мелкодисперсный наполнитель в количестве 5 мас.% и в течение 120 мин. с помощью гомогенизатора смешивали раствор сополимера. Затем полученные суспензии выдерживали в течение трех суток при комнатной температуре для достижения адсорбционного равновесия. Далее наполнитель отделяли от раствора с помощью центрифуги. После чего на рефрак-

тометре определяли показатель преломления растворов сополимеров после адсорбции. Далее по калибровочным графикам определяли концентрации растворов и рассчитывали величины адсорбции.

$$\Gamma = \frac{(C_1 - C_2) \cdot V}{100 \cdot P},$$

где  $C_1$  – концентрация раствора до адсорбции, мас.%;  $C_2$  – концентрация раствора после адсорбции, мас.%;  $V$  – объем раствора, мл;  $P$  – навеска наполнителя, г.

Изотермы адсорбций сополимеров из этилового спирта на каолине представлены на рисунке 3.



**Рис. 3.** Изотермы адсорбции сополимеров из этилового спирта на каолине

Влияние состава сополимера можно объяснить следующим образом. Макромолекулы сополимера в растворе способны самопроизвольно ориентироваться и сворачиваться в клубки таким образом, чтобы минимизировать невыгодное взаимодействие гидрофобных эфирных групп с растворителем. Вследствие этого эфирные группы оказываются внутри клубка подобно мицеллам ПАВ. Плотность клубков зависит от количества и длины гидрофобных групп в сополимере. Следовательно, чем плотнее клубки, тем больше их может адсорбироваться на поверхности каолина и тем выше значение адсорбции. Из рисунка 3 видно, что значение адсорбции сополимера 72МАК – 28ЭА является наибольшим, а 71МАК – 29МА – наименьшим. Сополимер 90МАК – 10БА занимает промежуточное положение. Объясняется это тем, что по сравнению с 71МАК – 29МА его макромолекулы сворачиваются больше из-за наличия более длинных гидрофобных частей. По сравнению с сополимером 72МАК – 28ЭА, макромолекулы сополимера 90МАК – 10БА сворачиваются меньше за счет меньшего количества эфирных групп.



### *Выводы*

1. Методом гетерогенной радикальной полимеризации синтезированы сополимеры метакриловой кислоты с метилакрилатом, этилакрилатом и бутилакрилатом.

2. Изучены составы полученных сополимеров и определена их молекулярная масса.

3. Изучена гидрофобизация стеклянных подложек полученными сополимерами. Показано, что при нанесении сополимера на поверхность подложки краевые углы смачивания увеличиваются пропорционально росту длины и количества гидрофобных эфирных групп в сополимере.

4. Изучена адсорбция полученных сополимеров из этилового спирта на границе раздела фаз «жидкость – газ» и «жидкость – твердое тело».

- Показано, что адсорбции на границе «жидкость – газ» не происходит вследствие образования водородных связей между сополимером и растворителем и равномерного распределения сополимера по всему объему растворителя.
- Адсорбция на границе «жидкость – твердое тело» сначала растет, достигая предельного значения в области умеренных концентраций, затем уменьшается вследствие образования агрегатов макромолекул сополимера. В области высоких концентраций преимущественно адсорбируется растворитель. Показано, что значение предельной адсорбции зависит от состава сополимера и соотношения длины и количества гидрофобных групп.

### **Литература**

1. Holmberg K. Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry. Wiley. Chichester. UK, 2001. – 512 p.
2. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
3. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии. – Киев: Наукова думка, 1974. – 992 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. Пчелин В.А. Гидрофобные взаимодействия в дисперсных системах. – М.: Наука, 1976. – 192 с.
6. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения. – М.: Академия, 2006. – 129 с.
7. Химическая энциклопедия. В 5 т. Т. 2. – М.: Сов. энцикл., 1988. – 568 с.
8. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. – М.: МГУ, 1982. – 348 с.

## Рентгенофлуоресцентный анализ монетных сплавов

Пименов Владимир

10 класс

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



*В работе исследованы возможности рентгенофлуоресцентного анализа монетных сплавов. Использовались такие методы, как качественный и количественный химический анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, способ фундаментальных параметров. Было проанализировано множество монет разных государств и эпох. Установлено, что монеты содержат такие металлы, как Cu, Zn, Cr, Al, Mn, Ni и Fe. У современных монет во многих случаях состав внутреннего и внешнего слоев различен, например, существует тенденция изготавливать внутренний слой из черных сплавов. Современные российские монеты по составу схожи с советскими.*

Несмотря на широкое распространение безналичных форм платежей, в том числе электронных, монеты остаются в современном мире важнейшим платежным средством. Для их изготовления используются как драгоценные, так и цветные металлы, а также сплавы на основе железа. Известно, что в ряде стран себестоимость металлических монет превышает их номинал. В различных странах в разные эпохи монеты изготавливались из различных металлов и их сплавов, обобщенная информация об их составе не является общедоступной и бесплатной.

Таким образом, *цель* работы состояла в установлении состава монет различного происхождения. Были поставлены и решались следующие задачи: 1) установить методом рентгенофлуоресцентного анализа состав сплавов, из которых изготовлены российские, советские и зарубежные монеты; 2) выявить и объяснить, почему для изготовления внешнего и внутреннего слоев монет используются разные сплавы; 3) проследить общую историческую тенденцию изменения состава монетных сплавов и дать ей объяснение; 4) сравнить состав монет.

В работе использовали несколько методов: качественный и количественный химический анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, способ фундаментальных параметров.

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) – один из современных спектроскопических методов исследования вещества с целью выявления его элементного состава. С его помощью могут определяться различные элементы – от бериллия до урана. Метод РФА основан на сборе и последующем анализе спектра, полученного путем воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением. Рентгенофлуоресцентный метод (РФМ) широко используется в промышленности и научных лабораториях. Благодаря простоте, возможности экспресс-анализа, точности, отсутствию сложной пробоподготовки сферы его применения продолжают расширяться.

Рентгенофлуоресцентным методом был установлен состав ряда российских, советских и иностранных монет. Необходимо учитывать, что возбуждающее излучение проникает в металлический сплав на глубину примерно 0,1 мм, поэтому при непосредственном анализе монет РФМ может быть получена информация только о составе их поверхностного слоя.

Для определения состава глубинных слоев монет их обрабатывали либо  $\text{HNO}_3$ , либо  $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ . Обработку проводили до тех пор, пока толщина монеты не уменьшалась примерно в 2 раза. После этого состав монетного сплава повторно определялся вышеописанным способом.

*Таблица. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа*

Страна происхождения	Номинал и год выпуска	Состав, % масс
Россия	1 копейка, 1998	$\omega(\text{Cu})=80,15\pm 0,16\%$ ; $\omega(\text{Ni})=19,65\pm 0,19\%$
Россия	1 копейка, внутренний слой, 1998	$\omega(\text{Fe})=100\%$
Россия	5 копеек, 1998	$\omega(\text{Cu})=80,21\pm 0,17\%$ ; $\omega(\text{Ni})=19,75\pm 0,17\%$
Россия	5 копеек, внутренний слой, 1998	$\omega(\text{Fe})=100\%$
Россия	10 копеек, 1998	$\omega(\text{Cu})=59,68\pm 0,14\%$ ; $\omega(\text{Zn})=40,12\pm 0,18\%$
Россия	10 копеек, внутренний слой, 1998	$\omega(\text{Fe})=100\%$
Россия	50 копеек, 2004	$\omega(\text{Cu})=59,09\pm 0,56\%$ ; $\omega(\text{Zn})=39,99\pm 0,4\%$
Россия	50 копеек, внутренний слой, 2004	$\omega(\text{Fe})=100\%$

Продолжение табл.

Страна	Номинал и год выпуска	Состав, % масс
Россия	1 рубль, 1998	$\omega(\text{Cu})=51,31\pm 6,3\%$ ; $\omega(\text{Zn})=33,78\pm 3,05\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,6\pm 1,19\%$ ; $\omega(\text{Mn})=3,83\pm 2,08\%$
Россия	1 рубль, внутренний слой, 1997	$\omega(\text{Cu})=50,82\pm 0,4\%$ ; $\omega(\text{Zn})=33,99\pm 0,5\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,8\pm 0,13\%$ ; $\omega(\text{Mn})=4,02\pm 0,09\%$
Россия	2 рубля, 2002	$\omega(\text{Cu})=52,88\pm 6,32\%$ ; $\omega(\text{Zn})=34,59\pm 0,4\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,74\pm 0,18\%$ ; $\omega(\text{Mn})=1,38\pm 0,011\%$
Россия	2 рубля, внутренний слой, 2002	$\omega(\text{Cu})=50,58\pm 0,36\%$ ; $\omega(\text{Zn})=34,59\pm 0,4\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,74\pm 0,06\%$ ; $\omega(\text{Mn})=3,93\pm 0,2\%$
Россия	5 рублей, 1997	$\omega(\text{Cu})=80,23\pm 0,27\%$ ; $\omega(\text{Ni})=19,58\pm 0,29\%$
Россия	5 рублей, внутренний слой, 1998	$\omega(\text{Cu})=100\%$
Россия	10 рублей, 2011	$\omega(\text{Cu})=74,44\pm 2,05\%$ ; $\omega(\text{Zn})=24,78\pm 0,9\%$
Россия	10 рублей, внутренний слой, 2011	$\omega(\text{Fe})=100\%$
СССР	2 копейки, 1981	$\omega(\text{Cu})=59,76\pm 1,5\%$ ; $\omega(\text{Zn})=40,19\pm 0,7\%$
СССР	2 копейки, 1986	$\omega(\text{Cu})=59,76\pm 0,9\%$ ; $\omega(\text{Zn})=39,74\pm 0,8\%$
СССР	3 копейки, 1991	$\omega(\text{Cu})=58,89\pm 0,10\%$ ; $\omega(\text{Zn})=40,13\pm 0,15\%$
СССР	20 копеек, 1961	$\omega(\text{Cu})=53,1\pm 0,4\%$ ; $\omega(\text{Zn})=33,3\pm 0,5\%$ ; $\omega(\text{Ni})=11,65\pm 0,18\%$ ; $\omega(\text{Mn})=1,94\pm 0,11\%$
СССР	20 копеек. 1987	$\omega(\text{Cu})=51,69\pm 0,11\%$ ; $\omega(\text{Zn})=35,17\pm 0,16\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,44\pm 0,12\%$ ; $\omega(\text{Mn})=2,4\pm 0,09\%$

Окончание табл.

Страна	Номинал и год выпуска	Состав, % масс
СССР	20 копеек, 1990	$\omega(\text{Cu})=52,48\pm0,12\%$ ; $\omega(\text{Zn})=34,67\pm0,09\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,84\pm0,026\%$ ; $\omega(\text{Mn})=1,99\pm0,05\%$
СССР	50 копеек, 1968	$\omega(\text{Cu})=50,75\pm0,9\%$ ; $\omega(\text{Zn})=34,6\pm0,15\%$ ; $\omega(\text{Ni})=11,17\pm0,3\%$ ; $\omega(\text{Mn})=3,319\pm6,4\%$
СССР	50 копеек, внутренний слой, 1968	$\omega(\text{Cu})=50,23\pm0,9\%$ ; $\omega(\text{Zn})=34,69\pm0,5\%$ ; $\omega(\text{Ni})=10,72\pm0,33\%$ ; $\omega(\text{Mn})=4,36\pm0,13\%$
Франция	2 франка, 1979	$\omega(\text{Ni})=100\%$
Великобритания	Фунт стерлингов, 2001	$\omega(\text{Cu})=69,54\pm0,14\%$ ; $\omega(\text{Zn})=23,83\pm0,18\%$ ; $\omega(\text{Ni})=5,94\pm0,13\%$
Европейский Союз	1 евроцент, 2008	$\omega(\text{Cu})=98,97\pm0,3\%$ ; $\omega(\text{Fe})=1,02\pm0,3\%$
Европейский Союз	1 евроцент, внутренний слой, 2008	$\omega(\text{Fe})=100\%$
Европейский Союз	2 евроцента, 2008	$\omega(\text{Cu})=100\%$
Европейский Союз	2 евроцента, внутренний слой, 2008	$\omega(\text{Fe})=100\%$
Европейский Союз	5 евроцентов, 2003	$\omega(\text{Cu})=99,09\pm1,24\%$ ;
Европейский Союз	5 евроцентов, внутренний слой, 2008	$\omega(\text{Fe})=100\%$
Франция	10 евроцентов, 2007	$\omega(\text{Cu})=92,78\pm1,3\%$ ; $\omega(\text{Zn})=6,62\pm0,12\%$
Европейский Союз	20 евроцентов, 2009	$\omega(\text{Cu})=92,13\pm0,2\%$ ; $\omega(\text{Zn})=6,78\pm0,29\%$ ; $\omega(\text{Sn})=0,96\pm0,08\%$
КНДР	1 вона, 1959	$\omega(\text{Al})=100\%$
Украина	2 копейки, 2004	$\omega(\text{Fe})=84,84\pm2,5\%$ ; $\omega(\text{Cr})=15,59\pm0,21\%$
Украина	5 копеек, 1992	$\omega(\text{Fe})=82,35\pm1,17\%$ ; $\omega(\text{Cr})=17,4\pm1,6\%$
Украина	10 копеек, 1992	$\omega(\text{Cu})=97,39\pm0,19\%$ ; $\omega(\text{Ni})=2,46\pm0,4\%$ ; $\omega(\text{Al})=3,37\pm11,8\%$
Украина	1 гривна, 2004	$\omega(\text{Cu})=97,47\pm0,5\%$ ; $\omega(\text{Ni})=2,44\pm0,021\%$

Из таблицы можно сделать следующие выводы.

1. Современные российские монеты номиналом меньше рубля изготавливаются из железа, на которое наносят тонкий слой сплава, служащего для придания монете привлекательного вида. Одно- и пятикопеечные монеты снаружи покрыты сплавом из 80% Cu и 20% Ni, имеющим серебряный цвет с синеватым оттенком; монеты достоинством 10 и 50 копеек покрыты слоем сплава 60% Cu и 40% Zn желтого цвета. Монеты достоинством 1 и 2 рубля имеют одинаковый внутренний и внешний состав из сплава 51% Cu, 34% Zn, 11% Ni и 4% Mn, сплав серебряного цвета с желто-зеленым оттенком. Монеты номиналом 5 и 10 рублей изготавливают из Cu, на пятирублевую монету нанесен сплав Cu и Ni, аналогичный 1 и 5 копейкам, а на десятирублевую монету нанесен сплав из 75% Cu и 25% Zn.

2. Двухкопеечную монету в СССР изготавливали из медноцинкового сплава, аналогичного 10 и 50 копейкам России; трехкопеечная монета 1950 года состоит в основном из Cu, с небольшим добавлением Al, а трехкопеечная монета 1991 года аналогична двухкопеечным монетам СССР. Состав двадцати- и пятидесятикопеечных монет в СССР и РФ совпадает (1961–1990 гг.) и содержит 53% Cu, 33% Zn, 12% Ni и 2% Mn, состав внутренних и наружных слоев совпадает.

3. Сравнивая монеты, выпущенные в СССР и России, можно сделать вывод о том, что имеется тенденция к снижению себестоимости материалов для изготовления монет за счет замены цветных металлов на железо. Сплавы, использовавшиеся в СССР для чеканки двух- и трехкопеечных монет, сейчас используются для покрытия монет достоинством 10 и 50 копеек. Состав современных одно- и двухрублевых монет такой же, как у 20 и 50 копеек СССР.

4. Современные евромонеты номиналом 1, 2, 5 евроцентов так же, как и российские, имеют основу из железа, однако они покрыты слоем чистой Cu. Монеты в 20 и 10 евроцентов покрыты медноцинковым сплавом с содержанием Zn 7%.

5. Украинские 2 и 5 копеек покрыты меднохромовым сплавом с содержанием Cr 16%. 10 копеек и гривна изготовлены практически из чистой Cu с добавлением 3% Ni.

6. Состав фунта стерлингов напоминает состав современных российских одного и двух рублей. Монета достоинством 2 франка покрыта чистым Ni. Корейская вона покрыта чистым Al.

Таким образом, в результате проделанной работы можно сделать следующие *выводы*.

1. Рентгенофлуоресцентным методом проанализировано более пятидесяти монет.
2. Для изготовления монет используют Cu, Zn, Cr, Al, Mn, Ni и Fe.
3. Чаще других для изготовления монет используют такие металлы, как Cu, Zn и Ni.
4. У современных монет во многих случаях состав внутреннего и внешнего слоев различны.
5. Цвет монеты определяется основными компонентами ее наружного слоя.

### **Литература**

1. *Мазалов Л.Н.* Метод рентгеноспектрального анализа и его возможности в строительстве. – Новосибирск, 2002. – 31 с.
2. *Лосев Н.Ф., Смагунова А.Н.* Основы РФА. – М.: Химия, 1982. – 208 с.
3. Введение в РФА/ BRUKER. – 47 с. [Электронный ресурс].

## Химические методы контроля качества молока

Прокопенко Марина

9 класс

Научный руководитель Н.С. Захарычева,  
аспирант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*Молоко – один из наиболее потребляемых продуктов питания, однако при наличии достаточно высокого предложения этого товара встает вопрос о его качестве. В связи с этим важно знать, не содержит ли молоко примесей и добавок, которые портят его свойства и могут вредно воздействовать на организм. В данной работе рассмотрены простые, доступные и экспрессные методы самостоятельной оценки качества продукта.*

Молоко с давних времен является одним из наиболее потребляемых продуктов. Оно широко применяется в питании людей разных возрастных групп, а также в лечебном питании. С тех пор, как была налажена промышленная переработка молока, и оно стало продуктом пищевой промышленности, появилась необходимость в контроле его качества. В связи с этим был введен государственный стандарт (ГОСТ), которому молоко должно соответствовать. В последнее время одним из основных несоответствий молока ГОСТу является его фальсификация с помощью различных веществ. Фальсификация молока не только уменьшает его пищевую и биологическую ценность, но и опасна в эпидемиологическом отношении.

В настоящее время существует множество веществ-фальсификаторов, которые могут быть добавлены в молоко, но установить их наличие в продукте невозможно как визуально, так и органолептически, поэтому необходимо использование доступных и экспрессных химических методов для оценки качества данного продукта.

Цель исследования – оценить молоко различных производителей на наличие фальсификации и соответствие ГОСТу. Объектом исследования стало молоко различных производителей, а также натуральное коровье молоко. Предмет исследования – качественный анализ продукта на наличие веществ-фальсификаторов, установление кислотности и удельного веса продукта. Методы исследования: титриметрия, потенциометрия, качественный анализ. В ходе исследования необходимо было решить следующие задачи:



- 1) изучить литературу, связанную с контролем качества молока, познакомиться с методами качественного анализа, титриметрии, потенциометрии и установления удельного веса продукта;
- 2) изучить информацию о различных видах молока, его пищевой ценности, методах переработки, принятых для него пищевых стандартах;
- 3) провести оценку качества молока четырех различных марок и натурального коровьего молока.

Было использовано следующее оборудование: ареометр, рН-метр, бюретка, мерный цилиндр, химические стаканы, пробирки, штатив, колбы и пипетки различного объема, а также реактивы: дистиллированная вода, 5%-ный раствор йода, 0,04%-ный раствор бромтимолового синего, 0,1%-ный раствор фенолфталеина, 0,1н. NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (конц.), молоко различных марок.

1. Одним из видов фальсификации молока является разбавление его водой. Проверить это можно, проконтролировав удельный вес продукта. Для этого в мерный цилиндр наливали ~ 70 мл молока и погружали в него ареометр.

2. При разбавлении молока водой возможно добавление в него крахмала для придания продукту необходимой консистенции. Наличие крахмала устанавливали по реакции молока с йодом. В химический стакан помещали 5 мл молока и добавляли две капли 5%-ного раствора йода; аналитическим сигналом в данном случае является появление синего окрашивания.

3. Важным показателем качества молока является его свежесть, характеризующаяся активной и титруемой кислотностью. Активную кислотность определяли с помощью рН-метра. В стакан помещали 10 мл молока и опускали в него электродную пару, предварительно откалибровав прибор. Показания рН-метра представляют собой значения активной кислотности. Для определения титруемой кислотности титровали молоко (10 мл+20 мл воды) 0,1 н. NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина. Полученные результаты титрования пересчитали в градусы Тернера.

4. Для предотвращения скисания молока в него может быть добавлена сода, смещающая рН продукта в щелочную область. Обнаружить ее можно по реакции с индикатором бромтимоловым синим (0,04 %-ный раствор). К пробе молока добавляли 2 – 3 капли индикатора, при наличии соды молоко приобретает зеленоватый оттенок.

5. Наиболее опасным консервантом является формалин, который может быть добавлен в молоко для увеличения сроков его хранения. О наличии формалина можно судить по реакции с концентрированной серной кислотой. В пробирку влили 2 мл  $H_2SO_4$  (конц.), затем по стенке добавили 2 мл молока. Аналитическим сигналом является окраска кольца на границе раздела двух фаз. В присутствии формалина оно приобретает фиолетовый цвет, в отсутствии – желтый.

Полученные данные были сведены в таблицу, в которой также приведены требования ГОСТ по данным параметрам. Формалин, сода и крахмал не были обнаружены ни в одном из исследуемых образцов.

*Таблица. Результаты исследования молока различных производителей*

Показатель	Натуральное молоко	«Северная долина» ГОСТ	«Городское» ГОСТ	«Веселый молочник» ГОСТ	«Простоквашино» ТУ	ГОСТ – 52090-2003
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,028	1,029	1,029	1,030	1,029	1,027 – 1,030
pH	6,7	6,1	6,1	6,0	5,8	6,8
Титруемая кислотность, °Т	21	23	22	23	22,6	20 – 21

Из данных таблицы следует, что ни один из образцов не был разбавлен водой. Об этом свидетельствует соответствие плотности молока всех марок ГОСТу и отсутствие крахмала в них. Ни в одном из образцов не обнаружены такие вещества-фальсификаторы, как сода и формалин. Кислотность соответствовала ГОСТу только у натурального коровьего молока, остальные продукты имели завышенную кислотность (как активную, так и титруемую), что объясняется методом переработки продукта – его пастеризацией.

#### **Литература**

1. Богатова О.В., Догарева Н.Г. Определение качества молока. Методические указания к лабораторному практикуму. – Оренбург, 2002. – 39 с.
2. Гостев М.М. Экспериментальная работа учащихся в химическом кружке. – М.: Учпедгиз, 1959. – 192 с.
3. ГОСТ 53359-2009. [Электронный ресурс]: <http://protect.gost.ru>.

4. ГОСТ Р 52090-2003 «Молоко питьевое. Технические условия». [Электронный ресурс]: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/4896>.
5. ГОСТ 24065-80. [Электронный ресурс]: <http://gostexpert.ru/gost/gost-24065-80>.
6. Молоко без обмана. [Электронный ресурс]: [www.ug.ru/archive.12428](http://www.ug.ru/archive.12428).
7. О внесении изменений в федеральный закон «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» №163-ФЗ от 22 июля 2010г. [Электронный ресурс]: <http://www.referent.ru/1/160062>.
8. Обработка молока. [Электронный ресурс]: <http://agrovision.ru/obrabotka-moloka>.

## **Укрепление текстильных материалов водорастворимыми акриловыми сополимерами**

Слепченков Александр

11 класс

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



*В ходе работы были синтезированы сополимеры метакриловой кислоты с метилакрилатом, этилакрилатом и бутилакрилатом и исследовано укрепление тканей полученными сополимерами. Исследовано влияние состава и вязкости растворов сополимеров на скорость капиллярного впитывания в обычную и искусственно состаренную ткань. Изучена разрывная прочность композиций «ткань – сополимер». Показано, что водные растворы полученных сополимеров могут быть использованы в качестве консервантов ткани в полевой археологии.*

Археологическая консервация – важный и ответственный этап в комплексе реставрационных мероприятий. Поэтому изучение закономерностей укрепления деструктированных археологических тканей является актуальной задачей, но при этом практически не изучалась исследователями. Ранее нами были синтезированы сополимеры на основе акриловой кислоты и показана возможность применения их для укрепления текстильных материалов [4]. Продолжением этой работы стало изучение процессов деструкции тканей и моделирование ускоренного старения в лабораторных условиях, а также изучение процессов укрепления тканей различной степени деструкции.

Целью работы стало изучение закономерностей укрепления текстильных материалов водорастворимыми акриловыми сополимерами. Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи:

- 1) синтез водорастворимых сополимеров метакриловой кислоты (МАК) с метилакрилатом (МА), этилакрилатом (ЭА) или с бутилакрилатом (БА);
- 2) определить состав и молекулярно-массовые характеристики полученных сополимеров;
- 3) изучить процессы капиллярной пропитки, смачивания и укрепления пористой целлюлозной ткани;
- 4) смоделировать процессы старения целлюлозной ткани; укрепить деструктированные волокна целлюлозы полученными сополимерами.

### *Синтез сополимеров*

Синтез сополимеров проводили методом гетерогенной радикальной полимеризации в 40 мас.% растворе хлороформа при температуре 60°C. Предварительно мономерную смесь дегазировали трехкратным перемораживанием в вакууме. В качестве инициатора использовали 2,2'-азобис (2-метилпропионитрил). Конверсию контролировали гравиметрически. Полученные сополимеры очищали переосаждением из этанола хлороформом и сушили в вакууме до постоянного веса. Молекулярную массу полученных сополимеров определяли вискозиметрическим методом. Составы полученных сополимеров определяли на бесконтактном высокочастотном титраторе. Молекулярно-массовые характеристики полученных сополимеров представлены в таблице.

*Таблица. Характеристики сополимеров*

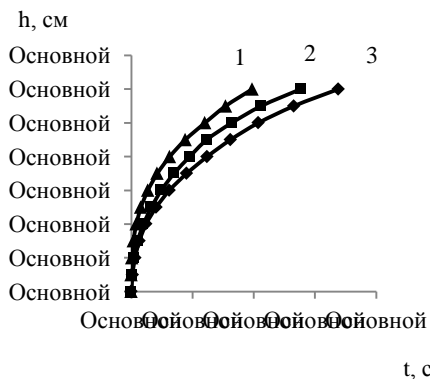
Состав мономерной смеси, мас.%	Состав сополимера, мас.%	Конверсия, р, %	Характеристическая вязкость $[\eta]$ , дл/г	ММ · 10 <sup>-5</sup>
95МАК – 5МА	87МАК – 13МА	69	1,03	1,44
95МАК – 5ЭА	91МАК – 9ЭА	73	1,12	1,68
95МАК – 5БА	90МАК – 10БА	72	1,21	1,95

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

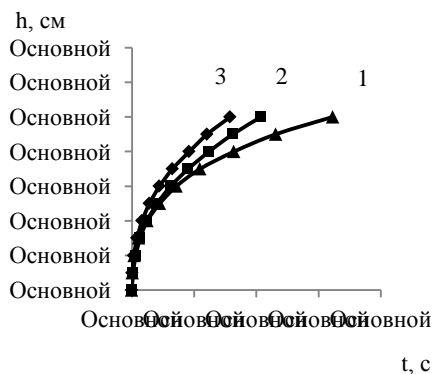
#### *Укрепление ткани растворами сополимеров*

Укрепление тканей и изучение скорости капиллярного поднятия растворов сополимеров в них проводили по методике, описанной в работе [4].

Исследуемые растворы полимеров являются ньютоновскими жидкостями, поэтому скорость их капиллярного поднятия подчиняется закону перемещения вязкой несжимаемой жидкости в капилляре и может быть описана уравнением Уошборна, согласно которому скорость поднятия жидкости обратно пропорциональна вязкости этой жидкости. С увеличением концентрации растворов полимеров наблюдается увеличение их вязкости и, как следствие, падение скорости течения их в капиллярах ткани (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость высоты капиллярного впитывания растворов СПЛ МАК – ЭА разных концентраций от времени: 0,1 мас.% (1); 0,3 мас.% (2); 0,5 мас. % (3)



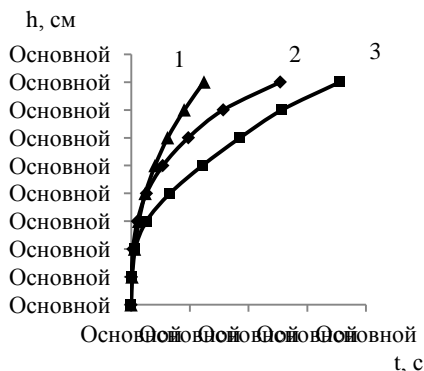
**Рис. 2.** Зависимость высоты капиллярного впитывания растворов СПЛ от времени: МАК – МА (1), МАК – ЭА (2) и МАК – БА (3) с концентрацией 0,5 мас.%

Интересно было изучить влияние состава сополимера на скорость капиллярного поднятия. Нами было выявлено, что несмотря на то, что вязкость 0,5% раствора СПЛ МАК – БА является наибольшей, скорость его капиллярного впитывания превышает скорости поднятия растворов СПЛ МАК – МА и МАК – ЭА (рис. 2). Это связано с тем, что находясь в водном растворе, за счет более длинных гидрофобных частей макромолекулы СПЛ МАК – БА имеют более компактную структуру и меньший размер клубка и вследствие этого легче проходят сквозь капилляры.

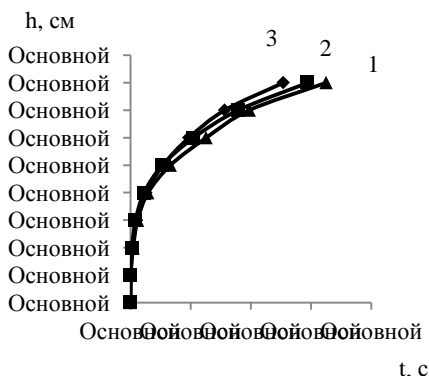
Тепловое старение тканей производилось при различных температурах и в течение разного количества времени: при 100 и 150°C – 15 суток, при 200°C – 5 часов. После старения изучали скорость капиллярного впитывания водных растворов сополимеров в состаренные ткани. Для пропитывания использовали растворы полимеров с концентрацией 0,5 мас.%. Полученные данные показывают, что скорость капиллярного впитывания СПЛ в целлюлозную ткань снижается с увеличением степени деструкции волокна (рис. 3). Это связано с тем, что в деструктированной ткани существуют разрывы в капиллярах, поэтому нарушается единая капиллярная система и вследствие этого скорость поднятия СПЛ в ткани значительно снижается.

Также отметим, что скорость капиллярного впитывания СПЛ в состаренные ткани практически не зависит от его состава (рис. 4).

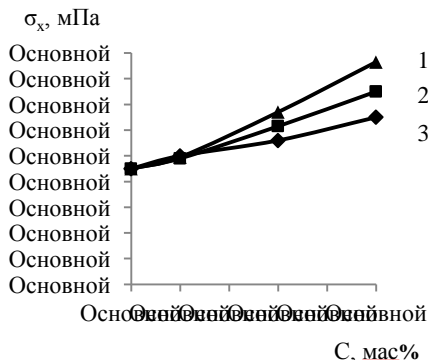
Это объясняется тем, что деструктурированные ткани имеют больший радиус капилляров, поэтому макромолекулы СПЛ одинаково легко проходят сквозь капилляры.



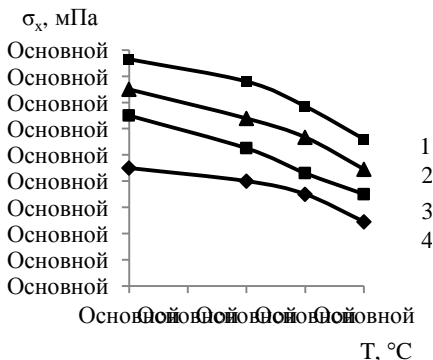
**Рис. 3.** Зависимость высоты капиллярного впитывания раствора СПЛ МАК – ЭА с концентрацией 0,5% от времени в не состаренную ткань (1) и ткань, состаренную при 100°C (2) и 150°C (3)



**Рис. 4.** Зависимость высоты капиллярного впитывания различных СПЛ от времени: МАК – МА (1), МАК – ЭА (2), МАК – БА (3) в состаренную при 150°C ткань



**Рис. 5.** Зависимость разрывной прочности композиции «ткань – сополимер» от концентрации пропитывающих растворов сополимеров различного состава: 1 – МАК – БА; 2 – МАК – ЭА; 3 – МАК – МА



**Рис. 6.** Зависимость разрывной прочности ткани (4) и композиций «ткань – сополимер» различного состава от температуры прогрева. Состав СПЛ: 1 – МАК – БА; 2 – МАК – ЭА; 3 – МАК – МА

Измерение механической прочности композиций «ткань – сополимер» проводили по методике, описанной в работе [4]. Прочность композиции возрастает с увеличением концентрации пропитывающего раствора (рис. 5). Прочность состаренной ткани ниже прочности обычной ткани; прочность уменьшается с увеличением степени деструкции волокна (рис. 6). Лучше всего укрепляет ткань СПЛ МАК – БА, вероятно потому, что он легче проникает между волокнами и равномерно распределяется в них.

#### *Выводы*

1. Методом гетерогенной радикальной полимеризации в хлороформе синтезированы полимеры метакриловой кислоты с метилакрилатом, этилакрилатом и бутилакрилатом. Определены молекулярно-массовые характеристики полученных сополимеров.

2. Исследовано влияние состава и вязкости сополимеров на скорость капиллярного впитывания. Показано, что с увеличением концентрации растворов полимеров наблюдается увеличение их вязкости и, как следствие, падение скорости течения их в капиллярах ткани. При этом разница в вязкости различных сополимеров одной концентрации не влияет на скорость капиллярного впитывания.

3. Исследовано влияние искусственного старения ткани на скорость капиллярного впитывания растворов СПЛ. Показано, что состаренная ткань проявляет худшие способности к капиллярному впитыванию по сравнению с исходной.

4. Исследована разрывная прочность композиций «ткань – сополимер». Показано, что с увеличением концентрации пропитывающего раствора сополимера прочность композиции увеличивается.

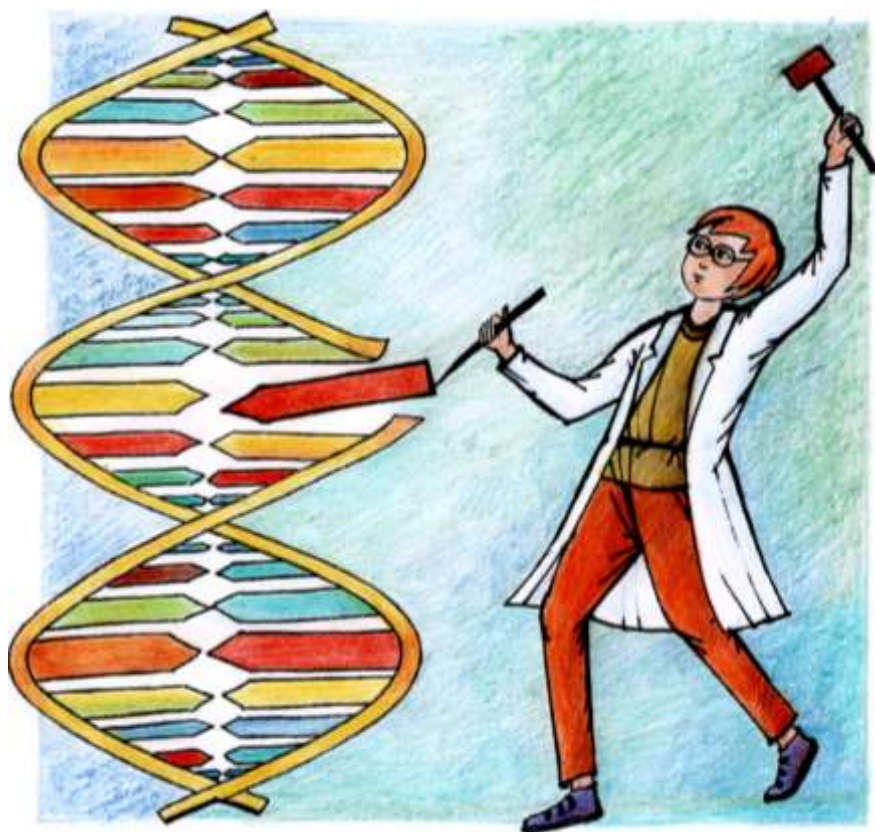
5. Полученные результаты исследований показывают, что водные растворы СПЛ МАК – МА, МАК – ЭА и МАК – БА могут быть использованы в качестве укрепляющих консервантов ткани в полевых условиях.

#### **Литература**

1. Емельянов Д.Н., Волкова Н.В., Шеронова О.И. и др. Физико-химические закономерности консервации целлюлозной бумаги полимерами // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. Вып. 8. С. 1367 – 1372.
2. Емельянов Д.Н., Волкова Н.В., Шеронова О.И. и др. Капиллярное впитывание растворов полимеров в пористые тела // Обработка дисперсных материалов и сред. 2001. Вып. 11. – Одесса: НПО ВОТУМ. С. 151 – 154.
3. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения. – М.: Изд-во «Академия», 2003. – 367 с.
4. Слепченков А. Укрепление текстильных материалов водорастворимыми акриловыми сополимерами // Школа юного исследователя. 2011. Вып 4. – Н.Новгород. С. 154 – 159.



# Биофизика



# Исследование микроструктуры и спектральных характеристик растений методом лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии

Глявина Мария

11 класс

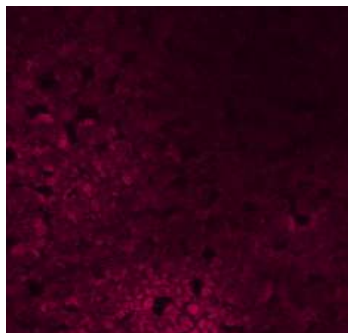
Научный руководитель Е.А. Сергеева,  
канд. физ.-мат. наук,  
старший научный сотрудник ИПФ РАН



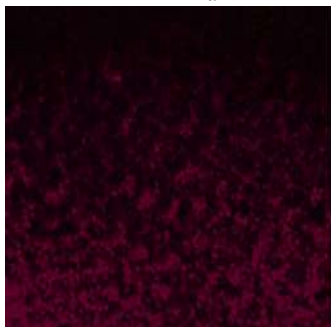
*Исследована флуоресценция растений под действием электромагнитных волн. Методами флуоресцентной и лазерной сканирующей конфокальной и двухфотонной микроскопии получены изображения листьев каланхоэ и томата. Обработка изображений позволила определить флуоресцирующие пигменты, выяснить структуру листа без механического внедрения в исследуемую область и определить с субмикронной точностью размеры органелл. Показано, что воздействие мощного лазерного излучения способно существенно изменить свойства растения.*



а



б



в

**Рис. 1.** а) установка лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии Карл Цейсс LSM 510; б) флуоресцентное изображение, полученное методом ЛСКФМ ( $\lambda_{\text{ex}}=488\text{nm}$ ); в) флуоресцентное изображение, полученное методом двухфотонной флуоресцентной микроскопии ( $\lambda_{\text{ex}}=800\text{nm}$ )

Познание человеком тайн природы происходит быстрыми темпами и приводит к созданию новых наук на стыке уже известных. Одной из новых наук является биофизика, изучающая сложные процессы, происходящие в живых организмах. Для детального исследования живых объектов требуются особенные неразрушающие методы, например, метод лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии (ЛСФМ), обладающий широкими возможностями: высоким (субмикронным) пространственным разрешением, возможностью наблюдения и записи процессов в реальном времени, построением трехмерных изображений объектов и высокой чувствительностью к химическим свойствам объекта.

В работе методом ЛСФМ изучалась флуоресценция растений. Основными *задачами* проведенного исследования были:

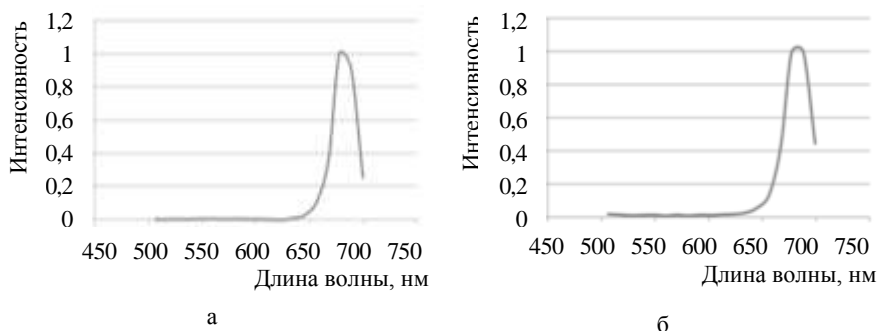
- получение флуоресцентных изображений листа растения с помощью лазерной сканирующей и двухфотонной микроскопии и сопоставление результатов;
- исследование спектров возбуждения и флуоресценции хлоропластов методами лазерной сканирующей конфокальной и двухфотонной микроскопии, сравнение этих методов и результатов с известными данными и выявление спектрального состава излучения на разных диапазонах длин волн;
- изучение влияния мощного лазерного излучения на объект.

Работа выполнялась на установке ЛФСМ Carl Zeiss LSM 510 (рис.1а), состоящей из пяти блоков: микроскопа, лазерного сканирующего модуля, спектрального модуля и двух лазеров – аргонового и гелий-неонового. В качестве объекта был использован лист томата. На первом этапе исследования были получены флуоресцентные изображения листа томата методом конфокальной и двухфотонной микроскопии. При использовании второго метода изображение было более резким из-за меньшего влияния эффектов рассеяния (рис.1б, в).

В случае двухфотонной микроскопии объектом поглощается 2 фотона одновременно, и длина волны поглощенных фотонов должна быть примерно в два раза больше, чем необходима для однофотонного поглощения. Двухфотонное возбуждение генерируется при острой фокусировке импульсного лазерного излучения высокой мощности, и большая часть возбуждающего света достигает фокальной плоскости за счет отсутствия поглощения вне фокуса. Поскольку излучение флуоресценции тоже может быть рассеянным, в случае

конфокальной микроскопии оно будет блокироваться диафрагмой, а при двухфотонной – регистрировать. Это позволяет добиться высокого контраста даже на больших глубинах в образце.

Далее исследовались спектры флуоресценции хлоропластов. Для однофотонного возбуждения использовался аргоновый лазер с длиной волны 488 нм и объектив с числовой апертурой  $NA = 0,6$  (увеличение 40х), регистрация флуоресценции проводилась в режиме конфокальной микроскопии с использованием конфокальной диафрагмы. Двухфотонное возбуждение осуществлялось тем же объективом с помощью фемтосекундного импульсного лазера с длиной волны 800 нм, а регистрация флуоресценции проводилась без использования конфокальной диафрагмы. Полученные спектры флуоресценции хлоропластов идентичны в случае однофотонного и двухфотонного возбуждения, так как флуоресценция не зависит от способа возбуждения.



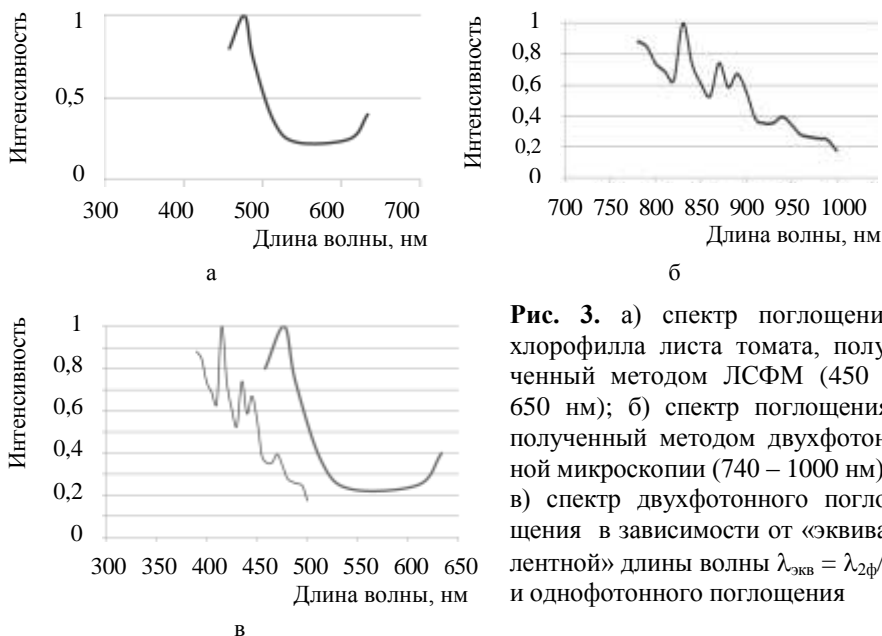
**Рис. 2.** а) спектр флуоресценции, полученный методом конфокальной микроскопии; б) спектр флуоресценции, полученный методом двухфотонной микроскопии

Были исследованы спектры однофотонного и двухфотонного поглощения света хлоропластами. Можно ввести коэффициент поглощения хлорофилла, который вычисляется по формуле:

$$a(\lambda_n, \lambda_\phi^*) = \frac{P_\phi(\lambda_\phi^*)}{P_n(\lambda_n)}. \text{ При этом накачка флуорофора проводится на}$$

различных длинах волн  $\lambda_n$  лазерами с известной мощностью  $P_n$ , а мощность флуоресценции  $P_\phi$  измеряется на фиксированной длине волны  $\lambda_\phi^*$ . Была измерена мощность 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) и 543 нм (гелий-неоновый лазер). Для каждой длины волны мощность накачки на образце была измерена с помощью калиброванного измерителя мощности. Результаты измерения спектра поглощения хлорофилла для листа томата представлены на рисунке 3а.

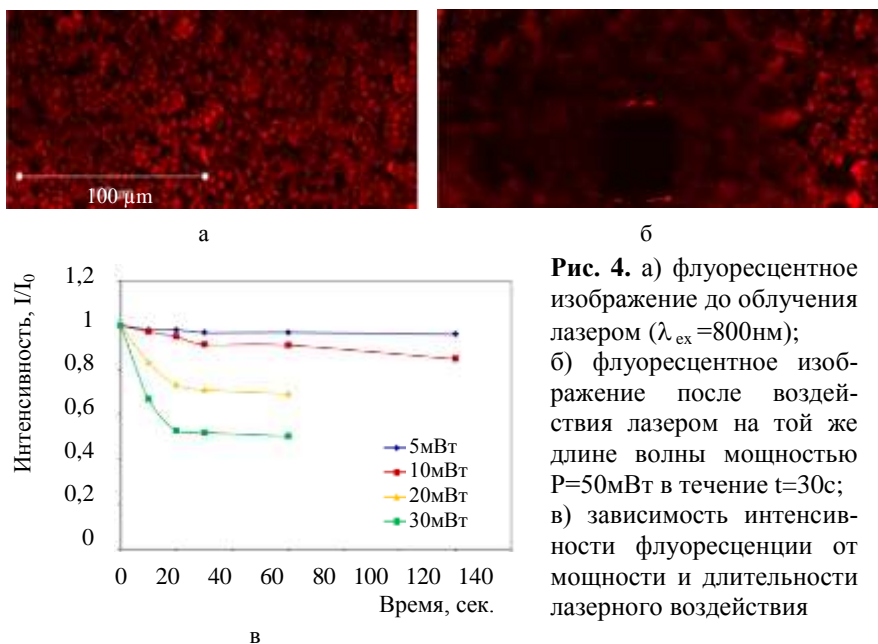


**Рис. 3.** а) спектр поглощения хлорофилла листа томата, полученный методом ЛСФМ (450 – 650 нм); б) спектр поглощения, полученный методом двухфотонной микроскопии (740 – 1000 нм); в) спектр двухфотонного поглощения в зависимости от «эквивалентной» длины волны  $\lambda_{\text{эkv}} = \lambda_{2\phi}/2$  и однофотонного поглощения

Спектр двухфотонного поглощения измерялся в диапазоне 780 – 1000 нм с шагом 10 нм (рис. 3б). Предварительно коэффициент пропускания оптической системы был откалиброван на всех длинах волн так, что средняя мощность на образце в процессе измерения составляла 5 мВт. Спектры однофотонного и двухфотонного поглощения были сопоставлены на графике (рис. 3в). Для этого спектр двухфотонного поглощения был построен в зависимости от «эквивалентной» длины волны  $\lambda_{\text{эkv}} = \lambda_{2\phi}/2$ , «эквивалентный» диапазон составил 390 – 500 нм. Хотя этот диапазон не полностью совпадает с интервалом, в котором был измерен спектр однофотонного поглощения,

можно говорить о том, что спектры различаются. Поэтому показано, что различным длинам волн накачки соответствуют разные спектры возбуждения. Они существенно зависят от диапазона длин волн, что связано с особенностью двухфотонного поглощения.

Цель следующих экспериментов состояла в исследовании воздействия лазерного излучения на лист томата в зависимости от мощности и времени облучения. Был использован мощный фемтосекундный ИК-лазер. Сначала проводилось качественное исследование влияния лазерного излучения на хлоропласты. Выявлено, что при повышении мощности выгорают не только хлоропласты в области прямого воздействия лазера, но и повреждаются другие структуры вокруг (рис. 4а, б).



**Рис. 4.** а) флуоресцентное изображение до облучения лазером ( $\lambda_{\text{ex}}=800\text{ нм}$ ); б) флуоресцентное изображение после воздействия лазером на той же длине волны мощностью  $P=50\text{ мВт}$  в течение  $t=30\text{ с}$ ; в) зависимость интенсивности флуоресценции от мощности и длительности лазерного воздействия

Далее проводилось исследование зависимости интенсивности флуоресценции хлоропластов в зависимости от мощности и длительности лазерного воздействия на лист томата. Эксперимент проводился на четырех мощностях лазера (5, 10, 20, 30 мВт). Сначала регистрировалась интенсивность флуоресценции хлоропластов на исследуемой области листа. Далее облучение проводилось в течение

некоторого времени (10, 20, 30, 60, 120 с) и регистрировалась интенсивность флуоресценции хлоропластов после облучения (рис. 4в). Наибольшее падение интенсивности при всех рассмотренных мощностях происходило в первые 10 секунд. В дальнейшем интенсивность флуоресценции практически не менялась, хотя пропорциональная длительности засветки энергия облучения при фиксированной мощности менялась значительно. Полученные результаты показывают, что при анализе процессов взаимодействия лазера с веществом необходимо учитывать не только энергетические взаимодействия, но и другие, более сложные процессы.

Проведенная работа показала, что хлоропласты способны к двухфотонному поглощению излучения ИК-диапазона. Поглощенное излучение используется либо на разрушение хлоропластов, либо приводит к возбуждению флуоресценции. Метод двухфотонной микроскопии был использован для более детального изучения спектральных характеристик растения. Экспериментальные результаты подтверждают, что спектры флуоресценции хлоропластов томата, полученные методом ЛСКФМ и двухфотонной микроскопии, совпадают. Методом двухфотонной микроскопии получены спектры двухфотонного поглощения в ИК-диапазоне и показаны их существенные различия от спектра однофотонного поглощения. По этим данным можно более детально узнать химическое строение хлорофилла. Результаты экспериментов показывают, что воздействие мощного лазерного излучения способно существенно изменить свойства растения, в частности, спектр флуоресценции, что накладывает ограничения на условия эксперимента.

#### Литература

1. *Berg R.H.* Evaluation of spectral imaging for plant cell analysis. *J. of Microscopy*. Vol. 214, 2004. P. 2. P.174 – 181.
2. *Рубин А.Б.* Биофизические методы в экологическом мониторинге // Соросовский образовательный журнал (2000). [Электронный ресурс]: <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1159128&s=110300020>.
3. *Селеванов Е.В.* Красители в биологии и медицине. – Барнаул, 2003.
4. *Феофанов А.В.* Спектральная лазерная сканирующая конфокальная микроскопия в биологических исследованиях // Успехи биологической химии. Т. 47. 2007. С. 371 – 410.
5. *Шахова Н.М., Балалаева И.В., Геликонов В.М. и др.* Разномасштабный оптический биоимиджинг: использование в биомедицине и перспективы развития // Альманах клинической медицины. 2008. № 17-1. С. 121 – 124.

# **Тепловизионное исследование нейробиологического взаимодей- ствия симметричных зон при одно- сторонней холодной стимуляции**

Каменская Элина

11 класс

Научный руководитель М.Г. Воловик,  
канд. биолог. наук,  
старший научный сотрудник ФГБУ ННИИТО



*Разработана экспериментальная модель для исследования физиологических механизмов взаимодействия симметричных зон при одностороннем охлаждении верхней конечности. С ее помощью изучены динамика развития термореакций на охлаждаемой и неохлаждаемой руках у здоровых испытуемых в зонах с наличием и отсутствием артерио-венозных шунтов и описана реакция предсказания холодной стимуляции, выражающаяся в предстимульном повышении температуры конечностей.*

Еще в 1934 году американскими исследователями (Clark E.R., Clark E.L.) было показано, что температурная стимуляция (холодовая или тепловая) одной стороны тела или одной конечности вызывает изменение кровотока в симметричных областях, а также в других конечностях. Г.А. Орлов (1970), изучая проблему влияния переохлаждения на организм, с помощью тепловидения показал, при каких температурах и времени охлаждения начинается повреждение сосудов и нервов, регулирующих их тонус.

С тех пор в многочисленных работах описаны феномены симметричных изменений в работе различных систем организма при самых разнообразных патологических контекстах: при одностороннем повреждении, например, верхней или нижней конечности (Плещинский И.Н. с соавт., 1999; Колесов С.Н., 2001), одного полушария головного (Вейн А.М., 2007) или одной половины спинного мозга (Шевелев И. Н. с соавт., 2000). Для изучения такого явления применялись самые разнообразные методологические подходы, однако все эти работы пока не привели к доказательному объяснению феномена симметричных реакций. На этом фоне в его изучении перспективно выглядят возможности тепловизионного (ТВ) метода, такие, например, как исследования С.Н.Колесова (2001).



Тепловидение – метод функциональной диагностики, основанный на пассивной регистрации теплового излучения тела человека в ИК диапазоне длин волн. Этот бесконтактный и абсолютно безвредный высокоинформативный метод применяется в медицине и биологии для оценки температуры тканей как интегрального параметра, отражающего взаимодействие таких факторов, как кожный кровоток, а также уровень обменных процессов, теплопроводность и излучательная способность тканей.

Мы решили с помощью ТВ метода исследовать подобное взаимодействие на физиологическом уровне в здоровой системе, попытаться выяснить условия и закономерности формирования симметричных реакций.

*Цель работы* – подобрать параметры односторонней холодовой стимуляции конечности и исследовать взаимодействие симметричных зон на поверхности кожных покровов охлаждаемой и неохлаждаемой кистей рук с помощью ИК тепловидения. Для этого необходимо:

- 1) подобрать экспериментальные условия для стабильной провокации температурных реакций в зонах, симметричных одностороннему охлаждению верхней конечности;
- 2) исследовать динамику температурных реакций, вызванных холодовой пробой, на охлаждаемой и симметричной конечностях у здоровых испытуемых с помощью разработанной экспериментальной модели;
- 3) сравнить динамику развития температурных реакций на кистях рук в области с наличием и отсутствием артерио-венозных шунтов.

Объектом исследования были 5 испытуемых 16 – 17 лет без сосудистых нарушений и признаков остеохондроза шейного отдела позвоночника, значимо влияющих на ТВ картину верхних конечностей. После 10 мин. температурной адаптации и информирования испытуемого о ходе исследования, он в положении стоя помещал кисти рук на теплоизолирующую подложку («экран») в максимально удобном (физиологичном) положении. Измерения проводили с помощью тепловизора АГЕМА-470 (Швеция), регистрируя температуру тыльной стороны обеих кистей. Фоновые показания (в покое и без внешних воздействий) регистрировали в течение 5 мин., после чего проводили холодовую пробу (ХП) – погружение правой кисти до уровня запястного сустава в воду температурой 15°C на 1 мин. При этом продолжали регистрировать ИК-излучения от нестимулируе-

мой руки, наблюдая за процессом восстановления на охлажденной и динамикой температуры в симметричных зонах неохлажденной конечности (до 13 мин.). Анализ данных проводили на персональном компьютере с помощью программы обработки термоизображений IRWIN 5.2, для статистической обработки использовали также программу Excel. Строили термограммы (графики зависимости температуры от времени) по основным фалангам 1-го, 3-го и 4-го пальцев, а также по ногтевым фалангам тех же пальцев для оценки реакции в области артерио-венозных шунтов.

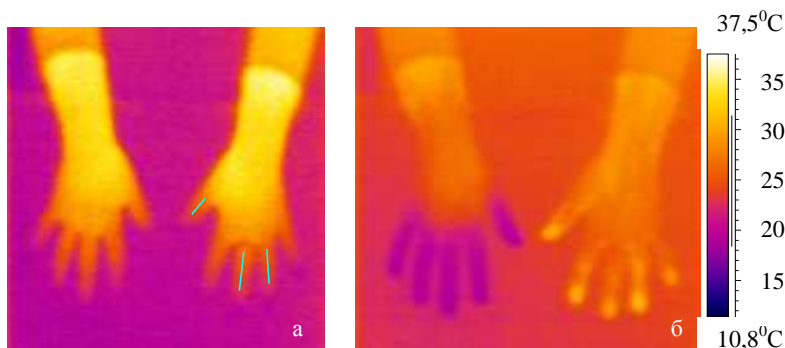
Необходимо было таким образом смоделировать контекст эксперимента, чтобы выявить адаптационный функциональный резерв физиологической системы регуляции кожного кровотока. Для этого было решено подобрать параметры стимуляции здоровых испытуемых (модальность стимула, его температурные характеристики и время воздействия), позволяющие вызывать симметричные температурные эффекты на противоположной конечности.

На этапе подбора параметров ХП использовались различные температурные (22, 20, 15, 10°C) и временные (30 с, 1, 2 и 3 мин.) значения, также варьировали от 1 до 20 мин. время снятия фоновых температурных значений. В итоге мы пришли к выбору оптимальных для решения наших задач температуры (15°C) и времени (1 мин.).

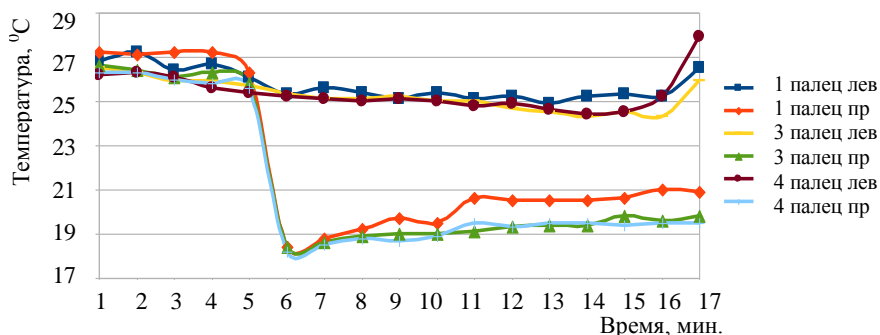
Измеряли следующие показатели симметричных термореакций: исходную температуру, ее снижение в ответ на пробу, амплитуду реакции предсказания, время начала стабильного подъема температуры на основной и ногтевой (в области шунтов) фалангах пальцев справа и слева.

На представленных далее графиках изображены термограммы – кривые зависимости температуры от времени, зарегистрированные с разных областей пальцев (с основной и средней фаланг), где практически нет шунтов (рис. 2), и с ногтевой фаланги, где их концентрация на единицу объема ткани наиболее высока (рис. 3).

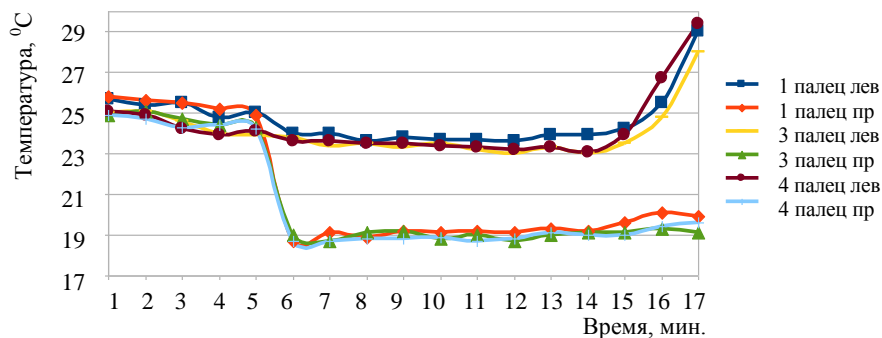
Основным результатом является то, что во всех случаях мы регистрировали симметричные термореакции на не охлаждавшейся конечности, которая у разных испытуемых начиналась в разное время: от 7 до 12,5 мин. (в среднем 8,5 мин.). Мы предполагаем, что это является признаком преимущественно пассивной реакции в зоне без шунтов, обусловленной, прежде всего, сокращением термолабильных белков кожи и кожных сосудов (коллаген, эндотелин II), что было показано в лаборатории А.В.Зевеке в 1960 – 70-е годы (Зевеке, 1972).



**Рис. 1.** Термокарты испытуемого Н., 16 л. (а – исходная, с отметками: линии на основных фалангах и кружки – на ногтевых (отмечены области измерения); б – после 10 мин. холодной пробы с симметричной термореакцией. На шкале справа – диапазон измеряемых температур от 10,8 до 37,5°С)



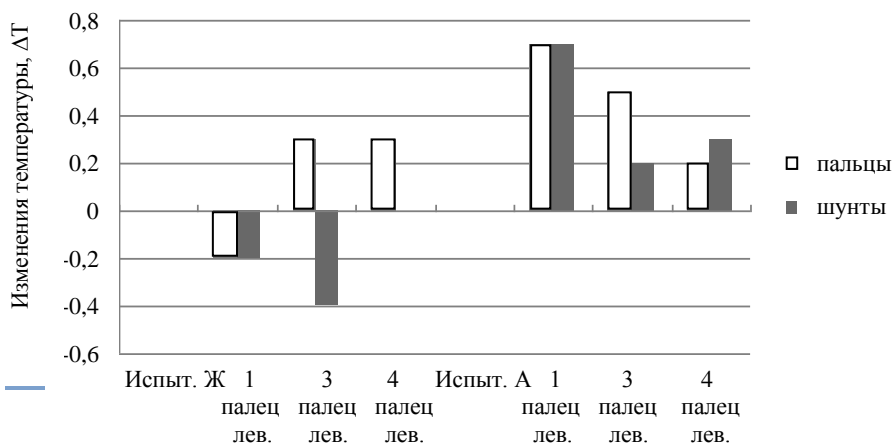
**Рис. 2.** Термограммы реакции на ХП испытуемого Н., 16 л., в области основных фаланг пальцев кисти



**Рис. 3.** Термограммы реакции на ХП испытуемого Н., 16 л., в области ногтевых фаланг пальцев кисти

Наоборот, в области наличия шунтов имеется активная реакция, обусловленная нервной (симпатической) регуляцией [3]. Это доказывает наличие нейробиологического механизма содружественного взаимодействия симметричных зон при односторонней стимуляции.

Обращает на себя внимание момент непосредственно перед ХП, когда мы наблюдали кратковременное повышение температуры в пределах  $0,3 - 0,7^{\circ}\text{C}$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Гистограмма реакции предсказания

Слева – изменения температуры за 1 мин. до ХП на основных и ногтевых фалангах у испытуемого Ж., 16 л. (не предупрежденного о предстоящей ХП), справа – у испытуемого А (предупрежденного о предстоящей ХП)

Разница заключается в формировании однонаправленных предстимульных сдвигов температуры в сторону нагрева у испытуемого, ожидающего охлаждения. Мы можем связать это явление с «реакцией предвидения», предсказания предстоящего погружения руки в холодную воду, о чем испытуемый был заранее проинформирован, и в этом случае можно говорить о проявлении феномена «опережающего отражения действительности» [1].

Таким образом, исследование динамики развития термореакций кожных покровов кистей рук в ответ на одностороннюю холодовую стимуляцию с помощью разработанной нами экспериментальной модели показало наличие значимых эффектов взаимодействия симметричных зон, что свидетельствует о достигнутой цели.

### *Выводы*

1. Подобраны параметры односторонней холодовой пробы (температура 15°C, время экспозиции 1 мин.), необходимые и достаточные для стабильного провоцирования температурных реакций в симметричных зонах кожных покровов нестимулируемой руки человека.

2. Изучена динамика развития термореакций на охлаждаемой и неохлаждаемой руках у здоровых испытуемых, которая доказательно подтвердила физиологическое взаимодействие симметричных зон при односторонней стимуляции в зонах с наличием артериовенозных шунтов, в отличие от зон с их отсутствием, где преобладают пассивные механизмы теплопродукции.

3. Описана реакция предсказания холодовой стимуляции, выражающаяся в предстимульном повышении температуры конечностей.

### **Литература**

1. *Анохин П. К.* Узловые вопросы теории функциональной системы. – М.: Наука, 1980. – 197 с.
2. *Зевеке А.В.* Деформация коллагена кожи при температурном воздействии // Физиол. журн. СССР. – 1972; № 60(11). С. 1740–1746.
3. *Камкин А., Каменский А.* Фундаментальная и клиническая физиология. – М.: Академия, 2010. – 1073 с.
4. *Колесов С.Н.* Тепловизионный «зеркальный» синдром при повреждении периферических нервов верхних конечностей // Матер. конф. нейрохирургов. – Иваново, 2001. – С. 25 – 26.
5. *Орлов Г.А.* Хроническое поражение холодом. – М.: Медицина, 1978.
6. *Clark E.R., Clark E.L.* // Am. J. Anat. – 54:229, 1934.

## **Влияние изменения оптической системы глаза при близорукости на пороги цветоразличения**

Кочаровская Милита

8 класс

Научный руководитель В.А. Демарева,  
ст. лаборант-исследователь ИПФ РАН



*В работе изучено влияние изменения оптической системы глаза при близорукости на функцию цветоразличения человека. Методом компьютерной кампиметрии получены данные о порогах цветоразличения испытуемых; качество зрения (близорукость, дальнозоркость, нормальное зрение) определялось анкетированием. В результате исследования найдены различия между порогами цветоразличения основных цветов спектра (красного, синего и зеленого) для испытуемых с нормальным зрением и близорукостью.*

В начале XIX века английский врач и естествоиспытатель Т. Юнг выявил, что достаточно иметь всего три составляющие из оптического спектра, чтобы получить все остальные цвета. На основе трехкомпонентности смешения цветов Юнг сформулировал теорию о трех типах специфических волокон в сетчатке. Во второй половине XIX века эта теория была разработана немецким физиологом Г. Гельмгольцем и была названа одностадийной. Цвет в моделях одностадийного цветового зрения формируется единственным уровнем рецепторов. Другая теория – двухстадийная теория цветового зрения – предусматривала уже два последовательных уровня анализа световых излучений. Позже была разработана трехстадийная концепция цветового зрения, предусматривавшая три уровня анализа световых излучений.

Изучение функций цветоразличения и их зависимости от качества зрения очень важно для многих отраслей деятельности человека. Сейчас у большого числа людей существуют проблемы со зрением, возникающие в связи с работой на компьютере, чтением книг, общением в социальных сетях. Все это отражается на зрении и, возможно, на функциях цветоразличения. Так зависит ли функция цветоразличения от качества зрения человека?

Цель работы – поиск зависимости между качеством зрения испытуемого и величиной порогов цветоразличения для основных цветов (красный, синий, зеленый). Задачи: определить, влияет ли состояние оптической системы глаза при близорукости на цветовое зрение человека; сравнить верхние и нижние дифференциальные пороги цветораз-

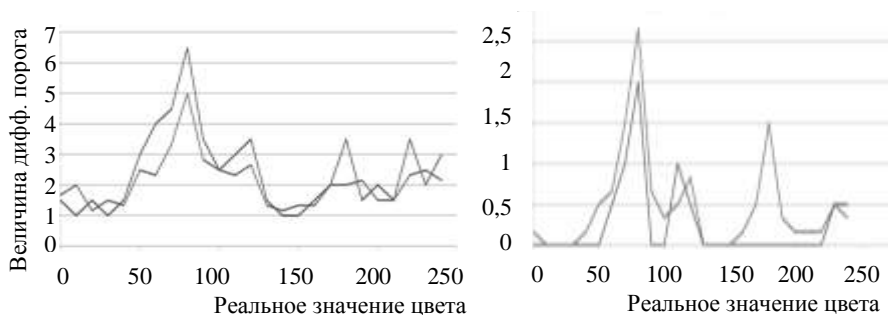
личения у групп испытуемых с близорукостью и нормальным зрением. Объектом исследования были студенты-психологи ННГУ им. Н.И. Лобачевского, предметом – дифференциальные пороги цветоразличения при нормальном зрении и близорукости.

Глаз человека – сенсорный орган, обладающий способностью воспринимать электромагнитное излучение в световом диапазоне длин волн и обеспечивающий функцию зрения. Через глаза мы получаем до 90% информации об окружающем мире. Светопреломляющий аппарат глаза представляет собой систему линз, формирующую на сетчатке уменьшенное и перевернутое изображение внешнего мира. Глаз включает в себя роговицу, жидкости передней и задней камер, хрусталик и стекловидное тело, позади которого лежит сетчатка, воспринимающая свет. Если после рефракции изображение попадает на сетчатку, то зрение человека в порядке, он хорошо видит и вблизи и вдали. Но существуют такие аномалии рефракции глаза, как близорукость или дальнозоркость. Дальнозоркость – аномалия рефракции глаза, при которой главный фокус его оптической системы находится позади сетчатки. При дальнозоркости люди хорошо видят вдали, но плохо – вблизи. Близорукость – аномалия рефракции глаза, при которой параллельные лучи света, попадающие в глаз, после преломления сходятся в фокусе не на сетчатке, а впереди нее. При близорукости люди хорошо видят вблизи, но плохо – вдали.

Эксперимент проводился методом компьютерной кампиметрии. Кампиметрия – программа, позволяющая формировать цветовые стимулы и определять верхние и нижние пороги цветоразличения. Эксперимент проводился без коррекции зрения испытуемых. Испытуемым объясняли цель эксперимента и показывали на несколько секунд цвета, которые будут в эксперименте. После этого им предоставлялись цветовые стимулы в виде квадрата с одной из трех фигур внутри (прямоугольник с длинной горизонтальной стороной, прямоугольник с длинной вертикальной стороной и квадрат). Фигуры и цвета появлялись в произвольном порядке. Испытуемые должны были изменять величину оттенка стимула, нажимая на указанную кнопку; каждое нажатие на кнопку изменяло оттенок стимула на 1 условную единицу. В результате решения этой задачи измерялся верхний дифференциальный порог цветоразличения. После того как испытуемые могли отличать фигуру от фона и определять, что это за фигура, им предлагалась обратная задача: величина оттенка стимула повышалась на 10 условных единиц, а испытуемые должны были уменьшать величину оттенка стимула до того момента, когда они уже не были способны отличать фигуру от фона. При решении этой

задачи измерялся нижний дифференциальный порог цветоразличения. После этого испытуемому предъявлялась новая фигура другого цвета. Цвета в эксперименте не повторялись. Всего испытуемым предлагалось 25 стимулов двадцати пяти цветов спектра, отличающихся друг от друга на 10 условных единиц. Изначально испытуемые были поделены на группы: люди с нормальным зрением, с близорукостью и дальнозоркостью. Но в процессе работы группы испытуемых с дальнозоркостью и нормальным зрением были объединены, так как во время проведения эксперимента они находились от экрана компьютера на расстоянии примерно 70 см, что не является критическим для людей с дальнозоркостью.

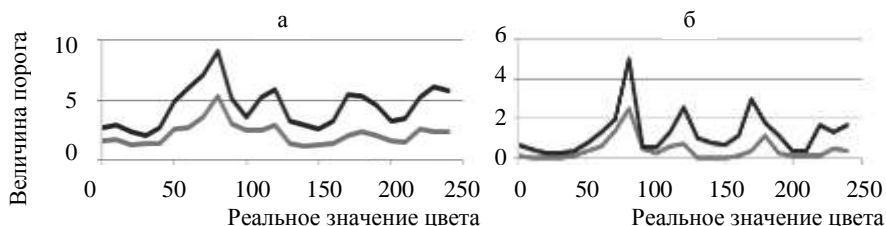
По результатам эксперимента были построены графики распределения верхних и нижних дифференциальных порогов цветоразличения по цветовому спектру.



Верхние пороги: нижний график – норма, верхний – дальнозоркость

Нижние пороги: верхний график – норма, нижний – дальнозоркость

**Рис. 1.** Распределение дифференциальных порогов по цветовому спектру для испытуемых с нормальным зрением и дальнозоркостью



Нижний график – нормальное зрение, верхний – близорукость

**Рис. 2.** Распределение дифференциальных порогов по цветовому спектру для испытуемых с нормальным зрением и близорукостью (а – верхние пороги, б – нижние)



Распределение верхних и нижних дифференциальных порогов по спектру для испытуемых с нормальным зрением и дальнозоркостью очень близки (рис. 1), поэтому их можно объединить в одну группу испытуемых с условно нормальным зрением. Пороги цветоразличения для близоруких всегда выше, чем для людей с нормальным зрением (рис. 2). Это можно объяснить тем, что изображение для близоруких было расплывчатым и для того чтобы отличить изображение от фона, им требовалось большее значение оттенка стимула.

Также мы отметили, в каких из основных цветов спектра у испытуемых был наибольший порог цветоразличения. Для верхних порогов у людей с нормальным зрением – зеленый. У близоруких преобладает зеленый, но также присутствуют синий и красный, у них наибольший порог цветоразличения чаще оказывался в синей части спектра. С психологической точки зрения реализация наивысшего порога для синего цвета означает то, что человек находится в состоянии стресса. Когда близорукие снимали очки, они оказывались в новой, то есть в стрессовой ситуации. Маркеры цветоразличения, показывающие, что человек находится в состоянии стресса, были описаны С.А. Полевой [2].

Наивысшие нижние пороги у людей с нормальным зрением достигаются для зеленого цвета, но иногда и для синего. У близоруких также преобладает зеленый цвет, но синего больше, чем у людей с нормальным зрением. Были построены графики, показывающие величины верхних и нижних порогов у близоруких и людей с нормальным зрением для основных цветов спектра (красного, зеленого и синего). В результате сделан вывод о том, что у близоруких дифференциальный порог цветоразличения всегда выше, чем у испытуемых с нормальным зрением.

Таким образом, можно сделать следующие *выводы*: состояние оптической системы глаза влияет на цветное зрение человека; дифференциальные пороги цветоразличения у испытуемых с близорукостью выше, чем у испытуемых с нормальным зрением; при выполнении задания люди с близорукостью находились в напряженном эмоциональном состоянии.

### Литература

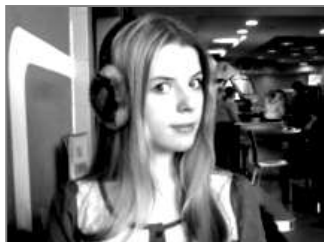
1. Измайлов Ч.А., Соколов Е.Н., Черноризов А.М. Психофизиология цветового зрения. – М.: МГУ, 1989. – 206 с.
2. Полевая С.А. Интеграция эндогенных факторов в систему обработки экстероцептивных сигналов. Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора биологических наук. – Пушкино, 2009. – 38 с.

## Оценка эффективности телесно-ориентированной терапии по функции цветоразличения

Кузьминых Александра

8 класс

Научный руководитель М.А. Чернова,  
аспирант ННГУ им. Н.И. Лобачевского



*С помощью метода компьютерной кампиметрии исследована эффективность авторской методики телесно-ориентированной психотерапии. Показано, что данная методика способна оптимизировать функциональное состояние человека.*

В настоящее время известно много различных методов психотерапии и психологической коррекции, однако практически отсутствуют объективные методы контроля функционального состояния. Поэтому актуальна разработка и внедрение современных технологий, обеспечивающих оперативную оценку эффективности того или иного психотерапевтического метода по отношению к конкретному человеку.

Суть исследуемого метода телесно-ориентированной терапии (ТОТ) заключается в синтезе вегетотерапии (В. Райх) и танцевально-двигательной психотерапии, в том числе контактной импровизации. В сеанс входят:

- разминка (аэробная и анаэробная физическая нагрузка, упражнения на мышечное растяжение);
- тематическая проработка мышечных зажимов;
- хореографическая постановка, сочетающая разные формы и типы движений;
- творческие задания на свободную импровизацию в паре и соло;
- обсуждение эмоционального состояния в ходе занятия, выявление неосознанных сопротивлений новому опыту и осознание своих телесных ощущений.

Компьютерная технология на основе метода кампиметрии [1] позволяет регистрировать спектр цветоразличения в различных контекстах. Показатели цветоразличения рассматриваются авторами как индикатор функционального состояния [2; 3]. Например, высокий порог в красном цвете связан с подавленным, угнетенным состоянием, в синем – с высокой тревожностью, напряженностью. Высокий

порог в зеленом является показателем оптимального функционального состояния. Мы предположили, что при измерении порогов цветоразличения испытуемых до и после сеанса ТОТ можно оценить изменения их функционального состояния.

*Цель* исследования – оценка эффективности телесно-ориентированной терапии по функции цветоразличения. Для этого необходимо: измерить пороги цветоразличения до и после сеанса ТОТ; дать оценку изменения порогов цветоразличения, а также дать общую характеристику изменений функционального состояния после сеанса ТОТ. Объект исследования: авторская методика ТОТ Л.Н. Кузьминых. Предмет: показатели порогов цветоразличения до и после сеанса ТОТ.

Метод компьютерной кампиметрии позволяет формировать разнообразные цветовые стимулы и обеспечивает измерение верхнего и нижнего порогов цветоразличения для построения функции по любому оттенку.

Мы использовали цветовую модель *HLS*, где *H* – индекс оттенка цвета (от 0 до 250), *L* – яркость (100), *S* – насыщенность (220). Перед испытуемым на мониторе появлялся общий серый фон и фоновый стимул – квадрат в центре экрана; цвет квадрата – любой из палитры, постоянный в течение одной пробы. Стимул является управляемым – это стоячий или лежащий прямоугольник или квадрат в центре фонового стимула; исходный цвет назначается программой, а изменение цвета управляется испытуемым в соответствии с инструкцией. Испытуемому предлагалось с помощью двух стрелок («вверх» и «вниз») сначала открыть фигуру в цветовом окне и нажать на кнопку, соответствующую форме фигуры, а затем «спрятать» фигуру и восстановить однотонность окна. Обнаружение фигуры следовало произвести за наименьшее количество нажатий кнопки, а при решении обратной задачи нажимать не больше, чем необходимо для восстановления однотонности. Эксперимент состоял из двадцати пяти проб по разным оттенкам.

При вычислении дифференциальных порогов по выбранному оттенку исходили из того, что опознание формы фигуры возможно только в том случае, если разница между цветами целевого и фонового стимула преодолеет порог различения. Факт опознания формы является индикатором верхнего порога различения, а факт потери изображения фигуры при обратной задаче – индикатором нижнего

порога различения. Соответственно, верхний порог различения вычисляется как разница между величиной параметра целевого стимула при опознании и величиной этого параметра на фоновом стимуле, а нижний порог различения вычисляется как разница между величиной параметра целевого стимула при исчезновении фигуры и величиной этого параметра на фоновом стимуле. Результатом тестирования становятся данные о верхнем и нижнем пороге различения для каждого из двадцати пяти стимулов, которые можно изобразить графически.

С помощью метода компьютерной кампиметрии были получены пороги цветоразличения для двадцати одного испытуемого (19 женщин и 2 мужчин в возрасте от 20 до 38 лет) до и после сеанса телесно-ориентированной терапии, а также долевое распределение по типу функции цветоразличения до и после занятия ТОТ.

Показано, что если до занятия испытуемых с максимальным порогом в красном цвете было 22%, в синем – 15%, в зеленом – 63%, то после сеанса доля испытуемых с максимальным порогом в красном цвете составила 22%, в зеленом – 78%, а в синем – 0%. Таким образом, во-первых, у испытуемых, находившихся до занятия в состоянии тревоги (с максимальным порогом в синем цвете), меняется функциональное состояние; во-вторых, после занятия наблюдается возрастание количества испытуемых, находящихся в состоянии оптимума (с максимальным порогом в зеленом цвете).

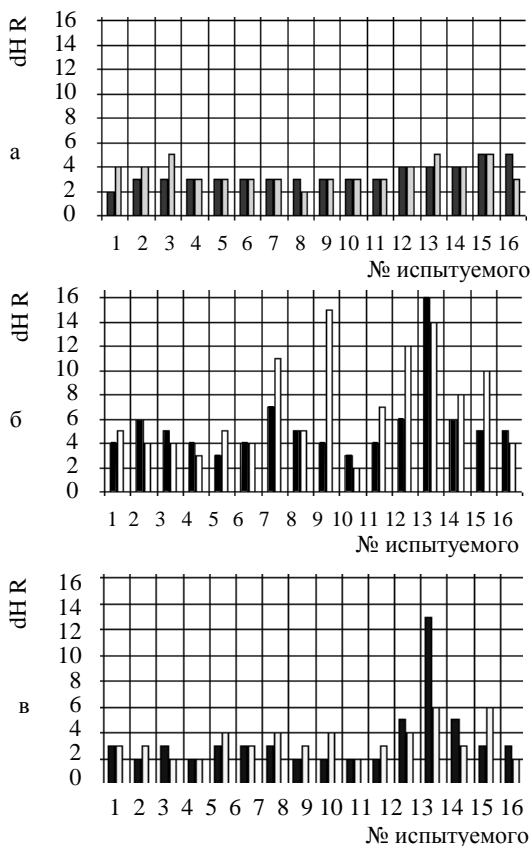
Для проверки этого утверждения испытуемые были поделены на 3 группы, исходя из первоначального функционального состояния (значений дифференциальных порогов до занятия): с максимальным порогом в красном цвете – 6 человек, с максимальным порогом в синем – 4 человека, с максимальным порогом в зеленом – 16 человек.

В группе испытуемых с максимальным порогом в синем цвете получено долевое распределение по типу функции цветоразличения до и после занятия. Выяснено, что до занятия было 50% испытуемых с максимальным порогом в синем и 50% – с одинаково высокими порогами в синем и зеленом. После занятия у 100% испытуемых отмечен максимальный порог в зеленом цвете. Значит, состояние тревоги сменилось состоянием оптимума. При рассмотрении средних значений дифференциальных порогов в этой группе видно, что после сеанса средний порог цветоразличения в синем цвете сильно понизился, что свидетельствует о снижении тревожности в данной вы-

борке. К тому же после сеанса порог цвето-различения в зеленом цвете увеличился, что свидетельствует об оптимизации состояния.

Аналогично были рассмотрены средние значения дифференциальных порогов в группе испытуемых, до занятия находившихся в подавленном состоянии, то есть с максимальным порогом в красном цвете. Обнаружено, что в этой группе порог цвето-различения в зеленом цвете повысился, а это означает, что в этой группе также произошли изменения в функциональном состоянии испытуемых – оно оптимизировалось.

Также мы проверили, не вредит ли сеанс ТОТ испытуемым, у которых до занятия был отмечен максимальный порог в зеленом и, соответственно, изначально оптимальное состояние (рис. 1). Были рассмотрены средние значения дифференциальных порогов до и после занятия в данной выборке – порог цвето-различения в зеленом цвете еще более повысился. Исходя из этого, можно предположить, что занятие ТОТ не вредит людям, находящимся в оптимальном состоянии, а, напротив, укрепляет его.



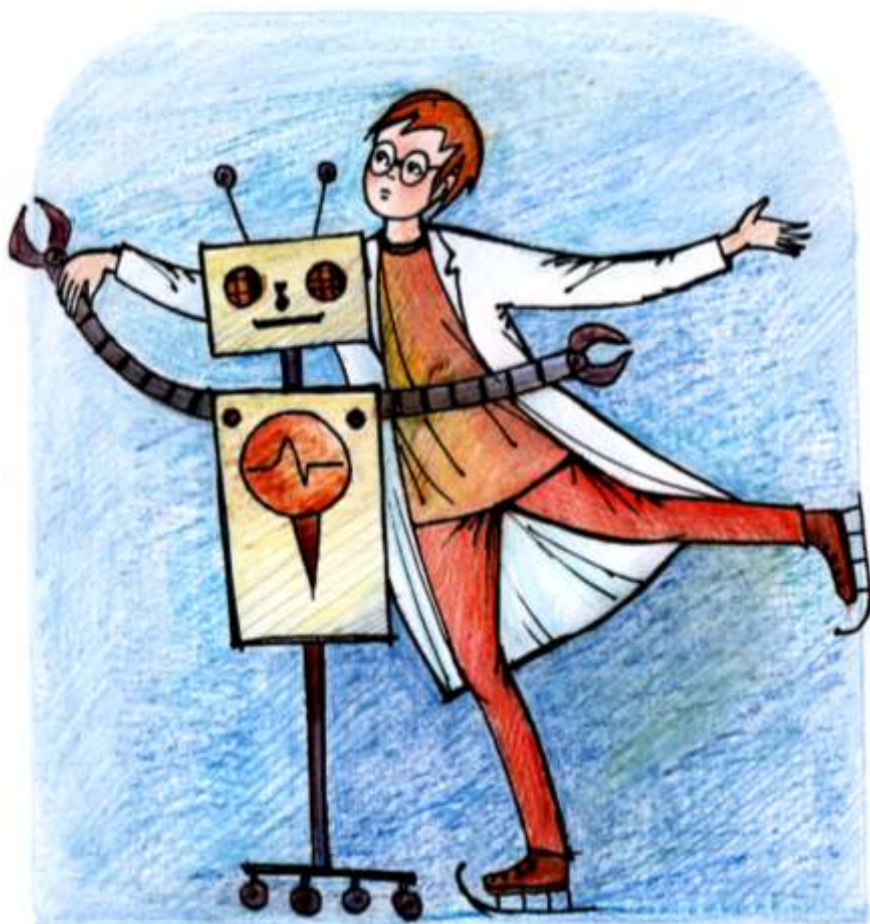
**Рис. 1.** Изменение дифференциальных порогов в красном (а), зеленом (б) и синем (в) цвете после сеанса ТОТ у испытуемых, пришедших на занятие в оптимальном функциональном состоянии (■ до, □ после)

*Выводы.* Занятия по используемой методике телесно-ориентированной терапии способствуют оптимизации функционального состояния организма. Авторская методика телесно-ориентированной терапии Л.Н.Кузьминых эффективна для использования в психотерапевтических целях.

### **Литература**

1. *Полевая С.А., Еремин Е.В.* Компьютерные технологии для исследования структуры субъективного сенсорного пространства человека // Нижегородский медицинский журнал. 2003. Т. 1. С. 17 – 24.
2. *Полевая С.А., Парин С.Б., Зелинская А.В., Дормидонтова М.С., Еремин Е.В.* Распознавание цветовой информации как функция психофизиологического состояния человека // Сб. науч. тр. VIII Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика-2006». – М., 2006. Ч.1. С. 124 – 130.
3. *Стромкова Е.Г., Парин С.Б., Полевая С.А.* Влияние стрессовой ситуации на дифференциальные пороги восприятия цвета // Вестник ННГУ им.Н.И.Лобачевского. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2004. С. 46 – 56.

# Прикладная информатика



## Моделирование автомобильных пробок

Смирнова Марина

10 класс

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



*В результате работы написана программа, реализующая модель процесса образования автомобильных пробок.*

В настоящее время существует большая проблема, с которой трудно справиться, – автомобильные пробки на дорогах. *Цель работы* – смоделировать автомобильные пробки и исследовать влияние осведомленности водителей о пробках на дорожную ситуацию. Характеристика работы – прикладное исследование. Значимость исследования заключается в представлении картины образования и «раскасывания» автомобильных пробок.

Для моделирования движения автомобилей мы создаем граф из дорог с односторонним движением. Далее случайным образомставляем автомобили на дорогах. Автомобили начинают движение. У каждой машины имеется начальный и конечный пункт местоположения. Автомобилист выбирает, по каким дорогам ему ехать, чтобы пройденный путь был минимальным. У каждой машины определенная максимальная скорость, с которой она двигается, если на пути нет преград, но если двигаться с этой скоростью не позволяют другие машины, она доезжает до ближайшей машины и останавливается.

В вершинах графа (на перекрестках) появляются новые автомобили, а те машины, которые достигли своего пункта назначения, исчезают с графа.

В исследовании использован алгоритм Дейкстры. Когда автомобиль подъезжает к очередному перекрестку, необходимо определить, по какой дороге дальше ехать. Алгоритм Дейкстры ищет кратчайшие пути из некоторой заданной («начальной») вершины графа до всех остальных. Для этого каждой вершине  $K$  определяется соответствующее значение, обозначающее минимальное известное на данный момент расстояние из начальной вершины до вершины  $K$ . Значению



каждой вершины, кроме начальной, присваивается бесконечность, а начальной – 0. Кроме того, для каждой вершины хранится информация о том, «посещенная» она или нет. Алгоритм выполняет последовательно несколько шагов, «посещая» по одной вершине до тех пор, пока не отметит все вершины как посещенные.

На каждом шаге из еще не посещенных вершин выбирается вершина  $U$  с наименьшим значением. Будем считать, что вершины, в которые можно попасть из вершины  $U$ , называются соседями вершины  $U$ . Для каждого соседа вершины  $U$ , кроме тех, которые мы посетили, находим сумму значения, соответствующего вершине  $U$ , и длины ребра, соединяющего вершину  $U$  и ее соседа. Если эта сумма меньше, чем значение, соответствующее соседу, то заменим это значение на получившуюся сумму. Обработав всех соседей вершины  $U$ , помечаем вершину  $U$  как «посещенную».

Одной из проблем являются очереди на въезд на дорогу. Для каждой дороги поддерживается очередь автомобилей, которым надо въехать на эту дорогу. Когда машина подъезжает к перекрестку, по алгоритму Дейкстры она выбирает дорогу, по которой дальше поедет, и встает в очередь на въезд на эту дорогу. После продвижения всех машин очереди разгружаются. Первая машина, которая стояла в очереди, будет считаться въехавшей на выбранную дорогу, если этому не помешает дорожная ситуация. Следующие машины в этой очереди обрабатываются так же. Если очередная машина не может осуществить въезд на выбранную дорогу, алгоритм переходит к обработке следующей очереди. После окончания обработки всех очередей выполняется следующий шаг моделирования.

Основной цикл моделирования состоит из трех частей:

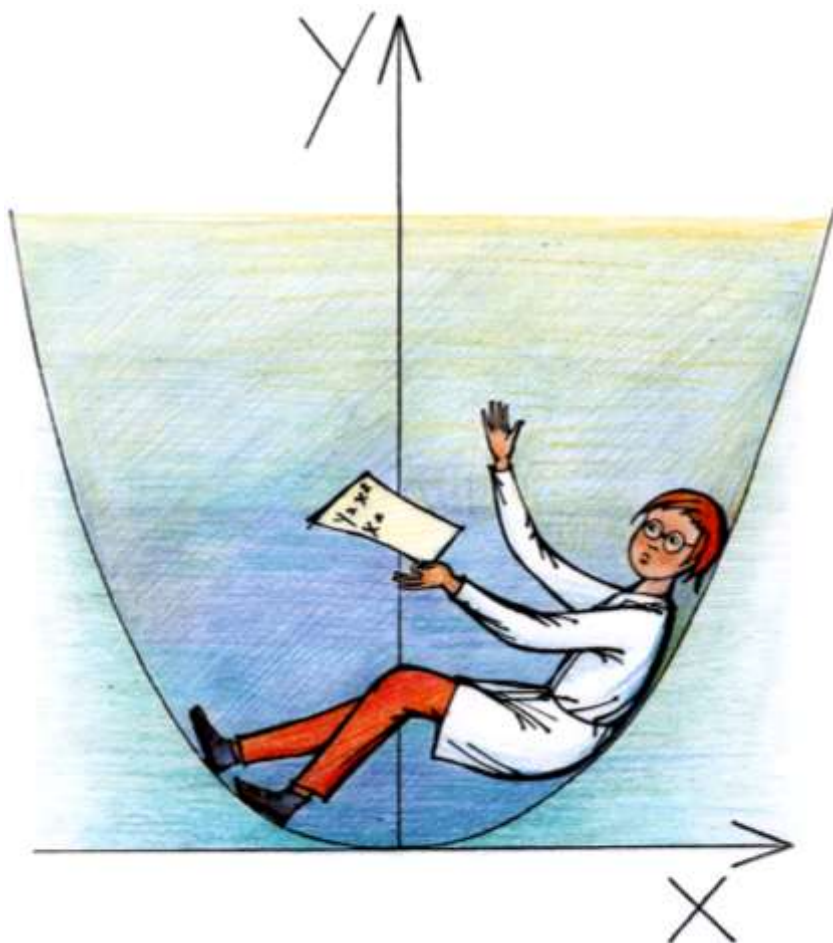
- 1) Программа последовательно обрабатывает все дороги и продвигает автомобили вперед настолько, насколько позволяет максимальная скорость или машина впереди. Если машина доехала до перекрестка, то по алгоритму Дейкстры программа находит дорогу, по которой машина должна уехать с этого перекрестка, и записывает ее в очередь на выбранную дорогу.

- 2) Затем программа приступает к просмотру очередей для каждой дороги и продвигает машины из каждой очереди на соответствующую дорогу настолько, насколько возможно.

- 3) Наконец, программа графически изображает полученную ситуацию на дорогах.

Таким образом, в итоге была написана программа, реализующая модель образования и исчезновения пробок. В дальнейшем мы предполагаем исследовать влияние осведомленности водителей о пробках на дорожную ситуацию (моделируя действие GPS-навигатора с информацией о пробках), то есть учитывать в алгоритме Дейкстры текущую дорожную ситуацию.

# Математика



## Сечение поверхностей второго порядка

Иванова Анастасия

10 класс

Научный руководитель С.Е. Фильченков,  
канд. физ.-мат. наук,  
научный сотрудник ИПФ РАН



*В работе рассмотрены восемь поверхностей второго порядка и построены их сечения.*

Поверхности второго порядка находят большое применение в различных областях знания и практики. Они применяются в компьютерной графике, так как поверхности реальных объектов во многих случаях приближаются к поверхностям второго порядка. Данный тип поверхности широко используется в строительстве и архитектуре, ярким примером этого является изобретение русского инженера В.Г. Шухова, который предложил использовать конструкции из металлических балок, расположенных так, как расположены прямолинейные образующие однополостного гиперболоида. Такие конструкции оказались легкими и прочными, они используются для устройства водонапорных башен и радиомачт. Поверхности второго порядка нашли свое применение и в физике при изготовлении оптических линз. Таким образом, существует много различных применений сечений поверхностей второго порядка, поэтому изучать сечение поверхностей данного типа интересно.

Древние знали из поверхностей второго порядка конус, цилиндр и поверхности вращения, которые они называли сфероидами и коноидами. До Эйлера (1707 – 1783) не усматривалось никакой другой аналогии между формами в пространстве и столь знаменитыми плоскими кривыми, названными коническими сечениями. Эйлер распространил на поверхности аналитический прием, служивший ему для исследования кривых линий на плоскости, и открыл в общем уравнении второй степени с тремя обыкновенными координатами пять различных видов поверхностей, среди которых сфероиды и коноиды древних являются частными формами. Монж и Гашет поняли важность этой теории и, подвергнув поверхности второго порядка глубокому и подробному аналитическому исследованию, открыли многие важнейшие их свойства.

Цель работы – исследование кривых и поверхностей второго порядка. Задачи: изучить историю вопроса; исследовать форму поверхности методом сечений плоскостями, построить линии, полученные в сечениях; построить поверхность в канонической системе координат и сечение данных поверхностей плоскостями координат.

Кривой второго порядка называется множество точек плоскости, координаты которых удовлетворяют уравнению второго порядка:

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + fy + g = 0,$$

где  $a, b, c, d, f, g$  – вещественные числа, и хотя бы одно из чисел  $a, b, c$  отлично от нуля. Кривые второго порядка на плоскости описываются алгебраическими уравнениями второго порядка.

В дальнейшем будем обращаться к кривым второго порядка при рассмотрении сечений поверхностей второго порядка, поэтому обозначим канонические уравнения данных кривых.

$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$	$y^2 = 2px$
каноническое	каноническое	каноническое
уравнение эллипса	уравнение гиперболы	уравнение параболы

Алгебраической поверхностью второго порядка называется поверхность, уравнение которой в декартовой системе координат имеет следующий вид:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{23}yz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0,$$

где не все коэффициенты при членах второго порядка равны одновременно нулю (в противном случае это – алгебраическая поверхность первого порядка, то есть плоскость).

В теории поверхностей второго порядка классифицируют и изучают различные виды поверхностей. Методом их изучения является так называемый метод сечения: исследуются сечения поверхности плоскостями, параллельными координатным, и по виду сечений делается вывод о форме поверхности. Рассмотрим подробнее восемь видов поверхностей второго порядка.

1) Эллипсоидом называется поверхность второго порядка, которая в канонической системе координат определяется уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1.$$

В частности, если  $a = b = c$ , то получаем сферу  $x^2 + y^2 + z^2 = a^2$  с центром в начале координат и радиусом  $a$ . Числа  $a, b, c$  называются

полуосями эллипсоида. Если все они различны, то эллипсоид называется трехосным. Точки пересечения эллипсоида с осями координат называются его вершинами. Оси канонической системы координат являются осями симметрии эллипсоида, начало координат – центром симметрии, а координатные плоскости – плоскостями симметрии.

Рассмотрим сечение эллипсоида плоскостью  $xOy$ :  $z = 0$ . Оно задается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \\ z = 0 \end{cases}$$

Очевидно, что линия пересечения – эллипс с полуосями  $a$  и  $b$ .

Рассмотрим сечение эллипсоида плоскостью  $z=h$ . Линия пересечения задается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \\ z = h \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{b_1^2} = 1, \\ z = h \end{cases}$$

где  $a_1 = a\sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}$ ;  $b_1 = b\sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}$ . Таким образом, если  $0 < h < c$ , то сечение – эллипс с полуосями  $a_1 < a$ ;  $b_1 < b$ . Если  $h = c$ , сечение – точка с координатами  $(0, 0, c)$ . Если  $h > c$ , система решений не имеет, то есть исследуемая поверхность не имеет общих точек с рассматриваемой плоскостью.

Аналогично рассматриваются сечения поверхности  $S$  плоскостями  $x=const$ ,  $y=const$ .

2) Однополостный гиперболоид – поверхность второго порядка с каноническим уравнением  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$ . Линия пересечения гиперболоида и плоскости  $z=0$  задается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1, \\ z = 0 \end{cases} \text{ определяющей эллипс с полуосями } a, b.$$

В сечении плоскостью  $z=h$  имеем эллипс

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{b_1^2} = 1 \\ z = h \end{cases} \text{ с полуосями, где } a_1 = a\sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}; b_1 = b\sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}.$$

Сечение поверхности  $S$  плоскостью  $x=0$ :

$$\begin{cases} \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \\ x = 0 \end{cases} \text{ является гиперболой с действительной осью } Oy \text{ и мнимой осью } Oz.$$

Сечение  $S$  плоскостью  $y=0$  – гипербола с действительной осью  $Ox$  и мнимой осью  $Oz$ .

3) Двуполостной гиперboloид – поверхность второго порядка с каноническим уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1.$$

Линия пересечения гиперboloида и плоскости  $z=0$  задается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = -1 \\ z = 0 \end{cases}, \text{ которой соответствует пустое множество.}$$

В сечении плоскостью  $z=h$  имеем кривую:

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{b_1^2} = \frac{h^2}{c^2} - 1 \\ z = h \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{b_1^2} = 1 \\ z = h \end{cases}$$

где  $a_1 = a\sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}$ ;  $b_1 = b\sqrt{1 - \frac{h^2}{c^2}}$ . Очевидно, что решение есть при  $|h| \geq c$ . Если  $h = \pm c$ , сечение – точка  $(0, 0 \pm c)$ . При  $|h| > c$  сечение – эллипс с полуосями  $a_1, b_1$ . Сечением поверхности  $S$  плоскостью  $x=0$   $\begin{cases} \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1 \\ x = 0 \end{cases}$  является гипербола с осью  $Oz$  и мнимой осью  $Oy$ . Сечение  $S$  плоскостью  $y=0$  – гипербола с действительной осью  $Oz$  и мнимой осью  $Ox$ .

4) Эллиптический параболоид – поверхность с каноническим уравнением  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = pz, p > 0$ . Поверхность расположена в верхнем полупространстве  $z \geq 0$ ; поперечные сечения плоскостями  $z=h, h > 0$  определяют собой эллипсы с полуосями  $a_1 = a\sqrt{ph}$  и  $b_1 = b\sqrt{ph}$ , размеры которых увеличиваются по мере возрастания  $h$ , продольные сечения плоскостями  $x=0$  и  $y=0$  – параболы.

5) Гиперболический параболоид – поверхность с каноническим уравнением  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = pz, p > 0$ . Сечения гиперболического параболоида плоскостями, параллельными плоскостям  $xOz$  и  $yOz$ , являются параболы, а сечения плоскостями, параллельными плоскости  $xOy$ , – гиперболами (плоскостью  $xOy$  – двумя пересекающимися прямыми).

6) Эллиптическим конусом называется поверхность с каноническим уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0.$$

Сечения плоскостями  $z=const$  – эллипсы, размеры которых возрастают по мере удаления от начала координат; сечения плоскостями, проходящими через ось  $Oz$ , – пересекающиеся прямые.

В выбранной системе координат образующие цилиндров параллельны оси  $Oz$ , и уравнения не содержат координаты  $z$ . Это свойство сохраняется и для уравнения общего вида.

7) Эллиптический цилиндр задается каноническим уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Осью цилиндра является координатная ось  $Oz$ , поперечные сечения – эллипсы. Плоскости  $Oxz$  и  $Oyz$  являются плоскостями зеркальной симметрии поверхности.

8) Гиперболический цилиндр задается каноническим уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Осью цилиндра является координатная ось  $Oz$ , поперечные сечения – гиперболы. Плоскости  $Oxz$  и  $Oyz$  являются плоскостями зеркальной симметрии поверхности.

Нами была изучена литература по данной теме, что позволило выяснить, что такое поверхности второго порядка и какими они бывают. В работе были рассмотрены восемь поверхностей и их сечения, освоена работа с программой Autodesk 3ds Max9, а также построены в ней данные сечения.

### Литература

1. Бугров Е.С. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии / Е.С. Бугров, С.М. Никольский. – М.: Наука, 1984.
2. Мордкович А.Г. Алгебра и начала математического анализа. 10кл.: Профильный уровень. Учебник. – М.: Мнемозина, 2011. – 425 с.



## Кривые Уатта

Кудряшова Дарья

10 класс

Научный руководитель С.Е. Фильченков,  
канд. физ.-мат. наук,  
научный сотрудник ИПФ РАН



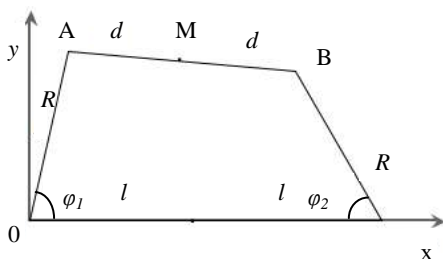
*В работе исследована траектория движения середины шатуна шарнирного механизма (трехзвенника) Уатта – кривая Уатта. В зависимости от соотношения длин плечей трехзвенника кривая может принимать различные виды. Удалось вывести уравнение для одного из типов кривой, а также определить все 12 качественных видов кривой Уатта.*

Один из разделов геометрии посвящен классификации и изучению свойств кривых разных порядков. Классификация основана на том, что качественный вид кривой зависит от соотношения коэффициентов в уравнении, которым она (кривая) описывается.

Впервые проблемой преобразования вращательного движения в прямолинейное занимался английский изобретатель Д. Уатт (1736 – 1819). Кривая, которую описывал шарнирный механизм, должна была как можно больше напоминать прямую. Также шарнирными механизмами занимался русский ученый П.Л. Чебышев (1821 – 1894).

Цель исследования – вывести уравнение кривой Уатта, определить все возможные типы полученных кривых и классифицировать их. При этом для получения всех возможных видов требуется аналитическим путем найти соотношения коэффициентов, каждое из которых будет задавать один вид кривой. Объект исследования – плоский шарнирный механизм Уатта; предмет – траектория движения середины шатуна данного механизма (кривая Уатта). Задачи: вывести аналитически уравнение кривой; вычислить все возможные соотношения параметров; задать каждый тип уравнением и классифицировать его. Методы исследования: изучение модели механизма Уатта, решение алгебраического неравенства, которое своим решением определит соотношения коэффициентов.

Траектория движения точки  $M(x,y)$  середины шатуна  $AB$  называется кривой Уатта. Координаты точки  $A - R\cos\varphi_1; R\sin\varphi_1$ , точки  $B - 2l - R\cos\varphi_2; R\sin\varphi_2$ . Отсюда получаем, что координатами точки  $M$  будут являться:



**Рис. 1.** Графическая иллюстрация к нахождению координат точки М

вой, вид которой будет зависеть от параметров  $R$ ,  $l$  и  $d$ . Из уравнения связи для АВ  $(R \cos \varphi_1 - 2l - R \cos \varphi_2)^2 + (R \sin \varphi_1 - 2l - R \sin \varphi_2)^2 = 4d^2$  найдем зависимость между углами и соотношением параметров  $R$ ,  $l$ ,  $d$ .

$$\left\{ \begin{aligned} x &= \frac{1}{2}(R \cos \varphi_1 + 2l - R \cos \varphi_2) \\ y &= \frac{1}{2}(R \sin \varphi_1 + R \sin \varphi_2) \end{aligned} \right\}.$$

Таким образом, получили систему с двумя неизвестными  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Если мы найдем зависимость между этими неизвестными, то получим уравнение кривой,

В итоге получаем 
$$\sin \alpha_2 = \frac{\left(\frac{d}{R}\right)^2 - \left(\frac{l}{R}\right)^2 - \sin^2 \alpha_1}{2 \frac{l}{R} \sin \alpha_1}, \quad \text{где}$$

$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} = \alpha_1$ ,  $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \alpha_2$ . Так как  $|\sin \alpha_2| \leq 1$ , мы получим следующее алгебраическое неравенство:

$$\left| \frac{\left(\frac{d}{R}\right)^2 - \left(\frac{l}{R}\right)^2 - \sin^2 \alpha_1}{2 \frac{l}{R} \sin \alpha_1} \right| \leq 1.$$

Решая его в зависимости от параметров, мы выведем все классы.

Класс первый – окружность. Для существования данной дроби необходимо, чтобы ее знаменатель был отличен от нуля, то есть  $\sin \alpha_1 \neq 0$ . Если  $\sin \alpha_1 = 0$ , тогда  $\varphi_1 = \varphi_2$ , но  $\cos \varphi_1 = -\cos \varphi_2$ . Подставив зависимость в  $\sin^2 \alpha_1 + 2 \frac{l}{R} \sin \alpha_1 = \left(\frac{d}{R}\right)^2 - \left(\frac{l}{R}\right)^2$  получим, что  $d=l$ , а  $R$

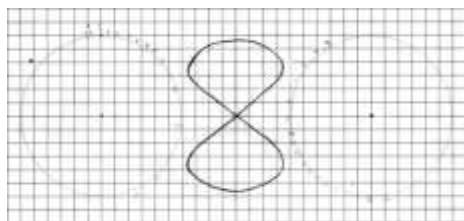
– любое. Тогда уравнение примет вид:  $\left\{ \begin{aligned} x &= R \cos \varphi_1 + l \\ y &= R \sin \varphi_1 \end{aligned} \right\}$ . Это один из

типов кривых – окружность.

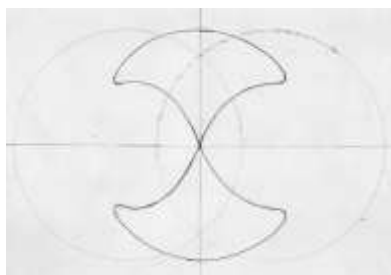
Для того чтобы вывести остальные классы кривых, необходимо решить неравенство:

$$\left| \frac{\left(\frac{d}{R}\right)^2 - \left(\frac{l}{R}\right)^2 - \sin^2 \alpha_1}{2 \frac{l}{R} \sin \alpha_1} \right| \leq 1.$$

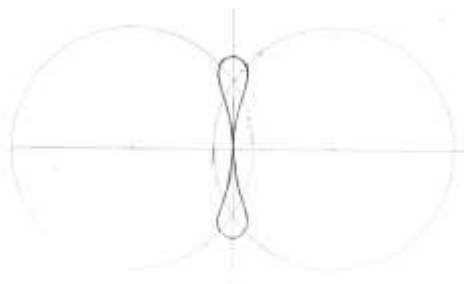
К сожалению, это сделать не удалось. Однако в статье журнала «Квант», которая являлась толчком к моему исследованию, была предложена таблица целочисленных коэффициентов  $R$ ,  $l$ ,  $d$ . Я выполнила предложенную в статье работу: с помощью циркуля и линейки начертила по коэффициентам все 12 классов, среди которых была окружность, тем самым визуализируя движение середины шатуна трехзвенника.



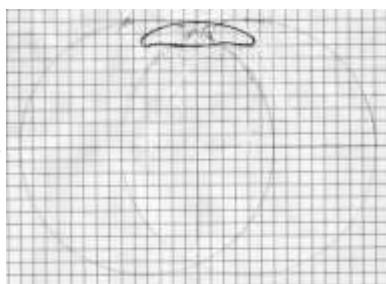
**Рис. 2.** Класс при  $d=4$ ,  $R=3$ ,  $l=5$



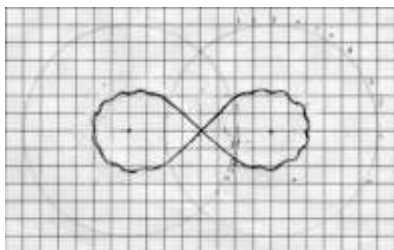
**Рис. 3.** Класс при  $d=4$ ,  $R=8$ ,  $l=5$



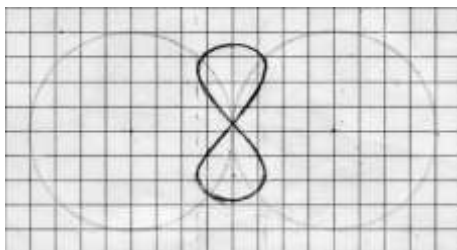
**Рис. 4.** Класс при  $d=1$ ,  $R=6$ ,  $l=5$



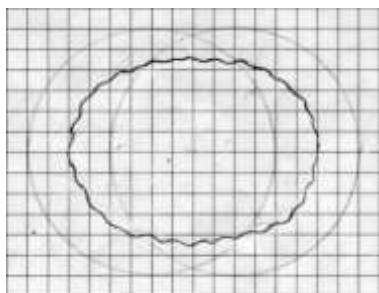
**Рис. 5.** Класс при  $d=1$ ,  $R=5$ ,  $l=2$



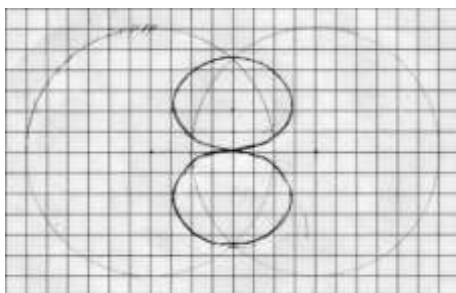
**Рис. 6.** Класс при  $d=2$ ,  $R=3$ ,  $l=3$



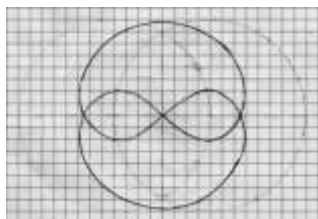
**Рис. 7.** Класс при  $d=2$ ,  $R=2$ ,  $l=1$



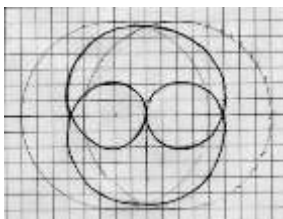
**Рис. 8.** Класс при  $d=1$ ,  $R=3$ ,  $l=2$



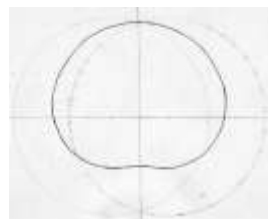
**Рис. 9.** Класс при  $d=4$ ,  $R=3$ ,  $l=2$



**Рис. 10.** Класс при  $d=3$ ,  
 $R=4$ ,  $l=2$



**Рис. 11.** Класс при  $d=2$ ,  
 $R=3$ ,  $l=1$



**Рис. 12.** Класс при  $d=4$ ,  
 $R=7$ ,  $l=2$

Целью исследовательской работы было выведение уравнений всех типов кривой Уатта и их классификация, однако удалось вывести всего один класс – окружность, но, тем не менее, был найден путь дальнейшего развития исследования, то есть решение алгебраического неравенства, исходя из которого можно вывести остальные 11 классов. Также удалось определить качественный вид кривой каждого класса путем построения траектории движения середины шатуна трехзвенника, используя различные соотношения коэффициентов.

### Литература

1. *Вавилов В.* Шарнирные механизмы. Кривые Уатта // Квант. 1977. № 1. – 60 с.
2. *Мордкович А.Г.* Алгебра и начала математического анализа. 10кл.: Профильный уровень. Учебник. – М.: Мнемозина, 2011. – 425 с.

# Наука как призвание и профессия



*Наука вечна... в своем источнике, неизмерима по своему объекту, бесконечна по своей задаче, недостижима по своей цели.*

Карл Максимович Бэр (1792 – 1876),  
естествоиспытатель, основатель эмбриологии,  
учредитель Русского географического общества,  
академик Петербургской АН

*Самое прекрасное в мире – это тайна. Она источник искусства и науки.*

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

*Три пути ведут к знанию: путь размышлений – это путь самый благородный, путь подражания – это путь самый легкий, и путь опыта – это путь самый горький.*

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

*Разум с помощью науки проникает в тайны вещества, указывает, где истина. Наука и опыт – только средства, только способы собирания материалов для разума.*

Михаил Васильевич Ломоносов (1711 – 1765),  
русский ученый, философ,  
основатель Московского университета

*Наука требует от человека всей его жизни. И если бы у вас было две жизни, то их бы не хватило вам. Большого напряжения и великой страсти требует наука от человека.*

Иван Петрович Павлов (1849 – 1936),  
физиолог, создатель науки о высшей нервной деятельности,  
лауреат Нобелевской премии в области медицины и физиологии (1904)

## Ученые: что мы знаем о них?

От производства первого листа бумаги до издания первой книги прошло тысячелетие. От изобретения лазера до начала его использования – несколько месяцев. Сегодня молодого человека окружают в два раза больше новых вещей, чем его родителей в том же возрасте. 90% ученых, когда-либо живших на Земле, – наши современники. Что мы знаем о них?

Размышляя о наиболее выдающихся научных открытиях, мы обращаемся к нобелевским лауреатам. Каждую осень научный мир ждет объявления наиболее значимых достижений за прошедший год по физике, химии, физиологии и медицине, литературе и движению за мир, авторам которых присуждаются Нобелевские премии. Альфред Нобель (1833 – 1896) – ученый, изобретатель, учредитель нобелевской премии. Что это был за человек, как он заработал свой капитал для основания фонда и чем он руководствовался, совершая столь экстравагантный поступок, о котором говорят уже второе тысячелетие? Многие из того, что касается его личности и завещания, можно назвать «тайной, покрытой мраком». Давайте приоткроем эти тайны, познакомимся с семьей Нобелей и историей учреждения Нобелевской премии, а также с теми учеными, кто, по мнению нобелевского комитета, внес наибольший вклад в прогресс человечества за прошедший год, – лауреатами нобелевской премии 2012 года.

Среди обсуждаемых учеными вопросов есть такие, которые, кажется, понятны и интересны только узкому кругу посвященных, а есть темы, которые волнуют всех людей. К числу таких волнующих людей тем относится и вопрос о сохранении озонового слоя Земли. Лекцией на эту тему открылся осенью 2012 года школьный лекторий общества «Знание-НН». Первым ученым, пришедшим на встречу со школьниками, стал Юрий Юрьевич Куликов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН. Так как круг участников встречи ограничивался старшеклассниками одного из лицеев Нижнего Новгорода, а тема актуальна и представляет не только научный, но и житейский интерес для многих, мы предлагаем читателям самостоятельно разобраться в этой проблеме. Поможет вам в этом лекция Ю.Ю. Куликова, опубликованная в данном сборнике.

Тем из вас, кто стремится к самостоятельным поискам истины и размышляет о выборе профессии ученого, будет небезынтересно по-

знакомиться с «Письмом к молодежи» Ивана Петровича Павлова (1711 – 1765), физиолога, создателя науки о высшей нервной деятельности, лауреата Нобелевской премии в области медицины и физиологии 1904 года. И.П. Павлов принадлежал к тем великим ученым, которые окружали себя молодыми талантливыми людьми и считали долгом своей жизни вырастить рядом с собой молодое научное поколение. Он создал одну из величайших в мире физиологических научных школ. В 1935 году И.П. Павлов написал «Письмо к молодежи», ставшее его завещанием грядущим поколениям молодых людей, посвятивших себя науке. История письма такова: в 1935 году в Ленинграде проводился XV Всемирный конгресс физиологов, на котором Павлов был провозглашен «старейшиной физиологов мира». Комсомольцы обратились к нему с вопросом: «Что бы вы могли пожелать молодежи нашей страны, которая хочет заниматься наукой?». В ответ И.П. Павлов написал письмо, которое опубликовали в журнале «Техника молодежи» (1935) и сборнике «Поколение победителей» (1935), посвященном X съезду ВЛКСМ.

Надеемся, что данные рассуждения помогут вам определить свой путь в науке.



## Альфред Нобель

*Отец.* Сын военного врача, Эммануэль Нобель (1801 – 1872) закончил университет в Упсале, работал архитектором в своем родном городе Стокгольме. Он никогда не стеснялся жить в займы и в 1837 году попал-таки в долговую тюрьму. Уговорив начальника тюрьмы отпустить его на поруки, он поспешил в русское посольство, где заявил, что был бы не против поработать в стране, где промышленная индустрия только зарождается.



Обстоятельства сложились исключительно удачно для Нобеля. Уже через неделю на его имя пришло приглашение от русского государственного советника Льва Гартмана. Эммануэль покинул Швецию, оставив объясняться с кредиторами свою жену Андриетту. Не прошло и полугода, как Нобель, используя новоприобретенные знакомства, получил в кредит большой машиностроительный завод, на котором строились канонерские лодки, собирались паровые машины для крейсеров и другая военная техника, и несколько выгодных контрактов от военного и морского ведомств. С началом в 1853 году Крымской войны дело стало процветать. За массовое производство подводных мин собственной конструкции Нобель получил Императорскую золотую медаль.

После такого успеха Эммануэль перевез из Швеции свою семью и в 1842 году вместе с женой и тремя сыновьями – Робертом, Людвигом и Альфредом – обосновался в Петербурге. Но с окончанием Крымской войны предприятие, привыкшее действовать с размахом (на заводе трудилось более тысячи рабочих), «вылетело в трубу». Эммануэль собрал семейство, чтобы бежать обратно в Швецию, но сыновья наотрез отказались покидать Россию. Родоначальник династии уехал на родину без них.

*Братья Нобели.* Сыновьям общепризнанного банкрота не так просто было преуспеть в бизнесе. Братьям Нобелям пришлось долго восстанавливать репутацию своей фамилии.

Старый друг отца, влиятельный промышленник Ишервуд, не отказал братьям в поддержке и сдал им в аренду небольшой завод на Выборгской стороне. Днем Нобели занимались организацией производства, а ночью сидели над чертежами. За год они получали по 8 – 9 па-

тентов на свои изобретения, которые тут же внедряли в производство. Самыми прибыльными для них стали разработки многокамерных пушек и колес с резиновыми шинами. Дело братьев Нобелей, обладавших неординарным креативным мышлением, процветало. Через несколько лет они выкупили завод и даже стали подумывать об инвестициях в другие отрасли. В начале 70-х годов XIX века предприятие Нобелей получило правительственный заказ на реорганизацию Ижевского завода, выпускавшего винтовки. Людвиг Нобель занялся чертежами узлов и механизмов нового мелкокалиберного ружья, а Роберт отправился в Закавказье закупать ореховое масло для прикладов.

Вскоре Роберт телеграфировал, что везти орех через Кавказ – дорогое удовольствие, и нужно искать другой материал. Однако приписал, что задержится, так как обнаружил в Баку нечто интересное. Через некоторое время он напомнил о себе брату просьбой выслать ему несколько тысяч на покупку нефтеперерабатывающего завода и буровой скважины. Людвиг отправил деньги, не особо надеясь, что брат сумеет ими правильно распорядиться: Роберт в семье считался самым легкомысленным после отца. Людвиг и предположить не мог, что Роберт на эти деньги создаст один из крупнейших промышленных конгломератов в России.

Третий брат – Альфред – не любил организационную работу и несколько лет провел в лаборатории знаменитого русского химика Н.Н. Зинина, который взял его в ученики. Здесь он познакомился с новым веществом – нитроглицерином, синтезированным в 1846 году итальянским ученым Асканио Собrero. Это относительно дешевое и эффективное вещество считали весьма перспективным для использования в горнодобывающей и других отраслях производства. В 1849 году шестнадцатилетний Альфред по рекомендации Н.Н. Зинина отправился в двухлетнее путешествие по Европе и Америке, где набирался опыта у крупнейших специалистов. Вернувшись в Россию, он стал заниматься делами семейных фабрик, но интересовался оружейным бизнесом братьев лишь постольку, поскольку в нем использовались придуманные им технологии. Став квалифицированным химиком и инженером, имеющим несколько патентов, Альфред в 1862 году вместе с младшим братом Эмилем, родившимся в России, приехал к отцу в Швецию и начал вместе с ним создавать взрывчатое вещество на основе нитроглицерина, которое должно было в несколько раз превосходить его по мощности.

Два года отец и сыновья Нобели практически не выходили из своей домашней лаборатории, пока 3 сентября 1864 года она не взлетела на воздух от мощного взрыва. При взрыве погибли младший брат Альфреда Эмиль и пять прохожих. Отца так сильно контузило, что он частично потерял рассудок и остаток жизни провел, сидя во дворе своего дома в халате, с русской золотой медалью и наградой Шведской академии наук за работу по изучению нитроглицерина. Дни напролет он дрожащими руками строгал палочки...

Когда Альфреда вызвали для дачи показаний, он заявил полицейским: «Вещи, над которыми мы работаем, действительно чудовищны, но они так совершенны технически...». Следствие было прекращено под давлением министерства обороны, заинтересованного в продолжении эксперимента.

Несчастные случаи при работе с нитроглицерином происходили все чаще и чаще, и в ряде стран его применение запретили. Альфред продолжал поиск способа сделать более безопасным это столь нужное для промышленности взрывчатое вещество. Он пытался комбинировать порох и нитроглицерин, постепенно приходя к мысли использовать пористый материал, который пропитывался маслянистым взрывчатым веществом. В 1866 году он смешал нитроглицерин с кизельгуром (немецкое название инфузорной земли, или диатомита – тонкопористой осадочной породы, состоящей из кремниевых скелетов одноклеточных морских организмов, водорослей диатомей), получив таким образом динамит – взрывчатое вещество, более удобное и безопасное при употреблении и хранении.

В 1867 году, получив патент на изготовление динамита, Альфред стал «самым богатым бродягой в Европе». Интерес к динамиту был исключительно велик, поэтому Нобель, не имея собственной фирмы, в обмен на право использовать динамит мог требовать от крупных строительных и горноразрабатывающих компаний большие пакеты акций. Компания «British TNT» в течение десяти лет выплачивала Альфреду 20% от своих прибылей.

В этот период шведский инженер и изобретатель проявил себя как выдающийся предприниматель и хороший финансист. В деньгах Альфред больше не нуждался и спокойно занялся своей любимой химией. В 1887 году после многочисленных экспериментов он получил бездымный порох – баллистит, который в качестве взрывчатого вещества используется для огнестрельного оружия во многих странах.

Со времени своего отъезда из России Альфред Нобель регулярно обменивался письмами с братьями: следил за их успехами, описывал собственные опыты. В одном из посланий, полученных в 1875 году от Роберта, он прочитал о том, что брат никак не может решить вопрос транспортировки сырой нефти и нефтепродуктов через Кавказский хребет. Роберт писал, что развитие русской нефтепромышленности упирается в проблему нехватки ослов, которые тянут через горы тележки, груженные бочками с нефтью. Спрос и цены на нефть растут бешеными темпами, а «ослы просто не могут размножаться с такой же скоростью».

Альфред ответил брату, что вместо ослов для транспортировки нефти через горы можно использовать трубу, по которой нефть и все остальное можно быстро и без потерь перекачивать при помощи нескольких насосов. К письму он приложил схему работы трубопровода, чертеж парового насоса, адаптированного под перегонку нефти, а также атлас Кавказских гор (которых он наяву так ни разу и не увидел), на страницах которого карандашом пометил, где должна пройти пресловутая большая труба. По дороге на почту Альфред заглянул в Шведское патентное бюро, где подал заявку на регистрацию проектов непрерывной перегонки нефти и специального насоса.

Роберт и Людвиг, который к тому времени тоже перебрался в Баку, загорелись идеей постройки транскавказского трубопровода. Братья обратились к другим промышленникам, занимавшимся бакинской нефтью, с предложением проложить общую трубу, однако те отнеслись к идее конкурентов с подозрением. Проекты транспортировки нефти через Каспий на специальных нефтеналивных судах (танкерах) и в вагонах-чанах по железной дороге также не вызвали у них доверия. Тогда реализацию собственных идей профинансировал Альфред – доходы от прав на динамит это вполне позволяли. Он, вступив в товарищество с товариществом «Бр. Нобель», внес в кассу товарищества полтора миллиона рублей и оплатил строительство на шведской верфи огромного танкера «Зороастр».

После этого он еще некоторое время обсуждал в переписке с братьями вопросы хранения и перевозки нефти, а потом потерял к этому всякий интерес, погрузившись в свои химические опыты. Альфред пытался получить искусственный заменитель кожи, и его меньше всего интересовало, как братья распорядятся его долей прибыли в бакинском нефтяном бизнесе. Братья Нобель тем временем достроили первую очередь трубопровода, превратившись в монополиста на рынке транспортировки и хранения нефти.

Ранее несговорчивые владельцы скважин рассчитали погонщиков ослов и готовы были платить любые деньги за пользование трубой – эти суммы не шли ни в какое сравнение с теми потерями, которые они имели при прежней транспортировке. Огромным спросом пользовались и танкерная перевозка, и услуги по хранению нефти в металлических резервуарах (прежде нефть и керосин заливали в обыкновенные ямы, вырытые в земле, и правительственные инспекции по контролю за качеством браковали дорогой товар тоннами).

На те доходы, которые приносила транспортная монополия, Нобели стали скупать скважины бакинских промысловиков и к концу XIX века контролировали 13% всех российских нефтяных месторождений. В окрестностях Баку они построили целый промышленный Черный город, в котором жили и работали 5 тысяч человек. Там, кроме заводов, были больницы, трактиры, магазины, обращалась своя валюта. Эта автономная империя ежегодно «выливалась» на российские рынки 30 – 40 млн. пудов неочищенной нефти и более ста наименований нефтепродуктов.

Механическое производство в Петербурге передали сыну Людвигу Эммануэлю, который занялся выпуском двигателей внутреннего сгорания по лицензии Рудольфа Дизеля. Капиталы Нобелей в России превышали 30 миллионов рублей.

*Завещание.* Альфред Нобель считался молчаливым, замкнутым, порой язвительным и саркастичным, и в то же время чутким и отзывчивым человеком, помогавшим талантливой молодежи и соотечественникам, попавшим в затруднительное положение.

Его интересы были чрезвычайно разнообразны: электрохимия и оптика, биология и медицина. Он конструировал автоматические тормоза и безопасные паровые котлы, пытался изготовить искусственную кожу и резину, работал над получением легких сплавов. За свою жизнь Альфред Нобель получил 350 патентов.

Это был один из образованнейших людей своего времени. Он в совершенстве владел пятью языками, внимательно следил за развитием европейской литературы. В юности он серьезно колебался – стать ли ему изобретателем или поэтом, а в последние годы своей жизни написал драму.

Создатель пороха был пацифистом. Найденное им взрывчатое вещество вначале использовалось в мирных целях для сооружения туннелей и каналов, прокладки дорог, добычи ископаемых, а в военных целях впервые было применено во время франко-прусской вой-

ны 1870 – 1871 годов. Сам Нобель говорил, что ему хотелось бы изобрести вещество или машину, обладающие такой разрушительной мощностью, чтобы всякая война стала вообще невозможной.

В один из летних дней 1888 года Альфред Нобель узнал из утренней парижской газеты о своей кончине. Самое обидное было в том, как газета преподнесла эту новость. Журналист, услышав, что умер какой-то знаменитый Нобель, написал некролог, полный мрачных эпитетов, самым мягким из которых был «торговец смертью». А ведь «при жизни» газеты пели Альфреду дифирамбы, рассказывая, какую колоссальную пользу приносит динамит в строительстве, в горном деле и освоении новых территорий. Другие газеты, подхватив «утку» (на самом деле умер старший из братьев, Людвиг), также напечатали материалы о том, какие ужасы творит TNT на поле боя.

С Альфредом Нобелем случился сердечный приступ. Оправившись, он принял решение, которое принесло ему славу. Он завещал все свое состояние на учреждение премий для тех, кто «в течение предшествующего года принес наибольшую пользу человечеству». Набросав текст завещания на подвернувшемся под руку клочке бумаги, Альфред небрежно сунул его в стопку других документов и вернулся к своим опытам. Из других же источников известно, что он писал и переписывал завещание несколько раз. В этих вариантах документа постепенно выкристаллизовывалась главная идея, и в 1895 году в последнем своем завещании он подробно описал пять будущих Нобелевских премий.

10 декабря 1896 года «динамитный король» скончался на своей вилле в Сан-Ремо. В январе 1897 года было вскрыто завещание Нобеля. В нем говорилось о том, что все его состояние следует превратить в деньги, которые должны быть вложены в акции и другие ценные бумаги, которые образуют фонд.

Мир был потрясен «прощальным взрывом» Нобеля: десятки бедных родственников и их могущественных кредиторов требовали опротестовать завещание, которое не было оформлено юридически. Самые известные юристы мира спорили о том, являются ли эти несколько строчек действительным выражением воли покойного. Наконец, даже русское правительство, опасаясь утечки капитала из страны, высказалось против учреждения Нобелевской премии.

Решающее слово в решении этого конфликта сказал племянник Альфреда Эммануэль. После смерти Людвиг и Роберта он стал единственным хозяином предприятий концерна «Бр. Нобель». Перед ним

стояла непростая задача: если бы он признал законную силу завещания, то более трети всего капитала корпорации пришлось бы передать в фонд Нобелевской премии. Эти деньги можно было бы сохранить, опротестовав завещание, но в этом случае он неминуемо приобретал репутацию человека, отказывающегося платить по счетам. Здравомысляя, Эммануэль решил, что репутация Нобелей стоит дороже десяти дядюшкиных миллионов. К тому же деятельность фонда могла стать хорошей рекламой для русского концерна. Эммануэль высказал восхищение благородным замыслом покойного дяди и пообещал выплачивать все проценты по вкладам Альфреда в течение полугода.

*Нобелевская премия.* 29 июня 1900 года идея Альфреда Нобеля стала реальностью. Согласно Уставу Нобелевского фонда, принятому в этот день, лауреату Нобелевской премии вручается денежный приз, диплом и золотая медаль с изображением А. Нобеля.

В 1897 году после продажи имущества Нобеля сумма фонда составила 33 млн. шведских крон. После выплаты компенсации наследникам в Нобелевский фонд перешло 31 млн. крон, что в настоящее время эквивалентно 100 млн. долларов. Ежегодные доходы от этого фонда, согласно завещанию Альфреда Нобеля, делятся на пять частей: за крупнейшее открытие в области физики, за крупнейшее открытие или изобретение в области химии, за открытия в области физиологии и медицины, за успехи в области литературы и движении за мир.

Медали премий по физике, химии, литературе, физиологии и медицине были спроектированы шведским скульптором и гравером Эриком Линдбергом, медаль премии мира – норвежским скульптором Густавом Вигеландом. На передней стороне медалей Э. Линдберга изображен портрет Альфреда Нобеля и годы его рождения и смерти римскими цифрами MDCCCXXXIII – MDCCCXCVI. Надпись на оборотной стороне этих медалей гласит: «Inventas vitam juvat excoluisse per artes» – «Изобретение делает жизнь лучше, а искусство – прекраснее» и выгравированы слова из «Энеиды» Вергилия:

Тем из пророков, кто рек только то, что Феба достойно,

Тем, кто украсил жизнь, создав искусства для смертных...,  
а изображения изменяются согласно символам учреждений, которые награждают Нобелевской премией. На реверсе медали премии мира можно увидеть надпись: «Pro pace et fraternitate gentium» – «За мир и братство». Медали изготавливали из 23-каратного золота, весили они по 200 граммов, их диаметр равнялся 66 мм. С 1980 года их из-

готовавливают из 18-каратного золота, покрытого слоем 24-каратного золота. Четыре медали чеканит шведский монетный двор в Эскилстуне, медали премии мира – Королевский Монетный двор в норвежском Конгсберге.

В 1901 году, когда были присуждены первые премии, каждый из нобелевских лауреатов получил «временную» медаль, на которой был вычеканен портрет Альфреда Нобеля, как сувенир. Из переписки молодого талантливого шведского скульптора Э. Линдберга с отцом известно, что дизайн оборотных сторон медалей не был завершен до первой церемонии награждения.

Размер премии в 1901 году составил 42 тыс. долларов, в настоящее время – более 1 млн. долларов. Первая премия по физике была присуждена Вильгельму Рентгену. Премию по химии получил Вант-Гофф за исследования в области химической кинетики. Первым лауреатом по физиологии и медицине стал Эмиль фон Беринг за создание сывороточной терапии, важной в борьбе с дифтерией.

Сообщение о новых лауреатах публикуется 21 октября – в день рождения Нобеля. Церемония вручения премий происходит в Стокгольме 10 декабря – в день смерти шведского исследователя.



На медали по физике и химии изображена богиня Природы, появляющаяся из облаков, которая держит в руке Рог изобилия. Сбоку стоит Гений Науки и приоткрывает покрывало, которым покрыта голова богини.

На медали по физиологии и медицине изображен Гений Медицины, держащий на коленях открытую книгу и собирающий воду, струящуюся из скалы, чтобы напоить больную девочку. На медали по литературе молодой человек, сидящий под лавром, слушает и записывает песню музы. На медали мира изображены три мужчины, стоящие в круге в братских объятиях.

По материалам статьи «Шведская семья» // Мастерская активного обучения: Методическое пособие. В 2-х ч. Ч. 2. / Авторы-составители Е.Ю. Груздинская, В.В. Марико. – Н.Новгород, 2006. – 84 с. С. 23 – 28.



## Нобелевская премия 2012 года

Иногда бывает так, что Нобелевскую премию присуждают за единственное, одномоментно сделанное открытие, которое было удачной догадкой или гениальным прозрением. Однако далеко не всегда так происходит, чаще оказывается, что на пути к цели трудности встают одна за другой, и каждый раз приходится совершать новый прорыв. Именно так произошло и с работами лауреатов нобелевской премии по физике, химии и медицине 2012 года.

Француз Серж Арош и американец Дэвид Вайнленд сыграли главную роль в грандиозном достижении экспериментальной физики – контроле над квантовым состоянием отдельных элементарных частиц. Открытие это было сделано не сразу, а в несколько этапов, растянувшихся на треть века. Арош работал с квантовыми состояниями одиночных фотонов, пойманных в резонатор и надолго «отцепленных» от внешнего мира. Вайнленд – с квантовыми состояниями одиночных ионов, пойманных в ловушку и тоже изолированных от хаотического внешнего воздействия. При этом Арош использовал атомы, чтобы наблюдать за состоянием фотона, а Вайнленд – фотоны, чтобы манипулировать состояниями ионов. Оба метода позволяют осуществить экспериментально то, что еще полвека назад могло считаться лишь «мысленным экспериментом», а также изучить то, как соотносятся друг с другом квантовый и классический мир.

Исследования Нобелевских лауреатов по химии Роберта Лефковица и Брайана Кобилка начались еще в 1968 году с задачи, которую поставил Лефковицу его научный руководитель. Непосвященному человеку может показаться, что премию дали за очень узкую область исследований – за работы по исследованию рецепторов, сопряженных с G-белком (семиспиральных рецепторов), – но благодаря этим уникальным молекулам мы можем чувствовать и реагировать на внешние раздражители.

Нобелевскую премию по физиологии и медицине получили англичанин Джон Гардон и японец Синья Яманака. Первый – за очень давнюю, еще 1962-го года, работу, второй – за новую, 2006-го года. Обе работы посвящены новым методам, имеющим огромные перспективы в медицине, но премию дали не за это, а за открытие фундаментального свойства живых клеток: «За открытие того, что зрелые клетки могут быть перепрограммированы в плюрипотентные» – по формулировке Нобелевского комитета.

*Физика.* Работа Сержа Ароша относится к квантовой оптике – разделу физики, изучающему квантовые свойства отдельных фотонов, «элементарных кусочков» света. Жизнь фотона быстротечна: он излучается в источнике, летит к фотодетектору и там поглощается. Если с ним что-то произошло в пути, то мы об этом узнаем лишь после его «смерти». Арош задался целью научиться удерживать фотон внутри экспериментальной установки, чтобы его исследовать.

Удержат фотон можно, заставив его метаться между двумя вогнутыми зеркалами сверхвысокого качества (вогнутость зеркал не позволяет фотону уйти в сторону). Слово «метаться» не совсем точно описывает ситуацию. Когда длина световой волны сравнима с расстоянием между зеркалами, фотон уже не перемещается между зеркалами, а, как бы дрожа, замирает между ними – получается стоячая световая волна, опирающаяся на зеркала. Такая система зеркал называется резонатором.

Качество удержания фотона характеризуется добротностью резонатора. Число  $Q$  показывает, сколько раз фотон отразится от зеркал, прежде чем как-то выберется наружу (или во сколько раз время удержания фотона больше периода колебания световой волны). Добротность зависит от отражательной способности зеркал: чем ближе коэффициент отражения к единице, тем выше добротность.

В микроволновом диапазоне (длины волн порядка миллиметров или сантиметров) благодаря применению сверхпроводников созданы резонаторы с высокой добротностью. В таком резонаторе микроволновой фотон «живет» десятые доли секунды – огромный промежуток времени, за который можно «просканировать» его состояние. Так фотоны перешли в категорию «частиц», над которыми можно проводить разнообразные опыты.

Создание высокодобротных резонаторов – казалось бы, совершенно техническое достижение – открыло перед физиками новый раздел фундаментальной науки – квантовую электродинамику резонатора, что позволило изучить переход между квантовым и классическим поведением частиц. Приведем один из примеров экспериментов группы С. Ароша. Между двумя зеркалами пустого резонатора пролетает атом, находящийся в возбужденном состоянии. Возбужденные атомы нестабильны, и через небольшое время электрон в нем прыгает на более низкий уровень, излучая при этом фотон. Казалось бы, это спонтанное излучение – внутриатомный процесс, и время жизни возбужденного состояния – собственная характеристика атома. Но оказывается, что пролетая сквозь пустой резонатор,

атом может ускорить или, наоборот, замедлить процесс «высвечивания» фотона! Возбужденный атом находится в пустоте, мы на него не воздействуем никакими внешними электромагнитными полями, а всего лишь ограничиваем вакуум вокруг него – и этого достаточно, чтобы помешать или, наоборот, поспособствовать излучению фотона. Мы привыкли к тому, что результат может вызвать только прямое воздействие на объект либо через непосредственное соприкосновение с ним, либо через силовые поля. А тут получается так, словно мы заставляем или «поощряем» распад, вообще не воздействуя на атом!

Разгадка заключается в том, что квантовые объекты нелокальны. Фотон вовсе не вылетает прямо из атома. Оптический фотон вообще невозможно локализовать с атомной точностью. Поэтому бессмысленно спрашивать, например, из какой части сложной молекулы (например, молекулы красителя) вылетает фотон при излучении. Правильнее процесс излучения представлять так, словно фотон появляется сразу в некотором объеме вокруг атома и затем расширяется во все стороны. Этот объем больше, чем объем самого атома, и он возрастает при увеличении длины волны фотона, то есть при уменьшении разницы между энергетическими уровнями, между которыми произошел переход. Если какие-то посторонние предметы находятся в этом объеме, за которые может «зацепиться» будущий фотон, то они могут изменять скорость его излучения.

В опытах Ароша использовались особые, сильновозбужденные атомы. В них разница между энергетическими уровнями, между которыми идет переход, так мала, что длина волны излученного фотона составляет миллиметры или сантиметры. Хотя атом сам по себе и крошечный, но когда он «пытается» излучить фотон, он «прощупывает обстановку» в сантиметровом объеме. Резонатор, использованный Арошем, был сопоставимого размера, и это позволяло ему влиять на скорость распада. В совсем маленьком резонаторе излученный фотон просто не поместился бы – и уже один этот факт предотвращает его излучение, стабилизирует возбужденное состояние. Если же размер резонатора подобрать так, чтобы фотон ровненько в него вписывался, то атому будет даже удобнее излучить такой фотон, вероятность излучения резко возрастает.

Этот эффект был теоретически предсказан Эдвардом Перселлом в 1946 году, а первые экспериментальные результаты появились в начале 1970-х годов. С. Арош и его сотрудники добились гораздо более сильного эффекта: в 1983 году они сообщили о пятисоткратном ускорении излучения фотона.

Как измерить, сколько фотонов «застряло» между зеркалами резонатора? Фотоны легко поглощаются, и если их мало, то поглощение полностью меняет состояние объекта. Группой Ароша была предложена схема неразрушающего измерения количества фотонов в резонаторе. В таком случае резонатор не приводил ни к излучению, ни к поглощению фотонов, а слегка сдвигал уровни энергии атома на величину, зависящую от количества фотонов. Сдвиг, который присутствует только во время пролета сквозь резонатор, изменяет состояние атома на выходе, измерив которое, можно «сосчитать фотоны». Но реализация этой идеи натолкнулась на технические трудности, которые были преодолены лишь в 2007 году, что позволило проследить появление и исчезновение сначала отдельного фотона в резонаторе, а затем исчезновение одного за другим фотонов из семифотонного начального состояния, а также другие квантовые эффекты.

Д. Вайнленд работал параллельно с С. Арошем над квантовым состоянием отдельного иона. Атомы, в отличие от фотонов, никуда не исчезают, и поэтому с ними работать проще. Но длина волны атома (в квантовом мире каждой частице соответствует некий волновой процесс) при его движении с обычными скоростями очень мала. Поэтому квантовые эффекты, связанные с поступательным движением (то есть перемещением атома как целого), при обычных температурах незаметны. Отдельный атом или ион требуется не просто поймать, но и охладить до очень низких температур, порядка милликельвинов и ниже.

Технология ионных ловушек, в которых заряженные частицы удерживаются в центре переменным электромагнитным полем определенной формы, была разработана полвека назад и принесла Вольфгангу Паулю и Хансу Демельту Нобелевскую премию по физике. В 1973 году появились сообщения о первых экспериментах с одиночным электроном, плененным в такой ловушке. Была разработана методика доплеровского охлаждения ионов, при которой на ионы или атомы светят лазерным лучом с частотой, близкой к резонансному рассеянию, но только те из них, которые двигаются с большой скоростью навстречу световому лучу, рассеивают свет, теряют энергию и тем самым охлаждаются. Методика была реализована группами Вайнленда с ионами  $Mg^+$  и Тошека с ионами  $Ba^+$ . Но температура иона в ловушке была слишком высокой, чтобы остановить ион, и Вайнленд разработал новую методику охлаждения – «охлаждение по боковой полосе частот», которая состоит в следующем.

Электронное облако в атоме или ионе имеет множество вариантов «упаковки» вокруг ядра. Вариант с наименьшей энергией называется

основным состоянием, он стабилен, а варианты с более высокой энергией (возбужденные состояния) спустя время превращаются в основное состояние с излучением фотона. Если атом находится внутри ловушки, то его поступательное движение тоже может иметь строго определенный вид: основное состояние, при котором ион замирает в центре ловушки (у него остается лишь квантовое дрожание, называемое «нулевыми колебаниями»), и ряд возбужденных состояний, которые отвечают перемещению туда – сюда со все большей амплитудой.

Физики умеют «прицельно» перебрасывать основное состояние электронной оболочки именно в то возбужденное состояние, которое необходимо, – для этого надо просто посветить на атом светом с нужной длиной волны. Оказывается, такая комбинация – мы возбуждаем атом так, как «нам нужно», а он выходит из этого состояния так, как «он привык», – позволяет охлаждать поступательное движение атомов. Повторяя эту процедуру несколько раз, мы можем погасить поступательное движение, «посадив» атом в основное состояние, и он не будет возбуждаться, поскольку ему некуда перескакивать.

Так в 1995 году, во многом благодаря достижениям группы Вайнленда, поступательное движение иона в ловушке подчинилось исследователям. Это позволило реализовать необычные квантовомеханические ситуации, остававшиеся до этого гипотетическими. Физики давно мечтали научиться передавать квантовую информацию от одного атома к другому – это один из первых шагов на пути к созданию квантового компьютера. Группа Вайнленда показала, как это можно сделать. Квантовую суперпозицию, которая до сих пор «жила» внутри иона, теперь можно было превратить в нечто «внешнее», в суперпозицию поступательного движения. А это значит, что если неподалеку находится ион, который связан с первым за счет электростатического взаимодействия, то он сможет воспринять и превратить ее в свою внутреннюю суперпозицию без потери когерентности, что и было достигнуто в 2003 году.

Пленение и контроль отдельных ионов имеет и другие практические применения. Охлажденные одиночные квантовые частицы могут стать сверхчувствительным сенсором внешних возмущений, а использование атомных переходов, которые малочувствительны к внешним возмущениям, позволит создать новый сверхстабильный стандарт частоты. Группа Вайнленда работает над этой задачей. Два года назад они сообщили о создании оптических часов, темп хода которых был измерен с относительной точностью  $10^{-17}$ . Сейчас уже обсуждается точность хода на уровне  $10^{-18}$ .

Сверхточный стандарт частоты позволяет замечать и использовать очень слабые физические эффекты. Согласно общей теории относительности, время течет по-разному в гравитационном поле разной напряженности. При удалении от поверхности Земли гравитационное поле начинает ослабевать, поэтому скорость хода часов, расположенных на разной высоте, будет отличаться. Группа Вайнленда сообщает, что ей удалось заметить это расхождение при разнице высот меньше 1 метра!

*Химия.* Роберту Лефковицу и Брайану Кобилка вместо премии по химии можно было бы дать премию по физиологии и медицине. Об этом свидетельствует и специализация лауреатов: Роберт Лефковиц – кардиолог, а Брайан Кобилка – выпускник медицинского факультета Йеля. К тому же за открытие и изучение G-белков Нобелевская премия была присуждена по физиологии или медицине в 1994 году Альфреду Гилману и Мартину Родбеллу.

Исследование нынешних лауреатов началось с того, что научный руководитель Лефковица решил использовать в экспериментах радиоактивно меченные лиганды (молекулы, на которые реагирует рецептор): светящаяся молекула, «прилипнув» к рецептору, должна была указать на его положение. Но реализовать этот план не удалось, и спустя два года бесплодных экспериментов Лефковиц переключил свое внимание на адреналин и его рецепторы.

К тому моменту было известно, что действие адреналина на клетки опосредуется особым типом белков – G-белками, то есть рецептор каким-то образом связывается с адреналином, определенным образом влияет на G-белок, который вызывает в клетке те или иные реакции. Оставался вопрос, каким образом?

На вооружении Лефковица была новая, разработанная им в период исследования лиганд, методика точного вычисления концентрации гормона. Спустя десятилетие однообразных экспериментов, в ходе которых ученые капали на клетки адреналином или его аналогами; измеряли соотношения концентраций различных веществ; подсчитывали термодинамические константы; исследовали взаимодействие белков, в 1980 году удалось разработать теорию функционирования рецепторов, сопряженных с G-белками.

В мембране клетки плавает адренорецептор. С внутренней стороны мембраны к нему слабо присоединен (или не присоединен вообще) G-белок, состоящий из трех субъединиц –  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , – и сцепленный с молекулой гуанозиндифосфата (GDP). Пока на рецептор снаружи не села молекула адреналина, он ведет себя мирно.

Но стоит рецептору встретиться с адреналином, как он крепко присоединяется к G-белку, активирует его и отделяется. Активация G-белка заключается в том, что в нем молекула GDP заменяется на молекулу гуанозинтрифосфата (GTP) и он распадается на две части –  $\alpha$ -субъединица, соединенная с GTP, плывет в одну сторону, а сцепленные вместе  $\beta$  и  $\gamma$  – в другую. Можно сказать, что соединившись с лигандом, молекула рецептора вначале притягивает к себе G-белок, а потом отталкивает его так, что этот белок разваливается на кусочки.

Две получившиеся части белка, встретившись с определенными молекулами (вторичными посредниками), вызывают их активацию (или, наоборот, деактивацию, это зависит от типа посредника), что приводит к реакциям, изменяющим судьбу клетки. Таким образом, присоединение одной молекулы к одному рецептору может вызвать гигантские клеточные перестройки. Причем, в зависимости от того, какой вторичный посредник попадетс соответствующей части белка, реакции в клетке могут быть разными. Далее субъединицы G-белка постепенно «приходят в себя»:  $\alpha$ -субъединица рано или поздно гидролизует GTP до GDP; это «выключает» ее активность, и она «мирится» с  $\beta\gamma$ -димером, воссоединяясь с ним. После этого вся история повторяется заново. Теория, объяснявшая работу адреналинового рецептора, была названа «теорией тройничного комплекса». Но это была только половина нынешнего нобелевского открытия.

Лефковиц поставил перед своими сотрудниками амбициозную задачу – найти ген, кодирующий адренорецептор, для того чтобы получить этот белок в больших количествах, разобраться в его структуре и понять, каким образом он связывается с лигандом, за счет чего отталкивает G-белок и почему плавает в мембране. Найти единственный ген в целом геноме было сложнее, чем отыскать иголку в стоге сена. За эту задачу взялся Брайан Кобилка, который отличался необыкновенным упорством, терпением и изобретательностью. Он (вместе с другими сотрудниками лаборатории) научился выделять этот рецептор в больших количествах, по частям расшифровал его аминокислотную последовательность, на основе этой последовательности по кусочкам собрал целый ген и смог его клонировать. Теперь у ученых была нуклеотидная последовательность гена  $\beta$ -адренорецептора, и к тому же они могли путем клонирования получать этот белок в неограниченных количествах.

Оказалось, что белок этот имеет семь трансмембранных доменов, столько же, сколько было у другого, несхожего с  $\beta$ -адренорецептором, реагирующего на свет рецептора родопсина. Это могло озна-

чать, что механизм работы этих двух рецепторов одинаков и описывается моделью тройничного комплекса. Стало понятно, что по принципу тройничного комплекса работают не только  $\beta$ -адренорецептор и родопсин, но и другие известные рецепторы (их известно около тысячи, они опосредуют общение между клетками; благодаря им мы обладаем слухом, зрением, осязанием, обонянием). Открылись огромные перспективы воздействия на эти рецепторы. Достаточно сказать, что почти половина производимых в настоящее время лекарств так или иначе влияет на эти рецепторы.

В течение последующих двадцати лет Брайан Кобилка пытался получить кристаллограмму  $\beta$ -адренорецептора в тот момент, когда он связывается с лигандом. Трудность состояла в том, что техника получения кристаллограмм была хорошо отработана только для водорастворимых белков, а  $\beta$ -адренорецептор является жирорастворимым. И только в 2011 году цель была достигнута.

*Физиология и медицина.* Джон Гардон в своем эксперименте заменил ядро яйцеклетки в икринке лягушки на ядро, взятое из клетки кишечника головастика. В результате из этой икринки выросла нормальная лягушка. До его работы считалось, что развитие организма – путешествие в один конец. Оплодотворенная яйцеклетка начинает расти, делиться, новые клетки превращаются в ткани – мышечную, кожную, нервную и так далее и, наконец, в органы. Таким образом, если клетка специализировалась, то она уже не станет плюрипотентной клеткой, из которой вырастет любая ткань. Во взрослом организме у каждой ткани есть так называемые стволовые клетки, отвечающие за обновление органов. Они делятся и дают нужный тип ткани. Гардон опроверг мнение, бытовавшее десятилетиями, что генетический механизм работает только в одну сторону. К открытию отнеслись скептически, но потом его воспроизвели в нескольких лабораториях, начались бурные исследования, которые привели к овечке Долли и технике клонирования млекопитающих. Окончательно утвердилось представление о том, что вся необходимая информация для целого организма сохраняется в геноме специализированных взрослых клеток и ее можно перевести в активное состояние. Учебники биологии были переписаны.

Но Гардон в своих экспериментах все же переносил ядро в яйцеклетку. Поэтому оставался вопрос: можно ли без всяких переносов перепрограммировать обычную клетку в плюрипотентную? На этот вопрос ответил доктор Синья Яманака. Его группа изучала культуру эмбриональных клеток – искала в них гены, отвечающие за способ-



ность оставаться стволовыми. Когда несколько таких генов были обнаружены, Яманака с сотрудниками стали вносить их в самые разные ткани в различных комбинациях и обнаружили, что простой набор из четырех генов может превратить обычную взрослую клетку в стволовую. В 2006 году они опубликовали результаты своих исследований, а такие перепрограммированные клетки стали называть «индуцированными плюрипотентными стволовыми клетками» (iPSC).

После этой работы началась настоящая погоня за новыми комбинациями генов и методами их переноса внутрь клеток: ведь из таких клеток можно вырастить ткани и органы и заменить ими поврежденные или больные. Причем это будут родные клетки пациента!

Тем не менее пока еще применять в медицине такие клетки нельзя: методы их программирования все еще не до конца безопасны.

В настоящее время многие ученые работают над тем, чтобы технологию репрограммируемых стволовых клеток можно было применять в фармацевтике и медицине. Одни ученые разрабатывают трансплантационную терапию при помощи iPSC, другие ищут новые лекарственные средства на основе тканей, полученных из соматических тканей пациентов, для токсикологических исследований и изучения причин различных болезней. Первые клинические испытания, по мнению доктора Синьи Яманака, директора Центра по исследованию и применению iPSC-клеток университета Киото, могут быть проведены в течение нескольких лет в Японии на пациентах с болезнями глаз, возрастной дегенерацией макулы (патология сетчатки). Группа доктора Мацо Такахаша из Центра биологии развития института физико-химических исследований уже работает над трансплантацией нескольким пациентам клеток сетчатки, полученных по технологии индуцированных плюрипотентных стволовых клеток. А институт Синьи Яманака планирует клинические испытания по лечению болезни Паркинсона, диабета и заболеваний крови. Впрочем, до начала испытаний нужно преодолеть немало проблем.

Одна из главных задач, над которыми работает группа Синьи Яманака, – разработка безопасного метода получения пригодных для клиники клеток. Важен и метод оценки качества клонов iPSC, так как даже клоны, полученные из одной и той же соматической клетки, различаются по характеристикам, поэтому надо уметь оценивать их качество.

По материалам сайта «Элементы» [Электронный ресурс]: <http://elementy.ru> и интервью Синьи Яманака журналу «Русский репортер». 2012. № 40. С. 36 – 37.

## Современное состояние проблемы озонового слоя Земли

Ю.Ю. Куликов

доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник ИПФ РАН



Хорошо известно, что озон защищает биосферу от ультрафиолетового излучения Солнца и значительно влияет на парниковый эффект. Озон  $O_3$  является единственным газом атмосферы, который эффективно поглощает солнечное излучение 250 – 300 нм. Такие органические макромолекулы, как ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), могут разрушаться при поглощении излучения в этом спектральном интервале. Таким образом, понижение содержания  $O_3$  может привести к серьезным биологическим последствиям. Поэтому вопрос о стабильности озонового слоя (максимум вертикального распределения  $O_3$  расположен на высоте от 18 до 25 км в зависимости от широты) является центральным в исследованиях средней атмосферы. По данной проблеме опубликовано большое количество работ, в которых высказывались различные предположения по поводу механизмов возникновения дефицита озона (озоновых дыр) над полярными регионами Земли. Вариации озона могут быть как следствием антропогенной деятельности, приводящей к насыщению атмосферы атомами хлора и брома, так и возможных изменений циркуляции атмосферы. Кроме того, периодический рост солнечной активности и интенсивности космического излучения может способствовать увеличению окислов азота и, следовательно, уменьшению  $O_3$ .

Озон образуется в верхней стратосфере в результате химических изменений, возникающих при поглощении ультрафиолетовой области спектра солнечного излучения. Преобладающая часть химических реакций протекает с участием кислорода, который присутствует в атмосфере преимущественно в виде двухатомных молекул  $O_2$ . Химические превращения при поглощении электромагнитного излучения осуществляются лишь в том случае, когда энергия излучения достаточна для разрыва связи между атомами в молекуле. Процесс, при котором поглощение излучения молекулой приводит к ее разрушению, называется фотодиссоциацией. Атомы, освободившиеся в процессе фотодиссоциации, обладают большой химической активно-

стью и являются активными центрами цепных реакций, приводящих к образованию новых частиц. В процессе фотодиссоциации молекул кислорода в атмосфере возникают две новые составляющие – атомарный кислород  $O$  и озон  $O_3$ .



где  $M$  – любая другая молекула в атмосфере.



Фотохимическая теория кислородного цикла (1 – 4) формирует озоновый слой с абсолютными концентрациями  $N_{O_3}$  около  $10^{12}$  мол/см<sup>3</sup>, с ростом высоты  $N_{O_3}$  увеличивается до  $\sim 10^{13}$  мол/см<sup>3</sup> на высоте 25 км и далее падает до  $10^{11}$  мол/см<sup>3</sup> на высоте 45 км. В относительном выражении концентрация  $O_3$ :  $\sim 0,5$  частей на миллион по объему (ppmv) на высоте 15 км, растет до  $\sim 8$  ppmv на высоте 35 км и падает до  $\sim 3$  ppmv на высоте 45 км. Весь озоновый слой имеет массу  $3 \times 10^{15}$  г, из которых 90% содержится в стратосфере.

Общее содержание озона (ОСО) в атмосфере, обозначаемое далее  $X$ , в вертикальном столбе воздуха определяется толщиной того слоя, который образовал бы весь озон в этом столбе, если его привести к нормальным условиям: давление  $P = 1013$  мб, температура  $T = 273,16$  К. Толщина этого слоя составила бы величину около 3 мм. В качестве единицы измерения ОСО используется 1 Добсон (1 Д.Е.), которая соответствует толщине слоя озона 0,01 мм или в абсолютном выражении  $2,7 \times 10^{16}$  молекул  $O_3$ /см<sup>2</sup>. По модели озоносферы для средних широт [1]  $X = 345$  Д.Е.

Единица названа в честь Г.М.Б. Добсона, который проводил пионерские исследования озона между 1921 – 1960 гг. Добсон изготовил стандартный прибор, который используется до сих пор для измерения озона с поверхности Земли. Спектрофотометр Добсона измеряет интенсивность солнечной ультрафиолетовой радиации на четырех волнах, одна пара из которых находится внутри полосы поглощения озона, а две другие волны находятся вне полосы поглощения [2].

Сегодня озон измеряется многими способами – самолетами, баллонами, спутниками и во время полетов космического челнока «Шаттл», а всемирная добсоновская сеть приборов является единственным источником длинных рядов данных наблюдений. Например, станция Ароза в Швейцарии проводит измерения озона, начиная с

1926 года [3]. Эта обсерватория имеет самый представительный ряд данных наблюдений ОСО в мире. По данным станции Ароза хорошо просматривается тенденция уменьшения ОСО, начиная с 1970-х гг. по настоящее время. Озоновый слой является наиболее тонким в тропиках – около 260 Д.Е., и его сезонные изменения там незначительны.

Таблица 1. Среднемесячные величины ОСО

Место расположения	ОСО, Д.Е.			
	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Уанкайо, Перу (12° ю.ш.)	255	255	260	260
Аспендэйл, Австралия (38° ю.ш.)	300	280	335	360
Ароза, Швейцария (47° с.ш.)	335	375	320	280
Санкт-Петербург, Россия (60° с.ш.)	360	425	345	300

Межгодовое среднеквадратичное отклонение общего содержания  $O_3$  составляет ~ 5 Д.Е. для Уанкайо и для Санкт-Петербурга ~ 25 Д.Е. [4].

Согласно реакции (4) озон разрушается, если атом кислорода и молекула  $O_3$  подвергнутся рекомбинации. Эта реакция очень медленная и если бы это был единственный механизм потерь озона, то толщина озонового слоя была бы в два раза больше. Некоторые газовые примеси, такие как окислы азота ( $NO$  и  $NO_2$ ), водорода ( $H$ ,  $OH$  и  $HO_2$ ) и хлора ( $Cl$ ,  $ClO$  и  $ClO_2$ ), могут значительно ускорить рекомбинацию. Количество озона в слое представляет собой конкуренцию между фотодиссоциацией и рекомбинацией. Таким образом, причиной уменьшения ОСО может быть рост концентрации катализаторов в атмосфере.

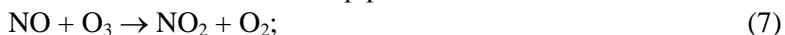
В 1970 году П. Крутцен высказал мнение, что баланс озона в стратосфере сильно зависит от окислов азота  $NO_x$ . Главным источником  $NO_x$  является реакция окисления закиси азота  $N_2O$ , которая образуется на поверхности Земли [5]. Закись азота образуется благодаря деятельности микроорганизмов в почве и океане. Газ этот инертен и диффундирует вверх в стратосферу через тропосферу. В стратосфере он распадается при реакции:



параллельно которой идет реакция:



Окись азота – сильный катализатор распада озона:

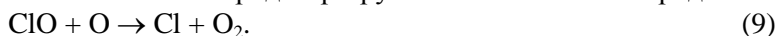


Кроме того, озон разрушается из-за фторхлоруглеводородов (ХФУ). Эта идея была высказана в 1974 году Молиной и Роуландом [6]. С ХФУ ничего не происходит в низких слоях атмосферы; они мигрируют в стратосферу и там разлагаются солнечным ультрафиолетом. Их радикалы вступают в химические реакции с другими веществами, выделяются радикалы хлора и брома, которые становятся катализаторами разрушения озона.

Атом хлора, образующийся в стратосфере, может реагировать с озоном, давая окись хлора:



Окись хлора участвует в двух основных реакциях в стратосфере. Реакция с атомным кислородом разрушает нечетный кислород:



Окись хлора может реагировать с окисью азота:



Реакции (9, 10) восстанавливают атом хлора, а реакции (8, 9) представляют собой важный каталитический цикл разрушения нечетного кислорода. Отметим, что атом Cl является катализатором, то есть он не расходуется в вышеприведенных реакциях. Каждый атом Cl, попавший в стратосферу, может разрушить тысячи молекул озона прежде чем он будет удален из обращения.

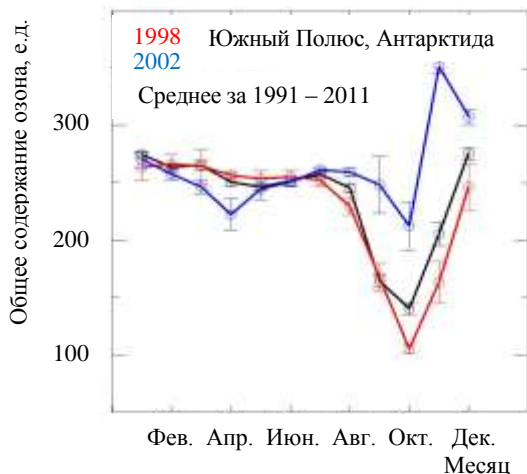
В 1995 году Нобелевской премией по химии были отмечены Крутцен, Молина и Роуланд за азотный и хлорный механизмы разрушения озона.

Озоновые дыры существуют в Южном и Северном полушариях. Озоновая дыра в Антарктиде открыта Британской антарктической службой с помощью спектрофотометра Добсона на станции Халли Бей в 1981 – 1983 гг. Английская экспедиция сообщила о значительном уменьшении полного содержания озона в октябре 1985 года [7]. Спутниковые измерения подтвердили, что весенние потери озона распространяются на весь антарктический континент. Исследования были продолжены Национальной озоновой экспедицией США на станции Мак-Мердо в 1986 и 1987 гг. Кроме того, НАСА задействовало в этих исследованиях стратосферную авиацию, которая совершала полеты над Антарктикой в 1987 году. Данные измерений показывают, что над Антарктидой ближе к концу весны озон разрушается почти полностью между уровнями 12 и 25 км. Современное объяснение озоновой дыры основано на том, что антропогенные ХФУ

попадают из Северного полушария в Южное полушарие и далее распадаются в стратосфере на активные составляющие, которые затем разрушают озон. Радикалы ХФУ «замораживаются» к полярным стратосферным облакам (высота около 20 км), которые образуются там из-за низкой температуры (ниже 200 К), а когда появляется Солнце, они отрываются от оттаявшего льда и уничтожают озон. Огромные размеры озоновой дыры над Антарктидой – следствие более слабой циркуляции воздуха, по сравнению с Северным полушарием нет обмена с воздухом атмосферы низких широт. Антарктида – приподнятый континент, имеющий среднюю высоту над уровнем моря 3 – 4 км. В результате возникает атмосферный фронт (циркумполярный вихрь), который препятствует интенсивному обмену воздушными массами.



**Рис. 1.** Запуск озонозонда на станции Амундсен-Скотт [2011ozonesonde1.jpg]



**Рис. 2.** Сезонный ход среднемесячных значений общего содержания озона над Южным полюсом (измерения баллонными озонозондами в течение 20 лет) [Антарктика.jpg]



**Рис. 3.** Мобильный микро-волновый озонометр на палубе ледокола «Капитан Драницын» на маршруте Мурманск – Северная Земля – Мурманск, август 2005 года [DSC\_9949.jpg]

В конце весны атмосфера прогревается, фронт разрушается, и приток воздуха из средних и тропических широт Южного полушария восстанавливает содержание озона над Антарктидой до нормы.

Для постоянного круглогодичного измерения общего содержания озона над Антарктидой с 1991 года на станции Амундсен-Скотт (Южный полюс) проводятся запуски озонозондов на баллонах. На рисунке 1 показан рабочий момент запуска озонозонда. Озонозонд это такой прибор, который *in situ* позволяет измерять вертикальное распределение озона до высот около 30 км с точностью порядка 5%. Таким образом, прибор контролирует поведение  $O_3$  на высоте максимума озонового слоя 15 – 18 км с высоким разрешением по высоте. На рисунке 2 приводятся среднемесячные данные об общем содержании озона в течение года за 20 лет измерений (кривая черного цвета). Обращает на себя внимание устойчивое снижение ОСО в течение трех месяцев (сентябрь, октябрь и ноябрь) с минимумом в октябре месяце. На протяжении 20 лет были измерены самое низкое ОСО в октябре месяце 1998 года (красная кривая) и наибольшее повышение ОСО в октябре 2002 года (синяя кривая). В 2012 году годовой ход ОСО был похож на ход 2002 года. Следует отметить, что сезонный ход ОСО в Антарктике имеет максимум летом, тогда как в Арктике максимум ОСО приходится на весну.

*Таблица 2.* Сезонные и региональные тренды ОСО в процентах на декаду за период 1979 – 1990 гг. для обоих полушарий [8]

Широта	Январь	Апрель	Июль	Октябрь	Место
65 с.ш.	–3,0	–6,6	–3,8	–5,6	Исландия
55 с.ш.	–4,6	–6,7	–3,1	–4,4	Москва, Россия
45 с.ш.	–7,0	–6,8	–2,4	–3,1	Миннеаполис, США
35 с.ш.	–7,3	–4,7	–1,9	–1,6	Токио, Япония
25 с.ш.	–4,2	–2,9	–1,0	–0,8	Майами, США
5 с.ш.	–0,1	+1,0	–0,1	+1,3	Сомали
5 ю.ш.	+0,2	+1,0	–0,2	+1,3	Новая Гвинея
25 ю.ш.	–2,1	–1,6	–1,6	–1,1	Претория
35 ю.ш.	–3,6	–3,2	–4,5	–2,6	Буэнос-Айрес
45 ю.ш.	–4,8	–4,2	–7,7	–4,4	Новая Зеландия
55 ю.ш.	–6,1	–5,6	–9,8	–9,7	Терра дель Фуэго
65 ю.ш.	–6,0	–8,6	–13,1	–19,5	П-ов Пальмер
65 ю.ш.	–6,0	–8,6	–13,1	–19,5	П-ов Пальмер

Данные об изменениях общего содержания озона над Южным полюсом, измеренные озонозондами, доступны всем заинтересованным лицам на сайте [http://esrl.noaa.gov/gmd/dv/spo\\_oz/](http://esrl.noaa.gov/gmd/dv/spo_oz/).

По данным наблюдений ОСО на высокоширотной станции Тромсе (Норвегия) в период между 1939 и 1989 годом не найдены долговременные изменения в содержании  $O_3$  [9]. В целом же за период с 1991 по 1993 год тренды на понижение озона увеличились. Спутниковые и наземные измерения показали заметное понижение ОСО зимой – весной 1992 – 1993 гг.

Что же будет с озоновыми дырами в будущем? Мировое сообщество в рамках Монреальского протокола в 1989 году ограничило и запретило выпуск фторхлоруглеводородов, и рост ХВУ приостановлен. В настоящее время величина и размеры озоновой дыры стабилизировались и согласно современным представлениям следует ожидать восстановления озонового слоя в Антарктике к 2050 году.

В конце 1960-х годов в практике измерения озона и других газовых примесей в средней атмосфере появились два перспективных метода – лазерная локация и пассивное микроволновое зондирование [10, 11]. Оба метода могут взаимно дополнять друг друга [12]. Наземные лазерные методы действуют в области высот 15 – 50 км, а микроволновые наблюдения дают информацию о вертикальном распределении  $O_3$  на высотах от 20 до 80 км. Метод микроволнового зондирования основан на наблюдениях резонансных линий молекул, имеющих вращательные спектры в диапазонах миллиметровых и субмиллиметровых волн. Микроволновые измерения в меньшей степени зависят от погодных условий и аэрозольной компоненты атмосферы в отличие от измерений в оптическом и инфракрасном диапазонах длин волн. Микроволновые спектральные приборы могут круглосуточно регистрировать вариации стратосферного озона с высоким временным разрешением.

В настоящее время мы являемся свидетелями заметных изменений в озоновом слое Земли. Для того чтобы иметь физическое понимание причин, вызвавших данное явление, необходимо продолжать накопление данных о состоянии озона на разных высотных уровнях. Особенно это касается полярных широт, где довольно значительны периоды времени (отсутствие или недостаточное количество солнечного света), когда нет информации от оптических спутниковых приборов о содержании  $O_3$ . Область высот от 20 до 80 км является наиме-



нее исследованной с точки зрения озона и всего семейства малых газовых составляющих (МГС). Микроволновая радиометрия способна обеспечить длинные ряды данных о поведении  $O_3$  в вышеуказанном интервале высот. Крупнейшим успехом последнего времени стали микроволновые измерения озона и МГС с борта космического аппарата UARS, которые были начаты в 1991 году, а с 2004 года до настоящего времени были продолжены с борта аппарата AURA [13, 14].

Крайне важным является создание мировой сети наземных станций микроволновой диагностики озонового слоя на высотах средней атмосферы от 20 до 100 км. Организация постоянных наблюдений на таких станциях, возможно, дала бы понимание того, как атмосферная циркуляция может влиять на вариации содержания озона от тропических до полярных широт. Кроме того, сеть микроволновых станций была бы весьма полезной для валидации спутниковых наблюдений малых составляющих средней атмосферы. В России (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород) на основе современных технологий разработан и изготовлен уникальный мобильный микроволновый озонметр [15]. Целью этой работы была попытка создать компактный микроволновый спектрометр, пригодный для работы в полевых условиях. Прибор предполагается использовать в качестве прототипа для сетевых измерений озона средней атмосферы. Новый озонметр был апробирован в полевых условиях в разных климатических зонах. Мобильный озонметр был задействован в исследовании возможного повреждения озонового слоя Земли при старте тяжелой ракеты на космодроме Байконур в августе 2004 года. Прибор был также использован в наблюдениях стратосферного озона в полярных широтах с борта ледокола «Капитан Драницын» на маршруте Мурманск – Северная Земля – Мурманск (протяженность маршрута 7500 км) с 9 по 24 августа 2005 года. Общий вид микроволнового озонметра на палубе ледокола показан на рисунке 3. Целью поездки было исследование вертикальной структуры озонового слоя на высотах средней атмосферы. Летом 2005 года в районе Северного полюса сформировалось необычайно низкое общее содержание озона с большой площадью покрытия. Возможной причиной понижения ОСО могли быть дополнительные окислы азота  $NO_x$ , которые появились в стратосфере после сильнейшей солнечной вспышки в январе 2005 года. В наблюдениях стратосферного озона в полярных широтах ( $70^\circ N - 81^\circ N$ ) с борта ледокола был по-

лучен важный результат – измерено низкое содержание  $O_3$  в интервале высот 22 – 60 км (в три раза меньшее среднестатистической летней величины для этих широт). При этом вертикальная структура распределения  $O_3$  была нарушена на высотах 22 – 35 км в сторону существенного уменьшения, что является свидетельством образования дефицита озона в Арктике [16].

В последние годы мы являемся свидетелями устойчивого уменьшения общего содержания озона в атмосфере Земли, но на фоне уменьшения содержания стратосферного озона происходит другой процесс – увеличение концентрации  $O_3$  в тропосфере [17]. Этот факт вызывает еще большее беспокойство, так как рост концентрации приземного озона происходит в слое воздуха, которым мы дышим. Озон является сильнейшим окислителем, поэтому превышение естественных плотностей  $O_3$  приведет к нежелательному воздействию на объекты биосферы (у человека поражаются органы дыхания и глаза, а у растений – листья).

Основным антропогенным источником образования озона в тропосфере (вблизи поверхности Земли) является реакция фотолиза двуокси азота  $NO_2$ :



за которым следует:



где  $O(^3P)$  – атом кислорода в основном состоянии.

Окислы азота  $NO_x = NO + NO_2$  антропогенного происхождения (процессы горения) попадают в тропосферу в большинстве случаев в виде окиси азота  $NO$ ; превращение  $NO$  в  $NO_2$  в атмосфере города происходит в течение нескольких часов. Окись азота редко достигает токсичных для человека уровней, так как легко окисляется в  $NO_2$ .

К числу последних достижений в исследованиях примесей тропосферы следует отнести измерения с использованием вагона-лаборатории [17]. В 1995 году в Институте физики атмосферы РАН и Институте химии Макса Планка (Германия) началась серия экспериментов по наблюдению распределения в атмосфере над континентом Евразии климатически наиболее важных газовых примесей. Первая экспедиция проводилась с 16 ноября по 2 декабря 1995 года с участием ВНИИ железнодорожного транспорта МПС России. В приземном воздухе измерялись концентрации  $O_3$ , окислов азота ( $NO$ ,  $NO_2$  и их сумма  $NO_x$ ), метана, сажевого аэрозоля, солнечная радиа-

ция и метеорологические параметры вдоль Транссибирской магистрали по маршруту Нижний Новгород – Хабаровск – Нижний Новгород. Основная задача эксперимента состояла в оценке возможности наблюдения малых примесей в атмосфере с движущегося вагона и в получении трансконтинентальных профилей распределения их концентраций над территорией России. Предварительный итог этого уникального эксперимента свидетельствует о том, что распределение примесей над континентальной территорией России является неоднородным, что отличается от их распределения над мировым океаном. Максимальные регистрировавшиеся значения концентрации  $O_3$  составляли 30 – 35 ppbv, минимальные находились на уровне чувствительности прибора 0 – 1 ppbv (усреднение 1 минута).

В заключение отметим главные направления исследований изменчивости атмосферного озона. К ним относятся:

- 1) тренды озона в стратосфере и тропосфере;
- 2) качество данных и стандартизация методов наблюдения  $O_3$ ;
- 3) прогноз общего содержания озона;
- 4) влияние уменьшения озона на солнечную ультрафиолетовую радиацию, достигающую поверхности Земли.

#### Литература

1. *Krueger A.J., Minzner R.A.* A mid-latitude ozone model for the 1976 U.S. Standard Atmosphere // *J. Geophys. Res.*, 81, N 24, 4477, 1976.
2. *Dobson G.M.B.* Forty years research on atmospheric ozone at Oxford // *Applied Optics*, 7, 387, 1968.
3. *Staehelin J., Renaud A., Bader J., McPeters R., Viatte P., Hoegger B., Bugnion V., Giroud M., Schill H.* Total ozone series at Arosa (Switzerland): Homogenization and data comparison // *J. Geophys. Res.*, 103, D5, 5827, 1998. [Электронный ресурс]: <http://www.lapeth.ethz.ch/doc/totozon.html>.
4. *Rowland F.S.* Stratospheric ozone depletion // *Ann. Rev. Phys. Chem.*, 42, 731, 1991.
5. *Crutzen P.J.* The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 96, N 408, 320, 1970.
6. *Molina M.J., Rowland F.S.* Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalyzed destruction of ozone // *Nature*, 249, No. 5460, 810-812, 1974.
7. *Farman J.C., Gardiner B.G., Shanklin J.D.* Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal  $Cl_x/NO_x$  interaction // *Nature*, 315, 207, 1985.
8. *Herman J.R., McPeters R., Larko D.* Ozone depletion at northern and southern latitudes derived from January 1979 to December 1991 TOMS data // *J. Geophys. Res.*, 98, 12783, 1993.
9. *Larsen S.H., Henriksen T.* Persistent Arctic ozone layer // *Nature*, 343, 134, 1990.

10. *Caton W.M., Welch W.J., Silver S.* Absorption and emission in the 8-millimeter region by ozone in the upper atmosphere // *J. Geophys. Res.*, 72, N 24, 6137, 1968.
11. *McDermid I.S.* A 4-year climatology of stratospheric ozone from lidar measurements at Table Mountain, 34.4° N, // *J. Geophys. Res.*, 98, 10509, 1993.
12. *Parrish A., Connor B.J., Tsou J.J., McDermid I.S., Chu W.P.* Ground-based microwave monitoring of stratospheric ozone // *J. Geophys. Res.*, 97, 2541, 1992.
13. *Waters J.W., Froidevaux L., Read W.G., Manney G.L., Elson L.S., Flower D.A., Jarnot R.F., Harwood R.S.* Stratospheric ClO and ozone from the Microwave Limb Sounder on the Upper Atmosphere Research Satellite // *Nature*, 362, 597, 1993.
14. *Waters, J.W., Froidevaux L., Harwood R.S., Jarnot R.F., Pickett H.M., Read W.G., Siegel P.H., Cofield R.E., Filipiak M.J., Flower D.A., Holden J.R., Lau G.K., Livesey N.J., Manney G.L., Pumphrey H.C., Santee M.L., Wu D.L., Cuddy D.T., Lay R.R., Loo M.S., Perun V.S., Schwartz M.J., Stek P.C., Thurstans R.P., Boyles M.A., Chandra S., Chavez M.C., Chen G-S., Chudasama B.V., Dodge R., Fuller R.A., Girard M.A., Jiang J.H., Jiang Y., Knosp B.W., LaBelle R.C., Lam J.C., Lee K.A., Miller D., Oswald J.E., Patel N.C., Pukala D.M., Quintero O., Scaff D.M., Snyder W.V., Tope M.C., Wagner P.A., Walch M.J.* The Earth Observing System Microwave Limb Sounder (EOS MLS) on the Aura satellite. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 44, N 5, 2006.
15. *Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Щитов А.М.* Микроволновые приемники для диагностики малых газовых составляющих земной атмосферы // *Известия РАН. Сер. физическая*. Т. 67. 2003. № 12. С. 1788 – 1792.
16. *Kulikov Y.Y., Krasilnikov A.A., Shchitov A.M.* New mobile ground-based microwave instrument for research of stratospheric ozone (some results of observation) // *The Sixth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'07) Proceedings, Kharkov, Ukraine, June 25 – 30, 2007. V. 1. P. 62 – 66.*
17. *Oltmans S.J., Lefohn A.S., Scheel H.E., Harris J.M., Levy II H., Galbally I.E., Brunke E.-G., Meyer C.P., Lathrop J.A., Johnson B.J., Shadwick D.S., Cuevas E., Schmidlin F.J., Tarasick D.W., Claude H., Kerr J.B., Uchino O., Mohnen V.* Trends of ozone in the troposphere // *Geophys. Res. Lett.* 25, N 2, 139, 1998.
18. *Крутцен П.Й., Голицын Г.С., Еланский Н.Ф., Бреннинкмейер К.А.М., Шарффе Д., Беликов И.Б., Елохов А.С.* Наблюдения малых примесей в атмосфере над территорией России с использованием железнодорожного вагона-лаборатории // *Доклады Академии наук*. 1996. № 6. С. 819 – 823.

## Письмо к молодежи

И.П. Павлов

Что бы я хотел пожелать молодежи моей родины, посвятившей себя науке?

**Прежде всего – последовательности.** Об этом важнейшем условии плодотворной научной работы я никогда не могу говорить без волнения. Последовательность, последовательность и последовательность. С самого начала своей работы приучите себя к строгой последовательности в пополнении знаний.

Изучите азы науки, прежде чем пытаться взойти на ее вершины. Никогда не беритесь за последующее, не усвоив предыдущего. Никогда не пытайтесь прикрыть недостатки своих знаний хотя бы и самыми смелыми догадками и гипотезами. Как бы ни тешил ваш взор своими переливами этот мыльный пузырь, он неизбежно лопнет, и ничего кроме конфуза у вас не останется.

Приучите себя к сдержанности и терпению. Научитесь делать черную работу в науке. Изучайте, сопоставляйте, накапливайте факты.

Как ни совершенно крыло птицы, оно никогда не могло бы поднять ее ввысь, не опираясь на воздух. Факты – это воздух ученого. Без них вы никогда не сможете взлететь. Без них ваши «теории» – пустые потуги.

Но изучая, экспериментируя, наблюдая, старайтесь не оставаться у поверхности фактов. Пытайтесь проникнуть в тайны их возникновения. Настойчиво ищите законы, ими управляющие.

**Второе – это скромность.** Никогда не думайте, что вы уже все знаете. И как бы высоко ни оценили вас, всегда имейте мужество сказать себе: я невежда. Не давайте гордыне овладевать вами. Из-за нее вы будете упорствовать там, где нужно согласиться, из-за нее вы откажетесь от полезного совета и дружеской помощи, из-за нее утратите веру в объективность.

В том коллективе, которым мне приходится руководить, все делает атмосфера. Мы все впряжены в одно общее дело, и каждый двигает его по мере своих сил и возможностей. У нас зачастую и не разберешь – что «мое», а что «твое», но от этого наше общее дело только выигрывает.

**Третье – это страсть.** Помните, что наука требует от человека всей его жизни. И если бы у вас было две жизни, то их бы не хватило вам. Большого напряжения и великой страсти требует наука от человека. Будьте страстны в вашей работе и ваших исканиях.

## Вопросы для размышления

### I. Самоконтроль

1. Какое событие в жизни Альфреда Нобеля стало отправной точкой в создании Нобелевского фонда?
2. Докажите на примере биографии А. Нобеля тезис о том, что талантливый человек талантлив во многом.
3. Что объединяет научные открытия, за которые были присуждены Нобелевские премии 2012 года по естественнонаучным направлениям?

### II. Критическое мышление

1. Предположим, что вы должны опровергнуть утверждение американского писателя-фантаста А. Азимова о том, что человечество умудрялось искажать практически каждое научное достижение. Могли бы вы сделать это, используя информацию о научных открытиях, с которыми познакомились в данной главе сборника?
2. В научном мире сложились два принципиально разных взгляда на ответственность ученого за свои открытия. Первый – «нейтральность науки» (Плиний Старший, I в. н.э. – «Естественная история») – предполагает, что наука осуществляет поиск истины, и ученый не несет ответственности за то, как другие используют его открытия, ответственность за применение научных результатов лежит на власти, промышленности, бизнесе. Вторая позиция – ответственность за научные достижения (А. Эйнштейн, 1947 год) – ученый отвечает за те негативные последствия, которые может принести его открытие. Поэтому если общество не готово принять и правильно использовать достижения науки, их не следует публиковать. Используя свои знания, выберите одну из позиций, объясните свой выбор.
3. Вообразите, что вам сложно организовать себя, занимаясь исследованием или чтением научной литературы. Используя советы И.П. Павлова, опишите, что бы вы сделали для того, чтобы работа стала интересной и успешной. В своем ответе сошлитесь на факторы, названные ученым.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
НАУЧНОЕ РУКОВОДСТВО КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕ- ЯТЕЛЬНОСТЬ	
<i>Ермилин А.И., Ермилина Е.В.</i> Образы науки и ученого в представлении школьников .....	7
<i>Ермилин А.И., Ермилина Е.В.</i> От ученичества – к тьюторству: руководство научно-исследовательской работой школьников .....	14
Заповеди психологической педагогики (и в шутку, и всерьез) [Из книги В. Зинченко «Живое знание»] .....	19

## ФИЗИКА

<i>Балагуров Владимир.</i> Моделирование движения капель воды при ветро- волновом взаимодействии .....	24
<i>Грошева Ксения.</i> Исследование характеристик дифракционных решеток ...	29
<i>Ермилин Елисей.</i> Определение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн .....	33
<i>Ермолаев Артем.</i> Повышение информативности ОКТ-изображений бумаги	36
<i>Калынова Елизавета.</i> Микросканер эндоскопического зонда для прибора оптической когерентной томографии .....	40
<i>Квак Дмитрий.</i> Исследование неоднородности распределения интенсив- ности в лазерном ноже системы подсветки PIV-анемометрического комплекса .....	44
<i>Логинова Дария.</i> Составные дифракционные решетки для сверхмощных лазерных систем .....	49
<i>Надришина Яна.</i> Явление электромагнитной индукции в системе двухкоак- сиальных соленоидов .....	53
<i>Паршина Наталья.</i> Исследование некоторых особенностей механических свойств неньютоновской жидкости .....	58
<i>Преображенский Глеб.</i> Наблюдение подъема ферромагнитной жидкости в капиллярах в присутствии магнитного поля .....	63
<i>Рябинин Иван.</i> Эффект разрыва капли кулоновскими силами .....	66
<i>Савкин Сергей.</i> Исследование влияния свойств жидкостей на частоту звуча- ния сосуда с жидкостью .....	71
<i>Самсонов Александр.</i> Исследование теплозащитных свойств зимней обуви	76
<i>Терешкина Дарья.</i> Интерференционный метод измерения фазовых искаже- ний, вносимых различными оптическими компонентами лазерных установок .....	81
<i>Титова Софья.</i> Исследование влияния примесей спирта на совершение работы газом .....	85
<i>Фомин Всеволод.</i> Спекл-контрастная визуализация кровеносных сосудов ..	88

<i>Щенникова Анастасия.</i> Исследование сферической аберрации плоско-выпуклой линзы .....	92
--	----

## АСТРОНОМИЯ

<i>Кабаев Кирилл.</i> Фотометрические исследования катаклизмической переменной ER UMa .....	98
---	----

## ХИМИЯ

<i>Гуцин Тимофей.</i> Проточно-инжекционная кондуктометрия: определение карбонатной щелочности снеготалых вод .....	106
<i>Демидов Даниил.</i> Изучение окислительно-восстановительных реакций и условий их протекания .....	111
<i>Краснова Анастасия.</i> Коллоидно-химические свойства амфифильных акриловых сополимеров .....	116
<i>Пименов Владимир.</i> Рентгенофлуоресцентный анализ монетных сплавов .....	122
<i>Прокопенко Марина.</i> Химические методы контроля качества молока .....	128
<i>Слепченков Александр.</i> Укрепление текстильных материалов водорастворимыми акриловыми сополимерами .....	132

## БИОФИЗИКА

<i>Глявина Мария.</i> Исследование микроструктуры и спектральных характеристик растений методом лазерной сканирующей флуоресцентной микроскопии .....	138
<i>Каменская Элина.</i> Тепловизионное исследование нейробиологического взаимодействия симметричных зон при односторонней холодовой стимуляции .....	144
<i>Кочаровская Милита.</i> Влияние изменения оптической системы глаза при близорукости на пороги цветоразличения .....	150
<i>Кузьминых Александра.</i> Оценка эффективности телесно-ориентированной терапии по функции цветоразличения .....	154

## ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА

<i>Смирнова Марина.</i> Моделирование автомобильных пробок .....	160
--	-----

## МАТЕМАТИКА

<i>Иванова Анастасия.</i> Сечение поверхностей второго порядка .....	164
<i>Кудряшова Дарья.</i> Кривые Уатта .....	169

## НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ

Ученые: что мы знаем о них? .....	175
Альфред Нобель .....	177
Нобелевская премия 2012 года .....	185
<i>Куликов Ю.Ю.</i> Современное состояние проблемы озонового слоя земли ..	194
<i>Павлов И.П.</i> Письмо к молодежи .....	205
Вопросы для размышления.....	206