

# **Школа юного исследователя**

Сборник  
исследовательских работ учащихся

*Выпуск 3*

Нижний Новгород  
2010

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

**Школа юного исследователя** : Сборник исследовательских работ учащихся – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2011. – ISBN 978-5-93530-289-4.  
Вып 4 / Под общ. ред. А.И. Ермилина. – 188 с.  
ISBN 987-5-93530-331-0

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

Рецензенты :  
доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН *В.Ф. Вдовин*,  
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИПФ РАН *А.М. Рейман*

Рисунки *Кирилла Фильченкова*

Сборник статей по результатам исследовательской деятельности школьников и исследовательские работы учащихся – призеров IV итоговой конференции школьников «В мире знаний», прошедшей в апреле 2010 года в ИПФ РАН.

ISBN 987-5-93530-331-0 (вып. 3)  
ISBN 987-5-93530-289-4

© Научно-образовательный комплекс ИПФ РАН, 2010  
© Оформление. ИП Гладкова О.В., 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Знакомство с биографиями отечественных ученых и исследователей показывает, что основы их профессионального пути были заложены еще в детские годы. Природное детское любопытство трансформируется в познавательную потребность быстрее в условиях, когда образовательная среда выступает в качестве стимула этого процесса. Какие же факторы влияют на формирование личности будущего ученого? Что служит отправной точкой для становления исследователя?

В развитии ранних детских увлечений велика роль книги. Так Игорь Иванович Сикорский, будучи ребенком, увидел в книге проект вертолета, созданный в XVI веке. Рисунок поразил воображение мальчика. Прошли годы, и в 1939 году инженер Игорь Сикорский прославился на весь мир как изобретатель вертолета. Автором проекта, с которого началась мечта Игоря Сикорского о полетах, был Леонардо да Винчи.

Основатель российской физиологической школы, лауреат Нобелевской премии в области медицины и физиологии 1904 года Иван Петрович Павлов считал, что началом его пути в науку было хотя и не осознаваемое, но давнишнее, испытанное еще в юношеские годы, влияние брошюры Ивана Михайловича Сеченова «Рефлексы головного мозга».

Академик Владимир Николаевич Образцов, посвятивший жизнь проектированию железнодорожных станций и узлов, утверждал, что интерес к технике у него появился при изготовлении строительных моделей и макетов. «Мы все зачитывались в те времена (период 6 – 7 класса) книгой Мордовцева «Сагайдачный», очень интересуясь Запорожьем и турецкими городами, на которые делал набег Сагайдачный. Вот я и начал делать макеты городов, вооружения... Я делал механические приспособления для передвижения войск. Одна из таких машин еще и сейчас волнует меня. Я мечтал с помощью гири и канатика не только создать постоянное движение, но и менять направление этого движения... Эта работа, между прочим, дала мне прекрасное понимание начертательной геометрии, и в дальнейшем я был одним из лучших студентов по начертательной геометрии и даже преподавателем этого предмета».<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Образцов, В.Н. Как я выбирал специальность // Юный техник. 1976. № 1. – С. 26.

Научный руководитель Института физики твердого тела РАН академик Юрий Андреевич Осипьян вспоминал: «Помню, как в школьные годы книга «Рассказы о науке и ее творцах» произвела на меня ошеломляющее впечатление. Помню, кажется, каждую строчку увлекательнейшего описания теоретических работ Ландау и экспериментов Капицы и Шальникова по сверхпроводимости и сверхтекучести. Опыты Капицы захватили дух красотой и совершенной логикой. Вместе с учеными шаг за шагом я прошел путем их рассуждений и вместе с ними решал, почему надо поступать так, а не иначе. Статьи я переписал от руки – постоянно возвращаясь к ним. Недавно, когда вел семинар на физтехе, пользовался своими школьными записями... Спустя годы можно признаться: те статьи предопределили выбор жизненного пути. Я твердо решил стать физиком, более того, решил заниматься физикой низких температур».<sup>2</sup>

Для становления личности будущего ученого огромное значение имеет общение с увлеченным человеком, который учит мыслить и анализировать, сомневаться и доказывать, делать выбор и изобретать. Автор уникальных исследований по физике Солнца, вице-президент Международного астрономического союза академик Андрей Борисович Северный вспоминал: «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 дей-

---

<sup>2</sup> Горский, В.А. Живое образование. – М.: ООО «ПРИНТ», 2007. – 341 с. – С. 118.

ственным и надежным инструментом осмысления своих же научных результатов».<sup>3</sup>

Началом научного интереса может стать также яркое событие детства, посещение места, интересного с научной точки зрения. Например, геохимик и минералог Александр Евгеньевич Ферсман, именем которого назван Минералогический музей в Москве, наиболее яркое впечатление детства связывает с посещением Венского естественноисторического музея и его минералогической коллекции.

Однако ничто не может заменить испытанный однажды восторг изобретателя. Основоположник космонавтики Константин Эдуардович Циолковский, в 14 лет изучив самостоятельно курс физики, строил различные действующие модели, занимательные игрушки и оригинальные приборы. «И я придумал такую машину. Она состояла из закрытой камеры или ящика, в котором вибрировали вверх ногами два твердых эластичных маятника с шарами на вибрирующих концах. Они должны были описывать дуги, и центробежная сила шаров должна поднимать кабину и нести ее в небесное пространство. Придумав такую машину, я был в восторге от своего изобретения, не смог усидеть на месте и пошел развеять душившую меня радость на улицу. Бродил часа два, размышляя и проверяя открытие. Увы, уже дорогой понял, что заблуждаюсь: от работы маятника будет сотрясение да и только. Однако недолгий восторг был так силен, что я всю жизнь видел этот прибор во сне, я поднимался на нем с великим очарованием».<sup>4</sup> Именно самостоятельные исследования влекут ребенка к наблюдениям, к опытам над свойствами отдельных предметов, что в итоге дает прочный фундамент фактов, а не слов для постепенной ориентации детей в окружающем, для построения прочного здания знаний и созидания в собственном сознании научной картины мира. Важно и то, что этот процесс наиболее полно отвечает потребностям активной детской натуры, он непременно окрашивается положительными эмоциями.

Таким образом, если в детстве были созданы условия для проявления природных задатков и способностей, своевременно была организована встреча любознательного ребенка с увлекательной книгой,

---

<sup>3</sup> Горский, В.А. Российские научно-технические общества // Теория и практика дополнительного образования. 2007. № 7. – С. 48.

<sup>4</sup> Голованов, Я. Дорога на космодром: Мечта. Опыт. Дело. – М.: Дет. лит., 1982. – 551 с.

интересным человеком, хорошим учителем, то мы с большой долей вероятности можем говорить о становлении личности будущего ученого.

Пространство подготовки современного ученого – это гуманитарная «территория», особенности которой определяются материальными объектами и событиями духовной жизни. «Образовательное странствие» современного школьника в мире науки – «это путешествие в стране духа, в мире человеческой культуры».<sup>5</sup> Формирование готовности к научной деятельности осуществляется исключительно в процессе живого общения с реалиями науки. Именно такое общение рождает страстное увлечение наукой – основу научного призвания. Маршруты, составляющие образовательные странствия школьника, предполагают встречи с учеными и, что очень существенно, формируют у подростка отзывчивость на новые течения научной мысли и новые социальные идеи. «Стремление в учении делать не только то, что установлено учебным планом, но и активная интеллектуальная работа, увлеченность в поисках проблем, раннее приобщение к исследовательской и научной работе, познание вкуса самостоятельно добытых знаний выделяют тех, кто со временем готовы будут отдать себя научному творчеству».<sup>6</sup>

Важной составляющей научного образования сегодня становится не только свежесть взгляда на познавательные проблемы, но и процесс ученичества в его исходном значении, то есть ученичество у специалиста, ученого, исследователя, мастера. Это особый вид общения, основу которого составляет не обмен информацией, а передача личностных способов мышления, своего рода неявного знания. «Юный ученый должен научиться самостоятельно, непосредственно воспринимать свой предмет, находить его, переживать, узнавать, созерцать, исследовать. А опытный ученый должен передавать ему это искусство».<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Гессен, С.И. Основы педагогики. Введение в прикладную философию. – М.: Школа-Пресс, 1995. – 448 с. – С. 318.

<sup>6</sup> Лернер, П.С. Путь к вершинам творчества //Наука и молодежь: Сборник материалов Российской открытой научно-практической конференции «Мотивационно-ценностные подходы привлечения молодёжи в науку». – Обнинск, 2004. – 194 с. С. 80.

<sup>7</sup> Ильин, И.А. Наши задачи. Собр. соч. в 10 т. Т. 2, кн.1. – М.: Русская книга, 1993. – 496 с. – С. 51 – 52.

Процесс поиска заинтересованных детей, организация их встреч со значимым событием или человеком науки, обучение самостоятельной исследовательской работе лежат в основе деятельности Школы юного исследователя (ШЮИ) Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Ежегодно в ШЮИ занимается 50 школьников 7 – 11-х классов. Под руководством научных сотрудников академических институтов и вузов, преподавателей школ школьники выполняют учебные исследования по физике, астрономии, математике, химии, информатике, истории науки, результаты которых представляют на итоговой весенней конференции «В мире знаний». За пять лет существования ШЮИ 36 выпускников стали студентами профильных факультетов вузов, многие ученики ежегодно становятся победителями и призерами всероссийских и международных научных конкурсов и конференций. Развитие интереса к профессионально-научной деятельности обеспечивается в ШЮИ инициированием самостоятельного научного творчества школьников, а чувство принадлежности к научному миру, общение и признание представителями «настоящей, большой» науки позволяют подростку увидеть свою дорогу в этом мире.

Подводя итоги пятилетнего периода становления и развития Школы юного исследователя, мы должны определить ее место в системе научного образования школьников, проанализировать возникшие в ходе работы проблемы и наметить пути их решения. Этим вопросам посвящена первая глава настоящего сборника.

В следующих главах сборника публикуются исследования учащихся ШЮИ, выполненные в 2009/2010 учебном году и представленные на IV итоговой конференции исследовательских работ школьников «В мире знаний» 9 апреля 2010 года. Авторы шести публикуемых работ стали победителями и 11 – призерами городской конференции НОУ «Эврика». Работы Александра Слепченкова, Полины Шалаевой, Антона Кутлина и Михаила Бояркина стали призерами Международной научной конференции школьников «X Колмогоровские чтения». Дипломы победителей Международной научной конференции школьников «XX Сахаровские чтения» получили Антон Кутлин за хорошее владение современными методами экспериментальной физики, Всеволод Лебедев за эффектную демонстрацию взаимосвязи электрических и механических явлений, Александр Раксин за успешное моделирование природных явлений в лабора-

торных условиях. Работа Всеволода Лебедева «Двигатель Герца – Квинке» стала победителем первого интернет-конкурса юных исследователей «Попробуй ответить сам!», а работа Полины Шалаевой «Измерение волнового фронта оптического излучения методом сканирования углового спектра» победила в четвертом областном конкурсе молодежных инновационных команд «РОСТ».

Заключительная глава сборника обращена к юным исследователям. В ней представлены статьи о науке Макса Вебера, Ивана Александровича Ильина и нашего современника академика Анатолия Леонидовича Бучаченко. Знакомя юных читателей с их взглядами, мы предлагаем обсудить вопросы, возникающие у молодых людей при выборе профессии ученого, а также продемонстрировать блестящие образцы научного творчества. Надеемся на то, что эти публикации помогут определить свой путь в науке будущему поколению исследователей.

*А.И. Ермилин*



# **Вопросы организации исследовательской деятельности школьников**



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

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

*В настоящее время одной из самых актуальных задач государственной политики в сфере образования и науки является разработка комплекса мер, направленных на повышение привлекательности научной сферы для молодежи.*

Доклад о положении молодежи в научной и научно-педагогической сферах России.  
Координационный Совет по делам молодежи  
в научной и образовательных сферах. 2007.

*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. Здесь возможны любые формы и могут быть использованы самые разные программы.*

Д.А.Медведев.  
Отчет о заседании президиумов Государственного совета,  
Совета по культуре и искусству и Совета по науке,  
технологиям и образованию. 22 апреля 2010.

## **Модели научного образования школьников : идеи, опыт, перспективы**

*А.И. Ермилин*

кандидат педагогических наук,  
директор детского образовательно-  
оздоровительного лагеря  
им. Н.С. Талалушкина  
Института прикладной физики РАН



Система научного образования молодежи испытывает сегодня внешние и внутренние трудности становления. Настоящий этап развития научного образования можно назвать переходным, так как новое в его содержании и способах еще не стабилизировалось, но уже имеет позиции, не учитывать которые нельзя, но и отказываться от старого еще рано.

Под научным образованием мы понимаем диалогическое взаимодействие или межсубъектный обмен знаниями, способами деятельности, переживаниями, ценностями и смыслами между двумя поколениями: состоявшихся ученых и молодым поколением школьников, студентов, аспирантов. Обсуждение особенностей современной практики научного образования может способствовать не только выявлению трудностей становления этой системы, но и оформлению новых идей в содержании обучения и научном воспитании, их формах и методах.

Существование и функционирование системы научного образования школьников подчиняются принципу дополнительности. Современная теория образования в поисках новых объяснительных моделей все более очевидно опирается не на смену ценностных приоритетов, а на их единство, интеграцию и целостность. Именно с этими процессами мы связываем разработку принципа дополнительности применительно к методологическим ценностям, содержанию, методам дополнительного научного образования школьников.

Концепция дополнительности, представленная выдающимся датским физиком Нильсом Бором в докладе «Единство человеческого знания» на Международном конгрессе по фармацевтическим наукам в Копенгагене 29 августа 1960 года, давала автору надежду на новую точку опоры для решения ряда фундаментальных проблем, «общих

для многих областей познания – будь то физика, физиология, психология или философия».<sup>1</sup> Впервые концепция дополнительности была заявлена Н. Бором в Копенгагене в 1932 году на Международном биологическом конгрессе по световой терапии. «Данные при разных условиях опыта не могут быть охвачены одной-единственной картиной; эти данные должны рассматриваться как дополнительные в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать полное представление о свойствах объекта»<sup>2</sup>. Раскрыв понятие дополнительности на примере квантовой физики, Н. Бор распространил его на биологические и социальные науки (по Бору дополнительны описания целого и его частей).

Дополнительность как новую точку опоры для оценки и решения ряда фундаментальных проблем активно осваивает в наши дни педагогическая теория. Наука предполагает целостное, рациональное сознание, которое разворачивается последовательно. Принцип дополнительности дает возможность рассматривать научное образование как последовательность процессов школьного и общественного воспитания, общего и дополнительного обучения. Это приводит к пониманию современной школы лишь как одного из многих институтов воспитания, лишившегося монополии в образовании, но сохранившего приоритет в систематическом обучении. Взаимодействие образовательных систем школьной и внешкольной научной подготовки должно строиться на «принципе комплементарности (от лат. *complementum* – средство пополнения – связь взаимодополняющих друг друга структур), который проявляется в достижении единства целей, общей мотивации достижения, сопряженных действиях, согласовании образовательных программ, ориентации на единый конечный результат с использованием опыта гибкого взаимодействия систем».<sup>3</sup> По мнению сторонников дополнительности в решении практических задач современного образования, объединение различных образовательных систем не только не приводит к нивелиро-

---

<sup>1</sup> Холтон, Дж. Тематический анализ науки / Дж. Холтон. – М.: Прогресс, 1981. – 382 с. – С. 202.

<sup>2</sup> Бор, Н. Дискуссия с Эйнштейном по проблемам теории познания в атомной физике // Избр. науч. труды. Т. 2. – М.: Наука, 1971. – С. 407.

<sup>3</sup> Викулина, М.А. Принцип комплементарности в достижении образовательных задач / Проблемы теории и практики подготовки современного специалиста: Межвузовский сборник научных трудов / Под. ред. М.А. Викулиной. – Вып. 9. – Н.Новгород: НГЛУ им. Н.А. Добролюбова, 2009. – 212 с. – С. 5.

ванию их специфики, но за счет взаимного обогащения расширяет возможности, развертывая потенциал образовательного пространства в целом.

В отечественной образовательной практике можно выделить пять относительно самостоятельных моделей научного образования школьников: «университетская», «академическая», «профильная», «интеграционная» и «творческая» школы, которые насыщены «дополнительностью одновременно несовместимых и несводимых друг к другу способов и путей познания».<sup>4</sup>

1. *Университетская школа.* Специализированные учебно-научные центры, созданные путем интеграции старшей школы и вузов.

В настоящее время в России существует четыре таких авторских школы. Одна из них – школа, основанная выдающимся ученым, академиком А.Н.Колмогоровым в 1963 году для одаренных старшеклассников. Сегодня это Специализированный учебно-научный центр при МГУ. Вот уже более сорока лет школа академика Колмогорова дает ученикам профильное физико-математическое, информационное, химическое и биологическое образование.

Организация учебного процесса в специализированных учебно-научных центрах приближена к классической «вузовской» системе: лекции, семинары, практические занятия, сессии, что снимает проблемы «адаптации», через которые проходит основная масса первокурсников. Все учителя являются преподавателями вуза. Развитие научных интересов и вовлечение школьников в исследовательскую деятельность идет двумя путями: изучение школьной программы и дополнительные занятия: в школе им. А.Н.Колмогорова спецкурсы и научные семинары по исследовательской деятельности составляют 70 часов в неделю. У школьников есть возможность выбора научного семинара в соответствии со своими научными интересами. Практика показывает, что свыше 80% выпускников подобных специализированных центров продолжают свое образование в базовых вузах, а остальные успешно поступают в другие ведущие вузы страны.

2. *Интеграционная школа.* Образовательные учреждения, созданные путем интеграции общей средней школы и учреждений дополнительного образования.

---

<sup>4</sup> *Оппенгеймер, Р.* Science and the Common Understanding. Цит. по Дж. Холтону. Тематический анализ науки. – М.: Прогресс, 1981. – 382 с. – С. 204.

Интеграция обычно определяется, во-первых, как процесс соединения в целое каких-либо элементов, во-вторых, как состояние связанности отдельных дифференцированных частей и функций системы. Во втором случае это понятие имеет более глубокое содержание, означая процесс создания (и состояние) качественно новой системы путем соединения в органическое целое двух или более систем, структурных элементов и функций. Важно, что эффективность функционирования новой интегрированной системы существенно превышает суммарную эффективность составляющих ее частей. Примером служат лицей № 1553 («Лицей на Донской», г. Москва), расположенный в Доме научно-технического творчества молодежи (ДНТТМ), и Аничков лицей (г. Санкт-Петербург), находящийся в Сервизном корпусе Санкт-Петербургского городского Дворца творчества юных, где учатся школьники 8 – 11-х классов. При этом учреждения остаются самостоятельными юридическими лицами, интеграция же общего и дополнительного образования осуществляется путем создания единой образовательной среды.

Обучение ведется по так называемой «академической модели образования», предполагающей отсутствие специализации. В основе построения учебного плана лежит концепция равномерно глубокой подготовки по всем предметам, входящим в программу средней и старшей школы, и интеграция программ общего и дополнительного образования, базирующихся на реализации исследовательского подхода. Учебно-исследовательская деятельность учащихся включена в образовательную программу и выступает одним из главных средств повышения мотивации к получению новых знаний и развития творческих способностей школьников. Программа дополнительного научного образования реализуется через включение в учебный план наряду с общеобразовательными предметами курса методологии (технологии) научных исследований и организацию во второй половине дня элективных курсов.

Как правило, посещение двух спецкурсов по выбору является обязательным, и по тематике одного из них выполняется исследовательская работа. Обязательным компонентом учебного плана школы является научная конференция, на которой учащиеся представляют результаты самостоятельной исследовательской работы. В результате создаются педагогические условия для получения общего образования в интеллектуально насыщенной среде и предоставляется

возможность специализации школьников по интересующему их направлению науки.

Кроме того, учреждения дополнительного образования предлагают учащимся разнообразные по содержанию деятельности кружки, начиная с 5-го класса, где дети знакомятся с различными направлениями научного и художественного творчества.

### *3. Профильная школа.* Профильные школы, классы.

Появление профильных школ в 1990-е годы связано с модернизацией содержания школьного образования. Модернизация была обусловлена введением новых образовательных стандартов, призванных «разгрузить» школьное образование, а главное – обеспечить его уровневую дифференциацию. Предполагалось, что, предоставляя ребенку возможность выбора уровня трудности изучения учебной дисциплины, школа будет способствовать его самоопределению, развивать у него потребность в самосовершенствовании. Главный принцип профилизации заключался в ориентации на доминирование какого-либо сегмента содержания базового образования и освоение этого сегмента на высоком уровне сложности.

Профильные школы и профильные классы в общеобразовательных школах являются в настоящее время наиболее распространенной формой, осуществляющей дополнительное научное образование. В отличие от специализированных учебно-научных центров, они не имеют столь тесной интеграции с вузами, а чаще всего осуществляют учебный процесс по профильным дисциплинам с участием базового вуза. Отличительными чертами учебного процесса является углубленное изучение профильных предметов и элементы «вузовской» жизни в организации обучения (преподавание некоторых предметов профессорско-преподавательским составом вуза, проведение ряда занятий на базе вузов, деление на подгруппы и лекционно-семинарская система занятий). Исследовательская деятельность школьников строится в рамках профильного образования, при этом научными руководителями выступают преподаватели вуза и педагоги школы.

### *4. Академическая школа.* Научно-образовательные центры академических институтов.

Одним из старейших научно-образовательных академических центров, реализующих наиболее полную и стройную систему подготовки исследователей, является лицей «Физико-техническая школа»

РАН в Санкт-Петербурге. Он был открыт в 1987 году при ФТИ им. А.Ф.Иоффе и является сегодня единственной в России школой, входящей в систему Российской академии наук. В лицее учатся старшеклассники 8 – 11-х классов. Профилирующими предметами являются физика, математика, информатика и английский язык. Учебный процесс организован таким образом, что школьникам предлагается более 25 курсов по выбору и факультативов. Раз в неделю ребята занимаются в исследовательских лабораториях Физикотехнического института им. А.Ф.Иоффе, Института эволюционной физиологии и биохимии им. Н.М.Сеченова, политехнического университета и медицинского института. После уроков школьники имеют возможность индивидуально работать в школьном компьютерном центре, учебной физической лаборатории и школьной экспериментальной лаборатории физических исследований. Результаты самостоятельных исследований одиннадцатиклассников оформляются в виде курсовых работ.

На базе лицея существует Центр работы с одаренными детьми, в котором занимаются учащиеся 6 – 7-х классов, проявляющие интерес к математике, физике и информатике. В летний период организуется математический лагерь. На вечерних (платных) курсах преподаватели лицея занимаются с учащимися школ города по физике, математике, английскому языку, программированию, изучению компьютерных информационных и мультимедийных технологий.

Отличительной чертой такой модели научного образования школьников является элитарность. Элитарные учебные заведения, как показывает исторический опыт, выступают своеобразными образовательными идеалами, к которым следует стремиться всей системе образования. Они призваны формировать научную, профессиональную элиту. Ю.Левада под элитой понимает некое человеческое сообщество, социальную группу, которая обладает: «во-первых, некоторым уникальным социально значимым ресурсом (властью, профессиональным опытом, экспертным знанием, опытом властвования и управления); во-вторых, способна реализовывать этот потенциал для поддержания нормативных образцов, символических структур и опорных социальных «узлов» данной общественной системы; в-третьих, может обеспечивать хранение, «воспроизводство» и приумножение своего ресурса из поколения в поколение». Элита подерживает традиционные ценности: престиж знания, образования,



семьи. Такой элитной группой становится в информационном обществе «элита знаний», задающая обществу культурные образцы и образцы образованного, культурного человека.

В большинстве научно-образовательных академических центров организация элитной подготовки строится на преемственности в цепи «школа – вуз – аспирантура – докторантура» и договоров о сотрудничестве между школами и вузами. Обучение ведется с учащимися 7 – 11-х классов школы.

#### *5. Творческая школа.*

Исторически сложились три направления дополнительного научно-практического образования: научно-техническое творчество, исследовательская и проектная деятельность, которые развивались благодаря интеграции учреждений дополнительного образования, научных и общественных организаций. Научно-техническое творчество активно поддерживали ДОСААФ и Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов.

Исследовательская деятельность школьников в творческих объединениях учреждений дополнительного образования развивается при поддержке НИИ. Примером такой интеграции служит детский геологический центр «Самоцветы» Дома творчества Нижегородского района Нижнего Новгорода, созданный в 1996 году совместно с институтом «Волгагеология». Интеграция с культурными и общественными организациями является основой для развития историко-краеведческого направления в дополнительном образовании школьников. Совместная деятельность с музеями, клубами краеведов помогает детским объединениям решать образовательные и исследовательские задачи. В летний период учреждениями дополнительного образования организуются выездные исследовательские (геологические, краеведческие и т.д.) лагеря.

В Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород) научное образование представлено несколькими направлениями: академизм, профильность, интеграция, научное творчество. Академическая школа реализована на уровне высшего и постдипломного образования: это аспирантура, базовый факультет «Высшая школа общей и прикладной физики» (ВШ ОПФ) и базовые кафедры радиофизического факультета ННГУ по специальности «Фундаментальная физика». Школьное образование представлено двумя профильными классами (физический и биофизический) физико-математического лицея

№ 40, обучающимися на базе Научно-образовательного центра ИПФ РАН. Классической формой интегрированного научного образования является Летняя физико-математическая школа (ЛФМШ) для старшеклассников, которая с 1988 года проводится в детском образовательно-оздоровительном лагере им. Н.С. Талалушкина. Характер образовательного процесса ЛФМШ является традиционным для подобных школ, где научное образование носит, в основном, просветительский характер. Основу программы составляют информативные формы организации обучения: лекции о современных направлениях исследований, достижениях науки и техники; семинары; лабораторные работы; беседы и диспуты с целью расширения кругозора школьников и формирования умения вести дискуссии.

Направление научного творчества представлено Школой юного исследователя, летними сменами детского лагеря «Умные каникулы» и конференцией исследовательских работ школьников, объединенных программой «В мире знаний». В 2008 году программа стала победителем городского конкурса в номинации «Лучшая программа загородного лагеря», а в 2009 году получила гран-при Всероссийского конкурса программ и научно-методических разработок «Наука и практика обеспечения детского и молодежного отдыха» за программное, научно-методическое и информационное обеспечение научного образования школьников в сфере дополнительного образования.

Летние смены лагеря служат целям привлечения к исследовательской деятельности большого круга школьников и выявления детей, имеющих склонность к научному творчеству. Они дают школьникам возможность поиска интересующей их области знаний и темы исследования. Первая половина дня в лагере посвящена работе исследовательских групп. Научное образование опирается на опыт учащихся с целью его расширения в ходе исследовательской деятельности. Кроме групповых занятий по предмету и методике исследования и эксперимента, каждый ребенок имеет возможность выполнить учебно-исследовательскую работу под руководством опытных педагогов. Расширение кругозора, знакомство с различными областями науки, интересный и содержательный досуг детей обеспечивают факультативы, которые проводятся во второй половине дня. Основное место среди них занимают дисциплины, направленные на личностное развитие участников: история науки, журналистика, психология. Расположение лагеря дает возможность пригла-

шать в качестве преподавателей и научных руководителей ученых НИИ и преподавателей вузов, проводить выездные мероприятия в городе и близлежащих районах. Таким образом, исследовательская практика становится средством организации увлекательного отдыха и строится по свободному графику, позволяющему каждому ребенку посвящать ей столько времени, сколько он считает необходимым и желаемым.

Победители летних смен получают возможность продолжить исследовательскую деятельность в Школе юного исследователя, работающей с октября по апрель на базе Института прикладной физики. Занятия в ШЮИ направлены на изучение школьниками методов и приемов научного поиска, овладение искусством дискуссии, технологией публичного выступления, формирование умений работать с научной литературой, отбирать, анализировать, систематизировать информацию, выявлять и формулировать исследовательские проблемы, проводить эксперимент, обрабатывать и анализировать полученные результаты, грамотно оформлять научную работу. Объединяющим элементом обучения является курс «Методология научного исследования». Совершенствованию знаний по физике способствует предметный спецкурс. Школьники выполняют исследовательские работы в лабораториях института, университета, в учебной лаборатории ШЮИ. Овладению методами статистической обработки данных и представления результатов исследования способствуют занятия в компьютерном классе.

Завершающим этапом деятельности является конференция. Она дает школьникам возможность представить свою первую самостоятельную исследовательскую работу, формирует индивидуальный научный интерес уже в школьные годы. Именно конференции позволяют существовать сообществу начинающих исследователей. Чувство принадлежности к научному миру, общение и признание представителями «настоящей, большой» науки помогают подростку увидеть свою дорогу в этом мире. При этом учителя школ и преподаватели вузов воспринимаются детьми как трансляторы знаний, а представители науки – как носители исследовательской культуры, что наглядно проявляется в отношении школьников к различным конференциям и конкурсам.

Подводя итоги, отметим, что на первый взгляд модели научного образования, сложившиеся в образовательной практике, выглядят

весьма пестро. В то же время все они имеют три общие характеристики комплементарных систем: единство ценностей и смыслов у всех участников образовательного процесса, становление общей доступной ресурсной базы, а также система управления по принципу (достижение общей цели возможно при условии успешности индивидуальных достижений).

При обсуждении вопроса о научном образовании принято различать два содержания такого образования – открытое и скрытое (неявное). Открытое содержание научного образования представлено в текстах школьных и вузовских учебных программ в соответствии с принципом научности обучения. Скрытое содержание научного образования может быть обнаружено и передано только во взаимодействии всех членов научного сообщества в конкретном научно-образовательном пространстве.

В целом, соотнося новые задачи научного образования школьников с имеющимся опытом организации их научной деятельности, можно выделить две группы организационных проблем. Первая группа определяется тенденцией современной науки к самоорганизации: «образуются банки знаний, способные взаимодействовать с программами, генерировать новое знание. Знание не только обезличивается, но и обезчеловечивается. ... Иногда создается впечатление, что современную науку делает великий «Никто».<sup>5</sup> В научном образовании школьников эта тенденция вызвала трудности с научным руководством их исследовательской деятельностью. Отрыв от живых конкретных людей науки лишил исследовательскую деятельность школьников ее культурной составляющей. Возникла необходимость организации научного образования с ориентацией на ценности культуры.

Вторая группа практических проблем связана с поисками новых форм организации исследовательской деятельности. Сегодня, когда мы говорим об интеграции науки и образования, как правило, имеется в виду высшее образование. Интеграция видится как «налаживание эффективного и устойчивого взаимодействия университетов с исследовательскими институтами Российской академии наук, с исследовательскими центрами отраслевой направленности, а также с предприятиями, выпускающими наукоемкую и высокотехнологич-

---

<sup>5</sup> *Кутырев, В.А.* Естественное и искусственное: борьба миров. – Н.Новгород: Изд-во «Нижегородский университет», 1994. – 200 с. – С. 132.

ную продукцию».<sup>6</sup> Научная среда в вузе создается, главным образом, путем выполнения научно-исследовательских работ магистрами и аспирантами; привлечения студентов и преподавателей к выполнению проектов по грантам и другим видам научно-исследовательских работ; обеспечения современной научной литературой и доступа к информационным интернет-технологиям.

Программа интеграции науки и высшего образования осуществляется в России с 1996 года, воплотившись в документах, регулирующих научную деятельность. Указами Президента РФ N 884 «О доктрине развития российской науки», N 903 «О государственной поддержке интеграции высшего образования и фундаментальной науки» интеграция науки и образования официально была признана одним из важнейших методов, обеспечивающих их сохранение и развитие, а также принципом государственной научно-технической политики. Положения этих документов нашли отражение в Федеральном законе от 23 августа 1996 года N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике», который закрепил принцип интеграции науки и образования на законодательном уровне. Закон провозгласил упрочение взаимосвязи науки и образования в качестве одной из основных целей государственной научно-технической политики, а интеграцию научной, научно-технической и образовательной деятельности – одним из основных принципов этой политики. Он же определил два взаимосвязанных направления интеграции: развитие различных форм участия работников, аспирантов и студентов вузов в научных исследованиях и экспериментальных разработках и создание в этих целях научно-образовательных структур в форме учебно-научных комплексов.

Для учреждений среднего образования значимым и важным является их взаимодействие с высшими учебными и научными учреждениями не только для выявления наиболее талантливых и одаренных детей, но и в целях получения учебно-методической поддержки, повышения квалификации учителей, использования научно-технической базы для работы со школьниками. На практике интеграция науки и среднего образования представлена совместным

---

<sup>6</sup> Стронгин, Р.Г. Интеграция науки, образования и практики – ключевой фактор обеспечения качества подготовки специалистов. Препринт № 2 / Р.Г. Стронгин, С.Н. Гурбатов, А.В. Петров. – Н.Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2007. – 26 с. – С. 3.

проведением вузами и НИИ предметных олимпиад, подготовительных курсов для абитуриентов, обучением в профильных классах старшей школы. Контингент дополнительного научного образования ограничивается старшеклассниками, практически не затрагивая среднее звено школы. Несмотря на активное развитие моделей интеграции учебных заведений общего и дополнительного образования с научными организациями и высшими учебными заведениями отсутствуют нормативная база для их совместной деятельности и система финансирования и поддержки дополнительного научного образования школьников. Интегративные комплексы и объединения складываются и развиваются благодаря энтузиазму педагогов и хорошим взаимоотношениям между руководителями учреждений образования и науки. При этом инициатива традиционно остается за учреждениями дополнительного образования, а не школами.

Все представленные направления научного образования школьников находятся в сфере активности и инициативы дополнительного образования, специфической чертой которого является свободное самоопределение детей. Таким образом, модели научного образования не только в целом по стране, но и в пределах научно-образовательного пространства отдельного НИИ выглядят весьма вариативно. Проблема настоящего момента состоит, на наш взгляд, не в создании инвариантной модели научного образования, а во взаимной дополнительности различных моделей и направлений. Если в системе школьного обучения научное образование развивается в основном по пути профильности, то в системе дополнительного образования приоритет должен принадлежать исследовательскому направлению научного образования, так как только в исследовательской деятельности формируются научные интересы, являющиеся отправной точкой в становлении ученого. Развитие данного процесса невозможно без соответствующей стратегии РАН и пристального внимания к ее реализации. Невозможно достичь значимых результатов в научном образовании, ориентируясь только на внутренние резервы учреждений РАН и сферы образования, без грамотного руководства и продуманной финансовой поддержки со стороны академии и государства. Невозможно достичь положительных результатов без систематических научных исследований в этой сфере.

# Физика





## **Исследование хроматических аббераций тонкой линзы**

**Глявина Мария**

9 класс

Научный руководитель С.Ю. Миронов,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН

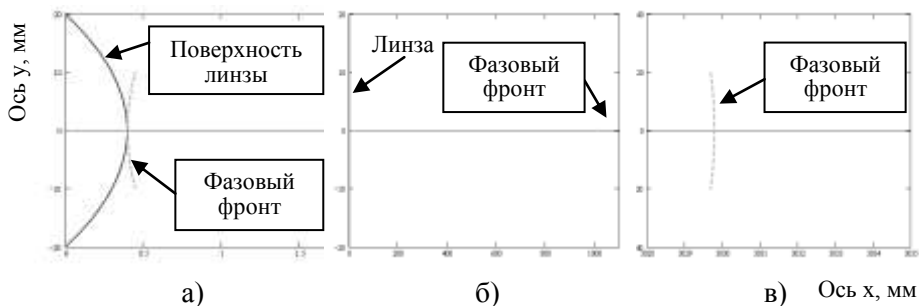
Оптимальная фокусировка лазерного излучения является актуальной задачей современной оптики. В настоящей работе рассмотрен вопрос о влиянии хроматической аберрации линзы на фокусировку света. Разработана модель процесса искривления фазового фронта у излучения, прошедшего через линзу.

Фокусировка лазерного излучения является актуальной задачей современной оптики. В настоящее время лазерные источники света позволяют генерировать излучение с рекордной пиковой мощностью, которое находит широкое применение в экспериментах по ускорению элементарных частиц. В подобных исследованиях необходимо сфокусировать лазерное излучение в область с минимальным поперечным размером. На практике фокусировку сверхсильного лазерного поля осуществляют специальными параболическими зеркалами. Однако принцип, лежащий в ее основе, аналогичен прохождению света через линзу. Согласно простейшей модели линзы свет, распространяющийся вдоль оптической оси, фокусируется в точку, расположенную в фокусе линзы. В общем случае фокусное расстояние не является только характеристикой линзы, оно зависит от длины волны фокусируемого излучения. Таким образом, принятый в школьном курсе физики подход имеет весьма ограниченную область применения.

Целью данной работы является теоретическое и экспериментальное изучение особенностей фокусировки оптического излучения линзой. Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию фокусировки коллимированного излучения линзой.

В ходе работы выполнен теоретический анализ процесса искривления фазового фронта у излучения, прошедшего через плосковыпуклую линзу, а также создана математическая модель, описывающая динамику искривления фазового фронта. В результате установлено, что по мере удаления от линзы фазовый фронт меняет свою кривизну. До фокальной плоскости фазовый фронт вогнутый, а после – выпуклый. В фокальной плоскости фазовый фронт имеет вид точки.



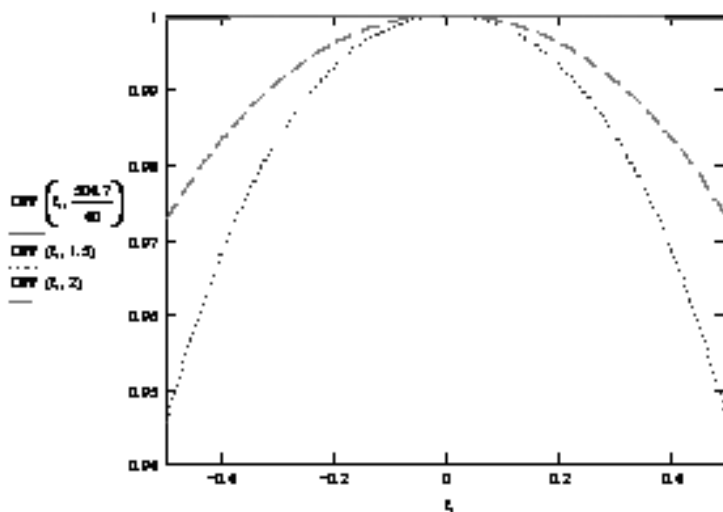


**Рис. 1.** Фазовый фронт у излучения, прошедшего через линзу

а) на выходе линзы, б) в фокальной плоскости, в) за фокальной плоскостью

Следовательно, линза является фазовым корректором. Фокусное расстояние рассматриваемой линзы зависит от радиуса кривизны, показателя преломления и координаты хода лучей  $h$ .

На рисунке 2 представлены зависимости  $OF(\xi=h/D, \eta=R/D)/OF(0, \eta)$  от параметра  $\xi$  при различных значениях  $\eta$ .



**Рис. 2.** Зависимость нормированного фокусного расстояния от параметра  $\xi$  при  $R/D=(504.7/400), 1.5$  и  $2$

Выполненный теоретический анализ распространения света через линзу показал, что фокусное расстояние зависит от длины волны, фокусируемого излучения, материала и радиусов кривизны поверхностей. Электромагнитное излучение с разными длинами волн, пройдя через одну и ту же линзу, сфокусируется в разных точках простран-

ства. Указанный эффект носит название хроматической aberrации линзы.

В процессе работы были изучены физические основы явления дисперсии показателя преломления, лежащего в основе хроматической aberrации линзы. Использование элементарной геометрии позволило получить выражение для фокусного расстояния тонкой линзы при учете кривизны поверхностей и показателя преломления. Развитая теоретическая модель позволила оценить величину хроматической aberrации для линз, используемых в экспериментах. С целью его наблюдения был разработан экспериментальный стенд для измерения фокусного расстояния (рис. 3).



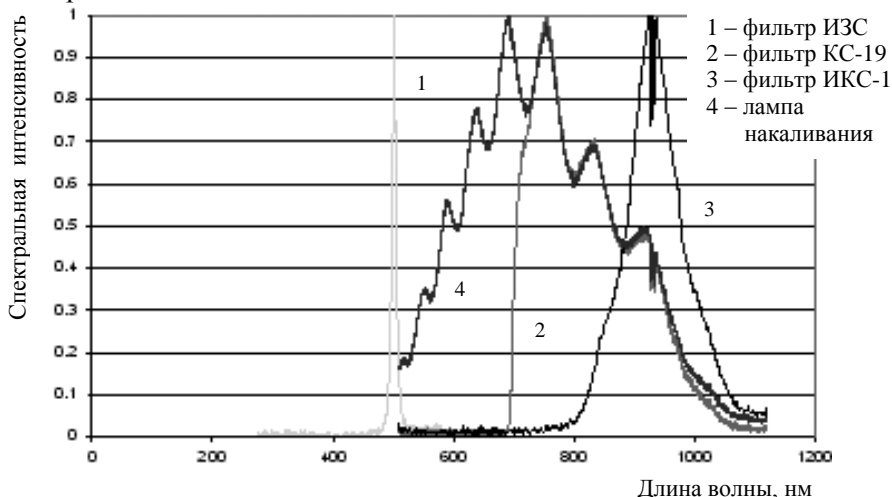
**Рис. 3.** Оптическая схема эксперимента по измерению хроматической aberrации линзы

Оптическая схема состояла из автоколлиматора (источника коллимированного излучения видимого диапазона), набора светофильтров (КС-19, ИКС-1, ИЗС), спектрометра, линзы и камеры. Светофильтры использовались для выделения из белого света излучения определенного спектрального состава. В рассматриваемой схеме автоколлиматор использовался для создания коллимированного излучения, спектральный состав которого перекрывал видимый и частично ближний инфракрасный диапазон. Система сменных светофильтров использовалась для выделения из светового пучка излучения определенного спектрального состава (рис. 4).

Прошедшее через светофильтр излучение проходит далее через линзу и фокусируется. Положение фокуса определяется с помощью камеры и линейки. Излучение разного спектрального состава фокусируется в разных точках пространства. Поскольку фильтр ИЗС пропускает излучение с достаточно узким спектральным составом, измерение относительного фокусного расстояния отсчитывается от положения камеры для этого излучения.

Фокусное расстояние определялось следующим образом: камера устанавливалась так, чтобы на экране компьютера возникало четкое изображение. Смена светофильтра приводила к нечеткости изображе-

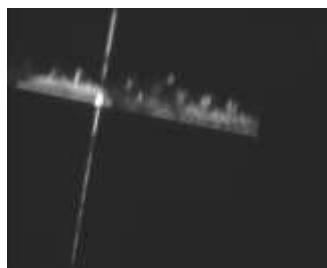
ния. Изменение продольного положения камеры до появления четкой картинке позволило определить сдвиг фокусного расстояния, который измерялся линейкой.



**Рис. 4.** Спектры излучения коллиматора, а также света, прошедшего через светофильтры ИЗС, КС-19, ИКС-1



**Рис. 5.** Изображение не в фокусе



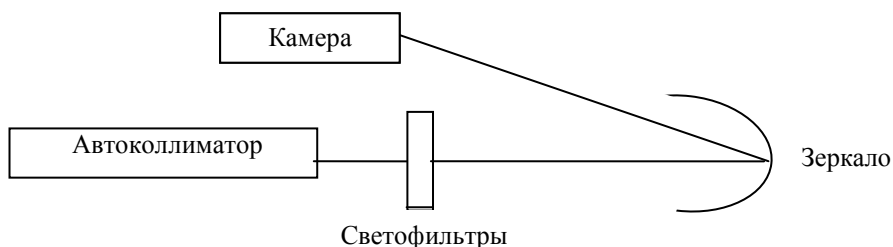
**Рис. 6.** Изображение в фокусе

*Таблица 1.* Полученные экспериментальные и теоретические данные

	КС-19	ИКС-1
Эксперимент, $\Delta F_э$ , мм	22.5	34
Теория, $\Delta F_т$ , мм, $\lambda=757\text{нм}$ (КС-19), $\lambda=931\text{нм}$ (ИКС-1)	26.5	37.2
Относительное расхождение, $\frac{ \Delta F_э - \Delta F_т }{\Delta F_т} 100\%$	13.4%	9%

Данные измерений представлены в таблице 1. Сравнительный анализ полученных экспериментальных и теоретических данных показал, что расхождение составляет не более 14%. Расхождение может быть связано со следующими факторами: фильтры ИКС-1 и КС-19 пропускают излучение в широком диапазоне длин волн, следовательно, фокусное расстояние линзы, измеренное в эксперименте, соответствует этому диапазону, а не определенной длине волны; чувствительность камеры зависит от спектрального состава излучения; светофильтры могут приводить к дополнительной расходимости излучения, что также изменяет фокусное расстояние; другие aberrации линзы.

Для демонстрации того, что главной причиной изменения фокусного расстояния для излучения разного спектрального состава является дисперсия показателя преломления материала линзы, был проведен качественный эксперимент по фокусировке излучения сферическим зеркалом (рис. 7).



**Рис. 7.** Оптическая схема эксперимента по фокусировке излучения сферическим зеркалом

В данном эксперименте фокусировка осуществлялась сферическим зеркалом. Свет не проходил через среду фазового корректора. Внесение светофильтров не приводило к изменению фокусного расстояния. Следовательно, сферические зеркала не обладают хроматической aberrацией.

Таким образом, в ходе исследовательской работы выполнено математическое моделирование процесса искривления фазового фронта у излучения, прошедшего через линзу, а также экспериментально исследован эффект хроматической aberrации линзы.

### Литература

1. Ландсберг, Г.С. Оптика. – М.: Физматлит, 2003.
2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Оптика. – М.: Наука, 1986.
3. Фейнмановские лекции по физике. – М.: Мир, 1967.

# **Теоретическое исследование динамики пульсирующих фонтанов**

**Громов Дмитрий**

10 класс

Научный руководитель Е.В. Ежова,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН



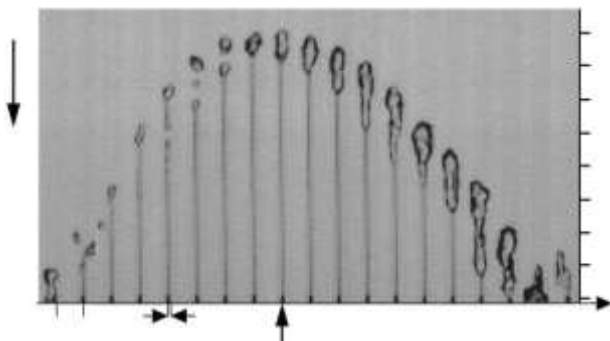
В данной работе изучается необычный режим фонтанирования струи, при котором ее высота периодически меняется (так называемые пульсирующие фонтаны). Такой режим характерен для струй, вытекающих вертикально вверх из отверстий капиллярных масштабов в определенном диапазоне скоростей. На основе простой кинематической модели рассчитана теоретически частота осциллирующего фонтана. Экспериментальные данные согласуются с расчетными.

В гидродинамике фонтаном называется струя с плотностью выше плотности среды, в которую эта струя впрыскивается. Динамика фонтанов подробно изучается в связи с различными аспектами: геофизическими (извержения подводных вулканов, проникновение горячей турбулентной струи магмы в магматическую камеру) и практическими (нагревание помещения воздушными турбулентными струями, выброс загрязняющих веществ в атмосферу и др.). В зависимости от выходных параметров фонтаны могут демонстрировать качественно различное поведение: не только привычный нам «зонтик», но и качание струи (раскачивание фонтана из стороны в сторону с поворотом плоскости качания), вращение (поворачивание верхней границы фонтана вокруг его оси), колебания высоты (качание верхней границы фонтана вверх-вниз). К таким интересным режимам относится и режим капиллярного пульсирующего фонтанирования.

Целью данной работы является определение периода пульсаций такого фонтана.

За экспериментальную основу нами были взяты результаты исследования С. Clannet [3]. Рассматриваемые фонтаны были направлены вертикально вверх (рис.1).

Применительно к рассматриваемому эксперименту в данной работе была решена так называемая «задача про одномерного жонглера». Эта модель удобна, поскольку в ней рассматриваются отдельные частицы потока – шарики, а в рассматриваемом капиллярном фонтане струю можно считать последовательным набором капель.



**Рис. 1.** Пример эволюции пульсирующего фонтана по времени

Представим жонглера, бросающего вертикально вверх твердые шарики с одинаковой скоростью  $V_0$  и периодом  $\tau$ . Предполагается, что все шарики имеют одинаковую начальную массу  $m$ , и каждый раз при столкновении формируется новый шарик с массой и скоростью в соответствии с законами сохранения массы и импульса (удар абсолютно неупругий). Необходимо определить время падения большого шарика.

1) Вначале определим время и координату  $n$ -го столкновения.

Условие столкновения: координата большого шарика, состоящего из  $n$  маленьких, равна координате следующего  $(n+1)$  маленького шарика.

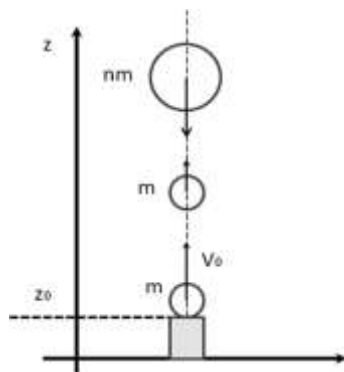
Маленький шарик при  $n$ -ом столкновении вылетел в момент времени  $n\tau$ , то есть до момента столкновения летел время, равное  $t_n - n\tau$ . Из этих условий получаем выражение для координаты малого шарика:

$$z_{\text{мал}} = V_0(t_n - n\tau) - \frac{g(t_n - n\tau)^2}{2}.$$

Большой шарик пролетает участки с разными начальными координатами и разными скоростями:

$$z_1 = V_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} = V_0(t_1 - t_0) - \frac{g(t_1 - t_0)^2}{2},$$

$$z_2 = z_1 + V_1(t_2 - t_1) - \frac{g(t_2 - t_1)^2}{2},$$



**Рис. 2.** Схема одномерного жонглера

$$z_n = V_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} + V_1(t_2 - t_1) - \frac{g(t_2 - t_1)^2}{2} + \dots + V_{n-1}(t_n - t_{n-1}) - \frac{g(t_n - t_{n-1})^2}{2}.$$

Теперь выразим  $V_n$ , основываясь на законе сохранения импульса, рассмотрим  $n$ -ое столкновение. Закон сохранения импульса при

$$(n+1)mV_n = nmV_0 - \sum_{k=0}^{n-1} mg(t_n - k\tau) + m(V_0 - g(t_n - n\tau)).$$

столкновении большого и маленького шариков:

Импульс большого шарика после  $n$ -ого столкновения  $-(n+1)mV_n$ , где  $m$  – масса маленького шарика, а  $V_n$  – скорость большого шара после  $n$ -ого столкновения.

Импульс большого шарика при отсутствии силы тяжести  $-nmV_0$ , где  $V_0$  – начальная скорость вылетающих маленьких шариков.

Изменение импульса большого шарика  $-\sum_{k=0}^{n-1} mg(t_n - k\tau)$ .

Импульс встречного шарика  $-m(V_0 - g(t_n - n\tau))$ .

Теперь выразим скорость после столкновения:

$$(n+1)V_n = nV_0 - \sum_{k=0}^{n-1} g(t_n - k\tau) + V_0 - g(t_n - n\tau) = (n+1)V_0 - \sum_{k=0}^n g(t_n - k\tau),$$

$$V_n = V_0 - \sum_{k=0}^n g \frac{(t_n - k\tau)}{n+1} = V_0 - \frac{gt_n(n+1)}{n+1} + \frac{n(n+1)g\tau}{2(n+1)} = V_0 - gt_n + \frac{ng\tau}{2}.$$

Преобразуем слагаемые:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n (-gt_{k-1} - g \frac{(t_k - t_{k-1})(t_k - t_{k-1})}{2}) &= \sum_{k=1}^n \left\{ \frac{-gt_{k-1}(t_k - t_{k-1})}{2} - \frac{gt_k(t_k - t_{k-1})}{2} \right\} = \\ &= -\frac{1}{2} g(t_n^2 - t_0^2), \quad \sum_{k=1}^n V_0(t_k - t_{k-1}) = V_0(t_n - t_0). \end{aligned}$$

В результате имеем:

$$V_0(t_n - t_0) - \frac{1}{2} g(t_n^2 - t_0^2) + \sum_{k=0}^n g \frac{(k-1)\tau}{2} (t_k - t_{k-1}) = V_0(t_n - n\tau) - g \frac{(t_n - n\tau)^2}{2}.$$

При  $t_0 = 0$ :

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \frac{(k-1)g\tau}{2} (t_k - t_{k-1}) &= -nV_0\tau - \frac{g}{2} (-2t_n n\tau + n^2\tau^2) = -nV_0\tau + ngt_n\tau - n^2\tau^2 \frac{g}{2}, \\ \sum_{k=1}^n (k-1)(t_k - t_{k-1}) &= -\frac{2V_0}{g} n + 2nt_n - n^2\tau. \end{aligned}$$

Чтобы избавиться от суммы по временам, перепишем эту же формулу, заменяя  $n$  на  $n-1$ :

$$\sum_{k=1}^{n-1} (k-1)(t_k - t_{k-1}) = -\frac{2V_0}{g}(n-1) + 2(n-1)t_{n-1} - (n-1)^2\tau.$$

Преобразуем:

$$(n-1)(t_n - t_{n-1}) = -\frac{2V_0}{g} + 2n(t_n - t_{n-1}) + 2t_{n-1} - 2n\tau + \tau,$$

$$(n+1)(t_n - t_{n-1}) = -2t_{n-1} + \frac{2V_0}{g} + (2n-1)\tau.$$

В итоге имеем:

$$t_n - t_{n-1} = -\frac{2}{n+1}t_{n-1} + \frac{2V_0}{g(n+1)} + \frac{2n-1}{n+1},$$

$$t_n - t_{n-1} = -\frac{2}{n+1}t_{n-1} + \left(\frac{2V_0}{g} - 3\tau\right)\frac{1}{n+1} + 2\tau.$$

3) Предположим, что  $t_n$  – это арифметическая прогрессия. Первый член этой последовательности определим как время столкновения первых двух шариков:

$$t_1 = \frac{V_0}{g} + \frac{\tau}{2}.$$

Разность прогрессии получается равной  $a = \frac{2\tau}{3}$ . Таким образом,

арифметическая прогрессия  $t_n = \frac{V_0}{g} + \frac{\tau}{2} + \frac{2\tau}{3}(n-1)$  удовлетворяет полученному ранее выражению для разности времен:

$$t_n - t_{n-1} = -\frac{2}{n+1}t_{n-1} + \left(\frac{2V_0}{g} - 3\tau\right)\frac{1}{n+1} + 2\tau.$$

4) Теперь определим координату столкновения.

Подставим выражение для  $t_n$  в уравнение координаты маленького шарика:  $z_{\text{мал}} = V_0(t_n - n\tau) - \frac{g(t_n - n\tau)^2}{2}.$

Получим:

$$\begin{aligned} z_n &= V_0(t_n - n\tau) - \frac{g(t_n - n\tau)^2}{2} = \\ &= V_0\left(\frac{V_0}{g} + \frac{\tau}{2} + \frac{2\tau}{3}(n-1) - n\tau\right) - \frac{g}{2}\left(\frac{V_0}{g} + \frac{\tau}{2} + \frac{2\tau}{3}(n-1) - n\tau\right)^2 = \\ &= V_0\left(\frac{V_0}{g} - \frac{\tau}{6} - \frac{n\tau}{3}\right) - \frac{g}{2}\left(\frac{V_0}{g} - \frac{\tau}{6} - \frac{n\tau}{3}\right)^2 = \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= \left( \frac{V_0}{g} - \frac{\tau}{6} - \frac{n\tau}{3} \right) \left( V_0 - \frac{V_0}{2} + \frac{\tau g}{12} + \frac{ng\tau}{6} \right) = \\
&= \left( \frac{V_0}{g} - \frac{\tau}{6} - \frac{n\tau}{3} \right) \left( \frac{V_0}{2} + \frac{\tau g}{12} + \frac{ng\tau}{6} \right) = \frac{V_0^2}{2g} - \frac{g\tau^2}{18} \left( n + \frac{1}{2} \right)^2 .
\end{aligned}$$

Пропишем условие падения большого шарика:  $zn \rightarrow 0$ . Выражаем  $n$ :

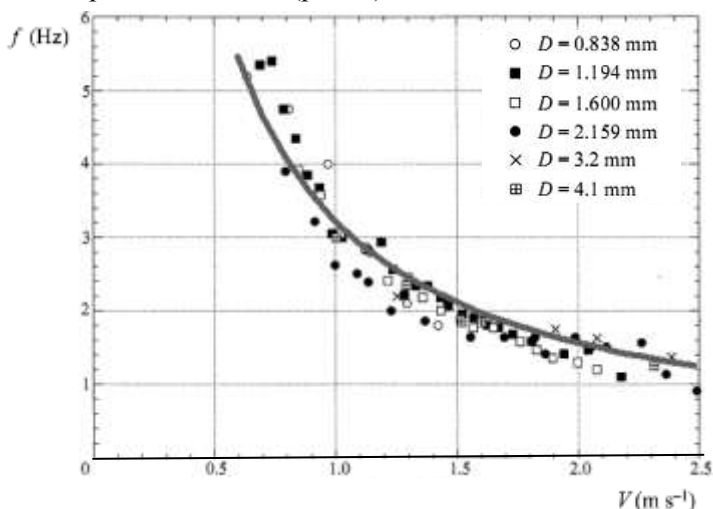
$$n \rightarrow \frac{3V_0}{g\tau} - \frac{1}{2} .$$

Подставляя это выражение в формулу для  $tn$ , получаем:

$$\tau_n = \frac{V_0}{g} + \frac{\tau}{2} + \frac{2\tau}{3} \left( \frac{3V_0}{g\tau} - \frac{1}{2} \right) = \frac{3V_0}{g} + \frac{\tau}{6} .$$

Применительно к фонтану: при  $\tau \rightarrow 0$   $T = \frac{3V_0}{g}$ .

Сравнивая рассчитанную теоретически частоту осциллирующего фонтана на основе простой механической модели (модели «одномерного жонглера») с данными эксперимента из работы C.Clannet, мы получили хорошее согласие (рис. 3).



**Рис. 3.** Сопоставление экспериментальных точек с расчетной кривой

### Литература

1. Turner, J.S. Jets and plumes with negative or reversing buoyancy // J. Fluid Mech., 1966, v. 26, p.779 – 792.
2. Baines W.D., Turner J.S., Campbell I.H. Turbulent fountains in an open chamber // J. Fluid Mech., 1989, v. 212, p. 557 – 592.
3. Clannet, C. On large-amplitude pulsating fountains //J. Fluid Mech., 1998, v.366, p. 333 – 350.



## **Механические методы измерения скорости пули**

**Карпов Егор**

7 класс

Научный руководитель М.А. Балакин

Работа посвящена экспериментальной проверке соответствия реальности некоторых распространенных физических задач, встречающихся в школьных задачниках. Решалась задача измерения скорости пули пневматической винтовки с помощью баллистического маятника и движущегося с трением бруска. Оба метода дали сильное отклонение результата от паспортных данных на такой тип винтовок. Метод баллистического маятника оказался точнее и надежнее, но и он, по мнению авторов, не применим для решения реальной задачи. В итоге удалось показать, что при решении задач школьными методами отбрасываются факторы настолько важные, что получение реальных результатов становится невозможным.

Физика – наука экспериментальная, основным критерием истины в ней является эксперимент. При изучении физики в школе решается большое количество задач, описывающих реальные физические процессы с применением идеализаций. В механике применяются такие идеализации, как материальная точка, абсолютно твердое тело, нерастяжимая и невесомая нить, невесомый блок, невесомая пружина, абсолютно упругий удар, несжимаемая жидкость и др. В других разделах физики идеализаций применяется не меньше. Смысл идеализаций – в создании упрощенной модели процесса, свободной от влияния вторичных факторов. Данные модели могут рассчитываться школьными методами. Но на данном пути необходимо соблюдать меру. Существует опасность в ходе упрощения модели создать ситуацию, нереализуемую в жизни вообще.

Мы поставили перед собой цель: экспериментально проверить соответствие реальности некоторых распространенных физических задач, встречающихся в школьных задачниках [1, 2].

Для достижения поставленной цели мы решали проблему измерения скорости пули пневматической винтовки методами, предлагаемыми в стандартных задачниках. Объектом нашего исследования являлись механические системы: пуля – брусок, пуля – маятник. Предметом исследования являлось измерение скорости пули различными методами.

### *Задачи*

1. Ознакомиться с предлагаемыми в школьных задачниках методами измерения скорости пули.
2. Создать экспериментальные установки, описанные в задачниках.
3. Измерить скорость пули несколькими способами, рассчитать погрешность, сравнить результат с паспортными данными для такого оружия.

Мы решили экспериментально измерить скорость пули пневматической винтовки, используя два метода измерения: с применением баллистического маятника и путем экспериментального решения известной задачи, опираясь на законы сохранения импульса и теорему о кинетической энергии. В качестве опорных данных были выбраны паспортные данные пневматической винтовки МР – 512 [3].

### *Опыт № 1*

#### *Баллистический маятник*

*(рис. 1)*

На двух длинных (2,17 м) нитях подвешивался брусок. В брусок производился выстрел из винтовки. Пуля застревала в бруске, а брусок начинал двигаться по дуге окружности. При достаточно длинных нитях отрезок дуги достаточно близко соответствовал прямой линии. В качестве «стрелки – маркера», фиксирующего отклонение бруска, использовалась легкая пластмассовая коробочка. После удара пули брусок, двигаясь по дуге окружности, толкал коробочку вдоль измерительной ленты. Чтобы устранить не учитываемое влияние трения коробочки о пол, опыт проводился в несколько этапов.

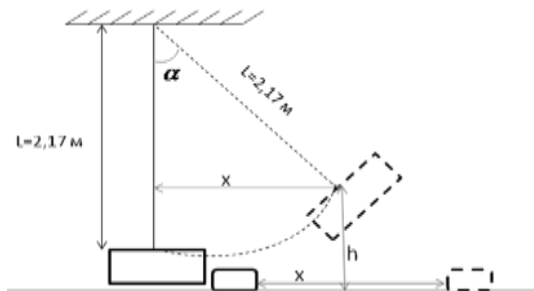
- 1) Коробочка приставлялась к бруску в упор. После первого выстрела фиксировалось место остановки коробочки. Это расстояние принималось в качестве первого приближения.
- 2) Коробочка перед вторым выстрелом ставилась в место первой остановки, и опыт повторялся.



**Рис. 1.** Фотография экспериментальной установки «Баллистический маятник»

- 3) Операции повторялись до тех пор (2 – 3 раза), пока брусок, доходя до конечной точки траектории, не сдвигал корбочку на 1 – 2 миллиметра.

Схема установки приведена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Принципиальная схема установки «Баллистический маятник»

### Вычисления

По закону сохранения импульса

$$m_{\text{пули}} V_{\text{пули}} = (m_{\text{бруска}} + m_{\text{пули}}) V_{\text{бруска}}. \quad (1)$$

По закону сохранения энергии

$$\frac{m_{\text{бруска}} V_{\text{бруска}}^2}{2} = m_{\text{бруска}} g h, \quad (2)$$

$$V_{\text{бруска}} = \sqrt{2gh}, \quad (3)$$

$$h = l - l \cos(\alpha) = l(1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

$$\frac{x}{l} = \sin \alpha, \quad (5)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{x}{l}\right)^2}, \quad (6)$$

значит,

$$h = l \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{x}{l}\right)^2} \right), \quad (7)$$

$$V_{\text{пули}} = \frac{(m_{\text{бруска}} + m_{\text{пули}})}{m_{\text{пули}}} V_{\text{бруска}}, \quad (8)$$

$$V_{\text{бруска}} = \sqrt{2gl \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{x}{l}\right)^2} \right)}. \quad (9)$$

Вычисляем:

$$V_{\text{пули}} = \frac{m_{\text{бруска}}}{m_{\text{пули}}} \sqrt{2gl \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{x}{l}\right)^2} \right)} = \frac{93,77}{0,2} \sqrt{2 * 9,81 * 2,17 \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{0,2}{2,17}\right)^2} \right)} \approx 199,59 (\text{м/с}). \quad (10)$$

Определим погрешность:

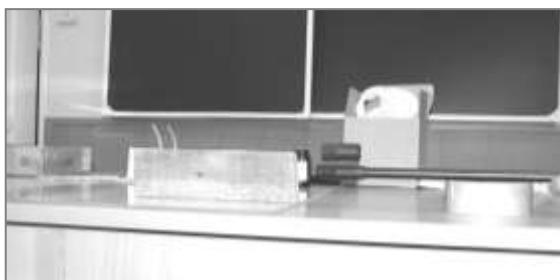
$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_{\text{бруска}}}{m_{\text{бруска}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{\text{пули}}}{m_{\text{пули}}}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2} = \quad (11)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,1}{95}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{0,01}{9,81}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{217}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{0,5}{20}\right)^2} \approx 0,053.$$

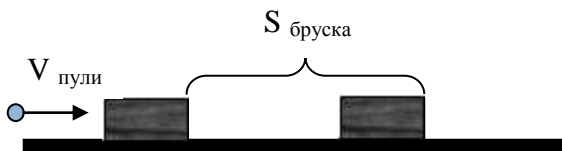
$$\Delta V_{\text{пули}} = \varepsilon \cdot V_{\text{пули}} \approx 10,58 (\text{м/с}). \quad (12)$$

### Опыт № 2 Движение с трением (рис. 3)

В брусок, стоящий на столе, производился выстрел из пневматической винтовки. Измерялся путь, пройденный бруском. Далее измерялся коэффициент трения бруска о стол с помощью динамометра. Решалась стандартная задача о нахождении скорости пули. Принципиальная схема установки приведена на рисунке 4.



**Рис. 3.** Проведение эксперимента по столкновению пули с бруском



**Рис. 4.** Установка для измерения скорости пули

Результаты измерения коэффициента трения приведены в таблице 1, пробегов бруска – в таблице 2.

**Таблица 1.** Измерение коэффициента трения

№	Масса, г	$\mu$
1	200	0,17
2	500	0,17
3	700	0,19
4	800	0,17
Ср.	0,17	

**Таблица 2.** Измерение длины пробег бруска

№	Масса бруска, г	Путь, см
1	99,8	12,5
2	100,0	11,0
3	100,2	10,5
4	100,4	11,0
Ср.	11,25	

### Вычисления

По закону сохранения импульса:

$$m_{\text{пули}} V_{\text{пули}} = (m_{\text{бруска}} + m_{\text{пули}}) V_{\text{бруска}}. \quad (13)$$

По теореме о кинетической энергии:

$$0 - \frac{(m_{\text{бруска}} + m_{\text{пули}}) V_{\text{бруска}}^2}{2} = A_{\text{Fmm}} = -F_{\text{тр}} S = -\mu(m_{\text{бруска}} + m_{\text{пули}}) g S, \quad (14)$$

$$V_{\text{бруска}} = \sqrt{2\mu g S} = 0,613(\text{м/с}), \quad (15)$$

$$V_{\text{пули}} = \frac{(m_{\text{бруска}} + m_{\text{пули}})}{m_{\text{пули}}} \sqrt{2\mu g S} = 307,2(\text{м/с}). \quad (16)$$

Таким образом, экспериментально измеряя скорость пули пневматической винтовки методом баллистического маятника, мы получили результат 307,2 (м/с) с погрешностью в 58,4 (м/с). Измеренная методом экспериментального решения известной задачи на законы сохранения импульса и теорему о кинетической энергии скорость пули имеет значение  $199,59 \pm 10,58$  (м/с). Данные из паспорта винтовки равны  $150 \pm 10$  (м/с). Как можно заметить, оба метода дали результат, сильно отличающийся от паспортных данных. Особенно плох результат второго эксперимента. Это можно объяснить погрешностью метода. В ходе эксперимента в системе действовали не учитываемые нами факторы: нагрев частей системы, вращение бруска, появляющееся за счет нецентрального попадания пули, и еще что-то, чего мы не знаем. Однако стоит заметить, что паспортные данные также сомнительны. Они взяты с сайта разработчика и относятся к такому типу винтовок, но не конкретно к данному экземпляру. Решение задачи четко показало, что упрощение моделей значительно уводит нас от правильных ответов. В ходе работы нам удалось понять, насколько большое значение имеет аккуратность при проведении эксперимента, учет всех мыслимых факторов, критическое отношение к литературе и значимость расчета погрешности.

### Литература

1. Турчина, Н.В. Физика: 3800 задач для школьников и поступающих в вузы/ Н.В. Турчина, Л.И. Рудакова, О.И. Суров. – М.: Дрофа, 2000. – 672 с.
2. Рымкевич, А.П. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – 7 – е изд. – М.: Просвещение, 1982. – 160 с.
3. Сайт [http://www.ohoter.ru/2007/07/02/mp512\\_mp512m.html](http://www.ohoter.ru/2007/07/02/mp512_mp512m.html).

# Возникновение подъемной силы при вращении цилиндра в воздухе

Коновалов Даниил

8 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина



Для изучения влияния качества поверхностей цилиндра, вращающегося в воздухе, на возникновение подъемной силы за счет эффекта Магнуса проведена серия опытов по измерению высоты подъема цилиндра в зависимости от скорости его движения. Выявлена зависимость высоты подъема от скорости для двух различных по гладкости поверхностей. Выяснено, при каких скоростях движения качество поверхности начинает влиять на высоту подъема.

Существует ряд задач, для решения которых нужно знать свойства движения твердых тел в вязкой среде. Вихревые потоки, возникающие при этом движении, используются в авиатранспорте, моделировании атмосферных процессов (прогноз погоды, изучение и прогнозирование изменения климата, загрязнения атмосферы), вихревых преобразователях энергии, в газопроводах, их необходимо учитывать в артиллерии. Знание зависимости подъемной силы от качества поверхности объекта позволит подбирать поверхность с оптимальными свойствами для устройств в вышеперечисленных областях и, возможно, экономить денежные средства, затрачиваемые в этих сферах. Хотя сложные гидродинамические явления, сопутствующие вращению тел, до конца не разгаданы, их моделирование достаточно легко осуществить.

Цель нашей работы – изучить механизм возникновения подъемной силы при движении вращающегося в воздухе цилиндра. Для этого мы изучили опубликованные материалы, собрали катапульту (рис. 1) и произвели запуски цилиндров с разными поверхностями (одна поверхность гладкая, покрыта скотчем, другая шершавая, из бумаги для рисования с шероховатой поверхностью).

Первые опыты по исследованию обтекания вращающегося цилиндра провел

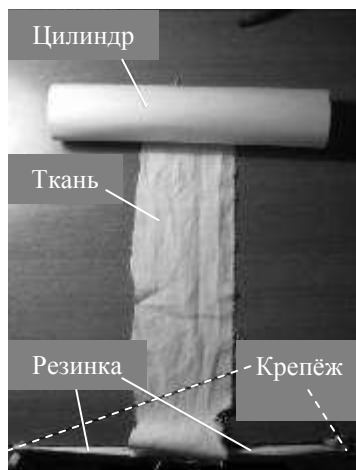
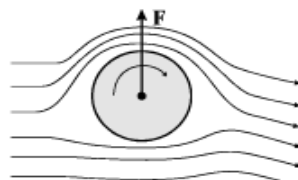


Рис. 1. Катапульта

немецкий физик и химик, профессор Берлинского университета Генрих Густав Магнус в 1853 году. Он открыл эффект возникновения поперечной силы, действующей на вращающееся и одновременно движущееся поступательно тело.

Если расположить цилиндр поперек потока, то на него будет действовать сила лобового сопротивления (рис. 2). Если же цилиндр привести во вращение вокруг своей оси, то появится также и подъемная сила, направленная перпендикулярно скорости движения оси цилиндра. При вращении цилиндра воздух в пограничном слое увлекается поверхностью цилиндра. Обтекание вращающегося цилиндра будет выглядеть так, как показано на рисунке. Скорость воздушного потока над цилиндром будет больше, чем под ним. Величина силы  $F$ , как показывает расчет, увеличивается как с увеличением скорости потока, так и с угловой скоростью вращения цилиндра.



**Рис. 2.** Цилиндр поперек потока

Мы произвели ряд подготовительных измерительных экспериментов: измерение коэффициента трения двух поверхностей цилиндра (гладкой и шершавой) по ткани; массы цилиндров; радиуса цилиндра; толщины стенки; коэффициента жесткости резинки.

*Таблица 1.* Результаты подготовительных экспериментов

Коэффициент жесткости резинки (Н/м)	Коэффициент трения скольжения	Масса цилиндров (г)	Радиус цилиндров (м)	Толщина стенки цилиндра (м)
Жесткость резинки $40,00 \pm 0,30$ с относительной погрешностью 8%	$0,2 \pm 0,001$ (гладкий цилиндр) $0,4 \pm 0,001$ (шершавый) с относительной погрешностью 2,5%	Массы цилиндров равны $6,3 \pm 0,2$	$R = 0,019 \pm 0,001$ с относительной погрешностью 5,3%	$d = 0,0002 \pm 0,0001$ с относительной погрешностью 50%

Было произведено большое количество запусков цилиндров для увеличения точности эксперимента. На основании данных стало возможным вычислить скорости вылета цилиндров по формуле:

$v = x \cdot \sqrt{\frac{k}{2m}}$ , а также выявить зависимость между скоростью вылета

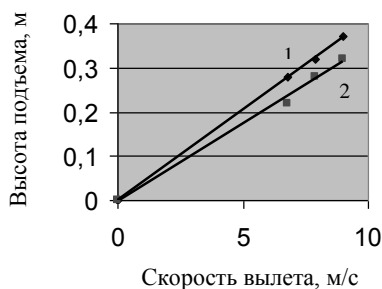


цилиндра и высотой подъема, в зависимости от качества его поверхности (рис. 3).

В работе мы попытались осуществить моделирование движения тела в вихревых потоках, чтобы изучить механизм возникновения подъемной силы с точки зрения качества поверхности вращающегося в воздухе тела. Для расчета скоростей вылета, оценки правомерности использованных в работе физических явлений и законов был проведен ряд дополнительных опытов. Скорость вылета цилиндров в нашем эксперименте изменялась от 6,8 м/с до 9 м/с с относительной погрешностью 7%.

Как и ожидалось, высота подъема цилиндра с шершавой поверхностью больше, чем цилиндра с гладкой поверхностью при одинаковой скорости вылета. Для разных деформаций резинки, а значит и для разных скоростей вылета цилиндра из катапульты высота подъема гладкого цилиндра составляет от 61% до 88%, причем разница в высотах по мере увеличения скорости уменьшается.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что качество поверхности влияет на проявление эффекта Магнуса только при небольших скоростях движения тел. С увеличением скорости тела изменяют траекторию движения примерно одинаково вне зависимости от того, гладкой или шероховатой является их поверхность.



**Рис. 3.** Зависимость высоты подъема от скорости вылета (цилиндр 1 – шершавый; цилиндр 2 – гладкий)

### Литература

1. Роджерс, Э. Физика для любознательных. – М.: Мир, 1970.
2. Фронтальные лабораторные работы по физике в 7 – 11 классах общеобразовательных учреждений / Под. ред. В.А.Бурова и Г.Г.Никифорова. – М.: Просвещение, 1996.
3. Физика: Учебник для 10 класса / Под ред. А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина. – М.: Просвещение, 2004.
4. Электронная энциклопедия [http://ru.wikipedia.org/wiki/Закон\\_Бернулли](http://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Бернулли).
5. Яндекс словари <http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00044/49400.htm>.



## **Ультразвуковой датчик обнаружения крупных объектов**

**Кутлин Антон**

**9 класс**

**Научный руководитель П.А. Шилягин,  
канд. физ.-мат. наук**

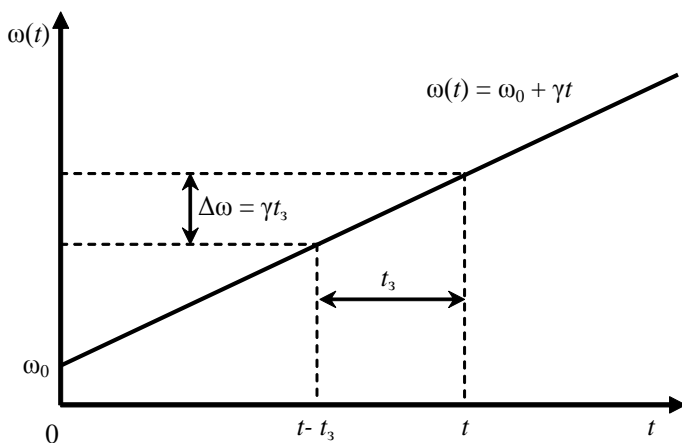
На основе принципа ультразвукового радара разработан датчик обнаружения крупногабаритных объектов. Создан действующий макет прибора на базе ПЭВМ под управлением системы лабораторного моделирования LabVIEW 7.1 с параметрами, определенными по результатам численного моделирования. Экспериментально показана работоспособность системы. По результатам эксперимента сформулированы требования к приемному и передающему трактам, обеспечивающие требуемые дальное действие и помехоустойчивость.

Применение ультразвуковой системы обнаружения крупногабаритных объектов может позволить решить ряд бытовых задач, в частности, оптимизации освещения, заблаговременного открытия ворот/дверей или предупреждения о появлении нежелательных объектов в непосредственной близости от контролируемого объекта. Кроме того, система позволяет осуществлять дистанционный мониторинг целостности объектов (окон, дверей), непосредственный контроль которых невозможен в силу тех или иных причин.

Целью работы является разработка компьютерной модели и действующего макета устройства, позволяющего обнаруживать появление в ограниченной области пространства крупногабаритных звукоотражающих предметов с помощью ультразвукового радара.

Для реализации устройства был использован принцип ультразвукового спектрального радара. Зондирование контролируемого пространства осуществлялось колебаниями переменной высокой звуковой частоты. Частота зондирующей волны изменялась линейным образом в течение реализации. При такой модуляции частоты излучаемого звука разность частот опорного и задержанного на время  $t_3$  сигналов не зависит от времени (рис.1).

В приемном тракте устройства сигналы с приемного устройства и опорный сигнал суммируются. Разность частот  $\Delta\omega$  между опорной и рассеянной волнами пропорциональна скорости перестройки частоты зондирующей волны  $\gamma$  и времени задержки  $t_3$ . Поскольку скорость звука в воздушной среде не зависит от частоты излучаемой волны, время



**Рис. 1.** Линейная модуляция частоты

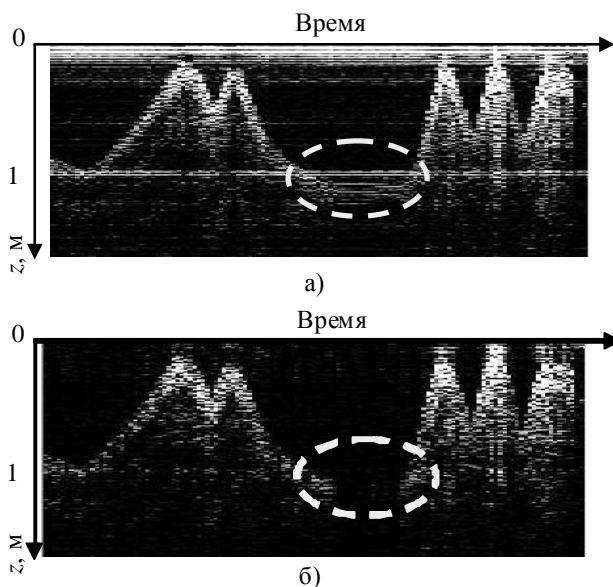
задержки отраженной волны относительно опорного сигнала, а значит, и расстояние до отражающего объекта может быть однозначно определено из зафиксированной разности частот. Последняя может быть выделена с помощью гетеродинного приема отраженных звуковых волн радиотехническими методами, а также с помощью численных преобразований. В работе было отдано предпочтение последнему методу, поскольку особенности конструкции используемого аналого-цифрового преобразователя (стандартной звуковой карты компьютера) приводили к перетеканию малой части излучаемого сигнала с выхода на вход, что позволило использовать этот сигнал в качестве опоры.

Численные преобразования предполагают возведение в квадрат принятой реализации и визуализацию низких частот с помощью преобразования Фурье. Действительно, при возведении в квадрат суммы двух синусоидальных сигналов возникает составляющая на разностной частоте, которая определяет положение отражающего объекта в пространстве:

$$[r \sin(\omega(t)t) + d \sin(\omega(t - t_s)t)]^2 = \frac{r^2}{2} (1 - \cos(2\omega(t)t)) + \frac{d^2}{2} (1 - \cos(2\omega(t - t_s)t)) + rd \{ \cos(\Delta\omega \cdot t) + \cos([2\omega(t) - \Delta\omega]t) \},$$

где  $r$  и  $d$  – амплитуды опорной и отраженной волн,  $\Delta\omega = \gamma t_s = \gamma z/c$ ,  $\gamma$  – скорость перестройки частоты излучателя,  $z/2$  – расстояние до отражающего объекта,  $c$  – скорость звука в среде.

После преобразования Фурье значение получающейся функции в точке  $\Delta\omega$ , соответствующей положению  $z$  объекта в пространстве, пропорционально произведению амплитуд опорной и отраженной волн. Визуализация изображения осуществляется с помощью графиков интенсивности, на которых темным отображаются малые значения, а светлым – большие. На рисунке 2а представлено изображение положений отражателя в различные моменты времени, совмещенное с изображением неподвижного отражателя, обеспечивающего разности хода между опорной и отраженной волнами 1 м. Выделение новых или перемещающихся объектов в зоне контроля осуществляется сравнением последовательно принятых и обработанных реализаций. На рисунке 2б представлено изображение положений отражателя только в те моменты времени, когда он движется. Пунктирной линией выделен интервал времени, когда движение в сканируемом пространстве отсутствует.



**Рис. 2.** Визуализация объектов

Модельная апробация методики была осуществлена на компьютерной модели датчика на базе системы лабораторного моделирования LabVIEW 7.1. По результатам численного эксперимента был создан

гетеродинный приемник ультразвуковых колебаний, совмещенный с перестраиваемым генератором с помощью ПЭВМ под управлением системы лабораторного моделирования LabVIEW 7.1. Была проведена интеграция аппаратной и программной составляющих устройства. Экспериментально показана возможность обнаружения крупногабаритных объектов на расстоянии до двух метров. Диапазон рабочих частот системы составил 12 – 22 кГц, длительность анализируемой реализации 0,1 – 1 с. Мощность зондирующего излучения 1 Вт. Максимальная дальность обнаружения объекта (по длине реализации) – 15 метров, гарантированное продольное разрешение системы 15 см. Минимально обнаружимая скорость движения объекта – 1,5 см/с. Радиус действия системы может существенно возрасти за счет увеличения мощности используемого источника, частоты используемых акустических колебаний и оптимизации приемного и излучающего трактов системы. Результатом работы является созданный, апробированный и работающий макет системы обнаружения крупногабаритных объектов.

Использование описанной схемы выделения перемещающихся объектов на фоне статичного пространства в будущем позволит автоматизировать процесс определения скорости этих перемещений, что может быть важно для некоторых приложений.

### **Литература**

1. Электронная энциклопедия <http://ru.wikipedia.org>.
2. <http://vicgain.sdot.ru/elbook/prystva.01.htm> (ноябрь 2009)
3. [http://www.diagram.com.ua/info/rad\\_nach/1.shtml](http://www.diagram.com.ua/info/rad_nach/1.shtml) (ноябрь 2009)
4. <http://www.iqlib.ru/book/preview> (ноябрь 2009)
5. <http://www.college.ru/physics/courses/op25part2/content/chapter2/section/paragraph1/theory.html> (ноябрь 2009)



## Двигатель Герца – Квинке

Лебедев Всеволод

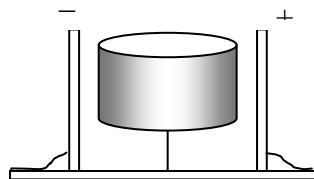
9 класс

Научный руководитель П.М. Савкин

В работе исследовалось поведение диэлектрика, симметричного относительно оси вращения, помещенного в сильное постоянное электрическое поле. Экспериментально проверялось влияние формы вращающегося диэлектрического ротора, материала диэлектрика и расположения различных электродов на скорость вращения ротора, исследовались различные варианты конструкций двигателей, предпринята попытка теоретического объяснения причин вращения ротора.

Идея работы была взята из журнала «Юный техник». В статье было рассказано об эффекте Герца – Квинке и описаны различные варианты двигателей на этом эффекте. Нас заинтересовала эта идея, так как двигатели не имели ни ротора в обычном понимании, ни коллектора, ни статора. Мы решили проверить это и попытаться собрать свои варианты двигателей, построенных на эффекте Герца – Квинке, а также объяснить принцип работы этих двигателей.

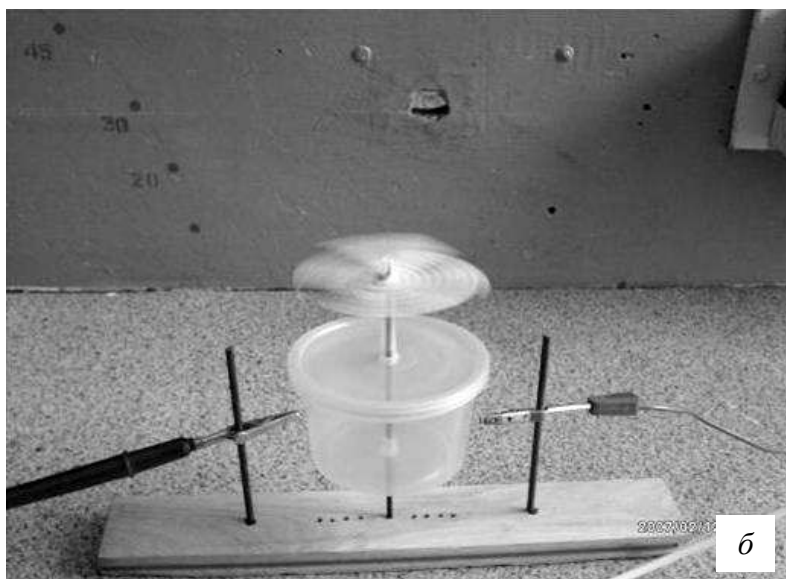
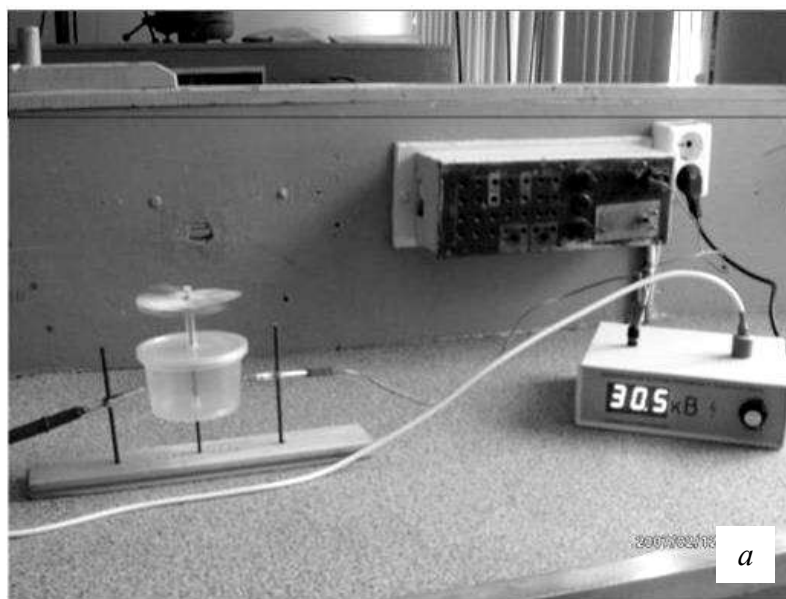
Первый вариант двигателя представлял собой легкий тонкостенный цилиндр на оси, помещенный между пластинами, на которые подведено высокое постоянное напряжение, которое можно регулировать от 0 до 30 кВ (рис.1). В нашем эксперименте цилиндром являлась обычная пластиковая банка, в качестве оси использовалась заостренная железная спица для того чтобы уменьшить трение между банкой и концом оси.



**Рис. 1.** Первая модель двигателя

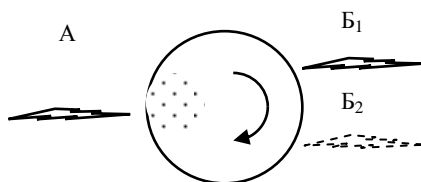
В такой модели двигателя цилиндр начинал вращаться либо от толчка, что соответствовало многим описаниям, либо не вращался.

Затем мы решили использовать вместо пластин остроконечные электроды. Фотографии действующей модели этого двигателя представлены на рисунке 2. Меняя положение одного из электродов, мы заметили, что цилиндр начинал вращаться без толчка, если поднести электрод, как показано на рисунке 3.



**Рис. 2.** Фотографии работающего двигателя с остроконечными электродами

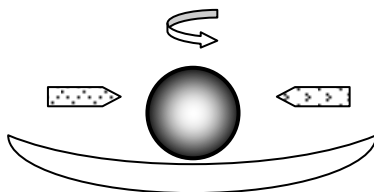
Если перенести правый электрод из положения  $B_1$  в положение  $B_2$  во время вращения ротора, то вращение продолжается в том же направлении. Если перенести электрод в положение  $B_2$  до включения источника напряжения, то направление вращения изменится на противоположное.



**Рис. 3.** Варианты расположения электродов

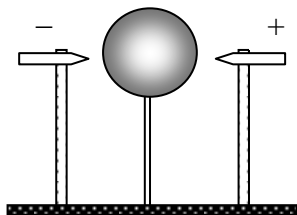
Цилиндр набирал большие обороты, если электроды были расположены у его верхней или нижней плоскости. Это может быть связано с тем, что область поляризуемого материала больше.

В качестве второй модели двигателя использовался теннисный (тонкостенный) шарик, лежащий в вогнутой линзе и помещенный между остроконечными электродами (рис. 4). При электродах, расположенных с противоположных сторон (на одной линии), шарик начинал вращаться без толчка, чего не наблюдалось ранее, и набирал очень большие обороты (даже иногда вылетал из линзы). При несимметричном расположении электродов шарик мог изменить направление вращения.

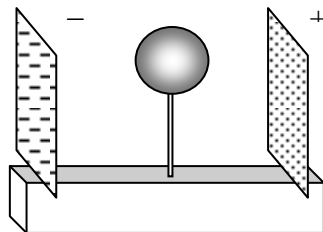


**Рис. 4.** Вторая модель двигателя

Третий двигатель – это сплошной шарик из пресспорошка, легко вращающийся на вертикальной оси и помещенный между остроконечными электродами (рис. 5). Мы провели такие же опыты, что и на первом двигателе. Скорость вращения этого шарика больше, чем у предыдущих. Объем поляризуемого мате-



**Рис. 5.** Третья модель двигателя (вариант с остроконечными электродами)



**Рис. 6.** Третья модель двигателя (вариант с пластинчатыми электродами)



риала стал значительно больше, поэтому шарик набирал очень большие обороты.

Мы решили заменить остроконечные электроды на пластины (рис. 6). Обороты еще возросли, так как объем поля увеличился, следовательно, увеличился и объем поляризуемого материала (поляризоваться стал весь шарик).

### *Теория эффекта*

Рассмотрим рисунок 7. Диэлектрик, из которого изготовлен ротор, состоит из электрически нейтральных молекул. Молекулы диэлектриков бывают двух типов: полярные и неполярные. Полярными называются такие молекулы, у которых центры положительного и отрицательного зарядов не совпадают (спирты, вода и др.); неполярными – атомы и молекулы, у которых центры распределения зарядов совпадают (инертные газы, кислород, водород, полиэтилен и др.).

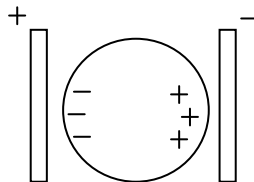
Рассмотрим теперь, что происходит с молекулами полярных и неполярных диэлектриков при их помещении в электростатическое поле.

Поляризация полярных диэлектриков. Диэлектрик вне электрического поля – в результате теплового движения электрические диполи ориентированы беспорядочно на поверхности и внутри диэлектрика. В этом случае заряд на поверхности диэлектрика равен нулю:  $q = 0$ , электростатическое поле внутри диэлектрика отсутствует:  $E_{вн} = 0$ .

Диэлектрик в однородном электрическом поле – на диполи действуют силы, которые поворачивают диполи, ориентируя их вдоль силовых линий поля. Но ориентация диполей – только частичная, так как мешает тепловое движение. На поверхности диэлектрика возникают связанные заряды, а внутри диэлектрика заряды диполей компенсируют друг друга.

Поляризация неполярных диэлектриков. Молекулы могут поляризоваться в электрическом поле. При этом положительные и отрицательные заряды молекул смещаются, центры распределения зарядов перестают совпадать, а значит, они превращаются в электрические диполи. Эти диполи ориентируются вдоль силовых линий внешнего поля, в результате чего на поверхности диэлектрика возникают связанные заряды.

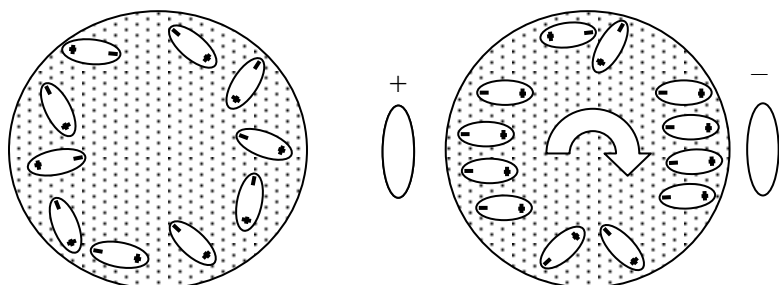
Таким образом, любой диэлектрик (а в нашем случае диэлектрический ротор двигателя Герца – Квинке) в электрическом поле электро-



**Рис. 7.** Поляризация ротора

дов поляризуется. Процесс поляризации схематически показан на рисунке 8 (на рисунке диполи условно обозначены эллипсами).

Рассмотрим отрицательно заряженную половину ротора. На нее действуют две силы: одна притягивает заряд к положительному электроду, вторая (меньшая по величине) отталкивает заряд от одноименного электрода. Если внешним воздействием повернуть ротор больше, чем на  $90^0$ , в поле электродов попадают другие молекулы и происходит переполаризация молекул. Время переполаризации соизмеримо со временем поворота ротора. Поэтому появляется вращающий момент. Это повторяется снова и снова, и цилиндр продолжает вращаться. Аналогичные процессы происходят и для положительно заряженной стороны.



а) Электроды отсутствуют б) Поднесли электроды под напряжением

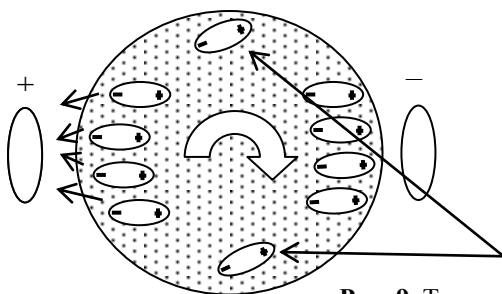
**Рис. 8.** Процесс поляризации

Когда напряжение подано на широкие электроды (пластины), ротор вращается быстрее, чем при остrokонечных электродах. Скорее всего, это происходит потому, что пластины создают более обширное поле, следовательно, объем поляризуемого материала и воздуха (среды) около ротора увеличивается.

Наши опыты свидетельствуют о том, что шарики начинали вращаться без начального толчка, скорее всего, потому, что наша система не симметрична (шарик не идеален по форме и электроды размещены не строго симметрично).

Мы полагаем, что время поворота диполя соизмеримо со временем поворота ротора, то есть после поворота ротора на  $90^0$  диполи успевают повернуться, сменив знак заряда на поверхности диэлектрика на противоположный (рис. 9). Ротор продолжит вращение, так как одноименные заряды будут отталкиваться. Прохождение «мертвой» точки

будет происходить по инерции («мертвой точкой» является то место, где поля разных знаков взаимно компенсируются). Потери на трение должны быть минимальны.



**Рис. 9.** Точки поворота диполей

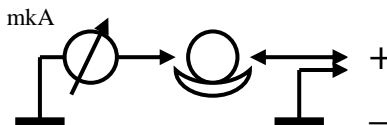
Таким образом, вращение ротора, по-видимому, во многом зависит от того, с какой скоростью его диполи могут переполаризовываться.

Было также проверено влияние формы электродов на работоспособность двигателей и скорость вращения ротора.

При проведении опытов было замечено, что при расположении остrokонечных электродов около верхней или нижней плоскостей тонкостенного цилиндра ротор вращался быстрее, чем при расположении остrokонечных электродов около его боковой поверхности. Нижняя и верхняя плоскость цилиндра имеют больший объем по сравнению со стенками цилиндра, следовательно, скорость вращения ротора зависит от объема поляризуемого материала.

Чтобы приблизительно оценить мощность, потребляемую двигателем, необходимо измерить величину токов при вращающемся и не вращающемся роторе. Через разницу между этими значениями токов и подаваемым напряжением можно вычислить потребляемую двигателем мощность. Эксперимент проводился на модели двигателя, где ротором являлся тонкостенный (теннисный) шарик.

Мы включили в нашу схему (рис. 10) микроамперметр на 200 мкА. Подав на схему напряжение, мы отвели один из электродов на такое расстояние от ротора, при котором он не вращался. Прибор показывал 10 мкА. Это величина тока, стекающего с электродов в окружающее пространство. Потом мы поднесли электрод к ротору, и



**Рис. 10.** Схема эксперимента

тот начал вращение. Прибор при этом показывал 30 мкА. Из них примерно 20 мкА расходуется на вращение. При вращении ротора напряжение упало с 30 до 27 кВ. Потребляемая мощность при 27 кВ примерно равна 0,54 Вт.

При анализе результатов проведенных опытов мы пришли к следующим выводам:

- 1) двигатели действительно работают и эффект Герца – Квинке существует;
- 2) чтобы ротор начал движение с толчка, двигатель должен быть симметричен;
- 3) если остроконечные электроды расположены около боковой поверхности тонкостенного цилиндра, то объем поляризуемого материала будет небольшим и вращающий момент будет незначительным;
- 4) если остроконечные электроды расположены около верхней или нижней плоскостей цилиндра, объем поляризуемого материала увеличится, следовательно, и вращающий момент возрастет;
- 5) от площади электродов зависит объем поляризуемого материала ротора и, следовательно, скорость вращения ротора;
- 6) от скорости переполаризации диполей должна зависеть скорость вращения ротора.

Мы решили поставленные в начале работы вопросы так, как мы их понимаем, но это не значит, что в этом вопросе поставлена точка. Наше решение может быть оспорено или дополнено. По этому вопросу до сих пор ведутся дискуссии, предлагаются различные варианты объяснений, вплоть до мистических. Четкого решения нет несмотря на то, что сам эффект был обнаружен Герцем еще в 1881 году. Тем не менее, несмотря на кажущуюся простоту самого эффекта, вопрос о его объяснении до сих пор остается открытым. Возможно, кому-то из читателей предстоит разгадать эту физическую загадку в будущем.

#### Литература

1. Кузнецов, М.И. Основы электротехники. Учебное пособие. Изд. 10-е. – М.: «Высшая школа», 1970. [http://www.motor-remont.ru/books/2/01\\_5.html](http://www.motor-remont.ru/books/2/01_5.html).
2. Новая энергетика. 2003, № 2.
3. Образовательный ресурс «Классная физика для любознательных» [http://class-fizika.narod.ru/10\\_3.htm](http://class-fizika.narod.ru/10_3.htm).
4. Юный техник. 2007, № 4.

## **Прохождение звуковых волн сквозь различные среды и устройство «веревочного телефона»**

Федор

7 класс

Научный руководитель М.А. Балакин



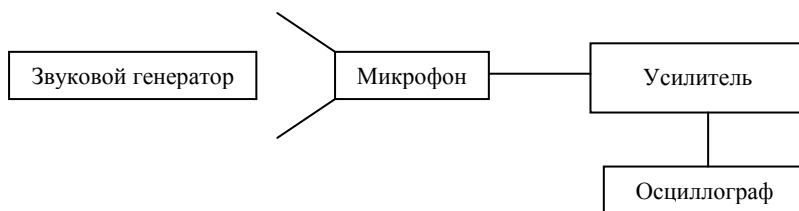
В работе изучалось прохождение звуковых волн сквозь различные среды (дерево, пенопласт, бумага). В качестве практического приложения полученных знаний была сделана попытка изготовить «веревочный телефон» и изучить особенности его работы. Была создана экспериментальная установка по измерению интенсивности пройденного сквозь материал звука, проведена серия опытов по прохождению звука, создан «веревочный телефон». В ходе исследования прохождения звука сквозь бумагу автором были получены интересные результаты. Изучение же работы «веревочного телефона» дало результаты неоднозначные, что связано с несовершенством методики первых экспериментов.

Звуковые волны окружают нас со всех сторон, и как всякое природное явление, могут помогать или мешать в осуществлении наших планов и потребностей. Отсюда ясно, что для усиления звука там, где он нужен, и ослабления там, где он является помехой, необходимо изучить как свойства самого звука, так и закономерности прохождения звука сквозь различные среды.

Целью нашей работы было изучение прохождения звука сквозь различные среды и в качестве практического приложения – создание и изучение акустического прибора «Веревочный телефон». Для постановки эксперимента необходимо было решить проблему создания системы количественной регистрации звуковой энергии.

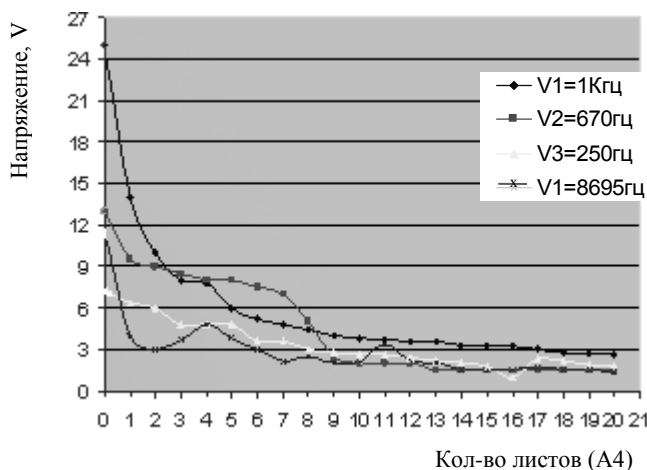
Звук – это механическая волна. Механические волны – суть распространение колебаний в пространстве. Волны бывают двух типов: поперечные и продольные. В поперечных волнах колебания частиц среды происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны, в продольных – в продольном. Звуковые волны – продольные.

В восприятии звука человеческим ухом можно отметить два важных момента. Во-первых, восприятие звука человеком сильно зависит от частоты звука. Во-вторых, диапазон наилучшей слышимости приходится на частоты около 3 – 5 кГц.



**Рис. 1.** Принципиальная схема установки

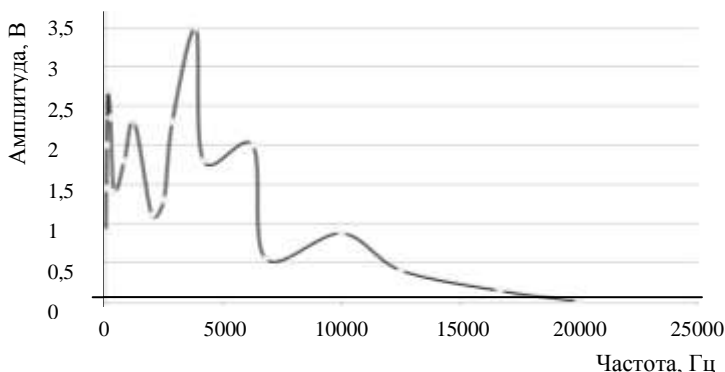
Для проведения исследований нами была создана установка по измерению интенсивности пройденного сквозь материал звука. Установка состоит из звукового генератора (в качестве источника звука), микрофона (в качестве приемника), усилителя и осциллографа (в качестве регистрирующего устройства) (рис. 1). Исследуемый материал мы помещаем между динамиком генератора и рупором микрофона.



**Рис. 2.** Зависимости интенсивности прошедшего звука от толщины бумаги (от количества листов) для разных частот

Первоначально планировалось провести подробное исследование прохождения звука сквозь различные среды с проверкой зависимостей амплитуды прошедшего звука от целого ряда параметров: материала, толщины, частоты. К сожалению, из-за недостатка времени удалось провести единичные замеры прохождения звука сквозь древесину, пенопласт и большее внимание уделить бумаге. На рисунке 2 приведены зависимости интенсивности прошедшего звука от толщины бумаги (от

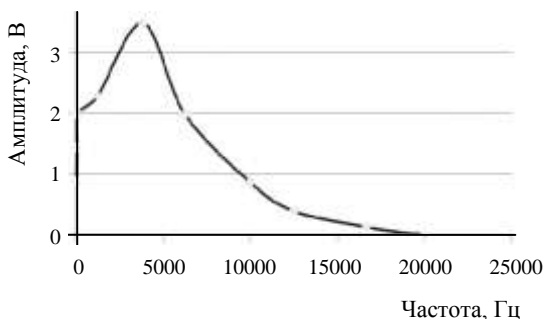
количества листов) для разных частот. Хорошо видно, что для всех частот принципиальный вид зависимости одинаков. Обратим внимание на тот факт, что интенсивность очень резко падает на первых 3 – 4 листах бумаги, а далее уменьшение идет более плавно. Мы объясняем это тем, что пока бумаги немного, она представляет собой рыхлый бумаго-воздушный композит. Именно такие материалы, согласно технической и научной литературе, являются наилучшими звукоизоляторами. Когда же число листов становится большим, стопка уплотняется, воздух вытесняется из промежутков между листами и определяющей становится только толщина бумажного слоя.



**Рис. 3.** Результаты попыток калибровки установки

Исследуя зависимость прохождения звука от частоты, мы пришли к выводу о необходимости исследования амплитудно-частотной характеристики самой установки. В противном случае будет невозможно правильно интерпретировать результаты эксперимента.

Результаты попыток калибровки установки приведены на рисунке 3. Мы ожидали получить плавную кривую зависимости амплитуды от частоты. Однако



**Рис. 4.** Амплитудно-частотная (сглаженная) характеристика установки

наши ожидания не оправдались. Зависимость, на первый взгляд, – почти хаотична. Такое поведение установки, по нашему мнению, объясняется, в первую очередь, нестабильной работой школьного звукового генератора. Мы попытались сгладить кривую, устранив точки явного выброса. В итоге мы получили ожидаемую кривую, с четким максимумом в области 4 кГц (рис. 4), что соответствует интервалу частот наилучшей слышимости человеческого уха.

#### *Создание «веревочного телефона»*

«Веревочный телефон» является известным (детским) прибором, состоящим из двух пластиковых стаканчиков и веревки. Обычно в один стаканчик говорят, другой – прижимают к уху. В нашем опыте один стаканчик прижимался к динамику генератора, внутрь второго вводился микрофон, и сигнал подавался через усилитель на осциллограф (рис. 5). Попытка исследования зависимости интенсивности пройденного звука от силы натяжения дала неоднозначный результат. Четкой зависимости интенсивности от силы натяжения не наблюдалось. Причину неудачи мы связываем с влиянием «человеческого фактора», так как оба стаканчика удерживались руками. По-видимому, необходимо закреплять стаканчики в штативах. Имеется также еще одно соображение: при изменении натяжения нити изменялась форма стаканчиков. Но данный эффект более тонкий.



**Рис. 5.** Эксперимент с «веревочным телефоном»

В результате работы можно утверждать, что способность материала пропускать звук зависит от рода материала, его толщины и однородности, качество «веревочного телефона» зависит от силы натяжения нити.

#### **Литература**

1. *Савельев, И.В.* Курс общей физики. Т.1. – М.: Наука, 1970.
2. Электронная энциклопедия [http://ru.wikipedia.org/wiki/Звуковые волны](http://ru.wikipedia.org/wiki/Звуковые_волны).



# **Измерение характеристик гауссова пучка, сфокусированного неизвестной линзой**

**Мыльников Василий**

10 класс

Научный руководитель А.А. Моисеев,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН



Оптическая когерентная томография – это современное эффективное средство для визуализации внутренней структуры биологических объектов. Оптическая когерентная томография (ОКТ) – метод неинвазивного исследования тонких слоев кожи и слизистых оболочек, глазных и зубных тканей человека. Поперечное разрешение оптической когерентной томографии определяется сканирующей системой, которая представляет собой линзу или систему линз, формирующих изображение моды на торце волокна. Оно определяется радиусом перетяжки гауссова пучка после прохождения через данную линзовую систему. К сожалению, существует ряд ситуаций, когда невозможно аналитически определить размер перетяжки, например, если в качестве одной из линз используются наплавленный на торец волокна шарик или градиентная линза, которую ради изменения ее параметров сделали короче. Непосредственно измерить диаметр получившегося пучка также бывает затруднительно, поскольку в применяемых в ОКТ системах он составляет 10 – 40 микрометров. Целью данной работы являлась разработка метода, позволяющего оценить радиус перетяжки гауссова пучка, получившегося после прохождения излучения волновода через неизвестную линзовую систему.

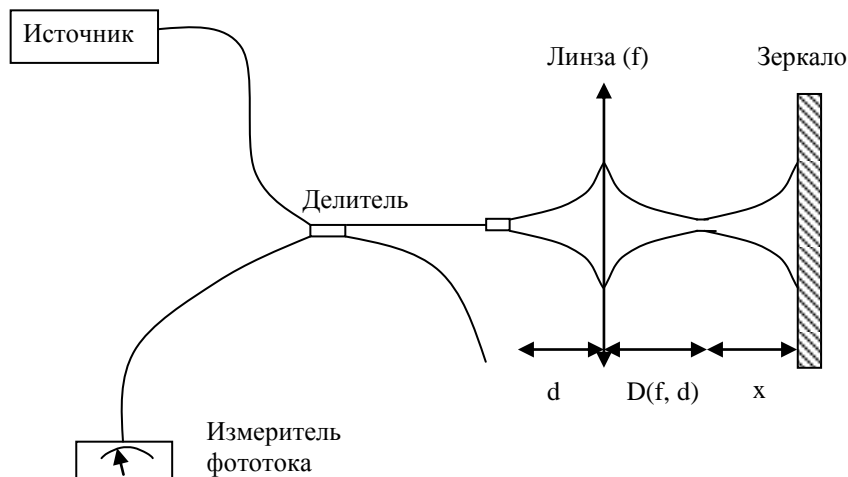
Для определения радиуса перетяжки гауссова пучка, проходящего через неизвестную линзовую систему, был поставлен эксперимент, схема которого изображена на рисунке 1.

Излучение выходит из источника тока, попадает на делитель, преломляется линзой, отражается от зеркала, вновь проходит через линзу, часть излучения попадает назад в волокно, далее на делитель, а затем на измеритель фототока.

1. Снимаем зависимость попавшей назад мощности от положения зеркала.

2. Построенную экспериментальную кривую мы описываем теоретической кривой, которая зависит от  $f$  и  $d$ . Подбирая  $f$  и  $d$ , мы доби-

ваемся наилучшего совпадения теоретической и экспериментальной кривой. Несмотря на то, что мы не можем определить  $f$  и  $d$  однозначно, искомый радиус получается одинаковым при различных  $f$  и  $d$ , приближающим теоретическую кривую к экспериментальной.



**Рис. 1.** Схема эксперимента

Теоретическая кривая:

$$Eff(d, f, x) = \left[ \frac{1}{4} \left( \sqrt{\frac{\bar{R}(d, f, x)}{R_0}} + \sqrt{\frac{R_0}{\bar{R}(d, f, x)}} \right)^2 + \frac{z(d, f, x)^2}{R_0 \bar{R}(d, f, x)} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где:  $R_0 = k\omega_0^2$ ,

$$\bar{R} = \bar{R}(d, f, x) = k\omega_1^2(d, f, x),$$

$\omega_0$  – начальный радиус перетяжки гауссова пучка,

$\omega_1$  – конечный радиус перетяжки гауссова пучка,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} - \text{волновое число},$$

$f$  – фокусное расстояние линзы,

$d$  – расстояние от торца волокна до линзы,

$D$  – расстояние от линзы до перетяжки гауссова пучка,

$x$  – расстояние от перетяжки гауссова пучка до зеркала,

$z(d, f, x)$  – расстояние от торца волокна до перетяжки после прохождения пучком оптической системы.

Таким образом, чтобы построить теоретическую кривую, нам надо определить  $\omega_1(d, f, x)$  и  $z(d, f, x)$ . Для этого мы используем матричную оптику. Каждой оптической системе можно поставить в соответствии матрицу  $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ . В нашем случае матрица имеет следующий вид:

$$A(f, d, x) := A2(d) \cdot A1(f) \cdot A3(f, d) \cdot A4(x) \cdot A3(f, d) \cdot A1(f) \cdot A2(d),$$

где:

$$A1(f) := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix}, \quad A2(d) := \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A3(f, d) := \begin{pmatrix} 1 & D(f, d) \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A4(d) := \begin{pmatrix} 1 & x \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$D(f, d)$  мы также определяем с помощью матричной оптики.

Распространение гауссова пучка через такую оптическую систему можно описать, используя комплексный параметр гауссова пучка.

$$q_0 = z + i \cdot \frac{k\omega_0^2}{2},$$

где  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число,  $\omega_0$  – начальный радиус перетяжки гауссова пучка,  $z$  – расстояние от торца волокна до перетяжки.

Данный параметр после прохождения системы преобразуется как

$$q_1 = \frac{A \cdot q_0 + B}{C \cdot q_0 + D}.$$

$A, B, C, D$  – составляющие конечной матрицы (гауссов пучок попадает на делитель и идет на измеритель фототока).

$i = \sqrt{-1}$  – комплексная единица.

$$q_1 = \frac{A \cdot q_0 + B}{C \cdot q_0 + D} = \frac{(A \cdot q_0 + B)(D - Cq_0)}{D^2 + C^2 E^2} = \frac{(A \cdot iE + B)(D - C \cdot iE)}{D^2 + C^2 E^2} = \frac{A \cdot iED + AE^2 C + BD - BC \cdot iE}{D^2 + C^2 E^2}$$

$$q_1 = z + i \cdot \frac{k\omega_1^2}{2}.$$

Приравнявая по отдельности мнимые и действительные части данного выражения друг к другу, находим  $\omega_1$  и  $z$ .

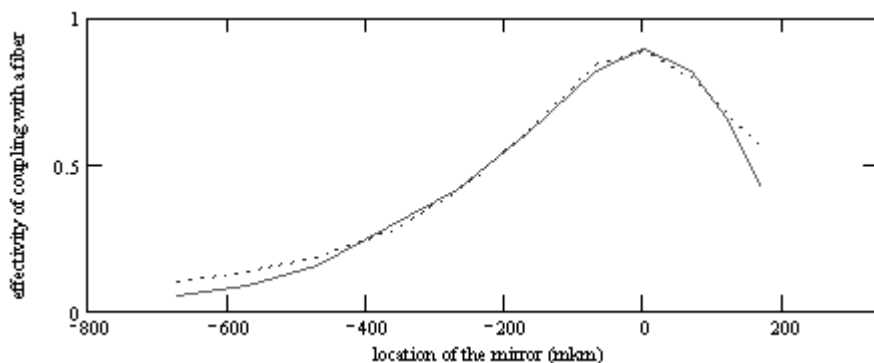
$$z = \frac{AE^2C + BD}{D^2 + C^2E^2},$$

$$\frac{A \cdot iED - BC \cdot iE}{D^2 + C^2E^2} = i \cdot \frac{k\omega_1^2}{2}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{2E(AD - BC)}{k(D^2 + C^2E^2)}}.$$

Подставляя полученные выражения в формулу (1), строим теоретические кривые.

### Эксперимент 1

$$\omega_1 = 11,5 \text{ мкм}$$



### Эксперимент 2

$$\omega_1 = 23,1 \text{ мкм}$$

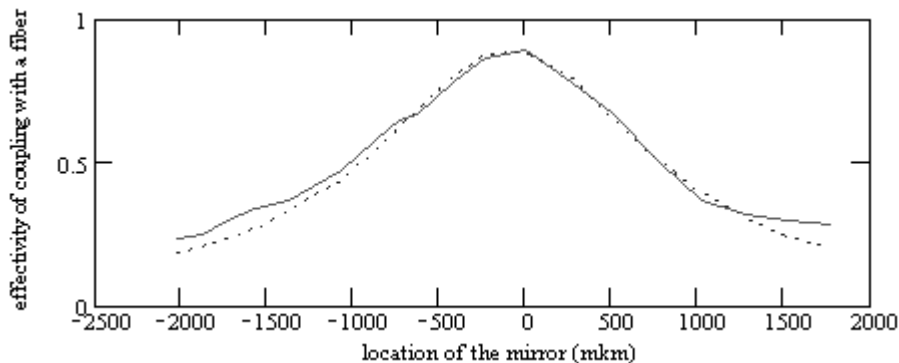
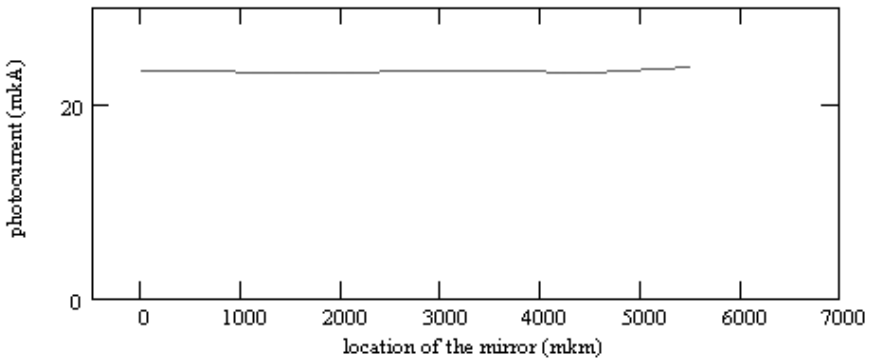


Таблица 1. Экспериментальные данные

F	d1	d2	1 Экс. $\omega_1$	2 Экс. $\omega_1$
500	740	600	11,51	23,0
1000	1500	1650	11,43	23,22
1500	2300	1900	11,32	23,35
2000	3100	2550	11,40	23,18

Несмотря на то, что мы не можем определить  $f$  и  $d$  однозначно, искомый радиус получается одинаковым при различных  $f$  и  $d$ , приближающих теоретическую кривую к экспериментальной.

### Эксперимент 3



В результате мы пришли к следующим выводам.

- 1) Разработан простой и эффективный метод определения радиуса перетяжки гауссова пучка, сфокусированного неизвестной линзой.
- 2) К сожалению, данный метод не действует для пучков с большим радиусом перетяжки, поскольку зависимость коэффициентов  $f, d$  от положения зеркала очень слабая, и мы не можем определить максимум и построить кривую (эксперимент 3).

### Литература

1. Горбушин, Ш.А. Азбука физики. Опорные конспекты для изучения физики за курс средней общеобразовательной школы: Экспериментальные материалы. – Ижевск: Удмуртия, 1992. – 256 с.
2. Мякишев, Г.Я. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. Учебник для углубленного изучения физики / Г.Я. Мякишев, А.З. Сияков. – М.: Дрофа, 2001. – 464 с.



## Сравнение моющих средств по изменению краевого угла

Паршина Наталья

8 класс

Научный руководитель В.Ю. Битюрина

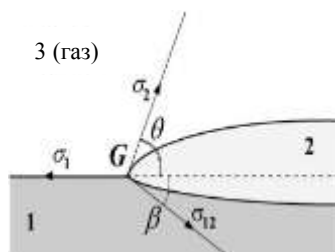
Для сравнения моющих качеств средств для мытья посуды проведена серия опытов по изменению ими краевого угла в зависимости от температуры водного раствора средства и его концентрации в воде. Выявлена общая зависимость краевого угла от указанных величин, проведено сравнение трех наиболее популярных моющих средств по объективному параметру.

В настоящее время потребителям предлагают огромное количество моющих средств различных производителей и разной стоимости. Какое из них выбрать? Можно положиться на субъективную оценку, испробовав различные моющие средства самому, или посоветоваться с друзьями. Можно также попытаться сделать объективную оценку, проведя эксперименты по измерению параметров, характеризующих смачивание раствором моющего средства некоторой поверхности. Таким параметром может быть краевой угол – угол между поверхностью твердого тела и мениском в точках их пересечения.

На основании результатов эксперимента можно будет ответить на ряд вопросов: какое средство отмывает загрязнения при меньшей концентрации раствора? Какое средство лучше отмывает жир при низкой температуре? Какое средство моет лучше в жесткой воде? Какого экономического эффекта можно ожидать (какое средство обойдется дешевле при прочих равных параметрах)? Таким образом, цель работы – выяснить, как различные моющие средства изменяют краевой угол.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – химические соединения, которые, концентрируясь на поверхности раздела фаз, вызывают снижение поверхностного натяжения. Основной количественной характеристикой ПАВ является поверхностная активность – способность вещества снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз.

Вблизи границы между жидкостью, твердым телом и газом форма свободной поверхности жидкости зависит от сил вза-



**Рис. 1.** Силы взаимодействия

имодействия молекул жидкости с молекулами твердого тела (взаимодействием с молекулами газа или пара можно пренебречь (рис.1)).

Если эти силы больше сил взаимодействия между молекулами самой жидкости, то жидкость смачивает поверхность твердого тела. В этом случае жидкость подходит к поверхности твердого тела под некоторым острым углом  $\theta$ , характерным для данной пары: «жидкость – твердое тело». Угол  $\theta$  называется краевым углом.

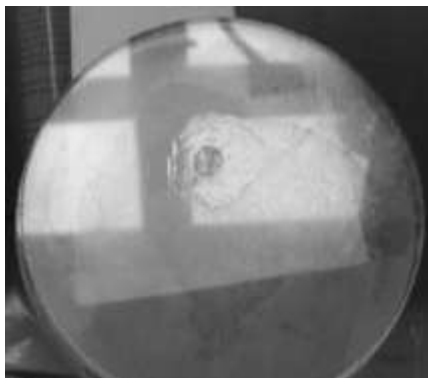
Если силы взаимодействия между молекулами жидкости превосходят силы их взаимодействия с молекулами твердого тела, то краевой угол  $\theta$  оказывается тупым. В этом случае жидкость не смачивает поверхность твердого тела. При полном смачивании  $\theta = 0$ , при полном несмачивании  $\theta = 180^\circ$ .

Итак, для исследования качества моющих средств выбираем в качестве измеряемого параметра краевой угол. Предположим, что чем лучше средство отмывает посуду, тем при меньших концентрациях и в более холодной воде происходит улучшение смачивания поверхности водой с добавленным моющим средством. Таким образом, будем добавлять моющее средство в воду, наблюдая за изменением краевого угла при разных концентрациях и температурах, и получим зависимости краевого угла от концентрации и температуры для каждого средства. По полученным результатам можно сделать выводы о качестве исследуемых средств.

Как же измерить краевой угол? В результате изучения данного вопроса мы пришли к выводу, что можно измерять угол по фотографиям (в программе Photoshop и непосредственно по напечатанным снимкам). Ожидается, что при увеличении концентрации средства в растворе и при увеличении температуры краевой угол будет уменьшаться.

Сначала мы хотели фотографировать каплю на плоской, смазанной жиром поверхности и работать с фотографиями капли, но как оказалось, прозрачная капля небольшого размера плохо видна на фотографии: не заметно изменение краевого угла (рис.2). Капля же большого размера быстро расплывается, ее невозможно фотографировать при одних и тех же условиях.

Поэтому мы использовали кювету из органического стекла с прямоугольным сечением, в которую наливали воду или раствор моющего средства и растительное масло. Вблизи угла кюветы хорошо видна граница несмешивающейся воды и масла (рис.3). Кроме того, при таком способе проведения эксперимента можно работать с большими объемами жидкости, что увеличивает точность эксперимента.



**Рис. 2 .** Капля на смазанной жиром плоской поверхности



**Рис. 3.** Граница несмешивающейся воды и масла вблизи угла кюветы

Для исследования были использованы три достаточно популярных средства для мытья посуды. Их составы следующие.

- Средство № 1: 15 – 30% анионные ПАВ, <5% неионогенные ПАВ, отдушка, консерванты.
- Средство № 2: вода, поверхностно-активные вещества, загуститель, комплексообразователь, регулятор pH, отдушка, экстракт витамина Е, консервант, краситель.
- Средство № 3: вода, поверхностно-активные вещества, загуститель, комплексообразователь, регулятор pH, отдушка, алоэ вера гель, консервант, краситель.

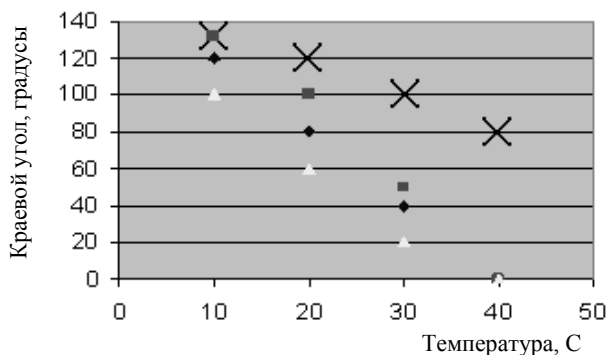
Мы измерили плотности всех моющих средств, они оказались одного порядка. Средство № 1 –  $1,4 \text{ г/см}^3$ , № 2 и № 3 –  $1,6 \text{ г/см}^3$  со средней относительной погрешностью 4%.

Концентрация средства в водном растворе вычисляется по формуле:

$$n = \frac{m}{V},$$
 где  $n$  – концентрация,  $m$  – масса добавленного моющего средства,  $V$  – объем воды. Массу добавленного моющего средства вычислили по его объему и плотности. Концентрации моющих средств в опытах изменялись от  $0,0015$  до  $0,0045 \text{ г/см}^3$ .

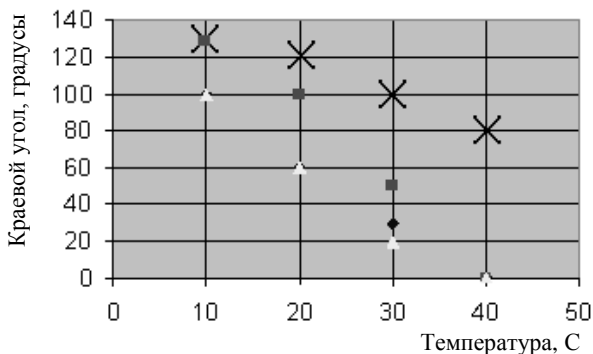
В среднем погрешность измерения концентрации (5%) достаточно мала, так как использовались большие объемы воды. В опытах использовались растворы моющих средств при температурах от  $10^0$  до  $40^0\text{C}$  со средней погрешностью 2%.



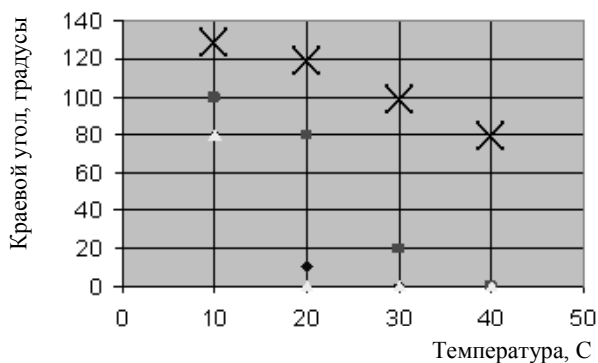


Крестиками обозначена зависимость для чистой воды, ромбами – для средства № 1, прямоугольниками – для средства № 2, треугольниками – для средства № 3.

**Рис. 4.** График зависимости краевого угла от температуры при концентрации 0,0015 г/см<sup>3</sup>



**Рис. 5.** График зависимости краевого угла от температуры при концентрации 0,003 г/см<sup>3</sup>



**Рис. 6.** График зависимости краевого угла от температуры при концентрации 0,0045 г/см<sup>3</sup>

Подбором мы определили наименьшую концентрацию каждого моющего средства, при которой становится заметным изменение краевого угла для капли раствора. Затем провели серию экспериментов с каждым средством, меняя его концентрацию и температуру. Результаты эксперимента представлены в виде графиков зависимости краевого угла от температуры для разных концентраций моющего средства (рис. 4 – 6).

Средства № 1 и № 3 начинают изменять краевой угол при  $10^{\circ}\text{C}$  в наименьшей концентрации  $0,0015 \pm 0,00008 \text{ г/см}^3$ , средство № 2 – при  $20^{\circ}\text{C}$  или при  $10^{\circ}$ , но в концентрации  $0,003 \pm 0,0002 \text{ г/см}^3$ . При  $20^{\circ}\text{C}$  средство № 3 приводит к полному смачиванию, при  $30^{\circ}\text{C}$  средства № 1 и № 3 приводят к полному смачиванию, а № 2 – еще нет. При  $40^{\circ}\text{C}$  все средства приводят к полному смачиванию. Средняя погрешность измерения угла  $5^{\circ}$ , что составляет от 4% при больших углах до 50% при малых углах, так что малые углы нельзя считать точно измеренными, но сравнить их можно.

На основании результатов эксперимента можно заявить, что в горячей воде все исследованные средства примерно одинаково эффективны, но средства № 2 требуется больше по массе (однако оно дешевле), в холодной воде это средство неэффективно.

Для сравнения с объективным мы провели и субъективное исследование (небольшой социологический опрос среди знакомых) и выяснили, что большинство из них предпочитают примерно в равном процентном соотношении средство № 1 и средство № 3, несмотря на их более высокую стоимость.

### Литература

1. Коллоидные поверхностно-активные вещества / Пер. с англ. А.Б. Таубмана, З.Н. Маркиной. – М., 1966.
2. Успехи коллоидной химии // И.В. Петрянова-Соколова, К.С. Ахмедова, С.И. Файнгольд, В.П. Тихонов. – Ташкент, 1987.
3. Роджерс, Э. Физика для любознательных. Материя, движение, сила. – М.: Мир, 1972.

# **Изучение протекания электрического тока в воздухе в условиях, близких к ситуации грозы**

Раксин Александр

8 класс

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



Работа посвящена изучению протекания электрического тока в газообразной среде (воздухе). В результате экспериментального исследования было выяснено, что пропорциональность между силой тока и напряжением на источнике питания (закон Ома) выполняется лишь для отдельных интервалов напряжений, то есть закон Ома в определенных условиях не выполняется.

Явление грозовой активности изучено еще не до конца. Существуют технологические устройства, в которых используют феномен протекания тока через газообразную среду.

Известно, что существуют вещества, в которых имеются свободно движущиеся заряженные частицы. Под действием внешнего электрического поля эти частицы совершают направленное движение, называемое электрическим током. Связь между электрическим полем, свойствами вещества и электрическим током можно записать в виде следующего соотношения: сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению. В некоторых веществах величина сопротивления в большом интервале напряжений является величиной постоянной. В этом случае говорят, что выполняется закон Ома.

Огни святого Эльма – разряд в форме светящихся пучков или кисточек, возникающий на острых концах высоких предметов при большой напряженности электрического поля в атмосфере. Они образуются в моменты, когда напряженность электрического поля в атмосфере у острия достигает величины порядка 500В/м и выше, что чаще всего бывает во время грозы или при ее приближении, а также зимой во время метелей. По физической природе огни святого Эльма представляют собой особую форму коронного разряда. Название данное явление получило по имени святого Эльма – покровителя моряков в католической религии. Морякам их появление сулило надежду на успех, а во время опасности – на спасение. В настоящее время разработаны методы, позволяющие получать подобный разряд искусственным путем.

Ломоносов и Франклин не только объяснили электрическую природу молнии, но и указали, как можно построить громоотвод, защищающий от удара молнии. Громоотвод представляет собой длинную проволоку, верхний конец которой заостряется и укрепляется выше самой высокой точки защищаемого здания. Нижний конец проволоки соединяют с металлическим листом, а лист закапывают в землю на уровне почвенных вод. Во время грозы на земле появляются большие индуцированные заряды, и у поверхности земли образуется большое электрическое поле. Напряженность его очень велика около острых проводников, поэтому на конце громоотвода загорается коронный разряд. Вследствие этого индуцированные заряды не могут накапливаться на здании, и молнии не возникают. В тех же случаях, когда молния все же возникает (а такие случаи очень редки), она ударяет в громоотвод и заряды уходят в землю, не причиняя вреда зданию.

Практическая цель работы: выяснить с помощью школьных электроизмерительных приборов, выполняется ли закон Ома для воздуха. При этом решалась проблема выяснения характеристик сложного проводника.

Для проверки закона Ома мы использовали обычный школьный источник питания, вырабатывающий до 30В, и подсоединили его к воздуху, то есть оставили провода разомкнутыми. Последовательно подключили вольтметр и параллельно – микроамперметр. Микроамперметр ничего не показал. Мы объясняем это тем, что токи в воздухе при малых напряжениях источника слишком малы. Возникло предположение, что для увеличения силы тока через воздух необходимо увеличить напряжение источника питания. Далее мы использовали высоковольтный источник питания, который вырабатывает напряжение 0 – 30кВ.

В качестве исследуемого воздушного промежутка мы взяли расстояние между металлической иглой и поверхностью воды. Забегая вперед, отметим, что при протекании тока наблюдался результат давления «ионного ветра» на воду (образование ямки). Металлическую иглу мы подсоединили к микроамперметру и источнику питания. Другой конец источника питания подсоединили к металлической пластине, опущенной в банку с водой.

При этом возникла проблема выбора вольтметра, потому что можно использовать тот прибор, который измерял бы большее напряжение и имел бы очень большое сопротивление (по сравнению с сопротивлением воздушного промежутка). Мы пытались использовать конденсаторный вольтметр, который работает по принципу электроскопа. Но

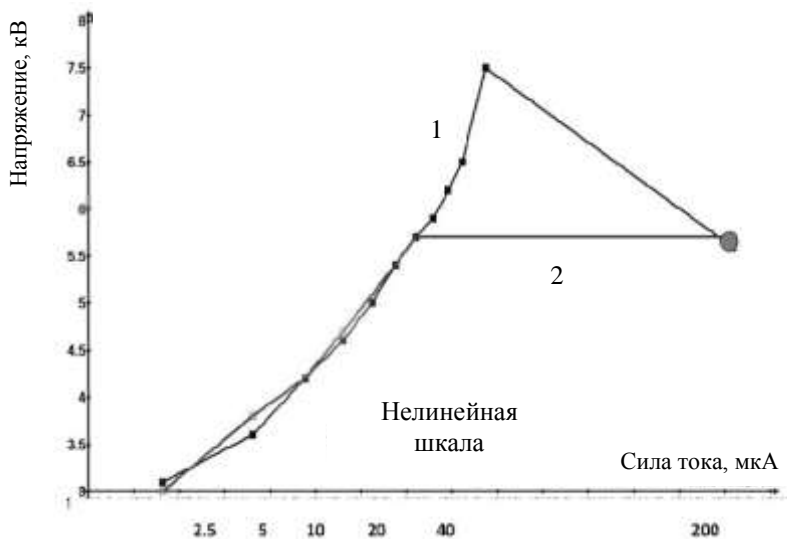
даже отключенный от цепи прибор показывал напряжение! По-видимому, данный тип вольтметра реагирует на сильные электрические поля вблизи высоковольтного источника питания. Поэтому мы отказались от конденсаторного вольтметра и использовали показания цифрового индикатора источника питания, который давал информацию о падении напряжения на данном источнике.

Во всех экспериментах мы измеряли силу тока в цепи при плавной регулировке напряжения источника питания:

- сначала в сторону увеличения напряжения (поворот ручки регулировки по часовой стрелке);
- затем в сторону уменьшения напряжения источника питания (поворот ручки регулировки против часовой стрелки).

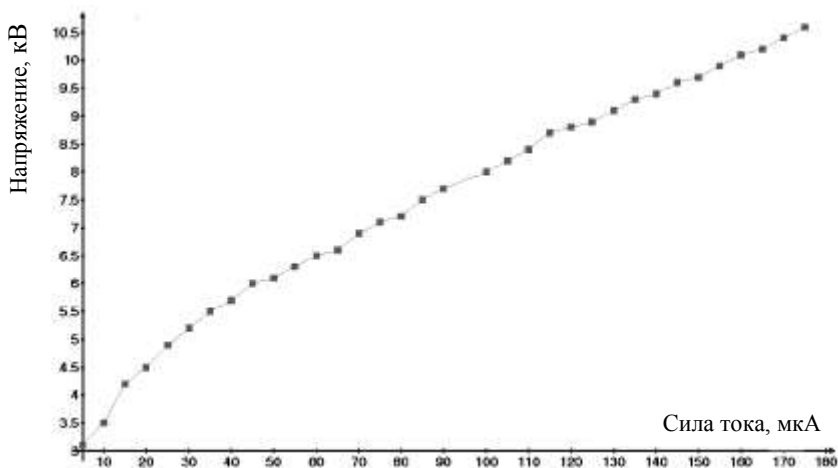
Во время эксперимента, когда плюс источника питания находился на игле, мы наблюдали сначала «Огни святого Эльма» вблизи острия иглы, а затем, при увеличении напряжения на источнике питания, – возникновение «искры». Мы наблюдали возникновение «ямы» на поверхности воды, а также явление «гистерезиса».

Мы построили график, где приведены данные при плюсе на игле, используя программу Advanced Grapher (рис. 1).

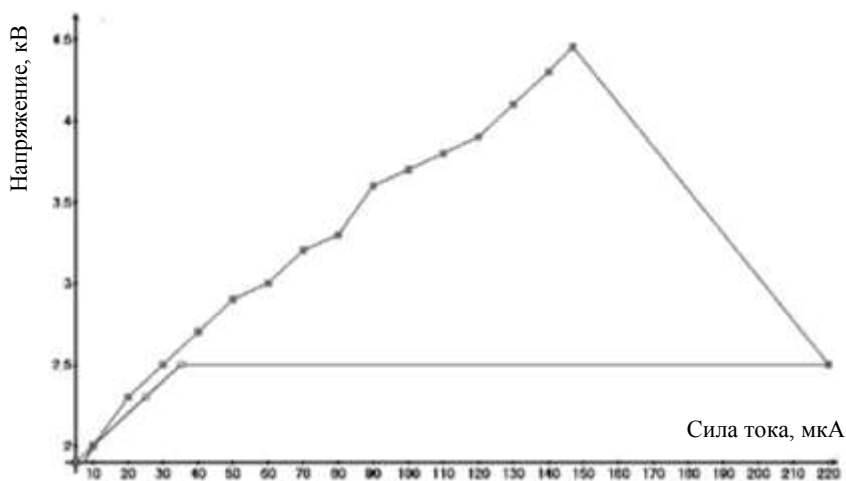


**Рис. 1.** Зависимость между силой тока и напряжением на источнике питания: плюс на игле (1 – регулировка по часовой стрелке; 2 – против стрелки)

Во время эксперимента, когда минус источника питания находился на игле (при неизменном положении иглы), мы наблюдали те же явления, что и при плюсе на игле, за исключением явления «искры» (рис. 2), которая возникла в опыте, когда иглу сместили ближе к воде (рис. 3).



**Рис. 2.** Зависимость между силой тока и напряжением на источнике питания: минус на игле



**Рис. 3.** Зависимость между силой тока и напряжением на источнике питания: минус на игле, игла смещена ближе к воде

В наших экспериментах мы наблюдаем свечение воздуха вблизи иглы. Это можно объяснить (так же, как и в случае природного явления «огней святого Эльма») свечением возбужденных атомов при бомбардировке этих атомов ионами и электронами, разогнавшимися в сильных электрических полях вблизи острия.

При возникновении «искры» сила тока резко растёт, а напряжение на источнике питания падает. Мы объясняем это тем, что для случая «искры» резко возрастает число носителей заряда из-за лавинного процесса ударной ионизации. Напряжение на источнике питания падает из-за возросшего падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника, а также из-за ограничения допустимых токов через источник питания.

Наиболее загадочным представляется увеличение проводимости воздуха (при прочих равных условиях) при переходе с плюса на минус на игле. Возможно, сама «-» игла является поставщиком дополнительных электронов в сильных электрических полях. Наша гипотеза – это повод для продолжения исследований.

График сравнения показаний плюса (1) и минуса (2) на игле при увеличении напряжения (рис.4).

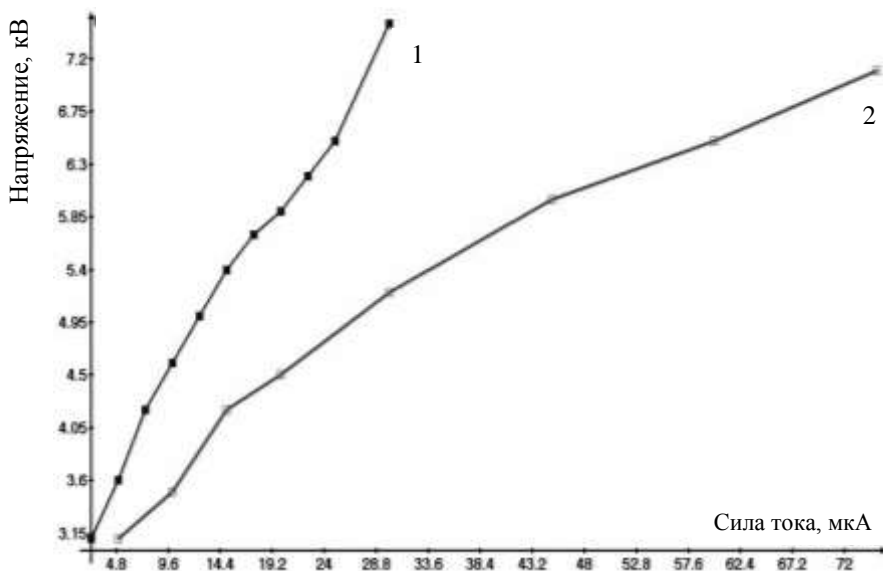


Рис. 4. Зависимость между силой тока и напряжением на ИП

В результате мы пришли к следующим выводам.

1. Пропорциональность между силой тока и напряжением на источнике питания (закон Ома) выполняется лишь для отдельных интервалов напряжений.
2. Напряжение для начала зажигания искры больше, чем для поддержания искры.
3. Существует «петля» на графике – обратный ход не повторяет прямой ход (гистерезис).
4. При минусе на игле сопротивление воздушного промежутка меньше (большее количество свободных зарядов).
5. Яма при минусе на игле больше, так как, по-видимому, большее количество заряженных частиц участвует в ее создании.

В дальнейшем мы планируем продолжить исследования при разных характеристиках иглы, изменяя остроту и толщину иглы, заменяя вещество иглы.

#### Литература

1. *Перышкин, А.В.* Физика, 8 класс. – М., 2003.
2. *Тарасов, Л.В.* Физика в природе. – М.: Просвещение, 1988.



## Столбы Тейлора

Рябинин Иван

7 класс

Научный руководитель П.М. Савкин



В работе проведено экспериментальное исследование столбов Тейлора, возникающих во вращающихся потоках. Анализ поведения столба Тейлора во вращающемся сосуде с жидкостью позволил сделать выводы о причинах его возникновения и факторах, влияющих на этот процесс.

Вихри довольно широко распространены во многих процессах, происходящих на Земле и в космосе. Например, они образуются в гидросфере Земли между течениями и островами или материками. Много их и в атмосфере Земли. Если взглянуть на фотографию атмосферы, сделанную из космоса, можно увидеть спирали из облаков – циклоны. Это и есть вихри. Некоторые из них наносят колоссальные разрушения, например, смерчи или торнадо. Возможно, существует способ борьбы с ними, но, чтобы бороться с чем-либо, нужно знать природу их возникновения и существования.

Вихри используются в технике – авиации, судостроении, топливной промышленности и других областях. Благодаря вихрям возможна очистка воздуха от механических частиц, что широко применяется в промышленности. Это – положительное воздействие вихрей. Но они же замедляют движение и повышают нагрузки на корпуса судов, автомобилей и самолетов. Из-за вихрей в авиации произошло множество катастроф. Чтобы снизить воздействие паразитных вихрей и увеличить воздействие положительных влияний этих вихрей, необходимо их дальнейшее изучение.

В некоторых случаях во вращающихся потоках возможно формирование внутренних структур, которые существуют до тех пор, пока сохраняется вращение. Примером таких структур являются столбы Тейлора. Но где существуют столбы Тейлора и как они образуются? Целью нашего исследования является изучение процесса возникновения столба Тейлора. В рамках исследования рассматривается образование, существование и разрушение столба Тейлора, а также поведение чернил в стоячей воде.

Для образования вихрей достаточно лишь хаотического соударения струй вещества. Начиная с некоторого критического значения

скоростей соударения, вещество начинает закручиваться, и в пограничных областях струй образуются кольцевые вихри.

Благодаря наличию пограничного слоя, удерживающего вихрь от разрушения, возникает градиент скоростей, что приводит к падению температуры в пограничном слое, а поэтому всякий вихрь охлаждает окружающую среду, постепенно забирая от нее тепло. Когда все температуры выровняются, температурный пограничный слой перестанет существовать, а кинетическая энергия вращения тела вихря исчерпается, после чего вихрь разрушится.

Когда вихрь отдает часть своей энергии, он увеличивает свой диаметр. Причин тому несколько: одна из них заключается в том, что внутреннее давление в центральной части вихря начинает подниматься, так как центробежные силы не так интенсивно теперь отбрасывают газ из внутренней области к стенкам.

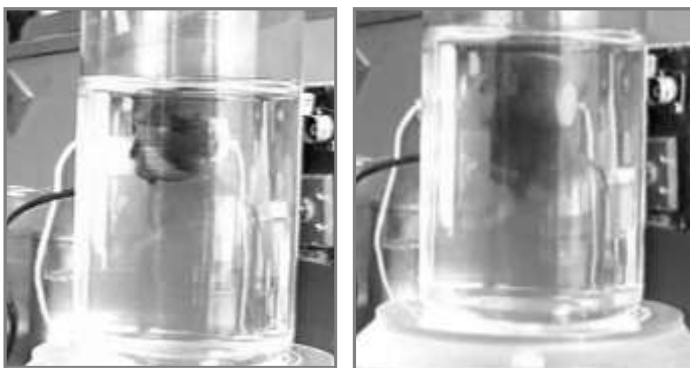
Если капнуть в неподвижный стакан немного чернил, то в них образуется вихрь. Но если поставить наполненный водой стакан соосно с вращающимся диском проигрывателя, дожидаться остановки воды относительно стакана, а затем капнуть в воду чернила на некотором расстоянии от оси, то чернила вытянутся в тонкую цилиндрическую плену. Такие образования и называются колоннами или столбами Тейлора.

В экспериментальной части работы это явление рассматривалось подробно. Эксперимент проходил в условиях школьной лаборатории. В качестве экспериментальной установки использовался патефон со скоростью вращения 70 – 80 оборотов в минуту.

#### *Поведение чернил во вращающейся воде*

Когда чернила попадают в воду, вращающуюся вместе со стаканом, они оттесняют часть воды от оси вращения стакана. Но тогда оказывается, что этот объем воды движется быстрее, чем должен был бы, находясь на прежнем расстоянии от оси. Поэтому он стремится вернуться в прежнее положение и создает давление, направленное по радиусу стакана к оси вращения. Та же часть воды, которую чернила вытеснили к оси вращения стакана, оказывается под давлением, слишком большим для ее центростремительного ускорения, поэтому она, также стремясь занять прежнее положение, создает давление, направленное к стенке. В результате чернила сжимаются в радиальном направлении и, перемешиваясь с водой в вертикальном направлении, все равно остаются в узком слое, образуя цилиндр. Кроме того, было рассмотрено поведение столба в коническом и сферическом сосудах. Форма столба все равно оставалась цилиндрической. При проведении эксперимента

было замечено, что плотность чернил должна быть выше плотности воды, иначе чернила не выделяют столб Тейлора, а просто окрасят близкую к поверхности воды часть столба.



**Рис. 1, 2.** Образование столба Тейлора

*Поведение чернил после прекращения вращения стакана*

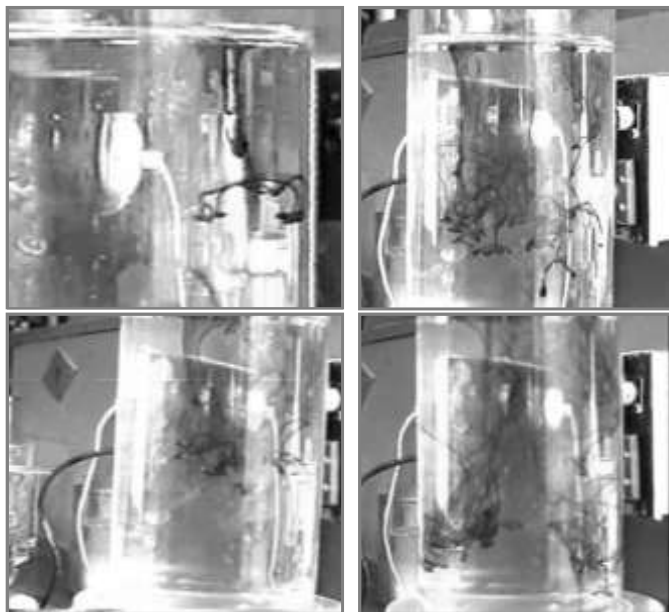
После остановки стакана происходит разрушение столба. Движение наружного слоя воды из-за трения о стенки стакана замедляется, и давление этого слоя на чернила уменьшается. Следовательно, исчезает фактор, удерживающий чернила в узком кольцевом слое, и столб разрушается.

*Поведение чернил в стоячей воде*

Капля чернил, имея плотность немного большую, чем у воды, с определенной скоростью опускается. Поверхностные слои капли вследствие трения о воду замедляются, центральный же слой чернил сохраняет свою скорость. Таким образом, в капле чернил образуется кольцевой вихрь. В прилегающих к капле слоях воды аналогичным образом образуется кольцевой вихрь с противоположным направлением вращения. Вследствие их взаимодействия капля распадается на несколько более мелких вихрей. Параллельно с этим процессом происходит диффузия. В итоге чернильные вихри растворяются в окружающей воде.



**Рис. 3.** Разрушение столба Тейлора



**Рис. 4, 5, 6, 7.** Поведение чернил в стоячей воде

Также был проведен замер времени движения капли до определенной отметки на стакане. Во вращающейся воде капля двигалась 22 секунды, как и в стоячей воде. Время до момента достижения отметки измерялось секундомером и приводится в секундах.

При проведении эксперимента были сделаны следующие выводы.

1. Столб Тейлора образуется только во вращающейся жидкости.
2. Форма сосуда не влияет на форму столба.
3. Скорость вращения сосуда влияет на быстроту образования столба Тейлора. Чем быстрее вращается жидкость, тем быстрее образуется столб.
4. Столб образуется на любом расстоянии от оси вращения, его диаметр зависит только от точки попадания капли.
5. Скорости распространения чернил по вертикальной оси в стоячей и во вращающейся воде равны.

Значимость работы заключается в следующем: проведен анализ поведения столба Тейлора во вращающемся сосуде с жидкостью, что необходимо для исследования таковых явлений и поиска областей их применения.

В ходе подготовки и выполнения работы были решены следующие задачи:

- выявлены условия возникновения и существования столбов Тейлора;
- выявлено отсутствие зависимости формы столба от формы сосуда, в котором он находится;
- замечено, что столб образуется на любом расстоянии от оси вращения, и его диаметр зависит только от точки попадания капли;
- обнаружено, что скорость вращения сосуда влияет на быстроту образования столба Тейлора. Чем быстрее вращается жидкость, тем быстрее образуется столб;
- вычислено, что скорости распространения чернил по вертикальной оси в стоячей и во вращающейся воде равны.

### **Литература**

1. Бублейников, Ф.Д. Физика и опыт. Исторические очерки / Ф.Д. Бублейников, И.Н. Веселовский. – М.: Просвещение, 1970.
2. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики. В 3 т. Том 1. – М.: Наука, 1971.
3. Роуэлл, Г. Физика / Г. Роуэлл, С. Герберт / Пер. с англ. И.Е. Каткова. – М.: Просвещение, 1993.
4. Эллиот, Л. Физика. Изд. 3 / Л. Эллиот, У. Уилколс / Пер. с англ. под ред. А.И. Китайгородского. – М.: Наука, 1975.
5. Сайт «Вращающиеся потоки» <http://betyaevs.narod.ru/chapter16/index168.htm>.



## **Лабораторное физическое моделирование и визуализация процессов, происходящих с вакуумными окнами криоэлектронных приемников, возникающих при их эксплуатации на радио- и оптических телескопах**

Сидоров Дмитрий

10 класс

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

В работе представлено физическое моделирование реальных процессов, происходящих при работе охлаждаемой аппаратуры телескопов. Впервые получена картина конденсации на радиационно-охлаждаемых вакуумных окнах. Работа и полученные результаты представляют большой теоретический и практический интерес для разработчиков охлаждаемой приемной аппаратуры.

Проблема радиационного обмерзания окон в настоящий момент мало исследована, если судить по количеству публикаций, и носит скорее теоретический характер. Это связано с тем, что данное явление происходит нечасто и его довольно сложно зафиксировать документально, монтаж и конструктивные особенности оборудования ограничивают эту возможность.

Нахождение конденсата на входных окнах приводит к сильному ухудшению качества приема сигналов. Возможно, что этот эффект часто приводил к ошибочному заключению о поломке аппаратуры, ее выключению и поиску несуществующих неисправностей. В истории современных астрономических наблюдений уже были случаи, когда при диагностике приемных установок не было обнаружено ни одной проблемы, хотя при эксплуатации было замечено значительное ухудшение качества приема сигнала.

Получение реальной картины запотевания окон криоэлектронных приборов может пролить свет на процессы, происходящие при работе аппаратуры, и заранее внести конструктивные изменения.

В том случае, если предположение об обмерзании приемных окон подтвердится, то всегда ли нужно устанавливать различные системы, препятствующие ему? Ведь они будут занимать место, приводя к возникновению проблем при монтаже, управлении и т.д., а конденсация пара в данных природных условиях может и не произойти. Поэтому нужно научиться предсказывать такое обмерзание, например, с помощью компьютерного моделирования.

Проблема: конденсация водяных паров, обмерзание снегом создают критические условия или делают работу технических устройств различного рода – самолетов и кораблей, различных оптических и квазиоптических приборов, – вообще невозможной.

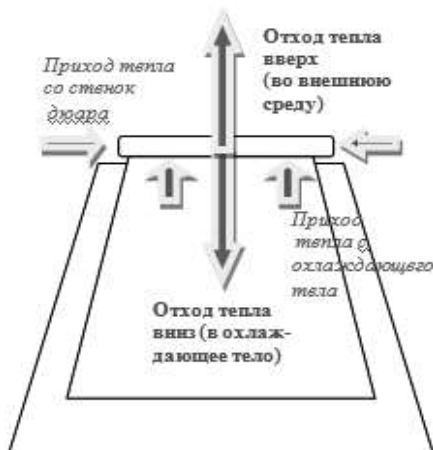
Цель: теоретическое исследование процессов охлаждения и конденсации на оптических окнах приборов, а также практическое подтверждение неоднородного температурного профиля для гермоокон приборов, связанных с эффектами линейной теплопроводности и радиационного охлаждения (закон Стефана – Больцмана).

Объект исследования: входное окно охлаждаемого приемного комплекса радиотелескопа диапазона длин волн 3мм.

Методы исследования: изучение опубликованных материалов, проведение лабораторного эксперимента с фиксированием результата на фотокамеру с последующим изучением фотографий.

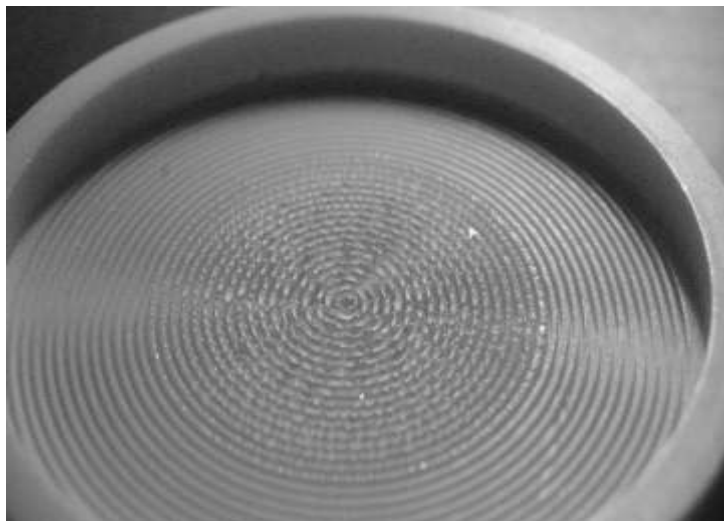


**Рис. 1.** Экспериментальная установка



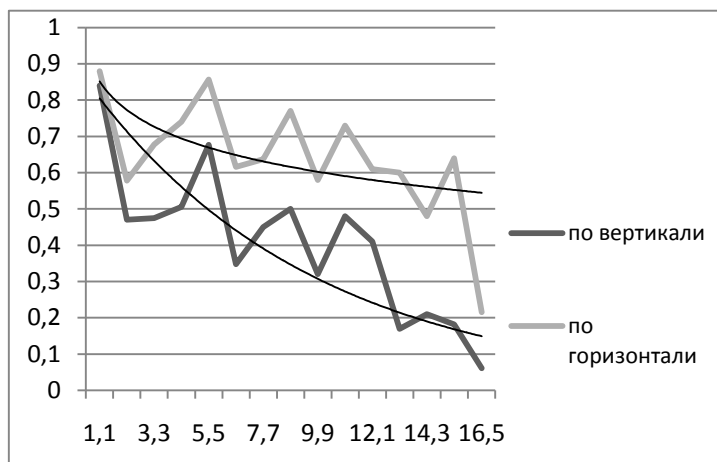
**Рис. 2.** Поток тепла  $q$  от оптического окна

Экспериментальная установка состоит из сосуда Дюара с жидким азотом, на горлышко которого надет деревянный каркас в виде параллелепипеда, герметично закрытый полиэтиленовой пленкой, и отверстия для фотоаппарата, фиксирующего состояние гермоокна приемника 3мм в режиме реального времени. Поскольку температура в центре будет понижаться быстрее, чем по краям, центр достигнет точки росы быстрее, и значит, что капли начнут там конденсироваться раньше и с течением времени они будут больше.



**Рис. 3.** Фотография распределения конденсата по поверхности охлаждаемого окна

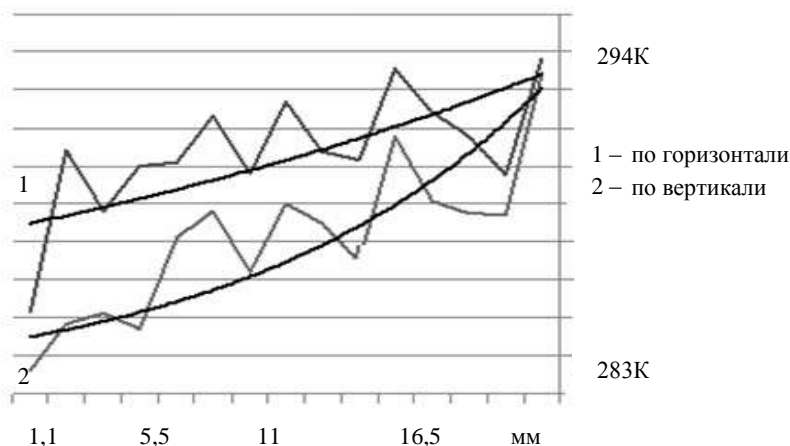
По фотографиям можно построить график зависимости процента занимаемой поверхности водяным конденсатом от расстояния до центра (рис. 4).



**Рис. 4.** График зависимости процента занимаемой поверхности водяным конденсатом от расстояния до центра



Преобразуя полученные данные и вводя оси координат температуры от расстояния (нами измерена температура в центре и на краю окна), можно получить график зависимости температуры от расстояния до центра (рис. 5).



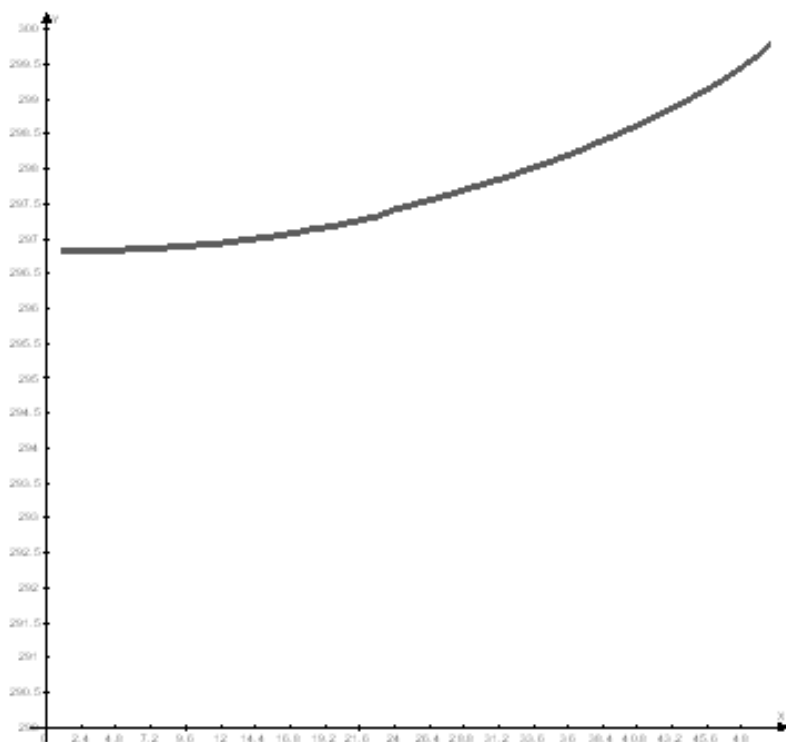
**Рис. 5.** График зависимости температуры на участках окна от расстояния до его центра

Кроме проведения эксперимента была написана программа на языке Pascal, решающая нестационарное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах с нелинейными граничными условиями, показывающая температурный профиль гермоокна в зависимости от начальных условий.

Из полученных расчетов стало очевидно, что центр линзы охлаждается и, если температура достигнет точки росы (в зависимости от климатических условий местности расположения оборудования), то возможно выпадение конденсата водяного пара на поверхность окна, следовательно, надо будет искать способы защиты или контроля его, например, с помощью обдува поверхности окна теплым воздухом.

Таким образом:

- 1) на практике доказан и подтвержден эффект радиационного охлаждения окон криоэлектронных приборов, впервые получена картина, имитирующая процессы, возникающие при реальной работе оборудования;
- 2) полученная картина заставляет задуматься разработчиков охлаждаемой аппаратуры о реальной картине, которая может возникнуть при эксплуатации;



**Рис. 6.** График зависимости температуры окна от радиуса, полученный с помощью компьютерного моделирования

- 3) была написана программа, описывающая температурный профиль входных окон приемников (в зависимости от материала окон, температурных условий и охлаждения приемников), с помощью которой можно делать вывод о необходимости использования различных систем защиты от этого эффекта.

#### Литература

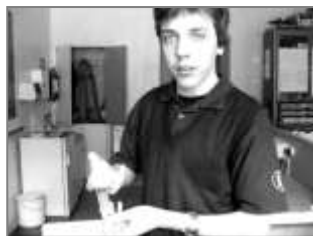
1. *Китайгородский, А.И.* Введение в физику. – М.: Наука, 1973. – 688с.
2. *Ландсберг, Г.С.* Элементарный учебник физики. Т. 1. – М.: Наука, 1972. – 651 с.
3. *Павленко, И.Г.* Начала физики. – М.: Экзамен, 2005. – 862с.
4. *Савельев, И.В.* Курс физики. Т. 1 и 3. Т. 1. – М.: Наука, 1989. – 350 с.; Т. 3. – М.: Наука, 1987. – 317 с.
5. *Фейнман, Р.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 3 – 4. «Излучение. Волны. Кванты», «Кинематика. Теплота. Звук» / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1977. – 495 с.

## Исследование влияния паров воды на давление воздуха

Спивак Алексей

8 класс

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



В работе исследовано влияние паров воды на давление воздуха, разработан метод измерения давления насыщенного пара при разных температурах. Сравнение экспериментальных и табличных данных показало, что метод плохо работает при низких температурах горячей воды. Сделана попытка доказательства утверждения о неупругости насыщенных паров.

В природе существует четкое взаимодействие трех величин: атмосферного давления, температуры воздуха и его влажности. Меняется атмосферное давление или температура (или то и другое одновременно), сразу же происходит или конденсация влаги, или ее испарение. Под действием солнечного тепла вода испаряется и поднимается над землей на определенную высоту, где температура и давление существенно ниже, чем у поверхности, происходит конденсация паров, образуются облака, из которых выпадают осадки в виде дождя, снега, мороси. На поверхности земли и над ней при определенных условиях образуются туман, дымка, морось, выпадают роса, иней. Таким образом, в атмосфере постоянно происходят два процесса – испарение влаги и конденсация, которые почти никогда не бывают в равновесии. Влажность воздуха – это важное свойство природы, и оно может влиять на многие ее явления. Есть мнение, что лишь при определенных уровнях влажности тел и относительной влажности окружающей атмосферы возможна жизнедеятельность животного и растительного мира.

Исследованием влияния паров воды на давление воздуха занимались многие ученые. Опыты Р.Бойля имели большое значение, даже будучи не всегда верно истолкованы и обобщены. Главной его заслугой является формулирование закона упругости газа от занимаемого им объема [5]. В 1806 году Ж.Л.Гей-Люссак начал исследования упругости газов в зависимости от температуры, а также процессов парообразования [6]. Аналогичными исследованиями занимался в Англии Дж.Дальтон. Особого упоминания заслуживает опыт Г.Галилея с термоскопом в 1597 году: колбу размером с яйцо, с длинным и тонким, как пшеничный стебель, горлышком, опущенным в чашу с водой, нагревают руками, и если убрать руки с колбы, то вода из чаши по мере остывания сосуда начнет подниматься в горлышко.

Нашей целью являлось исследование свойств воздуха, а именно давления насыщенного пара, в присутствии водяных паров. Данную цель мы разделили на два подпункта: во-первых, стремились разработать метод измерения давления насыщенного пара воды при разных температурах, и во-вторых, доказать или опровергнуть утверждение, что у насыщенных паров нет упругости.

Первой нашей задачей являлось воспроизведение опыта Галилея с термоскопом. Вместо нагревания сосуда руками мы согревали его горячей водой, после чего переносили сосуд в холодную воду и наблюдали, как вода поднимается.

Температуру горячей воды находили по трем величинам: объему воздуха в сосуде с горячей водой ( $V_0$ ), объему воздуха в холодной воде после «всасывания» ее в сосуд ( $V_1$ ) и температуре холодной воды ( $t_0^o$ ). Воспользуемся объединенным газовым законом. Мы считаем, что атмосферное давление ( $P_0$ ) примерно равно давлению в сосуде, который находится в холодной воде ( $P_1$ ) (давление водяного столба действительно много меньше атмосферного).

$$\frac{P_0 V_0}{t_0^o + 273} = \frac{P_1 V_1}{t_1 + 273}, \text{ где}$$

$$P_1 \approx P_0.$$

На основании полученных результатов косвенного измерения температуры горячей воды мы сделали следующий вывод: мы ошиблись в своих предположениях, так как в ряде случаев косвенно измеренная температура оказывалась существенно выше  $100^o\text{C}$ ! Анализ данного опыта показал, что в пробирке находятся смеси газов, а именно, сухой воздух и насыщенный пар. А значит, давление складывается из давлений смеси газов.

Для случая с сосудом с горячей водой это  $P_{\text{атм}} = P_{\text{гор возд}} + P_{\text{нас пар}}$ .

Для случая с сосудом с холодной водой это  $P_{\text{атм}} = P_{\text{хол возд}}$ .

Во второй формуле мы не учли давление насыщенных паров, так как оно слишком мало. Из полученных формул можно вычислить отношение давления насыщенных паров к атмосферному давлению.

$$\frac{P_{\text{горвозд}} V_0}{t_0^o + 273} = \frac{P_{\text{холвозд}} V_1}{t_1 + 273}, \text{ где}$$

$$P_1 \approx P_0.$$

$$\text{Или } \frac{P_{н.п.}}{P_{.o}} = 1 - \frac{x \cdot (t_{\text{в.з.}}^o + 273)}{L_o \cdot (t_{\text{в.х.}}^o + 273)}.$$

Существуют и другие способы измерения давления насыщенных паров: статический – измерения производятся непосредственно манометром [4], динамический (эбулиометрический) – вместо давления насыщенных паров при данной температуре измеряется температура кипения жидкости, соответствующая заданному давлению [4].

Метод газового насыщения (метод струи, динамический) – пары исследуемого газа уносятся проходящим над ним ламинарным потоком инертного газа. Непосредственно в опыте измеряются расход инертного газа, полные давления до и после сатуратора, температура и количество испарившегося вещества. Затем рассчитывают давление насыщенных паров [4].

Для определения молекулярного и ионного состава пара был разработан эффузионный метод Кнудсена с масс-спектрометрической регистрацией продуктов испарения [3]. Это один из наиболее известных методов измерения давления пара труднолетучих соединений. Он прекрасно зарекомендовал себя как универсальный метод определения молекулярного веса частиц в газовой фазе. Метод основан на зависимости интенсивности линий масс-спектра вещества от парциального давления его пара в ионном источнике масс-спектрометра.

Метод Лэнгмюра основан на испарении вещества в вакуум с открытой поверхности с последующей конденсацией на мишени [2]. Давление насыщенного пара вычисляют по уравнению:

$$p = m\sqrt{2\pi RT/M}/(S\alpha),$$

где  $m$  – масса вещества с молекулярной массой  $M$ , испарившегося за время  $t$  с поверхности площадью  $S$ ,  $\alpha$  – коэффициент испарения,  $\pi = 3,14$ .

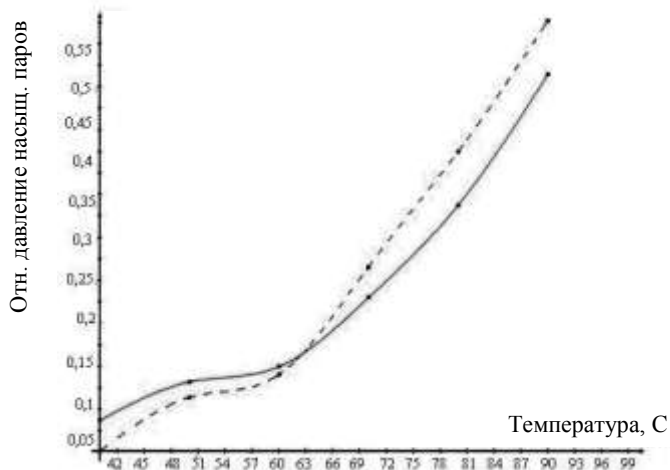
Метод изотопного обмена основан на обмене молекулами пара между двумя образцами различного изотопного состава в обменной камере при заданной температуре.

Мы разрабатывали свой метод измерения давления насыщенного пара в зависимости от температуры. Для начала мы повторили опыт Галилея с термоскопом, придя к выводу, что он реален, но термоскоп Галилея плохо работает с высокими температурами, поэтому на него нельзя полагаться. Для нахождения отношения давления насыщенного пара к атмосферному



Рис. 1. Экспериментальная установка

мы использовали экспериментальную установку: сосуд с горячей водой, сосуд с холодной водой, пробирка с одним закрытым концом, термометр электронный, видеокамера (рис.1). Нагревали воду в сосуде с горячей водой до определенной температуры, вводили пробирку с замкнутым концом в данный сосуд и ждали 1 минуту. Затем резко переносили пробирку в сосуд с холодной водой и наблюдали за тем, как вода поднимается по отметкам на пробирке. По отметкам мы могли найти объем воздуха, который остался в ней. Из полученной ранее формулы отношения давления насыщенного пара к атмосферному мы могли найти численно это отношение. Сверяя отношения, полученные нами путем экспериментально-математического метода, с результатами, полученными с помощью справочника по физике [1], мы можем утверждать, что результаты больше всего совпадают при  $t_{г.в.}$ , равной  $60^{\circ}\text{C}$ , и  $t_{х.в.}$ , равной  $28^{\circ}\text{C}$ , и при объеме воздуха в пробирке после «втягивания» воды 59 (рис. 2). Изучая результаты, мы пришли к выводу, что недостаток нашего метода состоит в том, что он плохо работает при приближении температуры насыщенных паров к температуре холодной воды (холодильника). При расширении области применения метода надо брать очень холодную воду (при температуре, близкой к нулю).



**Рис. 2.** Зависимость относительного давления насыщенных паров от температуры (сплошная линия – табличные данные, пунктирная – экспериментальные данные)

Следующей нашей задачей было рассмотрение упругости воздуха после контакта с горячей водой (температура кипения) при отсутствии

контакта. Экспериментальная установка состояла из шприца, запаянного с одного конца, железного сосуда, нагревателя для воды. Мы наливали в железный сосуд воду до края, начинали ее кипятить с помощью нагревателя воды. Окунали шприц без поршня, когда вода находилась в стадии кипения, незапаянным концом и ждали 3 минуты, продолжая нагревать воду. Затем вынимали шприц, сразу надевали на него поршень и начинали давить на него до предела. Поршень мы смогли вдавить на  $2/3$  от всего шприца. Далее вынимали поршень, охлаждали шприц, снова вставляли поршень и давили до упора. Поршень мы смогли вдавить только до половины. При контакте с горячей водой и временном пребывании в ней воздух в шприце вытеснялся насыщенным паром, что позволяло нам вдавить поршень сильнее. Но когда мы вставляли поршень в шприц, воздух просачивался в него из-за перепада температуры. Без контакта с водой шприц полон воздуха, и поэтому мы могли вдавить поршень только на половину шприца. Сравнение результатов двух опытов показало, что воздух после контакта с горячей водой менее упругий, чем воздух в отсутствие контакта с ней.

Нам не удалось доказать или опровергнуть теорию о том, что у насыщенных паров нет упругости. Но мы смогли найти способ измерения давления насыщенных паров в зависимости от температуры. Достоинство нашего метода заключается в его простоте, его легко провести в любой квартире. Выявилась также практическая и научная ценность нашего метода: с его помощью можно создавать разреженный воздух, демонстрировать атмосферное давление, исследовать насыщенные пары. К числу недостатков нашего метода относится то, что он плохо работает при приближении температуры насыщенных паров к температуре холодной воды. Как выяснилось, для расширения области применения метода надо брать холодную воду, температура которой близка к нулю. В будущем мы планируем найти способ опровержения или доказательства теории несуществующей упругости у насыщенных паров и усовершенствовать наш метод.

### Литература

1. *Енохович, А.С.* Справочник по физике. – М.: Просвещение, 1990.
2. *Несмеянов, А.Н.* Давление пара химических элементов. – М., 1961.
3. *Сидоров, Л.Н.* Масс-спектральные термодинамические исследования / Л.Н. Сидоров, М.В. Коробов, Л.В. Журавлева. – М.: Изд-во МГУ, 1985.
4. Физический энциклопедический словарь. Т.5. / Под ред. Б.А.Введенского. – М.: Советская энциклопедия, 1966. – 576 с.
5. Электронная энциклопедия <http://ru.wikipedia.org/wiki/Гей-Люссак>, Жозеф Луи.
6. Электронная энциклопедия [http://ru.wikipedia.org/wiki/Роберт Бойль](http://ru.wikipedia.org/wiki/Роберт_Бойль).



## **Измерение расстояния между атомами в молекуле**

**Сучкоусов Андрей**

**9 класс**

**Научный руководитель М.А. Кошелев,  
канд.физ.-мат.наук**

В работе проведено экспериментальное наблюдение линии поглощения окиси углерода. Получено выражение, связывающее частоту центра наблюдаемой линии с расстоянием между атомами в молекуле CO. Определено значение межатомного расстояния в молекуле CO. Полученное значение в пределах экспериментальной ошибки совпадает с табличной величиной.

С древних времен люди интересовались строением окружающего мира. Одним из первых ученых, который начал исследовать эту проблему, был Демокрит. Главным его достижением считается развитие учения об атоме – «неделимой частице вещества, обладающей истинным бытием, не разрушающейся и не возникающей» (атомистический материализм). Он описал мир как систему атомов в пустоте, отвергая бесконечную делимость материи, утверждая не только бесконечность числа атомов во Вселенной, но и бесконечность их форм. Атомы, согласно этой теории, движутся в пустом пространстве (Великой Пустоте, как говорил Демокрит) хаотично, сталкиваются и вследствие соответствия форм, размеров, положений и порядков либо сцепляются, либо разлетаются. Образовавшиеся соединения держатся вместе, и таким образом возникают сложные тела.

Молекула – наименьшая частица химического вещества, состоящая из двух и более атомов и обладающая всеми химическими свойствами этого вещества. Из молекул (по современным представлениям) состоят лишь вещества, находящиеся в парообразном и газообразном состоянии. Молекулы являются объектом изучения теории строения молекул, квантовой химии, которая активно использует достижения квантовой физики. В настоящее время развивается такая область химии, как молекулярный дизайн. Для определения строения молекул конкретного вещества современная наука располагает колоссальным набором средств: электронной, колебательной и вращательной спектроскопией, ядерным магнитным резонансом, электронным парамагнитным резонансом и другими.



Целью данной работы было измерение длины связи между атомами в простейших молекулах на примере молекулы окиси углерода (CO) с помощью современных методов вращательной спектроскопии миллиметрового диапазона длин волн.

Задачи исследования: экспериментальное наблюдение линии поглощения CO; получение выражения, связывающего частоту центра наблюдаемой линии с расстоянием между атомами; определение межатомного расстояния в молекуле CO и его сравнение с имеющимися данными.

Для определения межатомного расстояния в молекуле CO использовался спектрометр с радиоакустическим детектором сигнала поглощения.

Представим, что молекула состоит из двух атомов, связанных невесомой нитью (рис. 1). Центр масс молекулы определяется следующими выражениями:

$$\begin{cases} m_1 l_1 = m_2 l_2 \\ l = l_1 + l_2 \end{cases},$$

где  $m_{1,2}$  – массы атомов,  $l_{1,2}$  – расстояние от центра масс молекулы до центра масс атомов,  $l$  – межатомное расстояние.

Основные характеристики вращательного движения молекулы:

$$\text{момент инерции } I = m_1 l_1^2 + m_2 l_2^2,$$

$$\text{энергия вращения } T = \frac{I\omega^2}{2},$$

$$\text{момент количества движения } K = I\omega.$$

Из квантовой механики известно, что момент количества движения молекулы  $K$  квантован, то есть может принимать ряд определенных значений.

$$K = I\omega = \frac{h}{2\pi} \cdot J.$$

Из этого следует, что энергия вращения молекулы также квантована. При переходе к квантовому представлению производится замена  $J^2 \rightarrow J(J+1)$ .

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

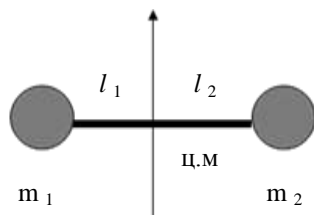


Рис. 1. Представление двухатомной молекулы

Изменение скорости вращения молекулы, то есть вращательного состояния  $J$ , возможно при поглощении кванта излучения, энергия которого равна  $h\nu$ , где  $\nu$  – частота излучения. Например, при переходе из состояния с  $J = 0$  в состояние с  $J = 1$ , по закону сохранения энергии изменение вращательной энергии молекулы ( $T_1 - T_0$ ) будет определяться следующим выражением:

$$T_1 - T_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 I} = h\nu_{1-0},$$

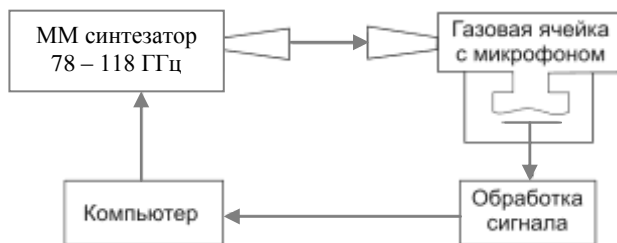
где  $\nu_{1-0}$  – частота первого вращательного перехода в молекуле. В результате мы получаем связь частоты вращательного перехода с моментом инерции молекулы:

$$I = \frac{h}{4\pi^2 \nu_{1-0}}$$

и, соответственно, с межатомным расстоянием:

$$l = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{h}{\nu_{1-0}} \cdot \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}.$$

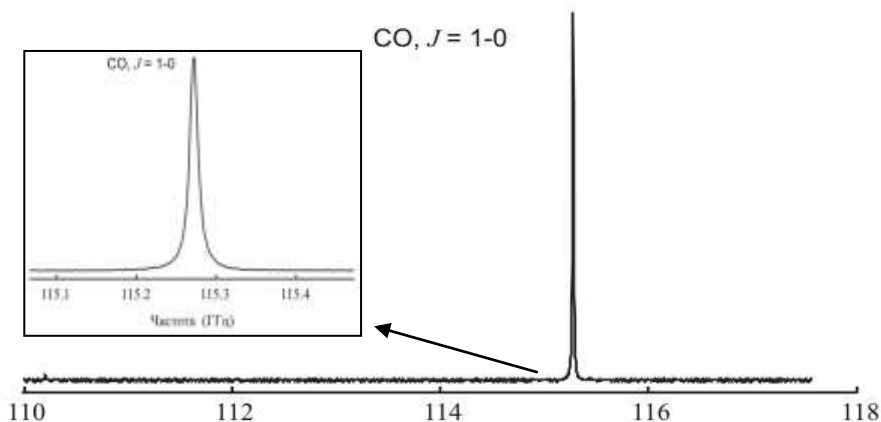
Таким образом, зная массы атомов и частоту первого вращательного перехода, можно определить межатомное расстояние в молекуле.



**Рис. 2.** Блок-схема спектрометра

Для определения расстояния между атомами в молекуле СО мы использовали спектрометр с радиоакустическим детектором сигнала поглощения (рис. 2). Источником излучения в спектрометре является синтезатор миллиметрового излучения, работающий в диапазоне частот 78 – 118 ГГц. Излучение синтезатора попадает в газовую ячейку, к которой подключен микрофон. Если частота излучения совпадает с частотой перехода молекулы на другой энергетический уровень, то газ

поглощает излучение, разогревается и расширяется. При этом изменяется емкость микрофона. Это изменение преобразуется в электрический сигнал и записывается в компьютер. При пошаговом сканировании частоты источника в заданном диапазоне мы получаем спектр поглощения исследуемой молекулы (рис. 3).



**Рис. 3.** Экспериментальный спектр молекулы СО

Наблюдаемая в спектре линия поглощения соответствует первому вращательному переходу молекулы СО из состояния с  $J = 0$  в состояние с  $J = 1$ . В результате обработки частота перехода была определена как  $\nu_{1-0} = 115.2712(2)$  ГГц. Используя эту величину и полагая массы атомов углерода и кислорода известными ( $m_C = 2.0088 \cdot 10^{-27}$  кг,  $m_O = 2.6784 \cdot 10^{-27}$  кг), межатомное расстояние в молекуле СО было определено как  $l_{C-O} = 1.127 \pm 0.001$  Ангстрем. Стоит отметить, что полученные результаты хорошо совпадают с данными из химического справочника ( $l_{C-O} = 1.128$  Å), что свидетельствует о высоком качестве проведенной работы.

### Литература

1. Физика. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 4-е изд. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 944 с.
2. Крупнов, А.Ф. Микроволновая спектроскопия. – Н.Новгород: ИПФ РАН, 2009. – 83 с.



## **Измерение волнового фронта оптического излучения методом сканирования углового спектра**

Шалаева Полина

9 класс

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

Предложен метод регистрации фазового фронта световой волны, представляющий собой модификацию метода Гартмана и основанный на сканировании углового спектра волны при помощи экрана с отверстием. Показано, что предложенный метод позволяет существенно сократить число измерений в методе Гартмана, не теряя при этом углового и пространственного разрешений и дополнительно не ограничивая динамический диапазон. Проведены эксперименты, подтверждающие эффективность предложенной модификации метода Гартмана.

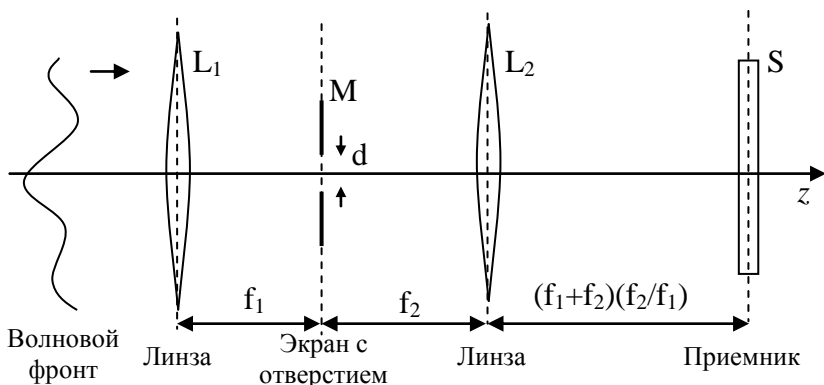
Световая волна характеризуется двумя параметрами: амплитудой (интенсивностью) и фазой. Если интенсивность можно определить с помощью фоторегистрирующих устройств, то непосредственно измерить фазу световой волны невозможно. Между тем, знание как амплитуды, так и фазы (или формы волнового фронта) оптического излучения оказывается необходимым для решения широкого круга исследовательских и прикладных задач. Оно используется в таких областях науки и техники, как офтальмология, лазерная физика, микро- и нанотехнология, астрономия и адаптивная оптика.

Одним из наиболее простых и эффективных методов, позволяющих восстанавливать распределение фазы, является метод Гартмана, основанный на измерении локальных наклонов волнового фронта. Обладая рядом преимуществ, этот метод не свободен от недостатков, ограничивающих область его применения. В первую очередь, это взаимное ограничение пространственного и углового разрешений, связанное с дифракцией, а также либо необходимость проводить большое количество последовательных измерений для определения наклона каждого участка волнового фронта (сканирующий датчик Гартмана), либо серьезное ограничение динамического диапазона (датчик Шака – Гартмана). Представляет интерес задача разработки такой модификации метода Гартмана, которая сохранит достоинства сканирующего

датчика и позволит сократить число измерений, необходимое для восстановления фазового фронта.

В данной работе описан новый метод регистрации фазового фронта световой волны, представляющий собой модификацию метода Гартмана и основанный на сканировании углового спектра волны при помощи экрана с отверстием.

Оптическая схема, реализующая метод, состоит из конфокальной системы линз  $L_1$  и  $L_2$ , экрана с отверстием  $M$  и матричного приемника  $S$ . Ось  $z$  – оптическая ось системы (рис.1). Световая волна, фазовый фронт которой требуется измерить, падает на линзу  $L_1$ , в фокальной плоскости которой помещен экран с отверстием. Пройдя через отверстие, излучение попадает на линзу  $L_2$ , переносящую изображение из плоскости линзы  $L_1$  в плоскость, в которой расположен матричный приемник  $S$ .

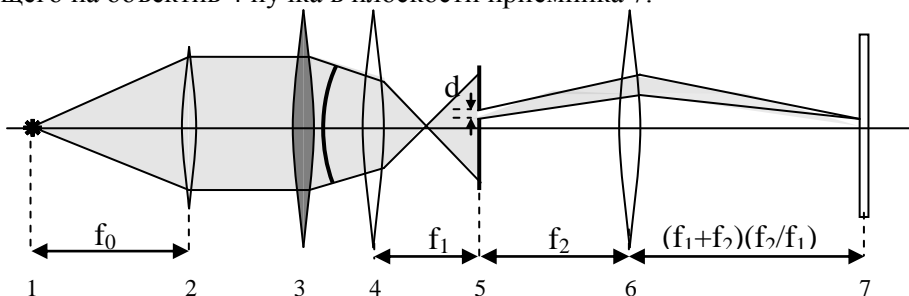


**Рис. 1.** Схема, реализующая метод сканирования углового спектра

Распределение интенсивности волнового поля в фокальной плоскости линзы  $L_1$  соответствует угловому спектру исследуемого пучка. Каждому наклону рассматриваемого волнового фронта ставится в соответствие определенная точка фокальной плоскости линзы  $L_1$ . Если в фокальной плоскости помещен экран с отверстием, то линза  $L_2$  строит изображение тех точек волнового пучка, в которых наклон фазового фронта соответствует открытому участку фокальной плоскости. Перемещая экран в фокальной плоскости и сканируя таким образом угловой спектр световой волны, мы можем установить соответствие между локальными наклонами волнового фронта и точками апертуры исследуемого пучка.

Применение метода сканирования углового спектра позволяет существенно уменьшить число измерений, по сравнению со сканирующим датчиком Гартмана, в тех случаях, когда количество разрешаемых точек на апертуре исследуемого волнового фронта превышает диапазон спектра углов. При этом взаимное ограничение пространственного и углового разрешений остается неизменным.

На рисунке приведена принципиальная схема экспериментальной установки, используемой для измерения наклона волнового фронта. Оптическое излучение точечного источника 1 проходит через объектив 2, формирующий параллельный пучок. Пройдя через исследуемый объект 3, волновой фронт искривляется и объективом 4 фокусируется в фокальной плоскости, где расположена маска с отверстием 5. Затем излучение проходит через объектив 6, строящий изображение падающего на объектив 4 пучка в плоскости приемника 7.



**Рис. 2.** Оптическая схема, используемая в эксперименте

Перед началом эксперимента проводится центрирование оптической системы и настройка положения каждого из элементов при помощи трансляторов.

- Для создания параллельного пучка объектив 2 устанавливается таким образом, чтобы точечный источник 1 находился в его фокусе.
- Производится настройка конфокальной системы объективов 4 и 6. Объектив 6 устанавливается таким образом, чтобы изображение источника 1, сформированное объективами 2 и 4, находилось в его фокусе.
- Экран с отверстием устанавливается в фокальной плоскости объектива 4.
- Приемник устанавливается таким образом, чтобы на нем сформировалось четкое изображение входной плоскости объектива 4. Производится калибровка матрицы приемника.

Измерение волнового фронта происходит следующим образом.

- Перед объективом 4 устанавливается исследуемый фазовый объект.
- Исходя из значения ширины углового спектра пучка, прошедшего через объектив 4, и диаметра отверстия  $d$ , оценивается количество измерений, необходимое для измерения волнового фронта.
- Производится сканирование углового спектра по двум поперечным координатам в фокальной плоскости объектива 4: отверстие перемещается на расстояние, равное его диаметру, и для каждого шага регистрируется изображение в плоскости приемника.

По изображениям, зарегистрированным с помощью приемника, определяется положение каждой из точек светового пучка, соответствующих определенному углу наклона фронта. Таким образом, мы получаем распределение наклонов фазового фронта  $\theta(x, y)$ , где  $x, y$  – координаты в плоскости пучка.

Путем интегрирования по формуле трапеции полученного распределения наклонов проводится восстановление волнового фронта.

$$F_{i+1} = F_i + \frac{((\theta_x)_{i+1} + (\theta_x)_i)(x_{i+1} - x_i)}{2}.$$

Здесь  $\theta_x$  – проекция наклона фазы на ось  $x$ . Формула для интегрирования по поперечной координате  $y$  записывается аналогично.

Был проведен эксперимент, демонстрирующий преимущества представленного метода по сравнению со сканирующим датчиком Гартмана. В качестве фазового объекта 3 был взят стеклянный клин с углами у основания по  $\alpha = 1,5^\circ$ . Угловой спектр в этом случае представлял собой две точки, каждая из которых соответствовала половине пучка, обладающей определенным наклоном фазы. Этот эксперимент показал, что предложенный метод позволяет легко протестировать поверхность клина (или любого другого фазового объекта) на наличие дефектов, поскольку в случае наличия неровностей на поверхности клина были бы получены дополнительные точки в угловом спектре, по которым можно было бы определить местоположение дефектов. Заметим, что при использовании для этой цели сканирующего датчика Гартмана необходимо было бы сканировать всю апертуру падающего на объектив 4 пучка, тогда как метод, представленный в данной работе, позволяет просканировать поверхность клина за два измерения.

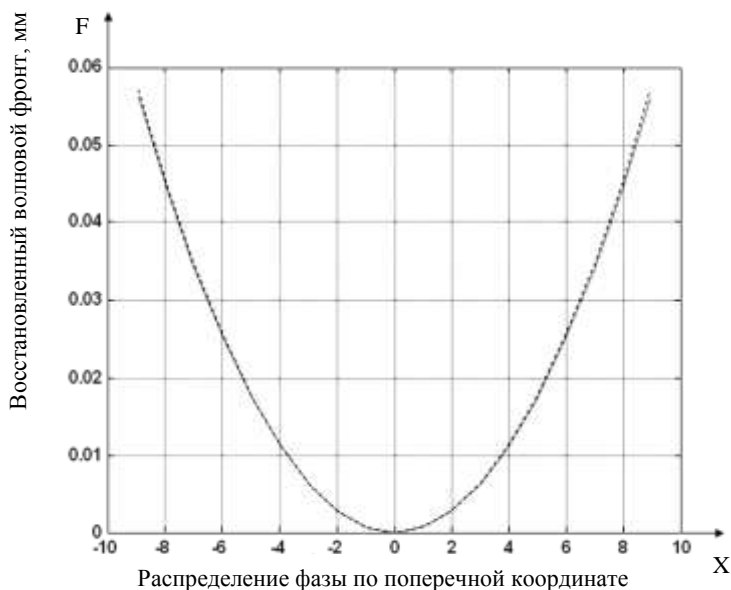
Также были проведены измерения волнового фронта пучка, сфокусированного при помощи линзы. В качестве фазового объекта 3 была взята собирающая линза с фокусным расстоянием  $f = 700$  мм. Угловой спектр пучка представлял собой светлое пятно шириной  $D_f = 10$  мм.

Сканирование проводилось посредством последовательного смещения отверстия на расстояние, соответствующее его диаметру. При каждом измерении на матрице приемника получалось светящееся пятно характерным размером 10 пикселей, что соответствует области размером порядка 1 мм на апертуре исследуемого пучка. Точка на апертуре пучка, которой соответствует выбранное значение угла наклона фазы, определялась как центр зарегистрированного пятна.

На графике представлено сравнение результатов восстановления фазового фронта с теоретическим распределением (рис. 3). Сплошной линией обозначены восстановленные в результате эксперимента распределения фазы по поперечной координате  $x$  для значения координаты  $y, y = 0$  мм. Начало координат  $x$  и  $y$  было выбрано в центре апертуры пучка. Пунктирной линией изображена форма фазового фронта на

выходе из линзы, рассчитанная теоретически по формуле  $F = \frac{x^2}{2f}$ .

Результаты эксперимента свидетельствуют об очень хорошем совпадении измерений с теоретическими расчетами, что подтверждает эффективность данной модификации метода Гартмана.



**Рис. 3.** График сравнения результатов восстановления фазового фронта с теоретическим распределением



В ходе подготовки и проведения исследования были разработаны основные положения метода регистрации фазы оптических волновых полей путем сканирования углового спектра. Разработана оптическая схема, реализующая метод, и решена задача восстановления фазы волнового поля по экспериментальным данным. Создан экспериментальный стенд, реализующий метод сканирования углового спектра, и проведены эксперименты по измерению волновых фронтов, созданных различными фазовыми объектами. Проведенное исследование продемонстрировало преимущества метода сканирования углового спектра по сравнению с традиционным методом Гартмана. В качестве возможных приложений метода сканирования углового спектра можно выделить задачи контроля качества поверхностей оптических элементов и задачи измерения волновых фронтов большой апертуры.

#### Литература

1. *Яворский, Б.М.* Физика для школьников старших классов и поступающих в вузы / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М. : Дрофа, 2005. – 795 с.
2. *Platt B.C., Shack R.* History and principles of Shack-Hartmann wavefront sensing, *J Refract Surg* 2001; 17: pp. 573 – 577.
3. *Vincent Laude, Ségolène Olivier, Carine Dirson and Jean-Pierre Huignard.* Hartmann wave-front scanner, *Opt. Lett.* 24, 1796 (1999).
4. Электронная библиотека «Наука и техника» [http://n-t.ru/Нобелевские лауреаты](http://n-t.ru/Нобелевские_лауреаты).

# **Исследование степени практической эффективности и функциональных параметров, а также оценка прогноза последствий внедрения энергосберегающих ламп**

Шампоров Василий

10 класс

Научный руководитель Д.В. Коротаяев,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН



Работа посвящена исследованию эффективности современных ламп освещения. Была проведена серия экспериментов с различными видами ламп: ламп накаливания, компактных люминесцентных ламп, светодиодных ламп. Результаты экспериментов для каждой лампы сравнивались. Были рассмотрены возможности решения вопросов энергосбережения.

В современной жизни остро стоят вопросы экономии электроэнергии и, как следствие, сохранения окружающей среды и снижения расходов на электричество, к примеру, в коммунальных услугах. Для решения этой проблемы правительством предлагается выведение из использования ламп накаливания и переход на так называемые «энергосберегающие» или компактные люминесцентные лампы. Но действительно ли экономится энергия при использовании таких ламп?

Внедрение новых источников света потребует колоссальных затрат со стороны государства. Переход с привычных человеку ламп накаливания на люминесцентные может быть сопряжен с определенными биологическими (другая цветовая температура, спектр, частота мерцания) и психологическими проблемами (единовременно легче купить дешевую лампу накаливания раз в 3 месяца, чем дорогую «энергосберегающую», тем более, что покупатель может приобрести подделку с много меньшим количеством часов работы). Далеко не всем известны альтернативы самим «энергосберегающим» лампам – светодиодные лампы.

Лампа накаливания – электрический источник света, светящимся телом которого служит тело накала, проводник, нагреваемый протекающим электрическим током до высокой температуры. В качестве материала для изготовления тела накала в настоящее время применяется практически исключительно вольфрам и сплавы на его основе. Лампы накаливания легко производить и они чрезвычайно дешевы, однако из-за низкого КПД они потребляют большое количество электроэнергии.

Невелик также срок службы ламп накаливания – 3 – 6 месяцев. Средняя световая эффективность ламп накаливания – 12 лм/Вт.

Компактные энергосберегающие лампы (компактные люминесцентные лампы – КЛЛ) представляют собой уменьшенный вариант люминесцентных ламп – газоразрядных источников света, в которых видимый свет излучается в основном люминофором, который, в свою очередь, светится под воздействием ультрафиолетового излучения разряда. Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у ламп накаливания аналогичной мощности. Наиболее распространена ртутная люминесцентная лампа. Она представляет собой стеклянную трубку с нанесенным на внутреннюю поверхность слоем люминофора, заполненную парами ртути. Трубка имеет на концах два электрода, которые нагреваются до 900 – 1000 градусов и испускают множество электронов, ускоряемых приложенным напряжением, которые сталкиваются с атомами аргона и ртути. Возникает ультрафиолетовое излучение, преобразуемое люминофором в видимый свет. К электродам подводится переменное напряжение, поэтому их функция постоянно меняется: они становятся то анодом, то катодом. Мощность их составляет 3 – 85 Вт (15 – 425 Вт у эквивалентных по световому потоку ламп накаливания), средняя световая эффективность – 60 лм/Вт.

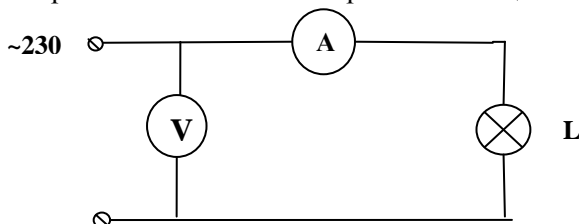
Средняя цена компактной люминесцентной лампы – 150 рублей, время ее окупаемости – 0,3 года (0,9 года при использовании 8 часов в сутки), или 2600 часов работы. Срок службы КЛЛ в среднем – 4000 – 6000 часов, то есть теоретически лампа дважды окупится. Однако люминофорное покрытие лампы имеет свойство выгорать, что снижает световой поток лампы. Это снижает общий срок службы. Кроме того, расположенный в цоколе лампы электронный или электромагнитный балласт не лучшим образом влияет на надежность КЛЛ. Широко распространены подделки, срок службы которых существенно ниже – около 2000 часов, поэтому лучшее, на что можно надеяться при покупке КЛЛ – это единичная окупаемость.

Светодиодная лампа – лампа твердотельного освещения, использующая в качестве источника света светодиоды. Из-за низкого светового потока отдельных светодиодов в таких лампах используется множество светодиодов. Обычная светодиодная лампа состоит из цоколя, в котором расположены выпрямитель и резисторы, и светодиодов, которые могут быть помещены в колбу или расположены непосредственно на поверхности лампы. Светодиодные лампы – аналоги

ламп накаливания мощностью в 100 Вт, чрезвычайно дороги (2500 – 3500 рублей). Это обусловлено большим количеством сверх ярких светодиодов, расположенных на лампе. У аналога лампы в 100 Вт имеется 88 светодиодов, каждый из которых стоит оптом 8 – 10 рублей, с наценками на таможенную и перевозку из стран-производителей (Китай) цена может доходить до 25 рублей за штуку. Время окупаемости светодиодной лампы – 6,6 лет (20 лет при использовании 8 часов в сутки), или 57 600 часов. Ввиду простоты устройства светодиодов они очень долговечны – до 10 лет. Но светодиодные лампы – сравнительно новое изобретение, поэтому срок службы светодиодов в такой связке и с использованием дополнительной электроники (именно таковыми являются светодиодные лампы) еще не проверен. Более того, свойства светодиодов предполагают их последовательное соединение, поэтому выход из строя одного светодиода может привести к отключению части светодиодов или всей лампы. Средняя потребляемая мощность светодиодных ламп составляет 10 – 15 Вт (100 – 150 Вт для эквивалентных ламп накаливания). Средняя световая эффективность – 85 – 100 лм/Вт.

Для исследования практической эффективности ламп освещения была проведена серия экспериментов. Исследовалась потребляемая мощность, освещенность на расстоянии 1 м и спектр ламп освещения. Тестировалось 3 лампы накаливания, 2 КЛЛ и одна светодиодная лампа.

Для исследования потребляемой лампы освещения мощности  $W$  была собрана схема (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема измерения потребляемой лампами освещения мощности

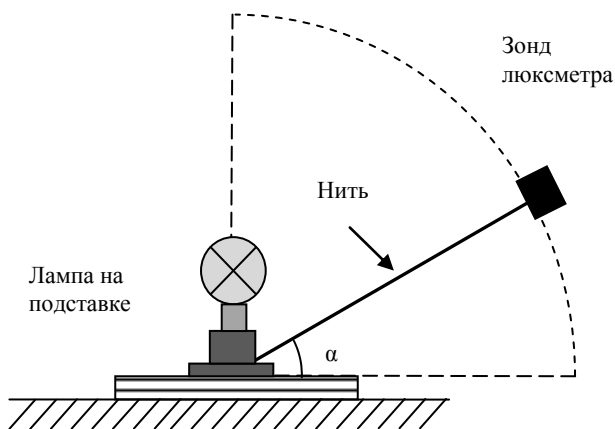
*Таблица 1.* Результаты измерений потребляемой мощности

Лампа освещения	I, А	U, В	W, Вт	$W_0^*$ , Вт
Накаливания GE	0,39	229	89,3	100
Накаливания Navigator	0,42	228	95,76	100
Накаливания Лисма	0,4	228	91,2	100
КЛЛ Navigator	0,07	230	16,1	20
КЛЛ Nakai	0,06	229	13,74	20
Светодиодная SVETOREZERV	0,069	231	15,94	13,2

\*  $W_0$  – заявленная производителями ламп освещения мощность.

Ни одна из ламп не показала значений мощности, равных заявленным, почти все значения потребляемой мощности оказались ниже. Лишь у светодиодной лампы потребляемая мощность оказалась выше заявленной.

Освещенность измерялась в темной комнате при помощи пульсметра-люксметра ТКА ПКМ(08). Схема установки, использовавшейся в данной части эксперимента, показана на рисунке 2. Зонд люксметра удерживался на расстоянии в 1 м от лампы при помощи нити. Измерения проводились для различных значений углов  $\alpha$  между нитью и плоскостью подставки лампы. Результаты эксперимента указаны в таблице 2 ( $E_n$  – освещенность,  $n$  – угол  $\alpha$  в градусах).



**Рис. 2.** Схема установки для измерения освещенности, создаваемой лампами освещения на расстоянии 1 м

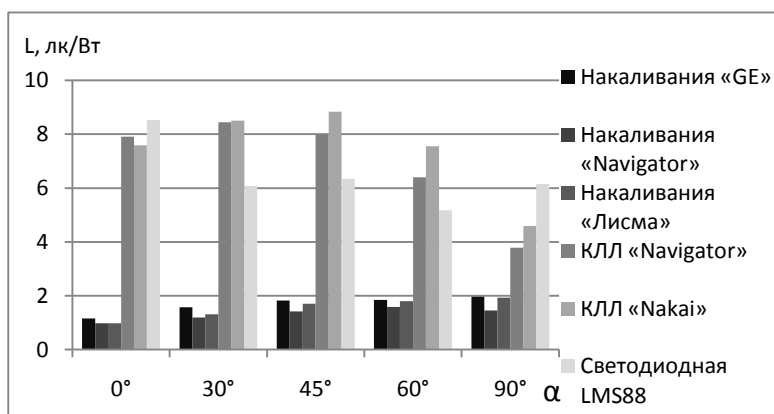
*Таблица 2.* Результаты измерений освещенности на расстоянии 1 м

Лампа освещения	$E_0$ , лк	$E_{30}$ , лк	$E_{45}$ , лк	$E_{60}$ , лк	$E_{90}$ , лк
Накаливания GE	102-106	138-142	162-164	164-165	175
Накаливания Navigator	94	114	132-139	150-153	139-141
Накаливания Лисма	88-90	119-120	155-157	163-165	175-180
КЛЛ Navigator	126-129	135-137	127-130	102-104	60-62
КЛЛ Nakai	103-105	115-118	120-122	103-104	62-64
Светодиодная SVETOREZERV	136	96-98	101	81-84	97-99

Для сравнения ламп была введена условная величина эффективности  $L$  – отношение освещенности на расстоянии 1 м от лампы к потребляемой мощности лампы:

$$L_n = E_n / W, [L] = \text{лк/Вт.}$$

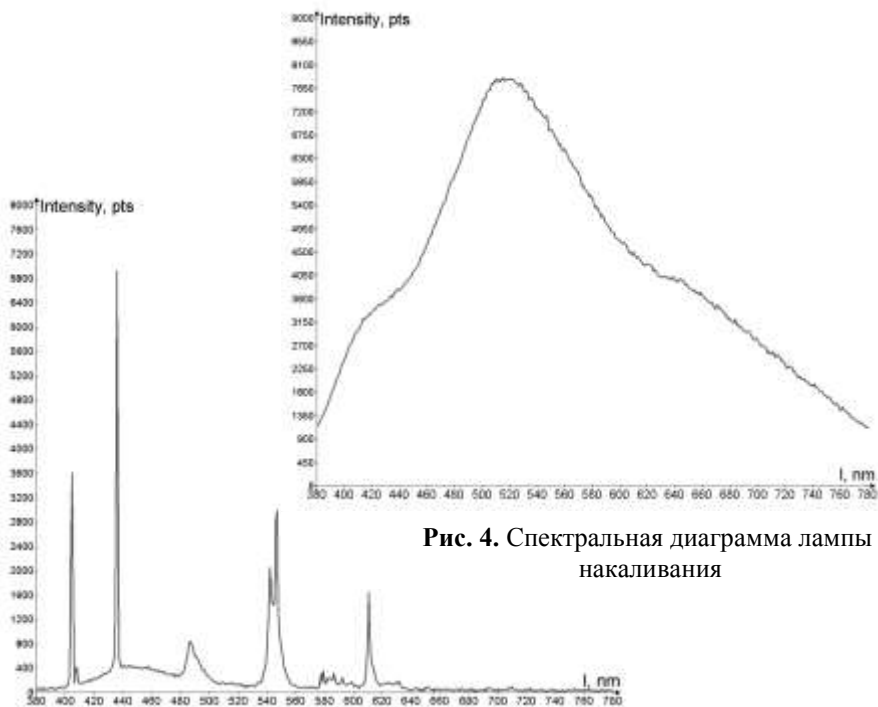
Используя результаты первой и второй частей эксперимента, была построена гистограмма сравнения величины  $L$  у каждой лампы освещения (рис. 3). Компактные люминесцентные лампы показывают большую эффективность, чем лампы накаливания, однако имеют другое распределение освещенности: в зоне прямо под энергосберегающими лампами ( $\alpha = 90^\circ$ ) освещенность меньше, чем в других зонах, у ламп накаливания – наоборот. Это обусловлено формой ламп. Светодиодная лампа показывает намного лучшие показатели, чем лампы накаливания, но в целом уступает КЛЛ.



**Рис. 3.** Сравнительная диаграмма условной эффективности ламп освещения

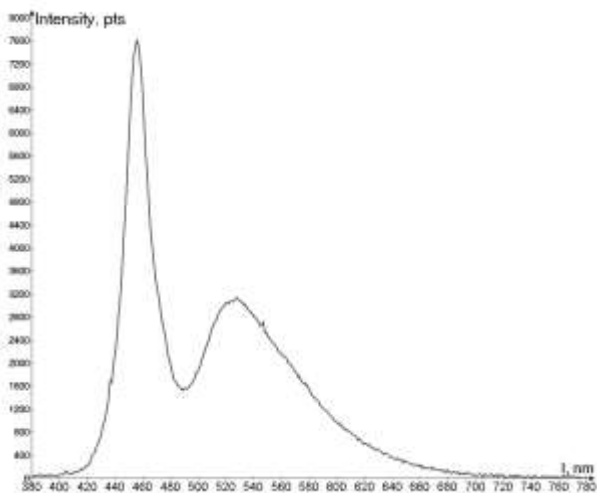
В третьей части эксперимента при помощи спектрометра Solar Laser Systems S150A были измерены спектры ламп освещения (рис. 4, 5, 6). Сплошной линией на графиках отмечен спектр ламп освещения, пунктиром – кривая спектральной чувствительности человеческого глаза.

Спектр лампы накаливания сходен с кривой спектральной чувствительности человеческого глаза, поэтому освещение лампы накаливания не должно вызывать проблем со зрением. Спектр КЛЛ линейчат с пиками в 440 нм (синий), 555 нм (зеленый), 610 нм (оранжевый), так как белый свет КЛЛ получается из RGB-комбинации люминофоров. Однако пик синего излучения больше, чем зеленого, а синий хуже воспринимается человеческим глазом, чем зеленый. Спектр светодиодной лампы также не идеален, однако его можно скорректировать до приемлемого, используя светофильтры.



**Рис. 4.** Спектральная диаграмма лампы накаливания

**Рис. 5.** Спектральная диаграмма КЛЛ



**Рис. 6.** Спектральная диаграмма светодиодной лампы

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

- потребляемая мощность ламп освещения не всегда соответствует заявленной;
- компактные люминесцентные лампы имеют намного большую световую эффективность, чем лампы накаливания;
- светодиодные лампы слегка уступают КЛЛ по световой эффективности и имеют более высокую мощность, что, возможно, обусловлено недоработками при производстве, так как технология производства светодиодных ламп появилась относительно недавно;
- из-за использования трехцветного люминофора свет КЛЛ может напрягать человеческий глаз сильнее, чем от ламп накаливания или светодиодных ламп;
- окупаемость светодиодных ламп сомнительна, тогда как окупаемость КЛЛ довольно высока, но зависит от качества лампы;
- наличие ртути в КЛЛ является серьезным препятствием на пути к их введению.

По этим утверждениям нельзя дать точного ответа на вопрос, стоит ли глобально вводить КЛЛ. Ртуть, содержащаяся в КЛЛ, может загрязнять почву свалок и грунтовые воды, если их правильно не утилизировать (что в нашей стране невозможно). Стоит повременить с выбором, так как светодиодные лампы и технология твердотельного освещения имеют большой потенциал. По мнению академика Алферова, изучавшего полупроводниковые светодиоды на гетероструктурах, «...лет через 15–20 примерно 50% освещения в мире будет на этих светодиодах, они дадут экономию примерно 10% от мировой энергии». Возможно, в дальнейшем появятся более дешевые способы получения светодиодов и производства светодиодных ламп, что снизит их цену и увеличит окупаемость. Кроме того, представится возможность проверки долговечности светодиодных ламп, а также исследования новых видов энергосберегающих ламп, которые, несомненно, будут создаваться, так как во многих странах мира существует дефицит электроэнергии. Таковы перспективы данной работы.

#### Литература

1. Беренков, А. Энергосберегающие лампы: экономия на освещении. <http://mirsovetov.ru/a/housing/cleaning-agents/energy-saving-lamp.html>.
2. Журнал «Выбиралкин» – Аксессуары и гаджеты – «Энергосберегающие лампы». <http://www.vibiralkin.ru/news/detail>.
3. Иванов, В.А. Светодиоды. <http://www.va-i.spb.ru/LEDs.htm>.
4. Рябов, А. FAQ про LED. Часть первая: LED тронулся // Цоколь. 2004. №1.
5. СветАльянс «Общее устройство компактной люминесцентной лампы» <http://www.svet-alyans.ru/usefull/kll.htm>.



# Астрономия



## Эволюция шарового скопления: влияние ухода звезд

Троицкий Павел

10 класс

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



В простой модели шарового скопления рассматривается влияние вылета звезд на его параметры. Получены соотношения между массой звезды, сообщенной ей для вылета минимальной кинетической энергией (в зависимости от радиуса круговой орбиты звезды), и изменением характерного размера (компактификацией) скопления в результате такого вылета. Вычислено увеличившееся значение энергии вылета такой же звезды, находящейся на том же относительном расстоянии от центра изменившего свои параметры скопления.

Шаровые звездные скопления – относительно устойчивые гравитационно связанные группы звезд с их числом от нескольких тысяч до нескольких миллионов, вращающиеся как единое целое вокруг галактического центра. Они являются сферической составляющей населения галактик; для нашей Галактики пространственные концентрации звезд в центральных областях шаровых скоплений составляют  $\sim 10^3 - 10^4 \text{ пк}^{-3}$ , диаметры – 20 – 60 пк, массы –  $10^3 - 10^6$  солнечных (в окрестностях Солнца пространственная концентрация звезд составляет  $\sim 0,13 \text{ пк}^{-3}$ ).

Известно, что шаровые скопления со временем теряют свои звезды. Это происходит благодаря вылету из скопления отдельных звезд [1, 3], которые приобретают в результате гравитационного взаимодействия с другими звездами параболическую (или большую) скорость. В результате само скопление должно компактифицироваться благодаря общему уменьшению механической энергии скопления как системы взаимодействующих материальных точек – звезд. В свою очередь, последний эффект, аккумулируясь, со временем может привести к заметному изменению параболической скорости. Целью работы явилось исследование динамической системы, возникающей в результате потери массы шаровым звездным скоплением в результате ухода из него звезд.

### *Физическая модель и план решения задачи*

1. Первоначально вычисляется минимальная механическая энергия, которую необходимо сообщить звезде массы  $m$ , вращающейся по круговой орбите произвольного радиуса  $r$  вокруг

центра шарового скопления, для вылета ее из скопления. При этом суммарная механическая энергия скопления уменьшается на соответствующую величину (его масса тоже уменьшается на величину  $m$ ).

2. При вычислениях считается, что масса всех звезд сферически симметрично «размазана» по шаровому скоплению, а плотность в зависимости от расстояния до его центра убывает по показательному закону:

$$\rho(r) = \rho_0 e^{-r/r_0}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – плотность в центре скопления, а  $r_0$  – параметр, отражающий его характерный размер.

3. Далее считается, что потеря механической энергии скоплением приводит к изменению параметров  $r_0$  и  $\rho_0$  исходной модели скопления (1) при сохранении ее вида. Это достаточно произвольное предположение, по-видимому, справедливо в богатых скоплениях, не слишком далеко от их центров и на значительных масштабах времени.

4. В ходе расчета изменения параметров скопления, вызванных «уходом» из него звезды, на определенном этапе (как далее показано, без особой потери общности) предполагается, что скопление состоит из  $n$  звезд (массы  $m$ ).

5. Далее определяется величина новой энергии выхода звезды, находящейся на том же расстоянии от центра скопления и сравнивается с предыдущей энергией выхода.

### *Вычисление энергии выхода*

Вычислим массу части шарового скопления, находящуюся внутри сферы с произвольным радиусом, в том числе равным радиусу  $r$  орбиты звезды –  $M(r)$ . Это интеграл от плотности по объему или с учетом сферической симметричности массы шарового скопления:

$$M(r) = \int \rho(r) dV = \int_0^r \rho(r) 4\pi r^2 dr = 4\pi \rho_0 (2r_0^3 - e^{-r/r_0} (r_0 r^2 + 2r_0^2 r + 2r_0^3)). \quad (2)$$

Из теоремы вириала [1] (поскольку  $E_{\text{п}} = -GMm/r$ ) следует, что для ухода от этой массы звезде надо добавить еще одну ее кинетическую энергию  $E_{\text{к}} = GMm/2r$ . (Здесь  $E_{\text{п}}$  и  $E_{\text{к}}$  – соответственно кинетическая и потенциальная энергия звезды на круговой орбите):

$$E_{\text{к}} = GmM(r)/2r = 4\pi \rho_0 Gm (r_0^3/r - e^{-r/r_0} (r_0 r/2 + r_0^2 + r_0^3/r)). \quad (3)$$

Но еще надо преодолеть притяжение внешних слоев массой:

$$M_1 = \int_r^\infty \rho(r) 4\pi r^2 dr.$$

Для каждого тонкого слоя  $dr$  с массой  $dM_1$  надо добавить энергию выхода:  $dU = Gm \rho(r) 4\pi r^2 dr / r$ . Для всех внешних слоев получается:

$$U = \int_r^\infty (Gm/r) dM_1 = 4\pi \rho_0 Gm \int_r^\infty r e^{-r/r_0} dr = 4\pi Gm \rho_0 e^{-r/r_0} (r_0 r + r_0^2). \quad (4)$$

Тогда полная энергия выхода  $E_{\text{вых.}}$  – суммарная добавочная энергия, необходимая для ухода звезды из скопления:

$$E_{\text{вых.}} = E_k + U = 4\pi Gm \rho_0 (r_0^3/r + e^{-r/r_0} (r_0 r/2 - r_0^3/r)). \quad (5)$$

*Вычисление изменившихся в результате ухода звезды параметров скопления*

После выхода звезды на бесконечность, в нашей модели шарового скопления мы получим для него новое распределение того же вида, но с новыми параметрами:

$$\rho_{\text{нов}} = \rho_1 e^{-r/r_1}, \quad (6)$$

где  $r_1$  и  $\rho_1$  – новые размер и плотность шарового скопления.

Такая модель может работать, если энергия, отобранная у звезд, за счет которых произошел уход рассматриваемой звезды, перераспределилась по всему скоплению. При этом масса и полная механическая энергия скопления уменьшатся на  $m$  и  $E_{\text{вых.}}$  соответственно.

Вычислим эти величины для нашей модели. Используем первое условие. Пусть скопление состоит только из  $n$  одинаковых по массе звезд. Тогда его полная масса ( $M$ ):

$$\begin{aligned} M = \int \rho dV &= \int_0^\infty (4\pi r^2) (dr) \rho_0 e^{-r/r_0} = -4\pi \rho_0 (r_0 r^2 e^{-r/r_0} + 2r_0^2 r e^{-r/r_0} + 2r_0^3 e^{-r/r_0}) \Big|_0^\infty = \\ &= 8\pi \rho_0 r_0^3 = nm. \end{aligned} \quad (7)$$

А для новых параметров:  $8\pi \rho_1 r_1^3 = (n-1)m$ .

$$\text{Откуда: } \rho_0 r_0^3 (n-1)/n = \rho_1 r_1^3. \quad (8)$$

Теперь используем второе условие. Полная механическая энергия шарового скопления равна сумме кинетических и потенциальных

энергий всех его звезд. Согласно нашей модели распределенной массы и теореме вириала [4] полная механическая энергия  $dE$  тонкого сферического слоя толщиной  $dr$ , находящегося на расстоянии  $r$  от центра скопления:

$$dE = dE_k + dE_{\pi} = -G M(r) dm(r) / 2r = -G M(r) 4\pi r^2 \rho(r) dr / 2r.$$

Полная механическая энергия скопления, с учетом (2):

$$E = -G \int_0^\infty M(r) 2\pi r \rho(r) dr = -5G\pi^2 \rho_o^2 r_o^5. \quad (9)$$

Следовательно, энергия скопления после вылета звезды:

$$-5G\pi^2 \rho_o^2 r_o^5 - E_{\text{вых}} = -5G\pi^2 \rho_1^2 r_1^5 = -5G\pi^2 ((n-1)/n)^2 \rho_o^2 r_o^6 / r_1. \quad (10)$$

Подставив в (11) значение  $\rho_1 r_1^3$  из (9), а  $E_{\text{вых}}$  из (5), получаем:

$$r_1 = r_o ((n-1)/n)^2 : (1 + E_{\text{вых}} / 5G\pi^2 \rho_o^2 r_o^5)).$$

$$\text{Откуда, учитывая (9): } \rho_1 = \rho_o n^5 (1 + E_{\text{вых}} / 5G\pi^2 \rho_o^2 r_o^5) / (n-1)^5. \quad (11)$$

Таким образом,  $\rho_1 > \rho_o$ , а  $r_1 < r_o$  при любых  $n$  и  $E_{\text{вых}}$ , так как они выражены через произведение старых параметров на коэффициенты заведомо меньшие (для  $r_o$ ) или большие (для  $\rho_o$ ) единицы. По виду системы (11) соотношения выполняются и в случае звезд разной массы:

$$r_1 = r_o ((M-m)/M)^2 : (1 + |E_{\text{вых}}|/E), \quad (12)$$

$$\rho_1 = \rho_o (1 + |E_{\text{вых}}|/E)^3 (M/(M-m))^5.$$

Вычислим теперь некоторые характерные значения  $E_{\text{выхода}}$ .

Энергия, необходимая для выхода из области, очень близкой к центру скопления:

$$E_{\text{вых}} = 4\pi G m \rho_o r_o^3 \lim_{r \rightarrow 0} (1 - e^{-r/r_o}) / r = 4\pi G m \rho_o r_o^2 = E_{\text{вых}}(o).$$

Очевидно, что это максимум  $E_{\text{вых}}$ , и в этом случае наблюдается самое большое увеличение центральной плотности. Для частного случая  $r = r_o$ :  $E_{\text{полн}} = 4\pi G m \rho_o r_o^2 (1 - 1/2e)$ , что мало отличается от  $E_{\text{вых}}(o)$ .

### Вычисление новой энергии выхода

Рассчитаем, больше или меньше энергии потребуется теперь сообщить звезде для ухода из скопления. При этом будем считать, что звезда переместилась с орбиты  $r$  на орбиту  $r'$  в соответствии с предыдущими расчетами.

$$E_{\text{вых}1} = 4\pi G m p_1 (r_1^3/r' + e^{-r'/r_1} (r_1 r'^2/2 - r_1^3/r')) \neq E_{\text{вых}},$$

$$E_{\text{вых}1} = E_{\text{вых}} (M/(M - m))(1 + |E_{\text{вых}}/E|) > E_{\text{вых}}. \quad (13)$$

Таким образом, в реалистичной модели шарового скопления оценивается его масса, механическая энергия движения его звезд как функция его важнейших параметров. Рассчитаны последствия для этих параметров скопления ухода из него звезд в результате гравитационного взаимодействия с другими звездами. Показано, что скопление становится более компактным, а энергии, необходимые звездам для ухода из скопления, увеличиваются.

### Литература

1. Астрономия XXI века / Под ред. В.Г. Сурдина. – М.: УРСС, 2007.
2. Горбацкий, В.Г. Введение в физику галактик и скоплений. – М.: Наука, 1986. – 254с.
3. Засов, А.В. Общая астрофизика / А.В. Засов, К.А. Постнов. – Фрязино: Изд-во «Век-2», 2006. – 382с.
4. Физика космоса, малая энциклопедия / Под ред. Р.А. Сюняева, изд. 2-е. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – 784 с.

# Химия



## **Кофеин: определение содержания в некоторых продуктах**

**Бояркин Михаил**

8 класс

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



Знание количества кофеина в напитках, часто употребляемых в пищу (чай, кофе, газированные напитки) и содержащих алкалоид кофеин, позволит делать более осознанный выбор сортов и избегать покупки сортов, в которых количество кофеина сильно превышает допустимую медицинскую норму, что важно для сохранения здоровья. В данной исследовательской работе была разработана новая методика определения содержания кофеина в различных продуктах, которая была проверена путем анализа фармпрепаратов и применена при определении содержания кофеина в некоторых сортах чая, кофе и газированных напитков.

В некоторых напитках, которые мы употребляем в пищу (чай, кофе, газированные напитки), часто содержится алкалоид кофеин. В такие продукты как кофе и чай он входит как естественная составляющая часть, позволяющая потребителям взбодриться, получить заряд энергии. Для потребителя важно знать, каково содержание кофеина в разных сортах чая и кофе. Это позволит, во-первых, делать более осознанный выбор сортов. Это важно для сохранения здоровья, так как кофеин оказывает серьезное воздействие на центральную нервную систему. Особенно интересно узнать содержание кофеина в газированных и энергетических напитках, так как о наличии этого алкалоида в них широкий потребитель не задумывается.

Алкалоид кофеин получают как из отходов чая и низкосортных кофейных бобов, так и синтетически. Кофеин оказывает возбуждающее действие на центральную нервную систему, усиливает сердечную деятельность, поэтому применяется в медицине в форме различных препаратов. С этой же целью кофеин добавляют в так называемые энергетические напитки. Естественное содержание его в чае и кофе зависит от сорта, а также от способа приготовления напитков. Простая методика определения кофеина позволит контролировать его содержание.

Цель исследования: разработать доступную методику определения кофеина. Объект исследования: некоторые сорта чая и кофе, энергети-



ческие напитки, фармпрепараты, содержащие кофеин. Методы исследования: метод градуировочного графика и турбидиметрия.

Оборудование: пробирки (25 и 50мл), колбы (100 и 150 мл), пипетки, колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК – 2МП, кюветы  $l = 30$  мм, фильтровальная бумага, химические стаканы.

Реактивы: дистиллированная вода, фосфорномолибденовая кислота ( $w = 20\%$ ), азотная кислота ( $C = 2,5$ моль/л), кофеин-бензоат натрия в ампулах (20%).

*Разработка и апробация методики определения  
содержания кофеина*

В нашем исследовании в качестве реагента была использована фосфорномолибденовая кислота.

Стандартный раствор кофеина 34 мг/мл был приготовлен из фармакопейного кофеин-бензоата натрия в ампулах. Рабочий раствор с концентрацией 0,34 мг/мл готовили разбавлением стандартного. Азотную кислоту готовили разбавлением из концентрированной кислоты, фосфорномолибденовую – растворением рассчитанной навески в мерной колбе.

Фосфорномолибденовая кислота со слабым основанием кофеин образует малорастворимое в воде соединение. Изучены факторы, влияющие на протекание реакции: количество кофеина, количество реактива, общий объем пробы, толщина поглощающего слоя. Для того чтобы во взвеси получались частицы одинакового размера, изучали влияние порядка сливания реактивов. Установлено, что воспроизводимые результаты получаются, если сначала готовить реакцию смесь фосфорномолибденовой кислоты с азотной, а затем добавлять раствор кофеина.

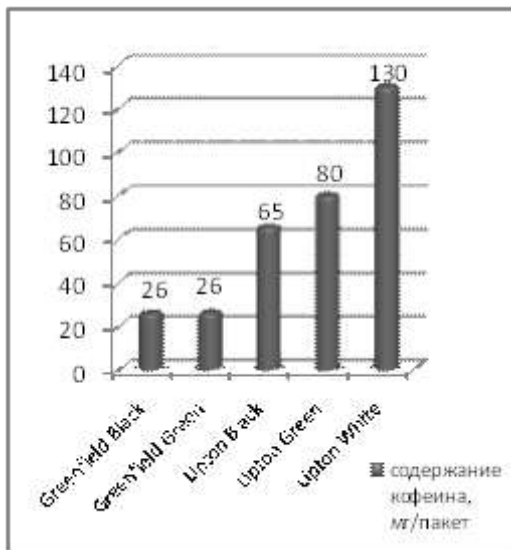
Для построения градуировочного графика готовили серию градуировочных растворов с различным содержанием кофеина, который прибавляли к раствору реагента (1мл азотной кислоты и 2мл фосфорномолибденовой). Градуировочный график линеен в интервале от 0,34 мг до 1,7 мг в пробе объемом 50мл. Проверка правильности методики была проведена путем анализа фармпрепаратов: кофеина, цитрамона и кафетамина.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что методика может быть применена для определения кофеина в нелекарственных объектах. Проанализированы зеленый, черный и белый чай Lipton в пакетиках, пакетированный и листовый черный и зеленый чай Greenfield, напитки Coca – Cola, Pepsi – Cola, Coca – Cola Light, Pepsi – Cola

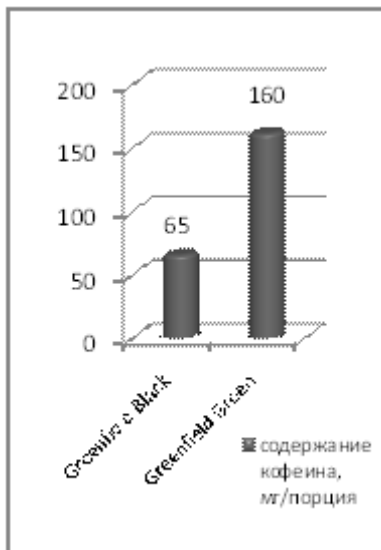
Light, а также Pepsi MAX и Burn Intense Energy. Также были исследованы кофе Nescafe Gold, Moccona Continental Gold и бельгийский кофе Bruggkaffe Mellanrost.

Раствор исследуемого напитка добавляли к реактивам, пока не образовывалась легко различимая на глаз взвесь. Полученный раствор доливали до метки дистиллированной водой, ждали 1 – 2 минуты (чтобы все элементы смеси завершили реакцию) и производили измерения оптической плотности относительно раствора сравнения. По градуировочному графику определялось содержание кофеина, и эта цифра переводилась в формат мг/порцию (таблетку, пакетик, порцию, литр).

В результате исследования оказалось, что среди пакетированного чая больше кофеина содержится в сортах чая Lipton, а именно в чае Lipton White (рис. 1). Между черным и зеленым пакетированным чаем обеих марок значительной разницы в содержании кофеина не обнаружено. В листовом чае кофеина в несколько раз больше, чем в пакетированном чае той же марки и сорта (рис. 2). Зеленый листовой чай содержит больше кофеина, чем черный.

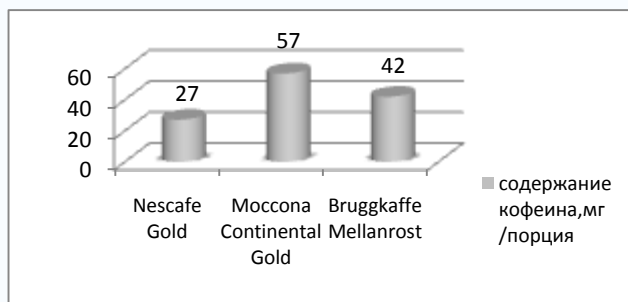


**Рис. 1.** Сравнительное содержание кофеина в некоторых сортах пакетированного чая



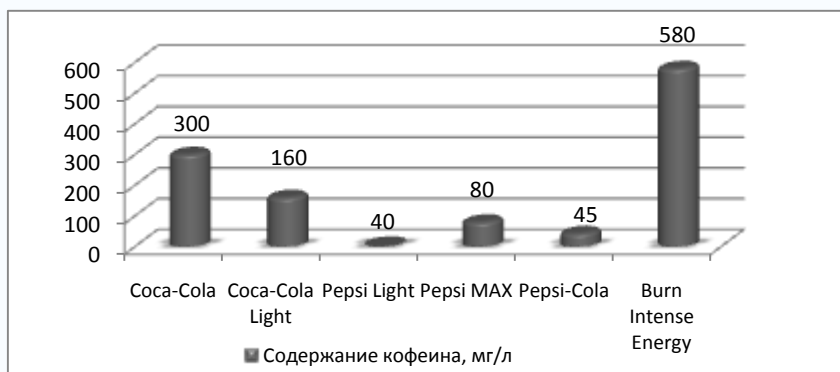
**Рис. 2.** Сравнительное содержание кофеина в некоторых сортах листового чая

Сорта кофе также отличаются друг от друга по содержанию кофеина (рис. 3). Сравнение результатов анализа позволяет сделать вывод о том, что в листьях чая содержится больше кофеина, чем в зернах кофе.



**Рис. 3.** Результаты определения кофеина в кофе

Анализ содержания кофеина в газированных напитках показал, что больше всего кофеина содержит энергетический напиток Burn Intense Energy (рис. 4). В Coca – Cola содержится в 4 раза больше кофеина, чем в Pepsi – Cola. В Pepsi MAX содержится в 2 раза больше кофеина, чем в Pepsi Light, в Coca – Cola Light – в 2 раза меньше, чем в Coca – Cola. При злоупотреблении (более 300 мг в сутки) кофеин может вызвать состояние тревоги, беспокойство, тремор, головную боль, спутанность сознания. И если сопоставить эти данные с данными, представленными на диаграмме, можно сделать вывод о том, что просто опасно употреблять более 1 литра Coca – Cola или более 260 мл Burn Intense Energy в сутки.



**Рис. 4.** Содержание кофеина в исследованных газированных напитках

Выводы: была разработана методика определения кофеина по реакции образования малорастворимого соединения с фосфорномолибденовой кислотой, а также определены оптимальные условия протекания реакции и фотометрирования.

В ходе работы было установлено, что среди исследованных видов пакетированного чая больше всего кофеина находится в сортах чая Lipton, а именно в чае Lipton White. Содержание кофеина в черном и зеленом пакетированном чае марок Greenfield и Lipton одного порядка. В листовых сортах чая кофеина приблизительно в два раза больше, чем в пакетированном чае тех же марок. И тут уже заметна серьезная разница между черным и зеленым чаем: кофеина в зеленом чае больше. Среди исследованных газированных напитков больше всего кофеина содержит Burn Intense Energy. В Coca – Cola кофеина в среднем в четыре раза больше, чем в Pepsi – Cola.

Мы можем обратить внимание потребителей на то, что зеленый чай содержит больше кофеина, чем черный; листовый чай содержит его в 2 – 3 раза больше, чем пакетированный чай той же марки; чай Lipton гораздо насыщеннее кофеином, чем Greenfield (но это прямо не влияет на его цену и вкус); энергетический напиток действительно опасно употреблять в больших количествах, особенно детям. Опасно употреблять более четырех литров Pepsi – Cola, одного литра Coca – Cola и всего одной маленькой баночки Burn Intense Energy в сутки.

В результате исследования была разработана методика определения кофеина по реакции образования малорастворимого соединения с фосфорномолибденовой кислотой, а также определены оптимальные условия протекания реакции и фотометрирования.

### Литература

1. *Беликов, В.Г.* Фармацевтическая химия: Учеб. для фармац. ин-тов и фармац. фак. мед. ин-тов. – М.: Высшая школа, 1985. – 768 с.
2. Государственная фармакопея СССР. 10-е издание. – М.: Медицина, 1968. – 1079 с.
3. *Коренман, И.Н.* Фотометрический анализ. Методы определения органических соединений. Издание 2. – М.: Химия, 1975. – 360 с.
4. *Марченко, З.* Фотометрическое определение элементов. – М.: Мир, 1971. – 501 с.
5. Основы аналитической химии. Кн. 2. Методы химического анализа: Учебник для ВУЗов / Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высшая школа, 1996. – 461 с.
6. Сайты <http://www.alltea.ru>; <http://www.tea4you.ru>.

# **Исследование возможностей микрокристаллоскопического определения катионов тяжелых металлов с ртутно-родановым реактивом**

Пименов Владимир

8 класс

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



В работе исследованы возможности реакций идентификации катионов тяжелых металлов с ртутно-родановым реактивом. Использовались такие методы, как качественный анализ, полумикроанализ и микрокристаллоскопия. Установлено, что наибольшей чувствительностью обладает реакция обнаружения цинка, а наименьшей – реакция обнаружения меди. Доказана возможность обнаружения ионов в присутствии друг друга.

В настоящее время выбросы различных видов загрязнителей в окружающую среду достигли предельно допустимых значений. Одним из важнейших экотоксикантов являются тяжелые металлы. Попадая в живые организмы, они нарушают работу всех их систем и могут привести к гибели. Поэтому задача идентификации и определения тяжелых металлов является весьма важной и актуальной.

В связи с этим, цель работы состояла в изучении возможностей реакций идентификации катионов тяжелых металлов с ртутно-родановым реактивом.

Были поставлены и решались следующие задачи: установить пределы обнаружения катионов металлов по реакции с ртутно-родановым реактивом; изучить взаимное мешающее влияние катионов на идентификацию друг друга.

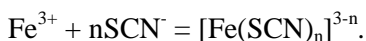
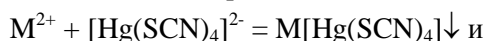
Для обнаружения веществ в аналитической химии используют несколько методов, один из которых – микрокристаллоскопия. Этот метод в 1798 году создал Т.Е. Ловиц. Для идентификации этим методом вещества или иона на предметном стекле смешивают анализируемый раствор с необходимыми реактивами. Форма и цвет выпавших кристаллов однозначно определяют природу вещества пробы. Достоинствами метода является простота оборудования, экспрессность, селективность. Ртутно-родановый реактив — тетрароданомеркурлат калия ( $K_2[Hg(SCN)_4]$ ), реагирует со многими ионами металлов. Данный реактив может быть использован и в традиционном качественном анализе, и в микрокристаллоскопическом методе.

Ртутно-родановый реактив способен взаимодействовать с широким кругом катионов. Для оценки возможных взаимодействий смешивали в пробирках для полумикроанализа каплю анализируемого раствора соли металла, каплю ртутно-роданового реактива и каплю кислоты. Наблюдали выпадение осадка в случае реакции либо отсутствие видимых признаков реакции. Характерный эффект наблюдали при смешении реактива с каплей соли железа (III). По результатам наблюдений была заполнена таблица 1.

*Таблица 1. Взаимодействие катионов металлов с ртутно-родановым реактивом*

Ионы	Характер взаимодействия
$\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Na}^{+}$ , $\text{K}^{+}$ , $\text{Bi}^{3+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Sb}^{3+}$	Видимых признаков реакции нет
$\text{Zn}^{2+}$ $\text{Co}^{2+}$ $\text{Cu}^{2+}$	Образуется осадок белого цвета; синего цвета; зеленоватого цвета
$\text{Fe}^{3+}$	Раствор окрашивается в кроваво-красный цвет

Образование труднорастворимых осадков и окрашивание раствора в последнем случае объясняется протеканием химических реакций:



Последняя реакция возможна благодаря избытку роданид-ионов в реактиве.

Чтобы исследовать форму кристаллов, образующихся при реакции катионов цинка, меди и кобальта с ртутно-родановым реактивом, каплю раствора соли металла смешивали на предметном стекле с каплей разбавленной азотной кислоты и каплей реактива. Полученный препарат рассматривали под микроскопом при увеличении 100х. Результаты наблюдений представлены в таблице 2.

*Таблица 2. Форма кристаллов продуктов взаимодействия ртутно-роданового реактива и катионов металлов*

Катион	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Co}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$
Форма кристаллов	Дендриты и кресты, клинья	Правильные многогранники	Пучки иголок

Различная форма образующихся кристаллов позволяет однозначно использовать реакцию катионов цинка, кобальта и меди с ртутно-родановым реактивом для их идентификации.

Для нахождения предельных возможностей реакций катионов цинка, кобальта и меди с ртутно-родановым реактивом многократно повторяли реакцию со все уменьшающейся концентрацией обнаруживаемого иона. Установили, что чем меньше концентрация катиона, тем мельче образующиеся кристаллы и тем дольше они растут. За предел обнаружения принимали такое значение концентрации ионов металла, при котором только половина из проведенных опытов приводила к образованию единичных кристаллов характерной формы. Таким образом, предел обнаружения находили с погрешностью 50%, что является общепринятым в качественном анализе. Результаты отражены в таблице 3.

Таблица 3. Пределы обнаружения ионов цинка, кобальта и меди по реакции с ртутно-родановым реактивом

Обнаруживаемый ион	Предел обнаружения
$\text{Co}^{2+}$	$3 \cdot 10^{-2}$ моль/л
$\text{Cu}^{2+}$	$5 \cdot 10^{-2}$ моль/л
$\text{Zn}^{2+}$	$3 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Из таблицы следует, что в отношении рассматриваемых катионов реакция обнаружения наиболее чувствительна к цинку, а наименее чувствительна к ионам меди.

Для изучения взаимного мешающего влияния катионов на результаты обнаружения друг друга по выбранной реакции использовались растворы, содержащие одновременно два из трех открываемых иона и необходимые реактивы. Полученные препараты рассматривали под микроскопом. Результаты опытов приведены в таблице 4.

Из экспериментов следует, что обнаружение цинка в присутствии ионов меди и кобальта возможно по форме кристаллов. Кобальт в присутствии цинка можно обнаружить по цвету кристаллов, а в присутствии меди его обнаружение невозможно. Катионы меди придают характерный цвет выпавшим кристаллам продукта реакции реактива с цинком. Присутствие кобальта не сказывается на кристаллах продукта реакции меди с реактивом.

**Таблица 4. Обнаружение катионов цинка, кобальта и меди при парном одновременном присутствии**

Обнаруживаемые ионы	Наблюдаемый эффект
$Zn^{2+} + Co^{2+}$	Образуются кристаллы в форме крестов и дендритов (цинк), окрашенные в синий цвет (кобальт)
$Zn^{2+} + Cu^{2+}$	Образуются кристаллы в форме крестов и дендритов (цинк), окрашенные в зеленоватый цвет (медь)
$Cu^{2+} + Co^{2+}$	Образуются кристаллы в форме пучков иголок (медь), окрашенные в зеленоватый цвет (медь)

Из литературы известно, что с ртутно-родановым реактивом характерные осадки образуют также катионы кадмия и ртути. Возможно, продолжение данной работы будет связано с исследованием этих реакций.

### **Литература**

1. *Алексеев, В.Н.* Курс качественного химического полумикроанализа. 5-е изд. – М.: Химия, 1973. – 584 с.
2. Методическое руководство к лабораторным работам по аналитической химии для студентов биологического факультета / Н.В. Кулешова, Р.В. Абдражеев, О.В. Нипрук, Т.А. Мельчакова. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2004. – 74 с.
3. *Цитович, И.К.* Курс аналитической химии: Учебник для с.-х. вузов. 6-е изд. – М.: ВШ, 1994. – 495 с.



## Такой необходимый калий

Слепченков Александр

9 класс

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



В работе рассмотрены различные способы определения и количественного обнаружения калия. Особое внимание уделено разработке новой методики турбидиметрического обнаружения калия, которая подтверждена на фармацевтических препаратах. Получены данные о количестве калия в различных пищевых продуктах. Приведены данные о чувствительности реакций определения  $K^+$  с реагентами  $Na_3[Co(NO_2)_6]$ ,  $AgNO_3 + Na_3[Co(NO_2)_6]$ ,  $Na[B(C_6H_5)_4]$ . Разработана методика определения  $K^+$  по реакции с  $Na[B(C_6H_5)_4]$  методом турбидиметрии.

Калий – важнейший биогенный элемент. При недостатке калия в почве растения плохо развиваются, уменьшается урожай, поэтому около 90 % добываемых солей калия используют в качестве удобрений. Так же как кальций незаменим для наших костей, зубов и ногтей, то есть для всех твердых тканей, так калий необходим нашим мягким тканям: сосудам, капиллярам, мышцам и, особенно, сердечной мышце, а также клеткам мозга, печени, почек, нервов, желез внутренней секреции и других органов. Также он входит в состав внутриклеточных жидкостей. Поэтому важно иметь достоверные сведения о содержании калия в тех или иных объектах.

Проблема: металлический калий используется крайне ограниченно, обычно он используется в форме солей: нитрат калия в составе минеральных удобрений, как компонент дымного пороха, перманганат калия как окислитель и антисептик, хлорат калия (бертолетова соль) – в пиротехнике и производстве спичек и т.п. Поэтому важен контроль за содержанием калия в различных объектах.

Цель: провести химические реакции, позволяющие обнаруживать калийные соли, оценить их чувствительность, разработать методику количественного определения калия в растворах. Объектом исследования являлись соли калия, предметом – обнаружение ионов калия, определение их содержания.

Задачи исследования:

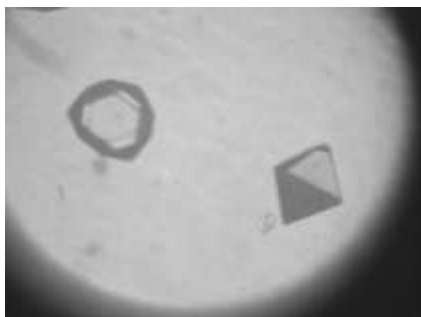
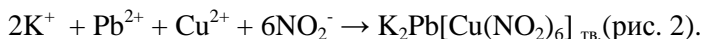
- 1) освоить технику проведения аналитических реакций в растворах и приемы микрокристаллоскопии;

- 2) провести химические реакции обнаружения ионов калия в модельных растворах;
- 3) разработать методику определения солей калия методом турбидиметрии;
- 4) проанализировать реальные объекты на содержание калия.

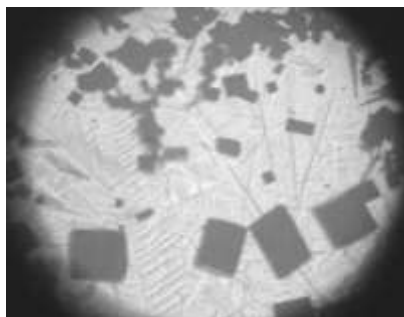
Историография проблемы: калий, а точнее, его соединения, использовались с давних времен. Так, производство поташа, который применялся как моющее средство, существовало уже в XI веке. Металлический калий впервые был получен английским ученым Дэви. Большинство историков относят это открытие к 1907 году, хотя о получении щелочных металлов Дэви доложил Королевскому обществу Английской академии наук еще в октябре 1906 года. Опыты Дэви были вскоре повторены другими учеными как за границей, так и в России. Состояние калия в растворе, методы обнаружения и определения калия в различных объектах систематизированы в монографии И.М. Коренмана «Аналитическая химия калия».

Методы исследования: полумикрохимический анализ, микрокристаллоскопия, турбидиметрия.

Для определения калия были проведены микрокристаллоскопические реакции:



**Рис. 1.** Кристаллы  
гексахлорплатината калия



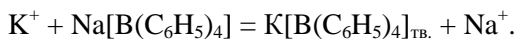
**Рис. 2.** Кристаллы гексанитро-  
купрата калия-свинца

Также для обнаружения калия использовались такие реагенты, как гексанитрокобальтиат натрия и тетрафенилборат натрия, которые образуют малорастворимые соединения с ионами калия. Данные о чувствительности этих реагентов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Чувствительность реакций определения калия с некоторыми реагентами

Концентрация $K^+$ , моль/л	Содержание $K^+$ , г/л	Образование осадка		
		$Na_3[Co(NO_2)_6]$	$AgNO_3$ + $Na_3[Co(NO_2)_6]$	$Na[B(C_6H_5)_4]$
1	39	+	+	+
$1 \cdot 10^{-1}$	3,9	+	+	+
$2 \cdot 10^{-2}$	0,78	+	+	+
$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,585	+	+	+
$1 \cdot 10^{-2}$	0,39	—	+	+
$2 \cdot 10^{-3}$	0,078	—	+ —	+
$1 \cdot 10^{-3}$	0,039	—	—	+
$1 \cdot 10^{-4}$	0,0039	—	—	+
$1 \cdot 10^{-5}$	0,00039	—	—	+ —

Для разработки методики количественного определения калия был взят тетрафенилборат натрия, потому что эта реакция обладает наибольшей чувствительностью из изученных:



Определение проводили методом градуировочного графика. Для этого готовили серию градуировочных растворов, содержащих различные количества тетрафенилбората калия. С этой целью в мерную колбу объемом 50 мл помещали определенный объем стандартного раствора нитрата калия, добавляли 5 мл  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствора тетрафенилбората натрия, довели объем до метки дистиллированной водой и перемешивали. На фотоэлектрическом колориметре КФК – 2МП измеряли

светопоглощение водной взвеси тетрафенилбората калия. По полученным данным строили градуировочный график (рис. 3) Проверку правильности методики проводили анализом фармпрепаратов (табл. 2).

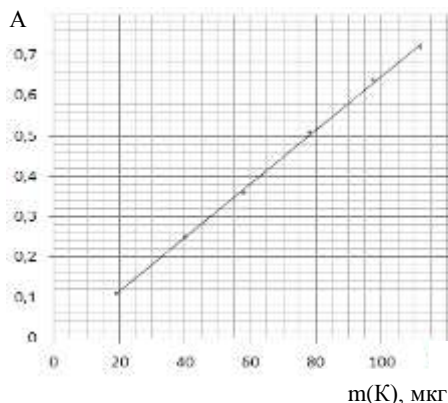


Рис. 3. Градуировочный график для определения калия по реакции с ТФБНа

Таблица 2. Результаты определения калия в фармацевтических препаратах

Фармацевтический препарат	Форма нахождения калия	Содержание калия	
		Данные на упаковке, мг/табл.	Полученные результаты, мг/табл.
Аспаркам	$C_4H_6KNO_4$	39,9	32,5
Йодомарин	KI	0,030	0,036

Для определения количества калия в продуктах аликвотный объем водной вытяжки из анализируемого продукта обрабатывали аналогичным образом, измеряли его светопоглощение и по графику находили содержание в нем калия. Затем проводили перерасчет на единицу массы продукта (табл. 3).

Таблица 3. Результаты определения калия в продуктах

Продукт	Содержание калия	
	Полученный результат (в водной вытяжке)	Данные из литературы (в продукте)
Курага	2,3 г/кг	3 – 7 г/кг
	1,7 г/кг	
	0,4 г/кг	
Изюм	1,6 г/кг	2 – 8 мг/кг
Картофель	1,0 г/кг	4 – 6 мг/кг
Чай	20 мг/пакет	2 – 4 мг/кг

В результате работы была оценена чувствительность реакций определения  $K^+$  с реагентами  $Na_3[Co(NO_2)_6]$ ,  $AgNO_3 + Na_3[Co(NO_2)_6]$ ,  $Na[B(C_6H_5)_4]$ ; разработана методика определения  $K^+$  по реакции с  $Na[B(C_6H_5)_4]$  методом турбидиметрии; проведена проверка правильности методики анализом фармпрепаратов; оценено содержание калия в некоторых продуктах питания.

### Литература

1. Методическое руководство к лабораторным работам по аналитической химии для студентов биологического факультета / Н.В. Кулешова, Р.В. Абражеев, О.В. Нипрук, Т.А. Мельчакова. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2004. – 74 с.
2. Справочное пособие по химии для поступающих в ННГУ: Теория, вопросы, задачи / Сост. Е.В. Сулейманов, Н.В. Кулешова. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2007. – 362 с.

# Математика и информатика





## Исследование статистических характеристик ансамбля случайных величин

Ахмеджанов Дмитрий

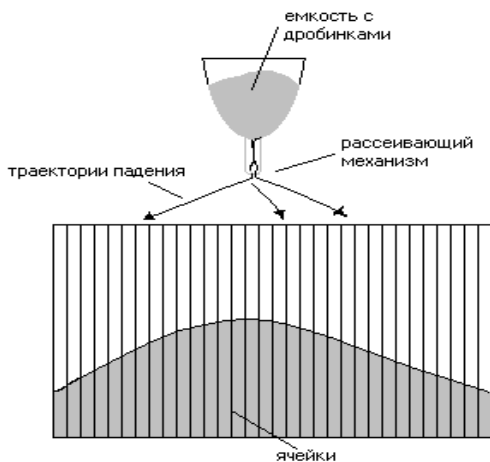
9 класс

Научный руководитель В.И. Романова,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН

Окружающая реальность зачастую представлена человеку в виде либо набора случайных величин, либо случайных процессов, то есть случайных изменений величин в зависимости от параметров, например, времени. В этой связи все решения или суждения принимаются человеком как вероятностные. Иногда уверенность может быть очень большая, и решения принимаются твердо. Однако бывают ситуации, когда мы не уверены (мало данных, нет понимания, много помех). Тогда, если есть острая необходимость, тоже принимаются решения (или осуществляются действия), но достоверно предсказать их результаты трудно. Апостериорно можно обучаться на предыдущем решении-действии и при повторе повышать качество решения.

Из представленных выше жизненных соображений можно понять, что, по-видимому, вся наша жизнь, каждый шаг буквально пронизаны влиянием случайности. При этом постоянно стоящая перед нами проблема принятия решения-действия может рассматриваться только как вероятностная или статистическая. Если строить модель принятия решений человеком и последующего выполнения действия, то необходимо пользоваться вероятностным подходом и соответствующими понятиями.

Целью работы была разработка компьютерной имитационной системы мо-



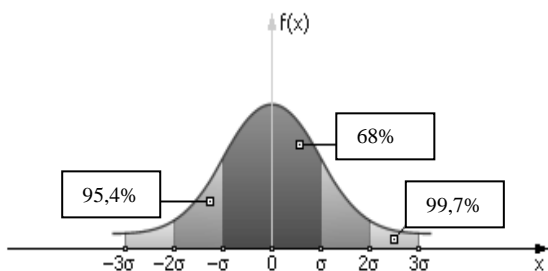
**Рис. 1.** Схема проведения эксперимента по построению гистограмм

делирования нормализации ансамбля случайных величин для исследования его статистических характеристик.

Прототипом моделируемого эксперимента являлся физический эксперимент с доской Гальтона. Он заключался в построении гистограмм распределения дробинки, падающих из желоба на рассеивающий элемент. После столкновения с рассеивателем дробинки отскакивали и разлетались по ячейкам (рис. 1).

При наблюдении распределения дробинки в ячейках видно, что начиная с некоторого момента, когда упавших дробинки становится много, их число в каждой из ячеек различно и подчиняется некоторому распределению, имеющему колоколообразный вид. Указанный эксперимент моделировал явление формирования так называемого нормального распределения случайных величин (в данном случае, распределения дробинки в ячейках). В данном эксперименте дробинки падали из емкости по желобу, испытывая многочисленные столкновения с его стенками, вследствие чего траектория вылета каждой из дробинки из желоба обуславливалась множеством случайных факторов. Суть эксперимента заключалась в наглядной экспериментальной демонстрации того, что если случайных воздействий много (в нашем случае это множество ударов о стенки желоба при падении), результирующая характеристика (траектория вылета дробинки и связанная с этим ячейка, в которую она упадет) подчиняется закону больших чисел, который описывается как нормальный закон или гауссовское распределение. На рисунке 2 показано нормализованное нормальное распределение. В области  $-\sigma < x < \sigma$  на графике сосредоточено 68% площади распределения, в области  $-2\sigma < x < 2\sigma$  – 95,4%, в области  $3\sigma < x < 3\sigma$  – 99,7% площади распределения («правило трех сигм»).

Для реализации идеи по имитации опыта с дробинками, при котором наблюдалось формирование нормального распределения величин, в частности, числа дробинки в ячейках, необходимо разработать алгоритм, включающий ос-



**Рис. 2.** Графический вид нормального закона распределения случайной величины  $x$  с параметрами  $m_x = 0$  и  $\sigma_x = 1$  (распределение нормализовано)

новые элементы опытной установки: источник дробинки, элемент, обеспечивающий случайное воздействие на дробинки, ячейки, в которые будут падать дробинки, счетчик числа дробинки в каждой из ячеек, элемент, визуализирующий результирующее распределение числа дробинки в каждой из ячеек, устройство для регулировки общего числа дробинки. Блок-схема взаимосвязи основных элементов имитационной системы представлена на рисунке 3 [3]. Согласно ей дробинки общим числом  $N$  выбрасывает устройство, обеспечивающее им некоторое случайное направление падения  $\{j\}$  так, что отдельные дробинки в соответствии со значением направления падения попадают в соответствующую ячейку  $\{i\}$ . Счетчик обеспечивает подсчет числа дробинки  $M(i)$ , попавших в каждую ячейку. Предполагается, что закон статистического распределения нового ансамбля величин будет приближаться к нормальному распределению по мере увеличения числа  $N$  [4].

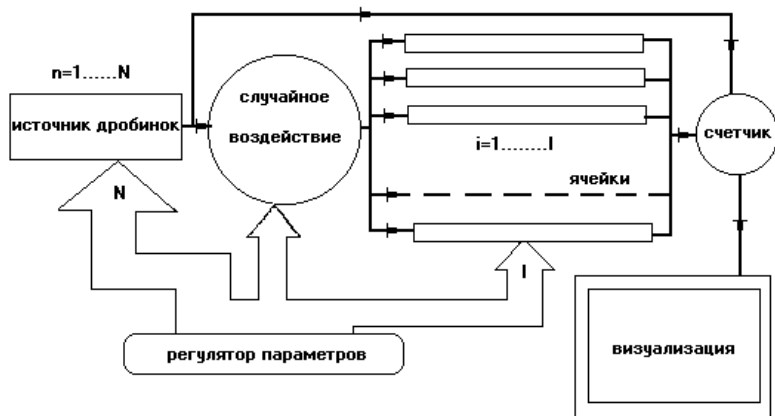


Рис. 3. Блок-схема опыта с выбрасыванием дробинки

С учетом обсуждаемых моделей и предположений для имитации опыта с дробинками можно использовать следующий численный алгоритм:

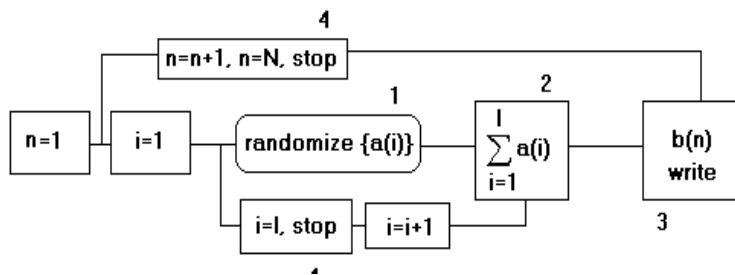
- генератор случайных чисел выбрасывает набор  $N$  равномерно распределенных случайных величин  $a(i)$ ;
- путем суммирования формируется новая случайная величина  $b(j)$ ;
- операция повторяется  $M$  раз, при этом формируется статистический ансамбль величин;
- далее осуществляется операция «счетчик», заключающаяся в проверке значений величин, входящих в вектор  $\{b(j)\}$ , и разделение их на



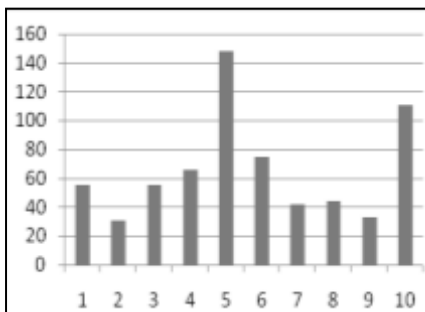
интервалы значений  $[b_k < b < b_{k+1}]$ ,  $k=1.....K$ , где  $K$  – число ячеек частотного распределения;

– после завершения вычисления частотного распределения осуществляется построение его гистограммы.

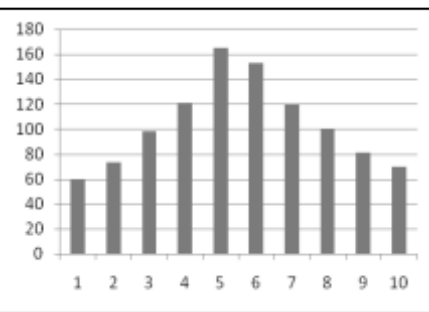
Реализация такого алгоритма может быть осуществлена с помощью компьютера при использовании одного из программных языков. Мы использовали Turbo Pascal. Уточним последовательность работы, реализующей описанный выше алгоритм программы с помощью блок-схемы (рис. 4). Результаты моделирования представлены на диаграммах (рис. 5 – 7).



**Рис. 4.** Блок-схема генерации ансамбля случайных чисел с изменяющимся статистическим распределением



**Рис. 5.** Последовательность распределений 100 равномерно распределенных случайных чисел по ячейкам при суммировании по 4 числа

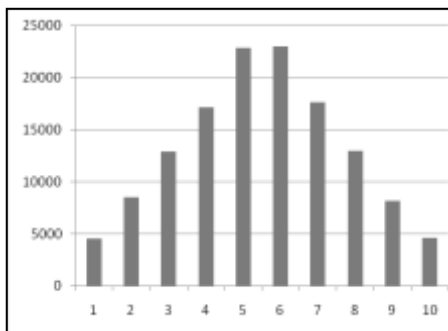


**Рис. 6.** Последовательность распределений 100 равномерно распределенных случайных чисел при суммировании по 12 чисел

В ходе выполнения исследовательской работы была достигнута цель: ознакомиться с основными понятиями статистической физики и разработать компьютерную имитационную систему моделирования нормализации ансамбля случайных величин.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

- разобратся в основных статистических распределениях случайных величин;
- посредством созданной компьютерной модели продублировать физический опыт;
- исследовать дополнительные особенности формирования наблюдаемых в опыте явлений;
- проанализировать, каким способом возможно формировать ансамбли с другими статистическими характеристиками из имеющихся ансамблей случайных величин.



**Рис. 7.** Последовательность распределений 10 000 равномерно распределенных случайных чисел по ячейкам при суммировании по 12 чисел

### Литература

1. Курс лекций по моделированию сигналов кафедры СУП НГТУ. – Н.Новгород: Изд-во НГТУ, 1989.
2. Математический энциклопедический словарь / Гл. ред. Ю.В.Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 847 с. – С. 518 – 519.
3. Немнюгин, С. Turbo Pascal: Практикум. – М.: Эксмо-пресс, 2002.
4. Физика. Т. 1 // Энциклопедия для детей. – М.: Аванта, 2006.
5. Худсон, Д. Статистика для физиков. – М.: Мир, 1970. – 296 с.

## Моделирование статистики двумерного газа

Зайцев Сергей

10 класс

Научный руководитель П.А. Калинин,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН



На языке программирования Pascal был написан комплекс программ, моделирующий идеальный двумерный газ и позволяющий вычислять для него статистику. Для каждого исследования был построен график и проведено сравнение с теоретическим расчетом. Созданный комплекс программ может быть использован для моделирования газа и вычисления статистики при разных начальных и внешних условиях.

Для исследования газов и их поведения в различных условиях может оказаться полезным и даже необходимым прямое численное моделирование движения молекул этих газов. Цель работы: написание комплекса программ, позволяющего проводить численное моделирование движения молекул газа в различных условиях.

Первое, что было нами сделано – это моделирование движения двух шаров навстречу друг другу. Движение им придает цикл «While not», внутри которого происходит изменение координаты  $X$  и  $Y$  по закону физики:  $x = x_0 + V_x * t$ , и то же самое для  $Y$ . Но шары не просто двигаются, а сталкиваются и отталкиваются. Для расчета их столкновения мы выбрали следующий метод.

Возьмем момент, когда они столкнулись (рис. 1). Мы выбираем новые оси, одна из которых проходит через радиусы двух шаров ( $V$ ), а вторая перпендикулярна ей ( $U$ ). Для дальнейшего расчета скоростей нам нужно определить угол наклона осей координат.

Рисуем прямоугольный треугольник (рис. 2). Точки 1 и 2 – это центры шаров. Угол  $\alpha$  – угол между осями  $X$  и  $V$ . Для дальнейших расчетов нам потребуется синус и косинус угла. Сторона 1В будет равна  $X_2 - X_1$ , а 2В будет равна  $Y_2 - Y_1$ . Косинус угла  $\alpha$ , по его определению, равен  $(X_2 - X_1)/L$ , синус

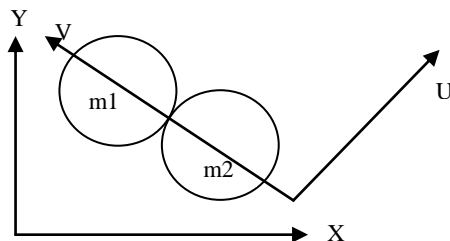


Рис. 1. Столкновение молекул

находим аналогично.  $L$  – это расстояние между радиусами, которое находим по формуле:

$$\sqrt{(\sqrt{x_1 - x_2}) + \sqrt{y_1 - y_2}}).$$

Теперь нужно пересчитать скорости из старых в новые (рис. 3). Скорость относительно оси  $X$  будет равна  $V \cdot \cos(b)$ , а относительно  $Y$  равна  $V \cdot \sin(b)$ . Скорость относительно оси  $U$  будет равна

$$\begin{aligned} V \cdot \cos(90 - a + b) &= V \cdot \sin(a - b) = \\ V \cdot (\sin(b) \cdot \cos(a) - \sin(a) \cdot \cos(b)) &= \\ V y \cdot \cos(a) + V x \cdot \sin(a). \end{aligned}$$

Аналогично и для оси  $V$ .

Далее необходимо пересчитать скорости в новые. Ускорение по оси  $U$  будет равно нулю. Поэтому скорость  $V_u$  будет такой же, как и до столкновения. А скорости для оси  $V$  нам придется искать из закона сохранения энергии и закона сохранения импульса. Найденные скорости мы снова переводим в систему координат  $X$  и  $Y$ , двигая шары уже по этим скоростям.

Ударяясь о стенки, скорости шариков отражаются зеркально. Сохраняются ли у шариков энергия и импульс? Для этого необходимо сделать проверку на эти законы.

Следующей задачей стало увеличение количества шаров. Все скорости, радиусы, массы и координаты задаются рандомом и представляют из себя массивы (*array*). Проверка того факта, что все шары имеют правильные координаты, то есть не застревают в стене либо друг в друге, была сделана с помощью известной проверки на расстояние между шарами и суммы их радиусов.

$$(\text{if } \sqrt{(\sqrt{x_1 - x_2}) + \sqrt{y_1 - y_2}}) < (r_1 + r_2)).$$

Для удобства отладки программы использовалась команда *rand-seed*. С ее помощью можно было отслеживать те значения характеристик шара, при которых программа выдавала ошибку, и ее исправлять. Одним из таких примеров является залипание, при котором два шара

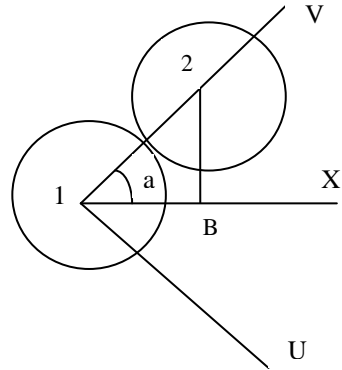


Рис. 2. Расчет угла отклонения осей

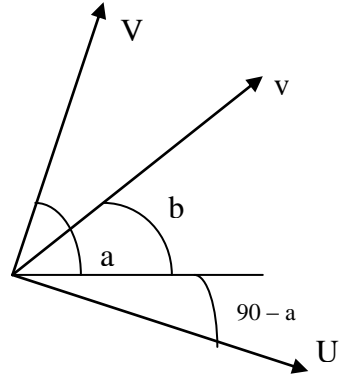


Рис. 3. Расчет угла отклонения вектора скорости

сливаются, не успевают разъехаться по направлениям скоростей и сталкиваются еще раз. Залипание происходит и в том случае, когда плотность между шарами слишком большая, например, когда три шара рядом, программа сталкивает с одним, но со вторым столкнуть не успевает. Эта проблема имеет много решений, но мы выбрали самое, на наш взгляд, практичное: обратившись к знакомым уже осям  $V$  и  $U$  (рис. 4).

В процедуру столкновения ставим дополнительное условие: если скорость сближения шаров больше нуля, то выполняется столкновение. В противном случае они просто разойдутся. Это гарантирует нам безопасность при сближении большого количества шаров.

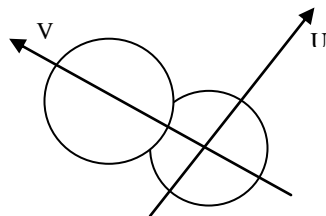


Рис. 4. Проблема с наложением

Так же возникла проблема с ЗСЭ и ЗСИ, так как надо было приравнивать два числа типа *real*. Если бы мы использовали стандартное « $\approx$ », то это бы дало нам большие потери в точности. Поэтому мы ввели новую переменную, равную маленькому значению, например, « $\text{const eps} = 1e - 5$ ». Тогда « $\text{if } a = b \text{ then}$ » заменяем на « $\text{if } \text{abs}(a - b) < \text{eps then}$ ». С помощью такого нехитрого метода мы сохранили точность в нашей программе.

Распределение по проекциям скорости, которое должно установиться в газе спустя достаточно большое время, называется распределением Максвелла. Суть его в том, что через определенное количество столкновений проекции скоростей у всех шариков будут распределены примерно так, как на рисунках 5 и 6. Рисунок 5 для 100 шариков, рисунок 6 – для 1000. Во всех графиках ряд 1 – экспериментальный результат, ряд 2 – теоретический. Для того чтобы это смоделировать, мы взяли движение молекул из старой программы, установив все радиусы и массы одинаковыми. Задали шаг по распределению на графике, а чтобы понять, сколько молекул находится в определенном промежутке, использовали формулу  $\text{trunk}(v[i]/dv)$ , где  $v[i]$  – скорость шарика под номером  $i$ ,  $dv$  – шаг между скоростями. Все данные ввели в файл и построили график. Моделировались 10, 100 и 1000 молекул при условии, что радиусы малы.

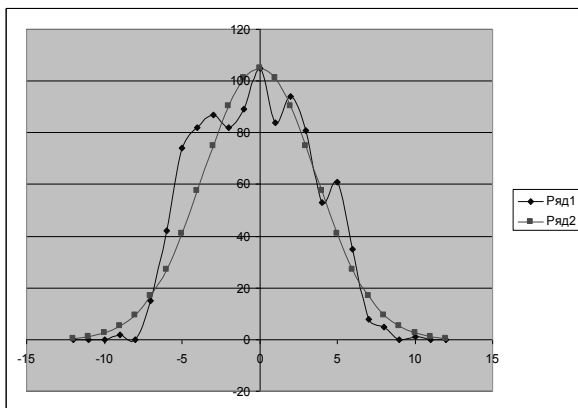
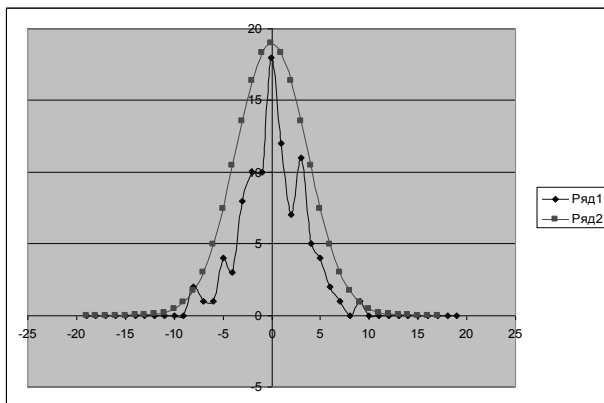
Процесс термализации – это процесс установления, заключающийся в том, что любое начальное распределение частиц по скоростям со временем эволюционирует к максвелловскому. Для исследования этого процесса мы измеряем распределение частиц по скоростям в разные

моменты времени; каждое измерение производится так, как описано выше. Измерение производится в трех точках  $t=0,5,10$ .

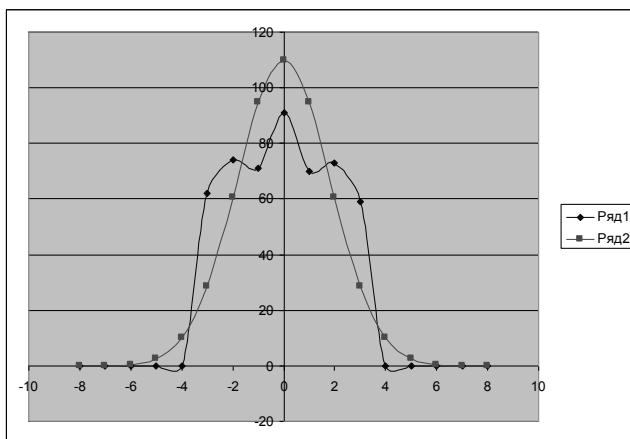
Как видно по графику (рис. 7), распределение по скоростям представляет собой прямоугольник, хотя и размытый. На следующем графике (рис. 8) отчетливого прямоугольного распределения по скоростям нет, а на последнем (рис. 9) – распределение по скоростям почти похоже на распределение Максвелла.

Распределение Больцмана. В данной статистике в программу вводится следующая поправка: на каждом  $V_y$  шаге проекция скорости на  $Y$  уменьшается на  $g$ . Фактически мы учитываем силу  $mg$ , действующую на каждую молекулу. Строим график распределения молекул по высоте. По оси  $X$  откладываем интервалы, а по оси  $Y$  – количество молекул, попавших в каждый интервал высоты. Как видно, большинство молекул находится в интервале от 0 до 2 (рис. 10).

**Рис. 5.** 100 молекул

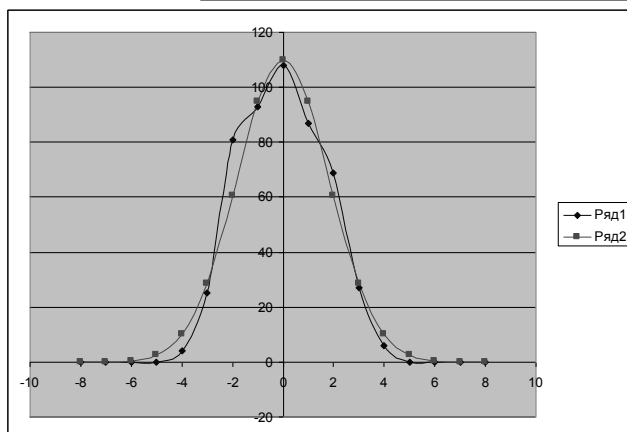
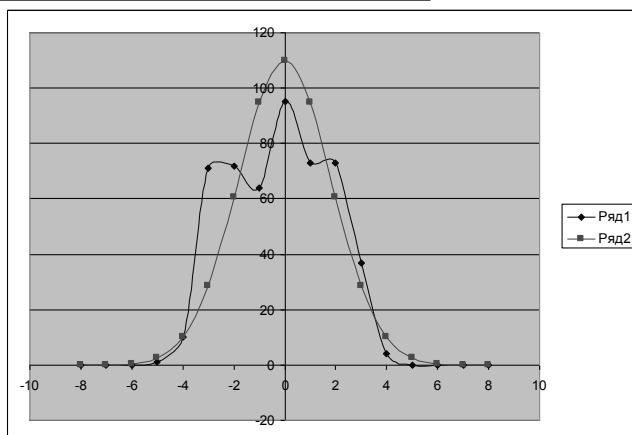


**Рис. 6.** 1000 молекул

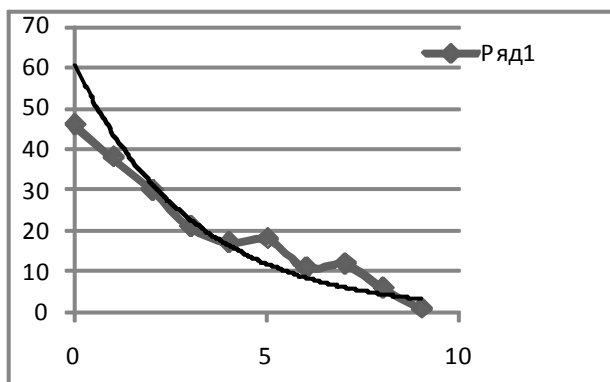


**Рис. 7.  $T=0$**

**Рис. 8.  $T=5$**



**Рис. 9.  $T=10$**



**Рис. 10.** Распределение молекул по высоте

Таким образом, нами был написан комплекс программ. Как видно из графиков распределения по скоростям, экспериментальные результаты близки к теоретическим расчетам. Существующие расхождения объясняются малым временем моделирования. Также можно заметить, что почти на всех графиках самое большое количество шаров находится на скорости 0. При моделировании термализации видна последовательность установления максвелловского распределения. При моделировании распределения Больцмана получена экспоненциальная зависимость.

Дальнейшее исследование может включать в себя любое исследование газов, например, обтекание предметов, уравнения изо-процессов и т.д.

Полученный комплекс программ может быть использован для прямого численного моделирования различных процессов с газами: поведения газов или смеси газов при различных внешних условиях, установления теплового равновесия, передачи тепла газами, обтекания газами различных препятствий.

Данная работа очень обширна и включает в себя знания не только в области информатики, но и физики. Такие программы стоит внедрять как наглядный материалы для школьников, студентов вузов, а также возможно внедрение на предприятиях при работе с опасными газами.

### Литература

1. *Гордон, Я.* Паскаль без секретов. 2006.
2. Электронная энциклопедия <http://www.wikipedia.com>.



## Применение показателя Херста для прогнозирования поведения временных рядов

Зотова Ульяна

10 класс

Научный руководитель П. А. Калинин,  
мл. научный сотрудник ИПФ РАН



В ходе работы написана программа для подсчета показателя Херста. Рассмотрено применение показателя Херста для различных типов рядов, оценена целесообразность использования метода.

Исследование свойств различных временных рядов и предсказание поведения различных процессов во времени является весьма актуальной задачей. Подобный анализ можно проводить, базируясь на различных внутренних свойствах исследуемых систем; это может привести к достаточно глубокому пониманию каждой отдельной системы, но такой подход невозможно распространить на системы другой природы. Поэтому представляет интерес использование методов, которые не опираются на детали устройства исследуемой системы, а основываются на ее внешних проявлениях; в таком случае один и тот же алгоритм возможно применять к совершенно разным задачам.

Пусть исследуемая система характеризуется зависимостью некоторой величины от времени. Считая время дискретным, получаем последовательность значений этой величины – временной ряд. Для анализа полученного ряда применяем метод нормированного размаха, или показатель Херста [1]. С помощью этого метода исследуются многие временные ряды, например, различие больных и здоровых биологических клеток, изменение биения сердца при различной физической активности [2], отношения между производительностью и прогнозированием изменения цен [3], свойства ЭЭГ сигналов здоровых и больных людей, динамика солнечных пятен [4]. Существуют коммерческие пакеты, использующие показатель Херста для отдельных приложений.

Рассмотрим изменение исследуемой величины на отрезке времени  $\tau$ . Пусть значение исследуемой величины в каждый момент времени  $i$  равно  $\xi(i)$ . Определяя среднее значение этой величины за рассмат-

риваемый отрезок времени, получим  $\langle \xi \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \left( \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \right)$ .

Пусть  $x(t, \tau)$  – накопленное за  $t$  измерений отклонение величины  $\xi$  относительно среднего  $\langle \xi \rangle_\tau$ :

$$x(t, \tau) = \sum_{u=1}^t \{ \xi(u) - \langle \xi \rangle_\tau \}, \text{ при этом } x(0) = x(\tau) = 0.$$

Назовем размахом  $R(\tau)$  разность максимального и минимального накопленного отклонения  $x$ . Тогда  $R(\tau) = \max x(t, \tau) - \min x(t, \tau)$ , где максимум и минимум берутся по всем значениям  $t$  в интервале  $1 \leq t \leq \tau$ .

Рассмотрим среднеквадратичное отклонение величины  $\xi$  за рассматриваемый промежуток времени от ее среднего значения:

$$S(\tau) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \left( \sum_{t=1}^{\tau} \{ \xi(t) - \langle \xi \rangle_\tau \}^2 \right)}.$$

Рассмотрим отношение  $R(\tau)/S(\tau)$ , усредним его по всем возможным отрезкам длины  $\tau$  и рассмотрим полученное среднее для различных  $\tau$ . Для многих временных рядов оказывается, что  $\langle R(\tau)/S(\tau) \rangle \approx C(\tau/2)^H [1]$ , где  $H$  – показатель Херста для рассматриваемого процесса ( $0 \leq H \leq 1$ ),  $C$  – некоторая константа. Следует отметить, что, поскольку вычисление показателя базируется на нормированных отклонениях величины от среднего, результаты не изменяются при линейных преобразованиях процесса, то есть при добавлении к каждому значению одной и той же константы или увеличении каждого значения в одно и то же число раз. Таким образом, показатель Херста является безразмерной величиной, не зависящей от выбора единиц измерения и уровня отсчета рассматриваемой величины.

Значение показателя Херста можно применять при прогнозировании дальнейшего поведения временного ряда [1]. Для рядов, близких к монотонным, сохраняющих свою тенденцию к возрастанию или убыванию, показатель оказывается больше 0.5; случай  $H < 0.5$  подразумевает, что рост в прошлом означает уменьшение в будущем, а тенденция к уменьшению в прошлом делает вероятным увеличение в будущем.

График зависимости усредненного отношения  $\langle R(\tau)/S(\tau) \rangle$  от  $\tau$  может использоваться для более подробного анализа процесса. В процессах со сложной временной структурой на графике могут наблюдаться различные участки, которым можно сопоставить различные значения показателя Херста ( $H$ ).

Показатель Херста можно вычислять не только для всего временного ряда, но и для его отдельных частей; такой анализ позволяет оперативно обнаруживать изменения в динамике процесса.

В ходе работы была написана программа, выполняющая расчет показателя Херста для произвольных процессов, и продемонстрированы ее возможности. Программа позволяет строить график зависимости усредненного отношения  $\langle R(\tau)/S(\tau) \rangle$  как функции  $\tau$  и рассчитывать по этому графику показатель Херста.

Программа может анализировать заранее накопленные данные, после получения очередной точки результаты пересчитываются. Благодаря этому программа может быть использована для оперативной диагностики процесса и обнаружения изменений в нем.

Написанная программа наглядно демонстрирует возможность использования  $R/S$  метода для качественного прогнозирования поведения временных рядов. Программа может строить зависимость  $H(\tau)$  параллельно с  $\xi(\tau)$  и сохранять полученные графики.

Показатель Херста может отобразить общие тенденции временного ряда, однако показать последующие значения исследуемой величины данный метод не в силах. Его использование возможно только для качественного анализа, что называется «на глаз». Но даже такой уровень прогнозирования весьма полезен, а если к нему добавить методы, основанные на внутренних свойствах исследуемой системы, то можно добиться весьма высокой для прогнозирования точности.

Программа может применяться как часть более сложной программной системы, использующейся для обработки текущих данных, например, при снятии ЭКГ у больного, а также как самостоятельный продукт при обработке различных экспериментальных данных.

### Литература

1. *Федер, Е.* Фракталы: пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
2. *Martinis M., Knežević A., Krstajić G. and Vargović E.* Changes in the Hurst exponent of heartbeat intervals during physical activity // *Phys. Rev. E* 70, 012903 (2004).
3. *Cheoljun Eom, Gabjin Oh, Woo-Sung Jung.* Relationship between degree of efficiency and prediction in stock price changes // arXiv:0708.4178v1 [q-fin.PR] (2008).
4. *Kilcik A., Anderson C.N.K., Rozelot J.P., Ye H., Sugihara G., Ozguc A.* Non-linear Prediction of Solar Cycle 24 // arXiv:0811.1708v5 [astro-ph] (2008)

## Замечательные кривые: эллипс, парабола, гипербола

Садова Дарья

9 класс

Научный руководитель С.Е. Фильченков,  
канд.физ.-мат.наук



Коническое сечение – линия пересечения плоскости с круговым конусом. Существуют три главных типа конических сечений: эллипс, парабола и гипербола. Космические тела движутся по траектории этих кривых, в конструкции фар, фонарей, прожекторов используется оптическое свойство параболы, при игре в волейбол мяч летит по параболической траектории. Ежедневно на своем пути мы видим крыши, арки, купола, построенные в форме параболы. Мне интересно изучить подробнее эти кривые: узнать новые для меня уравнения и свойства кривых, построить их.

Одним из первых, кто начал изучать эти кривые, был ученик Платона, древнегреческий математик Менехм (IV в. до н.э.). Решая задачу об удвоении куба, он задумался: «А что получится, если разрезать конус плоскостью перпендикулярно его образующей? Какие кривые предстанут нашему взору?». Так, изменяя угол при вершине прямого кругового конуса, Менехм получил три вида кривых: эллипс – если угол при вершине конуса острый; параболу – если угол прямой; одну ветвь гиперболы – если угол тупой. Названия этих кривых придумал не Менехм. Их предложил один из крупнейших геометров древности Аполлоний Пергский, посвятивший замечательным кривым трактат из восьми книг «Конические сечения». Аполлоний показал, что эллипс, параболу и гиперболу можно получить, проводя различные сечения одного из того же кругового конуса, причем любого. При надлежащем наклоне секущей плоскости удастся получить все типы конических сечений. Если считать, что конус не заканчивается в вершине, а простирается за нее, тогда у некоторых сечений образуются две ветви.

*Эллипс* – геометрическое место точек плоскости, для которых сумма расстояний от двух фиксированных точек плоскости, называемых фокусами, есть постоянная величина; требуется, чтобы эта постоянная была больше расстояния между фокусами. При сечении конуса эллипс можно получить, если секущая плоскость образует с осью конуса угол, больший половины угла раствора конуса.

Свойства эллипса следующие.

1. Эллипс – это «сплюснутая», а точнее, равномерно сжатая к

диаметру окружность. Из нее получается эллипс, если все ее точки приблизить к выбранному диаметру, сократив расстояния в одно и то же число раз.

2. Прямые, соединяющие любую его точку с фокусами, составляют равные углы с касательной к эллипсу в этой точке.

Для построения эллипса поставим две кнопки на расстоянии друг от друга, которое обозначим  $2c$ , и привяжем к каждой из них концы веревки длиной  $2a$ , причем  $a > c$ . Если теперь карандашом оттянуть веревку в сторону и провести им линию, то мы вычертим дугу эллипса. То есть множество всех точек плоскости, сумма расстояний от которых до данных точек  $F_1$  и  $F_2$  постоянна, есть эллипс.

**Парабола** – это геометрическое место точек плоскости, равноудаленных от прямой, называемой директрисой, и точки, не лежащей на данной прямой. Эта точка называется фокусом. При сечении конуса параболу можно получить, если секущую плоскость поставить параллельно одной из образующих конуса. Ось параболы – прямая, проходящая через фокус и перпендикулярная директрисе. Ось симметрии совпадает с осью параболы.

Свойство параболы: если в фокус «зеркальной» параболы поместить источник света, то все исходящие из него световые лучи после отражения от нее пойдут по прямым, которые параллельны ее оси симметрии. И наоборот, все световые лучи, идущие параллельно оси параболы, после отражения от «стенок» кривой соберутся в одной точке – ее фокусе. Это оптическое свойство параболы широко применяется в технике, например, в устройстве фар, рефлекторов, антенн радиотелескопов.

Построение параболы. Прикрепим один конец нити к фокусу, а другой – к вершине угла угольника, прилежащего к выбранному катету. Приложим линейку к директрисе, а также приложим к ней угольник другим катетом. Карандашом натянем нить так, чтобы острое карандаша касалось бумаги и прижималось к выбранному катету. Будем перемещать угольник

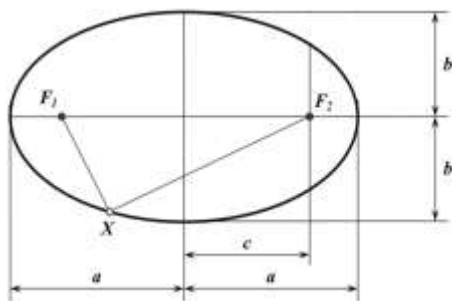


Рис. 1. Эллипс

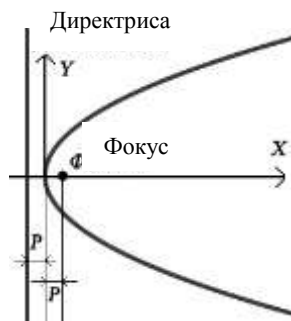


Рис. 2. Парабола

и прижимать к его катету карандаш так, чтобы нить оставалась натянутой: карандаш будет вычерчивать на бумаге параболу.

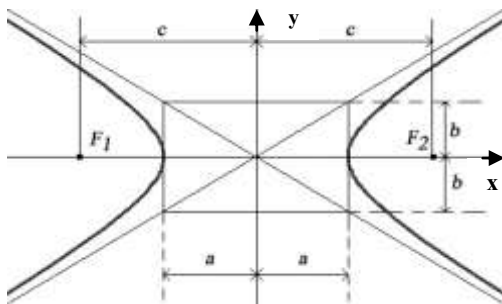
*Гипербола* – это геометрическое место точек плоскости, абсолютное значение разности расстояний от которых до двух фиксированных точек плоскости постоянно. Эти точки называются

фокусами. Ось гиперболы – прямая, проходящая через фокусы. При сечении конуса гиперболу можно получить, если секущая плоскость образует с осью конуса угол, меньший половины угла раствора конуса.

Свойство гиперболы: свет от источника, находящегося в одном из фокусов гиперболы, отражается второй ветвью гиперболы так, что продолжения отраженных лучей пересекаются во втором фокусе. При построении гиперболы острие карандаша фиксируется на нити, которая свободно скользит по гвоздям, установленным в точках фокусов. При этом один конец нити проходит под первым фокусом и оба конца нити проходят поверх второго фокуса. Одну ветвь гиперболы мы вычерчиваем, следя за тем, чтобы нить оставалась все время натянутой, и потягивая оба конца нити вниз. Вторую ветвь гиперболы мы вычерчиваем, предварительно поменяв ролями фокусы.

В экспериментальной части работы я наглядно продемонстрировала построение кривых, получаемых сечением конуса. Эллипс был построен с помощью кнопок, нити и карандаша. Парабола – с помощью линейки, угольника, кнопки, карандаша и нити, длина которой равной одному катету угольника. Гипербола – с помощью кнопок, карандаша, нити.

В заключение отметим, что при изменении угла секущей плоскости к оси конуса можно мысленно наблюдать интересную картину эволюции сечения. При  $90^\circ$  – это окружность. Затем она вытягивается, превращаясь в эллипс, а когда эллипс разрывается, превращается в параболу (плоскость параллельна образующей конуса). Далее появляется вторая часть сечения, то есть парабола превращается в гиперболу.



**Рис. 3.** Гипербола

### Литература

1. Математика // Энциклопедия для детей. – М.: Аванта, 2006.
2. Электронная энциклопедия <http://ru.wikipedia.org>.

# Наука как призвание и профессия



*Научная деятельность – единственное, что переживает тебя и что на сотни и тысячи лет врежется в историю человечества.*

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

*Моя вера – это вера в то, что счастье человечеству дает прогресс науки.*

Иван Петрович Павлов (1849 – 1936),  
физиолог, создатель науки о высшей нервной деятельности,  
лауреат Нобелевской премии в области медицины и физиологии (1904)

*Мысль – только вспышка света посреди долгой ночи. Но эта вспышка – все.*

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

*Ученые те же фантазеры и художники; они не вольны над своими идеями; они могут хорошо работать, долго работать только над тем, к чему лежит их мысль, к чему влечет их чувство. В них идеи сменяются; появляются самые невозможные, часто сумасбродные; они роятся, кружатся, сливаются, переливаются. И среди таких идей живут и для таких идей они работают.*

Владимир Иванович Вернадский (1863 – 1945),  
русский естествоиспытатель и философ,  
создатель науки биогеохимии

*Если я посвятил себя науке, руководствуясь не только чисто внешними мотивами, как добывание денег или удовлетворение своего честолюбия, и не потому (по крайней мере, не только потому), что считаю ее спортом, гимнастикой ума, доставляющей мне удовольствие, то один вопрос должен представлять для меня как приверженца науки жгучий интерес: какую цель должна и может ставить перед собой наука, которой я себя посвятил? Насколько истинны ее основные результаты? Что в них существенно и что зависит от случайностей ее развития?*

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



Эта глава адресована тем, кто активно стремится к самостоятельным поискам истины, кто видит в науке, кроме закономерностей причин и следствий, живое содержание. Недаром основатель Российской академии наук Петр I советовал учащимся регулярно читать «повести о мужах, во учении просиявших..., ибо таковых повестей слышание и сладко есть, и к подражанию мудрым оных людей поощряет».<sup>1</sup>

Мы предлагаем вниманию читателей три статьи о науке известных ученых: Макса Вебера, Ивана Александровича Ильина и нашего современника академика Анатолия Леонидовича Бучаченко.

«Наука как призвание и профессия» – так называлась речь Макса Вебера (Максимилиан Карл Эмиль Вебер (1864 – 1920)), немецкого социолога, историка и экономиста, с которой он выступил в 1918 году перед студентами Мюнхенского университета. В ней он продолжил традицию немецких ученых, развивавших мысль о великой воспитательной роли науки.

Следующая из обсуждаемых точек зрения на роль науки принадлежит русскому христианскому философу, писателю и публицисту Ивану Александровичу Ильину (1883 – 1954), прожившему большую часть своей жизни в эмиграции в Европе. «Мы, академики. Исповедь» – так называется одна из глав его книги «Взгляд в даль. Книга размышлений и упований».

Современный взгляд на науку представляет наш земляк, закончивший Нижегородский университет, академик РАН, лауреат Государственной и Ленинской премий Анатолий Леонидович Бучаченко. Специалист в области химической физики А.Л. Бучаченко является заведующим кафедрой химической кинетики химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, заведует отделом Института химической физики им. Н.Н.Семенова РАН.

Знакомя юных исследователей с их взглядами, мы хотели бы обсудить вопросы, которые встанут перед молодыми людьми при выборе профессии: что такое наука как призвание? Какую цель она преследует и насколько истинны ее результаты? Какие требования она предъявляет к человеку в качестве профессии? Надеемся, что данные рассуждения помогут им определить свой путь в науке.

---

<sup>1</sup> Духовный регламент всепросветлейшего, державнейшего государя Петра Первого, императора и самодержца всероссийского. М., 1904. – С. 64.

## Наука как призвание и профессия

Макс Вебер

В настоящее время отношение к научному производству как профессии обусловлено, прежде всего, тем, что наука вступила в такую стадию специализации, какой не знали прежде, и что это положение сохранится и впредь. Не только внешне, но и внутренне дело обстоит таким образом, что отдельный индивид может создать в области науки что-либо завершённое только при условии строжайшей специализации. Всякий раз, когда исследование вторгается в соседнюю область, как это порой у нас бывает — у социологов такое вторжение происходит постоянно, притом по необходимости, — у исследователя возникает смиренное сознание, что его работа может разве что предложить специалисту полезные постановки вопроса, которые тому при его специальной точке зрения не так легко придут на ум, но что его собственное исследование неизбежно должно оставаться в высшей степени несовершенным.

Только благодаря строгой специализации человеку, работающему в науке, может быть, один-единственный раз в жизни дано ощутить во всей полноте, что вот ему удалось нечто такое, что останется надолго. Действительно, завершённая и дельная работа — в наши дни всегда специальная работа. И поэтому кто не способен однажды надеть себе, так сказать, шоры на глаза и проникнуться мыслью, что вся его судьба зависит от того, правильно ли он делает это вот предположение в этом месте рукописи, тот пусть не касается науки. Он никогда не испытает того, что называют увлечением наукой. Без странного упоения, вызывающего улыбку у всякого постороннего человека, без страсти и убежденности в том, что «должны были пройти тысячелетия, прежде чем появился ты, и другие тысячелетия молчаливо ждут», удастся ли тебе твоя догадка, — без этого человек не имеет призвания к науке, и пусть он занимается чем-нибудь другим. Ибо для человека не имеет никакой цены то, что он не может делать со страстью.

Однако даже при наличии страсти, какой бы глубокой и подлинной она ни была, еще долго можно не получать результатов. Правда, страсть является предварительным условием самого главного — «вдохновения». Сегодня среди молодежи очень распространено представление, что наука стала чем-то вроде арифметической задачи, что

она создается в лабораториях или с помощью статистических картотек одним только холодным рассудком, а не всей «душой», так же как «на фабрике». При этом прежде всего следует заметить, что рассуждающие подобным образом по большей части не знают ни того, что происходит на фабрике, ни того, что делают в лаборатории. И там и здесь человеку нужна идея, и притом идея верная, и только благодаря этому условию он сможет сделать нечто полноценное. Но ведь ничего не приходит в голову по желанию. Одним холодным расчетом ничего не достигнешь. Конечно, расчет тоже составляет необходимое предварительное условие. Так, например, каждый социолог должен быть готов к тому, что ему и на старости лет, может быть, придется месяцами перебирать в голове десятки тысяч совершенно тривиальных арифметических задач. Попытка же полностью переложить решение задачи на механическую подсобную силу не проходит безнаказанно: конечный результат часто оказывается мизерным. Но если у исследователя не возникает вполне определенных идей о направлении его расчетов, а во время расчетов – о значении отдельных результатов, то не получится даже и этого мизерного итога. Идея подготавливается только на основе упорного труда. Разумеется, не всегда. Идея дилетанта с научной точки зрения может иметь точно такое же или даже большее значение, чем открытие специалиста. Как раз дилетантам мы обязаны многими нашими лучшими постановками проблем и многими познаниями.

Дилетант отличается от специалиста, как сказал Гельмгольц о Роберте Майере, только тем, что ему не хватает надежности рабочего метода, и поэтому он большей частью не в состоянии проверить значение внезапно возникшей догадки, оценить ее и провести в жизнь. Внезапная догадка не заменяет труда. И с другой стороны, труд не может заменить или принудительно вызвать к жизни такую догадку, так же как этого не может сделать страсть. Только оба указанных момента – и именно оба вместе – ведут за собой догадку. Но догадка появляется тогда, когда это угодно ей, а не когда это угодно нам. И в самом деле, лучшие идеи, как показывает Иеринг, приходят на ум, когда раскуриваешь сигару на диване, или – как с естественно-научной точностью рассказывает о себе Гельмгольц – во время прогулки по улице, слегка поднимающейся в гору, или в какой-либо другой подобной ситуации, но, во всяком случае, тогда, когда их не ждешь, а не во время размышлений и поисков за письменным столом. Но, конечно же, догадки не пришли бы в голову, если бы этому не

предшествовали именно размышления за письменным столом и страстное вопрошание.

Научный работник должен примириться также с тем риском, которым сопровождается всякая научная работа: придет «вдохновение» или не придет? Можно быть превосходным работником и ни разу не сделать собственного важного открытия. Однако было бы заблуждением полагать, что только в науке дело обстоит подобным образом, и что, например, в конторе все происходит иначе, чем в лаборатории. Коммерсанту или крупному промышленнику без «коммерческой фантазии», то есть без выдумки – гениальной выдумки, – лучше было бы оставаться приказчиком или техническим чиновником; он никогда не создаст организационных нововведений. Вдохновение отнюдь не играет в науке, как это представляет себе ученое чванство, большей роли, чем в практической жизни, где действует современный предприниматель. И с другой стороны, – чего тоже часто не признают – оно играет здесь не меньшую роль, чем в искусстве. Это ведь сугубо детское представление, что математик приходит к какому-либо научно ценному результату, работая за письменным столом с помощью линейки или других механических средств: математическая фантазия, например Вейерштрасса, по смыслу и результату, конечно, совсем иная, чем фантазия художника, то есть качественно от нее отличается, но психологический процесс здесь один и тот же. Обоих отличает упоение (в смысле платоновского «экстаза») и «вдохновение».

Есть ли у кого-то научное вдохновение, – зависит от скрытых от нас судеб, а кроме того, от «дара». Эта несомненная истина сыграла не последнюю роль в возникновении именно у молодежи – что вполне понятно – очень популярной установки служить некоторым идолам; их культ, как мы видим, широко практикуется сегодня на всех перекрестках и во всех журналах. Эти идолы – «личность» и «переживание». Они тесно связаны: господствует представление, что последнее создает первую и составляет ее принадлежность. Люди мучительно заставляют себя «переживать», ибо «переживание» неотъемлемо от образа жизни, подобающего личности, а в случае неудачи нужно по крайней мере делать вид, что у тебя есть этот небесный дар. Раньше такое переживание называлось «чувством» (sensation). Да и о том, что такое «личность», тогда имели, я полагаю, точное представление.

«Личностью» в научной сфере является только тот, кто служит лишь одному делу. И это касается не только области науки. Мы не

знаем ни одного большого художника, который делал бы что-либо другое, кроме как служил делу, и только ему. Ведь даже личности такого ранга, как Гете, если говорить о его искусстве, нанесло ущерб то обстоятельство, что он посмел превратить в творение искусства свою «жизнь». Пусть даже последнее утверждение покажется сомнительным – во всяком случае, нужно быть Гете, чтобы позволить себе подобное, и каждый, по крайней мере, согласится, что даже и такому художнику, как Гете, рождающемуся раз в тысячелетие, приходилось за это расплачиваться. Точно так же обстоит дело в политике. Однако сегодня мы не будем об этом говорить. Но в науке совершенно определенно не является «личностью» тот, кто сам выходит на сцену как импресарио того дела, которому он должен был бы посвятить себя, кто хочет узаконить себя через «переживание» и спрашивает: как доказать, что я не только специалист, как показать, что я – по форме или по существу – говорю такое, чего еще никто не сказал так, как я, – явление, ставшее сегодня массовым, делающее все ничтожно мелким, унижающее того, кто задает подобный вопрос, не будучи в силах подняться до высоты и достоинства дела, которому он должен был бы служить и, значит, быть преданным только своей задаче. Так что и здесь нет отличия от художника.

Однако хотя предварительные условия нашей работы характерны и для искусства, судьба ее глубоко отлична от судьбы художественного творчества. Научная работа вплетена в движение прогресса. Напротив, в области искусства в этом смысле не существует никакого прогресса. Неверно думать, что произведение искусства какой-либо эпохи, разработавшее новые технические средства или, например, законы перспективы, благодаря этому стоит выше в чисто художественном отношении, чем произведение искусства, абсолютно лишенное всех перечисленных средств и законов, если только оно было создано в соответствии с материалом и формой, то есть если его предмет был выбран и оформлен по всем правилам искусства без применения позднее появившихся средств и условий. Совершенное произведение искусства никогда не будет превзойдено и никогда не устареет; отдельный индивид лично для себя может по-разному оценивать его значение, но никто никогда не сможет сказать о художественно совершенном произведении, что его «превзошло» другое произведение, в равной степени совершенное. Напротив, каждый из нас знает, что сделанное им в области науки устареет через 10, 20, 40 лет. Такова судьба, более того, таков смысл

научной работы, которому она подчинена и которому служит, и это как раз составляет ее специфическое отличие от всех остальных элементов культуры; всякое совершенное исполнение замысла в науке означает новые «вопросы», оно по своему существу желает быть превзойденным. С этим должен смириться каждый, кто хочет служить науке. Научные работы могут, конечно, долго сохранять свое значение, доставляя «наслаждение» своими художественными качествами или оставаясь средством обучения научной работе. Но быть превзойденными в научном отношении – не только наша общая судьба, но и наша общая цель. Мы не можем работать, не питая надежды на то, что другие пойдут дальше нас. В принципе этот прогресс уходит в бесконечность.

И тем самым мы приходим к проблеме смысла науки. Ибо отнюдь само собой не разумеется, что нечто, подчиненное такого рода закону, само по себе осмысленно и разумно. Зачем наука занимается тем, что в действительности никогда не кончается и не может закончиться? Прежде всего возникает ответ: ради чисто практических, в более широком смысле слова – технических целей, чтобы ориентировать наше практическое действие в соответствии с теми ожиданиями, которые подсказывает нам научный опыт. Хорошо. Но это имеет какой-то смысл только для практика. А какова же внутренняя позиция самого человека науки по отношению к своей профессии, если он вообще стремится стать ученым? Он утверждает, что заниматься наукой «ради нее самой», а не только ради тех практических и технических достижений, которые могут улучшить питание, одежду, освещение, управление. Но что же осмысленное надеется осуществить ученый своими творениями, которым заранее предопределено устареть, какой, следовательно, смысл усматривает он в том, чтобы включиться в это специализированное и уходящее в бесконечность производство? Для ответа на данный вопрос надо принять во внимание несколько общих соображений.

Научный прогресс является частью, и притом важнейшей частью, того процесса интеллектуализации, который происходит с нами на протяжении тысячелетий и по отношению к которому в настоящее время обычно занимают крайне негативную позицию.

Прежде всего уясним себе, что же, собственно, практически означает эта интеллектуалистическая рационализация, осуществляющаяся посредством науки и научной техники. Означает ли она, что сегодня каждый из нас, сидящих здесь в зале, лучше знает жизненные условия

своего существования, чем какой-нибудь индеец или готтентот? Едва ли. Тот из нас, кто едет в трамвае, если он не физик по профессии, не имеет понятия о том, как трамвай приводится в движение. Ему и не нужно этого знать. Достаточно того, что он может «рассчитывать» на определенное «поведение» трамвая, в соответствии с чем он ориентирует свое поведение, но как привести трамвай в движение – этого он не знает. Дикарь несравненно лучше знает свои орудия. Хотя мы тратим деньги, держу пари, что даже из присутствующих в зале коллег каждый из специалистов по политической экономии, если таковые здесь есть, вероятно, по-своему ответит на вопрос: как получается, что за деньги можно что-нибудь купить? Дикарь знает, каким образом он обеспечивает себе ежедневное пропитание и какие институты оказывают ему при этом услугу. Следовательно, возрастающая интеллектуализация и рационализация не означают роста знаний о жизненных условиях, в каких приходится существовать. Она означает нечто иное: люди знают или верят в то, что стоит только захотеть, и в любое время все это можно узнать; что, следовательно, принципиально нет никаких таинственных, не поддающихся учету сил, которые здесь действуют, что, напротив, всеми вещами в принципе можно овладеть путем расчета. Последнее в свою очередь означает, что мир расколдован. Больше не нужно прибегать к магическим средствам, чтобы склонить на свою сторону или подчинить себе духов, как это делал дикарь, для которого существовали подобные таинственные силы. Теперь все делается с помощью технических средств и расчета. Вот это и есть интеллектуализация.

Но процесс расколдовывания, происходящий в западной культуре в течение тысячелетий, и вообще «прогресс», в котором принимает участие и наука – в качестве звена и движущей силы, – имеют ли они смысл, выходящий за пределы чисто практической и технической сферы? Подобные вопросы самым принципиальным образом поставлены в произведениях Льва Толстого. Он пришел к ним очень своеобразным путем. Его размышления все более сосредоточивались вокруг вопроса, имеет ли смерть какой-либо смысл или не имеет. Ответ Льва Толстого таков: для культурного человека – «нет». И именно потому «нет», что жизнь отдельного человека, жизнь цивилизованная, включенная в бесконечный «прогресс», по ее собственному внутреннему смыслу не может иметь конца, завершения. Ибо тот, кто включен в движение прогресса, всегда оказывается перед лицом дальнейшего прогресса. Умиравший человек не до-

стигнет вершины – эта вершина уходит в бесконечность. Авраам или какой-нибудь крестьянин в прежние эпохи умирал «стар и пресытившись жизнью», потому что был включен в органический круговорот жизни, потому что его жизнь по самому ее смыслу и на закате его дней давала ему то, что могла дать; для него не оставалось загадок, которые ему хотелось бы разрешить, и ему было уже довольно того, чего он достиг.

Напротив, человек культуры, включенный в цивилизацию, постоянно обогащающуюся идеями, знанием, проблемами, может «устать от жизни», но не может пресытиться ею. Ибо он улавливает лишь ничтожную часть того, что вновь и вновь рождает духовная жизнь, притом всегда что-то предварительное, неокончательное, и поэтому для него смерть – событие, лишенное смысла. А так как бессмысленна смерть, то бессмысленна и культурная жизнь как таковая – ведь именно она своим бессмысленным «прогрессом» обрекает на бессмысленность и самое смерть. В поздних романах Толстого эта мысль составляет основное настроение его творчества.

Как тут быть? Есть ли у «прогресса» как такового постижимый смысл, выходящий за пределы технической сферы, так чтобы служение прогрессу могло стать призванием, действительно имеющим некоторый смысл? Такой вопрос следует поставить. Однако он уже будет не только вопросом о том, что означает наука как профессия и призвание для человека, посвятившего ей себя. Это и другой вопрос: каково призвание науки в жизни всего человечества? Какова ее ценность?

Здесь противоположность между прежним и современным пониманием науки разительная. Вспомните удивительный образ, приведенный Платоном в начале седьмой книги «Государства», – образ людей, прикованных к пещере, чьи лица обращены к ее стене, а источник света находится позади них, так что они не могут его видеть; поэтому они заняты только тенями, отбрасываемыми на стену, и пытаются объяснить их смысл. Но вот одному из них удастся освободиться от цепей, он оборачивается и видит солнце. Слепленный, этот человек ощупью находит себе путь и, заикаясь, рассказывает о том, что видел. Но другие считают его безумным. Однако постепенно он учится созерцать свет, и теперь его задача состоит в том, чтобы спуститься к людям в пещеру и вывести их к свету. Этот человек – философ, а солнце – истина науки, которая одна не гоняется за призраками и тенями, а стремится к истинному бытию.



Кто сегодня так относится к науке? Сегодня как раз у молодежи появилось скорее противоположное чувство, а именно что мыслительные построения науки представляют собой лишенное реальности царство надуманных абстракций, пытающихся своими иссохшими пальцами ухватить плоть и кровь действительной жизни, но никогда не достигающих этого. И напротив, здесь, в жизни, в том, что для Платона было игрой теней на стенах пещеры, бьется пульс реальной действительности, все остальное лишь безжизненные, отвлеченные тени, и ничего больше.

Как совершилось такое превращение? Страстное воодушевление Платона в «Государстве» объясняется в конечном счете тем, что в его время впервые был открыт для сознания смысл одного из величайших средств всякого научного познания – понятия. Во всем своем значении оно было открыто Сократом. И не им одним. В Индии обнаруживаются начатки логики, похожие на ту логику, какая была у Аристотеля. Но нигде нет осознания значения этого открытия, кроме как в Греции. Здесь, видимо, впервые в руках людей оказалось средство, с помощью которого можно заключить человека в логические тиски, откуда для него нет выхода, пока он не признает: или он ничего не знает, или это – именно вот это, и ничто иное, – есть истина, вечная, непреходящая в отличие от действий и поступков слепых людей. Это было необычайное переживание, открывшееся ученикам Сократа. Из него, казалось, вытекало следствие: стоит только найти правильное понятие прекрасного, доброго или, например, храбрости, души и тому подобного, как будет постигнуто также их истинное бытие. А это опять-таки, казалось, открывало путь к тому, чтобы научиться самому и научить других, как человеку надлежит поступать в жизни, прежде всего в качестве гражданина государства. Ибо для греков, мысливших исключительно политически, от данного вопроса зависело все. Здесь и кроется причина их занятий наукой.

Рядом с этим открытием эллинского духа появился второй великий инструмент научной работы, детище эпохи Возрождения – рациональный эксперимент как средство надежно контролируемого познания, без которого была бы невозможна современная эмпирическая наука. Экспериментировали, правда, и раньше: в области физиологии эксперимент существовал, например, в Индии в аскетической технике йогов; в Древней Греции существовал математический эксперимент, связанный с военной техникой, в средние века эксперимент применялся в горном деле. Но возведение эксперимента

в принцип исследования как такового – заслуга Возрождения. Великими новаторами были пионеры в области искусства: Леонардо да Винчи и другие, прежде всего экспериментаторы в музыке XVI в. с их разработкой темперации клавиров. От них эксперимент перекочевал в науку, прежде всего благодаря Галилею, а в теорию – благодаря Бэкону; затем его переняли отдельные точные науки в университетах Европы, прежде всего в Италии и Нидерландах.

Что же означала наука для этих людей, живших на пороге нового времени? Для художников-экспериментаторов типа Леонардо да Винчи и новаторов в области музыки она означала путь к истинному искусству, то есть прежде всего путь к истинной природе. Искусство тем самым возводилось в ранг особой науки, а художник в социальном отношении и по смыслу своей жизни – в ранг доктора. Именно такого рода честолюбие лежит в основе, например, «Книги о живописи» Леонардо да Винчи.

А сегодня? «Наука как путь к природе» – для молодежи это звучит кошунством. Наоборот, необходимо освобождение от научно-интеллектуализма, чтобы вернуться к собственной природе и тем самым к природе вообще! Может быть, как путь к искусству? Такое предположение ниже всякой критики.

Но в эпоху возникновения точного естествознания от науки ожидали еще большего. Если вы вспомните высказывание Свамердама: «Я докажу вам существование божественного провидения, анатомируя вошь», то вы увидите, что собственной задачей научной деятельности, находившейся под косвенным влиянием протестантизма и пуританства, считали открытие пути к Богу. В то время его больше не находили у философов с их понятиями и дедукциями; что Бога невозможно найти на том пути, на котором его искало средневековье, – в этом была убеждена вся пиетистская теология того времени, и прежде всего Шпенер. Бог сокрыт, его пути – не наши пути, его мысли – не наши мысли. Но в точных естественных науках, где творения Бога физически осязаемы, были надежды напасть на след его намерений относительно мира.

А сегодня? Кто сегодня, кроме некоторых «взрослых» детей, которых можно встретить как раз среди естествоиспытателей, еще верит в то, что знание астрономии, биологии, физики или химии может – хоть в малейшей степени – объяснить нам смысл мира или хотя бы указать, на каком пути можно напасть на след этого «смысла», если он существует? Если наука что и может сделать, так это скорее убить ве-

ру в то, будто вообще существует нечто такое, как «смысл» мира! И уж тем более нелепо рассматривать ее, эту особенно чуждую Богу силу, как путь «к Богу». А что она именно такова – в этом сегодня в глубине души не сомневается никто, признается он себе в том или нет. Избавление от рационализма и интеллектуализма науки есть основная предпосылка жизни в единстве с божественным – такой или тождественный ему по смыслу тезис стал основным лозунгом нашей религиозно настроенной или стремящейся обрести религиозное переживание молодежи. И не только религиозное, а даже переживание вообще. Однако здесь избирается странный путь: единственное, чего до сих пор не коснулся интеллектуализм, а именно иррациональное, пытаются довести до сознания и рассмотреть в лупу. Ведь именно к этому практически приходит современная интеллектуалистическая романтика иррационального. Такой путь освобождения от интеллектуализма дает как раз противоположное тому, что надеялись найти на нем те, кто на него вступил. Наконец, тот факт, что науку, то есть основанную на ней технику овладения жизнью, с наивным оптимизмом приветствовали как путь к счастью, я могу оставить в стороне после уничтожающей критики Ницше по адресу «последних людей, которые изобрели счастье». Кто верит в это, кроме некоторых «взрослых» детей на кафедрах или в редакторских кабинетах?

В чем же состоит смысл науки как профессии теперь, когда рассеялись все прежние иллюзии, благодаря которым наука выступала как «путь к истинному бытию», «путь к истинному искусству», «путь к истинной природе», «путь к истинному Богу», «путь к истинному счастью»? Самый простой ответ на этот вопрос дал Толстой: она лишена смысла, потому что не дает никакого ответа на единственно важные для нас вопросы: «Что нам делать?», «Как нам жить?». А тот факт, что она не дает ответа на данные вопросы, совершенно неоспорим. Проблема лишь в том, в каком смысле она не дает «никогого» ответа. Может быть, вместо этого она в состоянии дать кое-что тому, кто правильно ставит вопрос?

Сегодня часто говорят о «беспредпосылочной» науке. Существует ли такая наука? Все зависит от того, что под этим понимают. Всякой научной работе всегда предпосылается определенная значимость правил логики и методики – этих всеобщих основ нашей ориентации в мире. Что касается указанных предпосылок, то они, по крайней мере, с точки зрения нашего специального вопроса, наименее

проблематичны. Но существует и еще одна предпосылка: важность результатов научной работы, их научная ценность. Очевидно, здесь-то и коренятся все наши проблемы. Ибо эта предпосылка сама уже не доказуема средствами науки. Можно только указать на ее конечный смысл, который затем или отклоняют, или принимают в зависимости от собственной конечной жизненной установки.

Различной является, далее, связь научной работы с ее предпосылками: она зависит от структуры науки. Естественные науки, например физика, химия, астрономия, считают само собой разумеющимся, что высшие законы космических явлений, конструируемые наукой, стоят того, чтобы их знать. Не только потому, что с помощью такого знания можно достигнуть технических успехов, но и «ради него самого», если наука есть «призвание». Сама эта предпосылка недоказуема. И точно так же недоказуемо, достоин ли существования мир, который описывают естественные науки, имеет ли он какой-нибудь «смысл» и есть ли смысл существовать в таком мире. Об этом вопрос не ставится.

Или возьмите такое высокоразвитое в научном отношении практическое искусство, как современная медицина. Всеобщая «предпосылка» медицинской деятельности, если ее выразить тривиально, состоит в утверждении, что необходимо сохранять жизнь просто как таковую и по возможности уменьшать страдания просто как таковые. А сама эта задача проблематична. Своими средствами медик поддерживает смертельно больного, даже если тот умоляет избавить его от жизни, даже если его родственники, для которых жизнь больного утратила ценность, которые хотят избавить его от страданий, которым не хватает средств для поддержания его жизни, утратившей свою ценность (речь может идти о каком-нибудь жалком помешанном), желают и должны желать смерти такого больного, признаются они в этом или нет. Только предпосылки медицины и уголовный кодекс мешают врачу отказаться поддерживать жизнь смертельно больного. Является ли жизнь ценной и когда? Об этом медицина не спрашивает. Все естественные науки дают нам ответ на вопрос, что мы должны делать, *если* мы хотим *технически* овладеть жизнью. Но *хотим* ли мы этого и *должны* ли мы это делать и *имеет* ли это в конечном счете какой-нибудь смысл – подобные вопросы они оставляют совершенно нерешенными или принимают их в качестве предпосылки для своих целей.

Или возьмите такую дисциплину, как искусствоведение. Эстетике дан факт, что существуют произведения искусства. Она пытается обосновать, при каких условиях этот факт имеет место. Но она не ставит вопроса о том, не является ли царство искусства, может быть, царством дьявольского великолепия, царством мира сего, которое в самой своей глубине обращено против Бога, а по своему глубоко укоренившемуся аристократическому духу обращено против братства людей. Эстетика, стало быть, не ставит вопроса о том, *должны* ли существовать произведения искусства.

Или возьмите юриспруденцию. Она устанавливает, что является значимым: в соответствии с правилами юридического мышления, отчасти принудительно логического, отчасти связанного конвенционально данными схемами; следовательно, правовые принципы и определенные методы их толкования заранее признаются обязательными. *Должно* ли существовать право и должны ли быть установленными именно эти правила – на такие вопросы юриспруденция не отвечает. Она только может указать: если хотят определенного результата, то такой-то правовой принцип в соответствии с нормами нашего правового мышления – подходящее средство его достижения.

Или возьмите исторические науки о культуре. Они учат понимать политические, художественные, литературные и социальные явления культуры, исходя из условий их происхождения. Но сами они не дают ответа ни на вопрос о том, были ли ценными эти явления культуры и должны ли они дальше существовать, ни на другой вопрос: стоит ли прилагать усилия для их изучения. Они предполагают уверенность, что участие таким путем в сообществе «культурных людей» представляет интерес.

Но что это на самом деле так, они не в состоянии никому «научно» доказать, а то, что они принимают данный факт как предпосылку, еще отнюдь не доказывает, что это само собой разумеется. Это и в самом деле отнюдь не разумеется само собой.

Будем говорить о наиболее близких мне дисциплинах – социологии, истории, политэкономии и теории государства, а также о тех видах философии культуры, которые ставят своей целью истолкование перечисленных дисциплин. Есть такое мнение – и я его поддерживаю, – что политике не место в аудитории. Студенты в аудитории не должны заниматься политикой. Если бы, например, в аудитории моего прежнего коллеги Дитриха Шефера в Берлине пацифистски настроенные студенты стали окружать кафедру и поднимать шум, то я

счел бы такое поведение столь же примитивным явлением, как и то, что делали антипацифистски настроенные студенты в аудитории профессора Ферстера, воззрения которого я совсем не разделяю.

Впрочем, политикой не должен заниматься в аудитории и преподаватель. И прежде всего в том случае, если он исследует сферу политики как ученый. Ибо практически — политическая установка и научный анализ политических образований и партийной позиции — это разные вещи. Когда говорят о демократии в народном собрании, то из своей личной позиции не делают никакой тайны; ясно выразить свою позицию — здесь неприятная обязанность и долг. Слова, которые при этом употребляются, выступают в таком случае не как средство научного анализа, а как средство завербовать политических сторонников. Они здесь — не лемехи для взрыхления почвы созерцательного мышления, а мечи, направленные против противников, средство борьбы. Напротив, на лекции или в аудитории было бы преступлением пользоваться словами подобным образом. Здесь следует, если, например, речь идет о «демократии», представить ее различные формы, проанализировать, как они функционируют, установить, какие последствия для жизненных отношений имеет та или иная из них, затем противопоставить им другие, недемократические формы политического порядка и по возможности стремиться к тому, чтобы слушатель нашел такой пункт, исходя из которого *он* мог бы занять позицию в соответствии со *своими* высшими идеалами. Но подлинный наставник будет очень остерегаться навязывать с кафедры ту или иную позицию слушателю, будь то откровенно или путем внушения, потому что, конечно, самый нечестный способ — когда «заставляют говорить факты».

Почему, собственно, мы не должны этого делать? Я допускаю, что некоторые весьма уважаемые коллеги придерживаются того мнения, что такое самоограничение вообще невозможно, а если бы оно и было возможно, то избегать всего этого было бы просто капризом. Конечно, никому нельзя научно доказать, в чем состоит его обязанность как академического преподавателя. Можно только требовать от него интеллектуальной честности — осознания того, что установление фактов, установление математического или логического положения вещей или внутренней структуры культурного достояния, с одной стороны, а с другой — ответ на вопрос о *ценности* культуры и ее отдельных образований и соответственно ответ на вопрос о

том, как следует действовать в рамках культурной общности и политических союзов, – две совершенно разные проблемы.

Если он после этого спросит, почему он не должен обсуждать обе названные проблемы в аудитории, то ему следует ответить: пророку и демагогу не место на кафедре в учебной аудитории. Пророку и демагогу сказано: «Иди на улицу и говори открыто». Это значит: иди туда, где возможна критика. В аудитории преподаватель сидит напротив своих слушателей: они должны молчать, а он – говорить. И я считаю безответственным пользоваться тем, что студенты ради своего будущего должны посещать лекции преподавателей и что там нет никого, кто мог бы выступить против него с критикой; пользоваться своими знаниями и научным опытом не для того, чтобы принести пользу слушателям – в чем состоит задача преподавателя, – а для того, чтобы привить им свои личные политические взгляды.

Конечно, возможен такой случай, когда человеку не удастся полностью исключить свои субъективные пристрастия. Тогда он подвергается острейшей критике на форуме своей собственной совести. Но данный случай ничего еще не доказывает, ибо возможны и другие, чисто фактические ошибки, и все-таки они не являются свидетельством против долга – искать истину. Я отвергаю субъективное пристрастие именно в чисто научных интересах. Я готов найти в работах наших историков доказательство того, что там, где человек науки приходит со своим собственным ценностным суждением, уже нет места полному пониманию фактов. Но это выходит за рамки сегодняшней темы и требует длительного обсуждения.

Я спрашиваю только об одном: как может, с одной стороны, верующий католик, с другой – масон, слушая лекцию о формах церкви и государства, как могут они когда-либо сойтись в своих оценках данных вещей? Это исключено. И тем не менее у академического преподавателя должно быть желание принести пользу своими знаниями и своим методом и тому и другому. Такое требование он должен поставить перед собой. Вы справедливо возразите: верующий католик никогда не примет того понимания фактов, связанных с происхождением христианства, которое ему предложит преподаватель, свободный от его догматических предпосылок. Конечно! Однако отличие науки от веры заключается в следующем: «беспредпосылочная» в смысле свободы от всяких религиозных стеснений наука в действительности не признает «чуда» и «откровения», в противном случае она не была бы верна своим собственным «предпосылкам».

Верующий признает и чудо и откровение. И такая «беспредпосылочная» наука требует от него только одного, не менее, но и не *более*: признать, что, если ход событий объяснять без допущения сверхъестественного вмешательства, исключаемого эмпирическим объяснением в качестве причинного момента, данный ход событий должен быть объяснен именно так, как это стремится сделать наука. Но это он может признать, не изменяя своей вере.

Однако имеют ли научные достижения какой-нибудь смысл для того, кому факты как таковые безразличны, а важна только практическая позиция? Пожалуй, все же имеют.

Для начала хотя бы такой аргумент. Если преподаватель способный, то его первая задача состоит в том, чтобы научить своих учеников признавать *неудобные* факты, я имею в виду такие, которые неудобны с точки зрения их партийной позиции; а для всякой партийной позиции, в том числе и моей, существуют такие крайне неудобные факты. Я думаю, в этом случае академический преподаватель заставит своих слушателей привыкнуть к тому, что он совершает нечто большее, чем только интеллектуальный акт, — я позволил бы себе быть нескромным и употребить здесь выражение «нравственный акт», хотя последнее, пожалуй, может прозвучать слишком патетически для такого простого и само собой разумеющегося дела.

До сих пор я говорил только о *практических* основаниях, в силу которых следует избегать навязывания личной позиции. Но это еще не все. Невозможность «научного» оправдания практической позиции — кроме того случая, когда обсуждаются средства достижения заранее *намеченной* цели, — вытекает из более глубоких оснований. Стремление к такому оправданию принципиально лишено смысла, потому что различные ценностные порядки мира находятся в непримиримой борьбе. Старик Милль — его философию в целом я не похвалю, но здесь он был прав — как-то сказал: если исходить из чистого опыта, то придешь к политеизму. Сказано напрямик и звучит парадоксально, но это правда. Сегодня мы хорошо знаем, что священное может не быть прекрасным, более того, оно священо именно *потому и постольку, поскольку* не прекрасно. Мы найдем тому примеры в 53-й главе Исайи и в 21-м псалме. Мы знаем также, что это прекрасное может не быть добрым и даже, что оно прекрасно именно потому, что не добро; это нам известно со времен Ницше, а еще ранее вы найдете подобное в «Цветах зла» — так Бодлер назвал томик своих стихов. И уже ходячей мудростью является то, что истинное



может не быть прекрасным и что нечто истинно лишь постольку, поскольку оно не прекрасно, не священо и не добро.

Но это самые элементарные случаи борьбы богов, несовместимости ценностей. Как представляют себе возможность «научного» выбора между ценностью французской и немецкой культур – этого я не знаю. Тут же спор разных богов и демонов: точно так же, как эллин приносил жертву Афродите, затем Аполлону и прежде всего каждому из богов своего города, так это происходит и по сей день, только без одеяний и волшебства данного мифического образа действий, внутренне, однако, исполненного истинной пластики. А этими богами и их борьбой правит судьба, но вовсе не «наука». Следует только понять, что представляет собой божественное для одного и что – для другого или как оно выступает в одном и в другом порядке. Но тем самым кончается обсуждение профессором предмета в аудитории – последнее, разумеется, не означает, что вместе с тем кончается сама эта серьезнейшая жизненная проблема. Однако здесь слово уже не за университетскими кафедрами, а за иными силами. Какой человек отважится «научно опровергнуть» этику Нагорной проповеди, например заповедь «непротивления злу» или притчу о человеке, подставляющем и левую и правую щеку для удара? И тем не менее ясно, что здесь, если взглянуть на это с мирской точки зрения, проповедуется этика, требующая отказа от чувства собственного достоинства. Нужно выбирать между религиозным достоинством, которое дает эта этика, и мужским достоинством, этика которого проповедует нечто совсем иное: «Противься злу, иначе ты будешь нести свою долю ответственности, если оно победит». В зависимости от конечной установки индивида одна из этих этических позиций исходит от дьявола, другая – от Бога, и индивид должен решить, кто для него Бог и кто дьявол. И так обстоит дело со всеми сферами жизни.

Величественный рационализм методически-этического образа жизни, которым проникнуто всякое религиозное пророчество, низложил это многобожие в пользу «Единого на потребу», а затем перед лицом реальностей внешней и внутренней жизни вынужден был ввести релятивизм и пойти на те компромиссы, которые нам всем известны из истории христианства. Но сегодня это стало религиозными «буднями». Многочисленные древние боги, лишённые своих чар и принявшие, следовательно, образ безличных сил, выходят из могил, стремятся завладеть нашей жизнью и вновь начинают вести между

собой свою вечную борьбу. Но что так трудно современному человеку и труднее всего молодому поколению, так это быть вровень с этими буднями. Всякая погоня за «переживаниями» вырастает из данной слабости. Ибо не иметь сил взглянуть в суровое лицо судьбы, судьбы времени, и есть слабость. Однако судьба нашей культуры состоит в том, что мы все отчетливее снова сознаем ее, тогда как в течение тысячелетия, проникнутые величественным пафосом христианской этики, мы не замечали этих сил. Но довольно обсуждать вопросы, уводящие нас слишком далеко. Все же среди части нашей молодежи, той части, которая на все это ответила бы: «Да, но мы же идем на лекцию, чтобы пережить нечто большее, чем только анализ и констатацию фактов», ходячим является заблуждение, заставляющее искать в профессоре не то, что она видит перед собой: *вождя*, а не *учителя*. Однако мы поставлены на кафедру только как *учителя*. Это две разные вещи, в чем можно легко убедиться. В Америке такие вещи часто можно видеть в их грубой первобытности. Американский мальчик учится несравненно меньше европейского. Несмотря на невероятно большое число экзаменов, он по самому духу своей учебной жизни еще не стал тем абсолютным «человеком экзамена», как мальчик-немец. Ибо бюрократия, которой нужен диплом, фиксирующий результаты экзамена и служащий входным билетом в мир человеческой карьеры, там еще только зарождается. Молодой американец не испытывает почтения ни перед чем и ни перед кем: ни перед традицией, ни перед службой; он уважает только собственную личную заслугу – вот это американец и называет «демократией». Как бы искаженно ни выступала реальность по отношению к такому идейному содержанию, идейное содержание именно таково, и об этом здесь идет речь. О своем учителе американский юноша имеет вполне определенное представление: за деньги моего отца он продает мне свои знания и методические принципы точно так же, как торговка овощами продает моей матери капусту. И точка. Впрочем, если учитель, например, футболист, то в этой области он выступает в качестве вождя. Но если он таковым (или чем-то подобным в другом виде спорта) не является, то он только учитель и ничего больше, и молодому американцу никогда не придет в голову покупать у него «мировоззрение» или правила, которыми следует руководствоваться в жизни. Конечно, в такой грубой форме мы это отвергаем. Но разве именно в таком, намеренно заостренном мною способе чувствования не содержится зерно истины?

Студенты приходят к нам на лекции, требуя от нас качества вождя, и не отдают себе отчета в том, что из сотни профессоров по меньшей мере девяносто девять не только не являются мастерами по футболу жизни, но вообще не претендуют и не могут претендовать на роль «вождей», указывающих, как надо жить. Ведь ценность человека не зависит от того, обладает ли он качествами вождя или нет. И уж во всяком случае, не те качества делают человека отличным ученым и академическим преподавателем, которые превращают его в вождя в сфере практической жизни или политике. Если кто-то обладает еще и этим качеством, то мы имеем дело с чистой случайностью, и очень опасно, если каждый, кто занимает кафедру, чувствует себя вынужденным притязать на обладание таковым. Еще опаснее, если всякий академический преподаватель задумает выступать в аудитории в роли вождя. Ибо те, кто считает себя наиболее способным в этом отношении, часто как раз наименее способны, а главное – ситуация на кафедре не представляет никаких возможностей *доказать*, способны они или нет. Профессор, чувствующий себя призванным быть руководителем юношества и пользующийся у него доверием, в личном общении с молодыми людьми может быть своим человеком. И если он чувствует себя призванным включиться в борьбу мировоззрений и партийных убеждений, то он может это делать вне учебной аудитории, на жизненной сцене: в печати, на собраниях, в кружке – где только ему угодно. Но было бы слишком удобно демонстрировать свое призвание там, где присутствующие – в том числе, возможно, инакомыслящие – вынуждены молчать.

Наконец, вы можете спросить: если все это так, то что же собственно позитивного дает наука для практической и личной «жизни»? И тем самым мы снова стоим перед проблемой «призвания» в науке. Во-первых, наука прежде всего разрабатывает, конечно, технику овладения жизнью – как внешними вещами, так и поступками людей – путем расчета. Однако это на уровне торговли овощами, скажете вы. Я целиком с вами согласен. Во-вторых, наука разрабатывает методы мышления, рабочие инструменты и вырабатывает навыки обращения с ними, чего обычно не делает торговка овощами. Вы, может быть, скажете: ну, наука не овощи, но это тоже не более как средство приобретения овощей. Хорошо, оставим сегодня данный вопрос открытым. Но на этом дело науки, к счастью, еще не кончается; мы в состоянии содействовать вам в чем-то третьем, а именно в обретении *ясности*. Разумеется, при условии, что она есть у нас самих.

Насколько это так, мы можем вам пояснить. По отношению к проблеме ценности, о которой каждый раз идет речь, можно занять практически разные позиции – для простоты я предлагаю вам взять в качестве примера социальные явления. *Если* занимают определенную позицию, то в соответствии с опытом науки следует применить соответствующие *средства*, чтобы практически провести в жизнь данную позицию. Эти средства, возможно, уже сами по себе таковы, что вы считаете необходимым их отвергнуть. В таком случае нужно выбирать между целью и неизбежными средствами ее достижения. «Освещает» цель эти средства или нет? Учитель должен показать вам необходимость такого выбора. Большого он не может – пока остается учителем, а не становится демагогом. Он может вам, конечно, сказать: если вы хотите достигнуть такой-то цели, то вы должны принять также и соответствующие следствия, которые, как показывает опыт, влечет за собой деятельность по достижению намеченной вами цели.

Все эти проблемы могут возникнуть и у каждого техника, ведь он тоже часто должен выбирать по принципу меньшего зла или относительно лучшего варианта. Для него важно, чтобы было дано одно главное – *цель*. Но именно она, поскольку речь идет о действительно «последних» проблемах, нам *не дана*. И тем самым мы подошли к последнему акту, который наука как таковая должна осуществить ради достижения ясности, и одновременно мы подошли к границам самой науки.

Мы можем и должны вам сказать: какие-то практические установки с внутренней последовательностью и, следовательно, честностью можно вывести – в соответствии с их духом – из такой-то последней мировоззренческой позиции (может быть, из одной, может быть, из разных), а из других – нельзя. Если вы выбираете эту установку, то вы служите, образно говоря, одному Богу и *оскорбляете всех остальных богов*. Ибо если вы остаетесь верными себе, то вы необходимо приходите к определенным последним внутренним следствиям. Это можно сделать по крайней мере в принципе. Выявить связь последних установок с их следствиями – задача философии как социальной дисциплины и как философской базы отдельных наук. Мы можем, если понимаем свое дело (что здесь должно предполагаться), заставить индивида – или по крайней мере помочь ему – *дать себе отчет в конечном смысле собственной деятельности*. Такая задача мне представляется отнюдь немаловажной, даже для чисто личной жизни. Если какому-нибудь учителю это удастся, то

я бы сказал, что он служит «нравственным» силам, поскольку вносит ясность; что он тем лучше выполняет свою задачу, чем добросовестнее будет избегать внушать своим слушателям свою позицию, свою точку зрения.

То, что я вам здесь излагаю, вытекает, конечно, из главного положения, а именно из того, что жизнь, основанная на самой себе и понимаемая из нее самой, знает только вечную борьбу богов, знает (если не прибегать к образу) только несовместимость наиболее принципиальных, вообще возможных жизненных позиций и непримиримость борьбы между ними, а следовательно, необходимость между ними *выбирать*. Заслуживает ли наука при таких условиях того, чтобы стать чьим-то «призванием», и есть ли у нее самой какое-либо объективное ценное «призвание» – это опять-таки ценностное утверждение, которое невозможно обсуждать в аудитории, ибо утвердительный ответ на данный вопрос является *предпосылкой* занятий в аудитории. Я лично решаю вопрос утвердительно уже моей собственной работой. И утвердительный ответ на него является также предпосылкой той точки зрения, разделяя которую – как это делает сейчас или по большей части притворяется, что делает, молодежь, – ненавидят интеллектуализм как злейшего дьявола. Ибо тут справедливы слова: «Дьявол стар – состарьтесь, чтобы понять его». Данное возражение надо понимать не буквально, а в том смысле, что, желая покончить с этим дьяволом, надо не обращаться в бегство при виде его, как обычно предпочитают делать, а с начала до конца обозреть его пути, чтобы увидеть его силу и его границы.

Сегодня наука есть профессия, осуществляемая как специальная дисциплина и служащая делу самосознания и познания фактических связей, а вовсе не милостивый дар провидцев и пророков, приносящий спасение и откровение, и не составная часть размышления мудрецов и философов о *смысле* мира. Это, несомненно, неизбежная данность в нашей исторической ситуации, из которой мы не можем выйти, пока остаемся верными самим себе.

И если в нас вновь заговорит Толстой и спросит: «Если не наука, то кто ответит на вопрос: что нам делать, как устроить нам свою жизнь?» – или на том языке, на котором мы говорим сегодня: «Какому из борющихся друг с другом богов должны мы служить? Или, может быть, какому-то совсем иному богу – и кто этот бог?» – то надо сказать: ответить на это может только пророк или Спаситель. Если его нет или если его благовествованию больше не верят, то вы совершен-

но определенно ничего не добьетесь тем, что тысячи профессоров в качестве оплачиваемых государством или привилегированных маленьких пророков в своих аудиториях попытаются взять на себя его роль. Тем самым вы лишь воспрепятствуете осознанию того, что нет пророка, по которому тоскуют столь многие представители нашего молодого поколения. Я думаю, что действительно «музыкальному» в религиозном отношении человеку не пойдет на пользу, если и от него, и от других будут скрывать тот основной факт, что его судьба – жить в богочуждую, лишенную пророка эпоху – если это будут скрывать с помощью суррогата, каким являются все подобные пророчества с кафедры. Мне кажется, против этого должна была восстать его религиозная честность.

Но как же отнестись к факту существования «теологии» и к ее претензиям на «научность»? Попробуем не уклоняться от ответа. «Теология» и «догмы», правда, существуют не во всех религиях, но и не только в христианстве. Если оглянуться на прошлое, то можно увидеть их в весьма развитой форме также в исламе, манихействе, у гностиков, в суфизме, парсизме, буддизме, индуистских сектах, даосизме, упанишадах, иудаизме. Но разумеется, систематическое развитие они получили в разной мере. И не случайно западное христианство в противоположность тому, что создал в области теологии иудаизм, не только более систематически развило ее (или стремится к этому), но здесь ее развитие имело несравненно большее историческое значение. Начало этому положил эллинский дух, и вся теология Запада восходит к нему точно так же, как, очевидно, вся восточная теология восходит к индийскому мышлению.

Всякая теология представляет собой интеллектуальную *рационализацию* религиозного спасения. Ни одна наука не может доказать свою ценность тому, кто отвергает ее предпосылки. Впрочем, всякая теология для выполнения своей роли и тем самым для оправдания своего собственного существования добавляет некоторые специфические предпосылки. Они имеют различный смысл и разный объем. Для всякой теологии, в том числе, например, и для индуистской, остается в силе предпосылка: мир должен иметь *смысл*, и вопрос для нее состоит в том, как толковать мир, чтобы возможно было мыслить этот смысл.

Кант в своей теории познания исходил из предпосылки: научная истина существует и *имеет* силу, а затем ставил вопрос: при каких мыслительных предпосылках возможно, то есть имеет смысл, такое

утверждение? Точно так же современные эстетики (осознанно – как, например, Дьердь Лукач – или просто фактически) исходят из предпосылки, что существуют произведения искусства, а затем ставят вопрос: как это в конце концов возможно?

Правда, теологи, как правило, не удовлетворяются такой (по существу религиозно-философской) предпосылкой, а исходят из предпосылки более далеко идущей – из веры в «откровение» как факт, важный для спасения, то есть впервые делающий возможным осмысленный образ жизни. Они допускают, что определенные состояния и поступки обладают качествами святости, то есть создают образ жизни, исполненный религиозного смысла.

Вы опять-таки спросите: как истолковать долженствующие быть принятыми предпосылки, чтобы это имело какой-то смысл? Сами такие предпосылки для теологии лежат по ту сторону того, что является «наукой». Они суть не «знание» в обычном смысле слова, а скорее некоторое «достояние». У кого нет веры или всего прочего, необходимого для религии, тому их не заменит никакая теология. И уж тем более никакая другая наука. Напротив, во всякой «позитивной» теологии верующий достигает того пункта, где имеет силу положение Августина: «Credo non quid, sed quia absurdum est» («Верую не в то, что абсурдно, а потому, что абсурдно»).

Способность к подобному виртуозному акту «принесения в жертву интеллекта» есть главнейший признак позитивно-религиозного человека. И это как раз свидетельствует о том, что напряжение между ценностными сферами науки и религии непреодолимо, несмотря на существование теологии (а скорее даже благодаря ей).

«Жертву интеллекта» обычно приносят: юноша – пророку, верующий – церкви. Но еще никогда не возникало новое пророчество (я намеренно здесь еще раз привожу данный образ, который для многих был предосудительным) оттого, что некоторые современные интеллектуалы испытывают потребность, так сказать, обставить свою душу антикварными вещами, подлинность которых была бы гарантирована, и при всем этом вспоминают, что среди них была и религия; ее у них, конечно, нет, но они сооружают себе в качестве эрзаца своеобразную домашнюю часовню, украшенную для забавы иконками святых, собранными со всех концов света, или создают суррогат из всякого рода переживаний, которым приписывают достоинство мистической святости и которыми торгуют вразнос на книжном рын-

ке. Это или надувательство, или самообман. Напротив, отнюдь не надувательство, а нечто серьезное и настоящее (но, может быть, неправильно истолковывающее себя) имеет место тогда, когда некоторые молодежные союзы, выросшие в тиши последних лет, видят в своей человеческой общности общность религиозную, космическую или мистическую. Всякий акт подлинного братства вносит в надличное царство нечто такое, что останется навеки; но мне кажется сомнительным стремление возвысить достоинство чисто человеческих отношений и человеческой общности путем их религиозного истолкования. Однако здесь не место обсуждать этот вопрос.

Судьба нашей эпохи с характерной для нее рационализацией и интеллектуализацией и прежде всего расколдовыванием мира заключается в том, что высшие благороднейшие ценности ушли из общественной сферы или в потустороннее царство мистической жизни, или в братскую близость непосредственных отношений отдельных индивидов друг к другу. Не случайно наше самое высокое искусство интимно, а не монументально; не случайно сегодня только внутри узких общественных кругов, в личном общении, крайне тихо, пианиссимо, пульсирует то, что раньше буйным пожаром, пророческим духом проходило через большие общины и сплавляло их. Если мы попытаемся насильственно привить вкус к монументальному искусству и «изобретем» его, то появится нечто столь же жалкое и безобразное, как то, что мы видели во многих памятниках последнего десятилетия. Если попытаться ввести религиозные новообразования без нового, истинного пророчества, то возникнет нечто по своему внутреннему смыслу подобное — только еще хуже. И пророчество с кафедры создаст в конце концов только фантастические секты, но никогда не создаст подлинной общности. Кто не может мужественно вынести этой судьбы эпохи, тому надо сказать: пусть лучше он молча, без публичной рекламы, которую обычно создают ренегаты, а тихо и просто вернется в широко и милостиво открытые объятия древних церквей. Последнее сделать нетрудно. Он должен также так или иначе принести в «жертву» интеллект — это неизбежно. Мы не будем его порицать, если он действительно в состоянии принести такую жертву. Ибо подобное принесение в жертву интеллекта ради безусловной преданности религии есть все же нечто иное в нравственном отношении, чем попытка уклониться от обязанности быть интеллектуально добросовестным, что бывает тогда, когда не имеют мужества дать себе ясный отчет относительно



конечной позиции, а облегчают себе выполнение этой обязанности с помощью дряблого релятивизма. Та позиция представляется мне более высокой, чем кафедральное пророчество, не дающее себе отчета в том, что в стенах аудитории не имеет значения никакая добродетель, кроме одной: простой интеллектуальной честности. Но такая честность требует от нас констатировать, что сегодня положение тех, кто ждет новых пророков и спасителей, подобно тому положению, о котором повествуется в одном из пророчеств Исаяи; речь идет здесь о прекрасной песне эдемского сторожа времен изгнания евреев: «Кричат мне с Сеира: сторож! сколько ночи? сторож! сколько ночи? Сторож отвечает: приближается утро, но еще ночь. Если вы настоятельно спрашиваете, то обратитесь, и приходите».

Народ, которому это было сказано, спрашивал и ждал в течение двух тысячелетий, и мы знаем его потрясающую судьбу. Отсюда надо извлечь урок: одной только тоской и ожиданием ничего не сделаешь, и нужно действовать по-иному – нужно обратиться к своей работе и соответствовать «требованию дня» – как человечески, так и профессионально. А данное требование будет простым и ясным, если каждый найдет своего демона и будет послушен этому демону, ткущему нить его жизни.

*Вебер, М. Избранные произведения. – М.: Прогресс, 1990. – С.707 – 735.*

## Мы, академики. Исповедь

И.А.Ильин

Как часто критикуют нас, профессоров; и – не без основания. В каждом из нас есть свои недостатки, каждому есть что «поставить на вид»; у каждого, как у любого человека, свои слабости, которые критик немедленно подхватывает, чтобы устроить головомойку. С этим мы вроде бы смирились. Но есть один упрек, который надо воспринять крайне серьезно и дать на него глубоко продуманный ответ. А упрек этот состоит в том, что академия якобы *мертва, бесплодна*, а то и вообще *разлагающа*. Значит, мы обязаны вдумать в сущность нашей деятельности и исповедаться в наших проблемах и ценностях... Что такое академия? В чем ее призвание? Как нам, ученым, поставить себя на службу человеческой культуре?

Академия есть *высшая* ступень в образовании и воспитании человека, и уже одним этим определяется ее своеобразие; предшествующие ей ступени всего лишь подготовка к ней как последней и высшей. В начальной, равно как и в средней школе, учат *пониманию* и *развитию мышления*, целиком и полностью полагаясь в этом процессе на *авторитет учителя*. Учитель становится посредником между учеником и предметом, дает ему представление о содержании последнего, детализирует его, поясняет, обогащает, проверяет усвоенное. Он тренирует и развивает детскую память, расширяет и оживляет способности восприятия, раскрывает азы законов и приучает к правильному применению. А потом проверяет, насколько верно понято содержание предмета, в какой степени ученики владеют им, сумеют ли изложить и пр.

Другое дело – академия; в центре ее внимания уже не ребенок, а взрослый человек; его она воспитывает для *самостоятельного бытия* и *самостоятельного мышления*.

Печально, неприемлемо, если профессора подходят к другим, куда более сложным содержаниям с той же авторитарной меркой изложения, что и в школе. Тогда это уже не академия, это нечто совсем другое, где по старинке речь идет о «памяти», «понимании», зубрежке. Академический экзамен не должен превращаться в мучение для памяти, в контроль навязанной извне мысли; он должен проверять силу суждения студента, зрелость его мышления.

Академия воспитывает в человеке духовную, и прежде всего интеллектуальную, *самостоятельность*, учит думать своей головой, за-

ниматься исследованием, а значит – ведет к духовной свободе. В этом ее истинное предназначение. Итак – подготовка закончена. Экзамен «зрелости» позади, молодой человек «созрел». Теперь можно приступить к *выработке силы суждения*. Теперь он готов к *непосредственной встрече* с предметом, готов к творческому овладению методом самостоятельного мышления. И как правильно, как умно, как целесообразно пройти такую выучку самостоятельности еще в школе и вступить в стены академии уже духовно жаждущим, мечтающим о самостоятельности человеком!

Что может предложить ему академия? Прежде всего *непосредственную встречу с предметом* – будь это материальные или духовные ценности, высшая математика как форма бытия, живое слово филологии, верно использованное право в юриспруденции, смысл духовных обстоятельств в философии. Юный ученый должен научиться самостоятельно, непосредственно воспринимать свой предмет, находить его, переживать, узнавать, созерцать, исследовать. А опытный ученый должен передать ему это искусство, доцент должен встать между своим слушателем и предметом для того, чтобы вызвать прямую встречу обоих в жизни, организованно провести ее и после этого устранившись. Он как бы берет студента за руку и ведет его к *источнику*, чтобы показать, как выглядит источник, как отыскать его, с чего начать, когда он уже найден, как через него подступиться к предмету. Академическое мышление начинается с непосредственного опыта, академическое знание черпает из источника; академическое исследование есть самостоятельное переживание, ответственнейшая борьба за истину, критический подход, аскеза силы суждения, искусство аргументаций, убежденность в очевидности. Академия воспитывает в человеке искусство *ответственного самостоятельного мышления*, искусство *судить о предмете, исходя из сущности самого предмета*, воспитывает силу известного созерцания (интуицию) и строгого аналитического наблюдения (индукцию). *Беспочвенность мышления* как дурной отпечаток необразованности и *дедуктивности мышления*, как опасное оружие полуобразованности надо преодолеть. Академия не догматична: она ищет и исследует. Она не заостенела, не застоялась; она в движении, в творчестве. Но динамизм ее ответственен и осторожен: все подвергается сомнению и проверке. Короче, академия *заботится о методе и готовит к освоению метода*. Метод – слово греческое и означает путь к цели, борьбу за истину. Академия есть именно *школа самостоятельной борьбы за истину*. Вся жизнь борется с собой ученый за

очищение: *борется с предметом*, чтобы лучше ухватить его смысл; *борется с языком*, чтобы точнее выразить увиденное; борется за истину, чтобы, познав ее, как можно достоверней передать.

Этим уже немало сказано, если не все.

Академия готовит человека к духовной самостоятельности, то есть к *свободе*. Потому что сама может существовать только в атмосфере свободы и творить только из свободы. Однако свобода – это не произвол; она не терпит злоупотребления. Это – свобода от всяких чужеродных ограничений, от всякого давления извне, от всякого политического и социального низкопоклонства. Изнутри эта свобода имеет скрепляющий стержень. Всякие вмешательства извне она отвергает, чтобы как можно строже удовлетворить тем внутренним потребностям предмета, к которому подходит с чистой совестью исследователь: освобождаясь от человеческого в себе, он отдается в *служение Божественному*.

Вот почему академии так близко чувство ответственности и искренне-честная, совестно-внутренняя, методически воспитанная *воля к истине*. Но эти две силы проистекают не столько из академического этоса, сколько из живой религиозности. Академия воспитывает в человеке величайшую свободу для высочайшей самодисциплины; настоящую самостоятельность для настоящего *самозабвения*. Это – *школа предметности*. И именно поэтому она требует от человека, чтобы он преодолел в себе аутизм, произвол, тщеславие и обрел присущее ученому смирение. Всю свою жизнь стоит ученый перед великой тайной видимого и невидимого мира, перед бесконечной глубиной и переплетениями Богом созданного предмета, вглядывается в эту живую мистерию, пытаясь ее постигнуть, разузнать. И чем выше его дух, тем глубже его благоговение и смирение. Чем глубже его взгляд, тем явственнее его восхищение (о чем говорил Аристотель) и тем строже его суждение о себе самом (как и подобает аскету). Настоящий академик знает свои пределы, ему не пристала гордыня. Умный ученый знает, где начинается его глупость, и не считает себя умнейшим из людей. Он ощущает себя вечным студентом, который сколько бы ни знал – все мало, и счастлив только тем, что может расшифровать Богоданный мир как Божьи письмена; всегда в борьбе, всегда в труде – весь мир неисчерпаем.

Вот почему *тихое, созерцательное и осмысленное благоговение* есть истинный источник научного исследования. Вот почему изумление перед тайной этого Божественного мироздания есть благоговение живое, которое несет молитвенно настроенному ученому свои дары: любовь к исследуемому предмету, волю к истине, ответственность за

свои утверждения, очищающее смирение и аскезу силы суждения. Если по правде, то академия не враг религии; наоборот, она одна из самых *ценных религиозных форм* и творчество ее есть *тихое богослужение*. Понятие «Бог» не является гипотетическим толкованием ученых; ведь Бог именно является истинной, безусловной предпосылкой всех усилий и достижений.

Об этом знали великие умы последних столетий. С явным благоговением ясно и недвусмысленно заявляли они об этом и были правы. Они искали сущность, а чтобы докопаться до нее, надо было заглянуть в глубину, туда, где дремлет живая тайна универсума, творчески задуманная Богом и заданная человеку для творческого осмысления. Только в благоговении приближается к этой тайне настоящий ученый; а соприкоснувшись с ней, он очень быстро начинает понимать, что *осмысленное восприятие мира незаметно подводит к созерцанию Божества*.

Без благоговенья и молитв, без любви и ответственности академия вырождается. Она мертвеет, утрачивает творческий потенциал, разлагается. Она скользит по поверхности явлений; анализирует и конструирует; мыслит вслепую, без души; механизмирует свой опыт; лишает жизни свой предмет.

Подлинная академия *есть мастерская сомневающегося в себе знания*; но дышит она *воздухом религиозного созерцания*. Зародившаяся из свободы, в свободе творящая, для свободы воспитующая, свободно стремится она к тем высоким обязательствам и к тем высшим потребностям, которым должна подчиняться. Она не для того исследует, чтобы все разложить и распылить, а для того, чтобы понять, утвердиться, выстроить.

Ее школа – это школа мысли, но эта мысль – одновременно и наблюдение, и созерцание, и любовь, и воля; она требует всего человека – его нравственного и религиозного подъема, борьбы за постижение тайны чувственного и сверхчувственного мира.

Вот в каком призвании и в каком служении все чаще и чаще должны исповедоваться мы, академики, чтобы наше остроумие не было плоским, чтобы наш земной разум не был слепым. Кому нужны, скажем, тупое остроумие и слепой разум?

Как люди и как ученые мы должны быть до конца самостоятельными и ответственными.

*Ильин, И.А.* Взгляд в даль. Книга размышлений и упований // Собрание сочинений: В 10 т. Т. 8. – М.: Русская книга, 1998. – 576 с. – С. 474 – 479.

## Очарование наукой

А.Л. Бучаченко

### *Что есть наука*

Это скучный вопрос – что такое наука. Есть десятки ответов на него – ярких и унылых, серьезных и шуточных, глубоких и примитивных. Многие из них демонстрируют остроумие, изощренность и элегантность мышления. Но точен и бесспорен лишь один, простой и лишенный пафоса, – наука есть добыча Знаний. За ним все – и цель, и профессия, и вдохновение, и способы добычи, и пути познания. Великий Ньютон заключил эту мысль в чеканную и монументальную формулу: «Наука есть движение мысли человеческой вслед за мыслью Творца». Это движение по дороге великих, блестящих идей и уничительных заблуждений, вдохновения и отчаяния, взлетов и падений, ярких озарений и унылых, тусклых тупиков, дорога восторга и смертельных ошибок. Великая и драматическая дорога познания, бесконечная и полная очарования...

### *Очарование познания*

Наука открыла устройство мира. Она показала, что мир устроен изумительно просто, но в этой таинственной простоте есть интригующая загадочность. Наука открыла чертежи и законы, по которым сотворен мир; она установила, что мир создан по точному математическому законодательству – по формулам и уравнениям с точно заданными мировыми константами. Это законодательство наука отчеканила в теориях – строгих и совершенных. Первая из них и самая древняя – эвклидова геометрия, теория физического пространства (Эйнштейн назвал ее триумфом мышления). Она не могла предвидеть искривление пространства, открытое Эйнштейном через 23 века после Эвклида, и потому она не точна. Однако отклонение в размерах объектов эвклидовой геометрии (без учета искривления пространства) от реальных размеров (с учетом искривления) в масштабе одного метра составляет величину, меньшую диаметра атома водорода (около 0,5 ангстрем, или  $0,5 \cdot 10^{-10}$  м); это соответствует точности теории 10 – 8%. Классическая, ньютоновская механика дает безупречное описание законов и явлений движения тел, однако для быстро движущихся тел (при скоростях, близких к скорости света) ее предсказания чуть-чуть отличаются от опыта. Но родились две теории относительности – специальная и общая, которые безупречны; их точность превосходит фантастическую величину 10 – 12%. Они включают ньютоновскую механику и

дают блестящее описание не только нашего, классического, земного мира, но и мира космогонического, экзотического с позиции простого жителя Земли. Более того, они включают динамическую теорию гравитации и описание космогонических явлений и объектов (например, двойных пульсаров и черных дыр).

Заметим, что обе теории относительности появились раньше, чем обнаружались их подтверждения, и это демонстрирует волшебную силу науки и человеческой мысли, когда предсказания опережают опыт. И нужно добавить, что эти теории заключены в безупречно строгую и загадочно точную математическую форму.

Абсолютно безупречной и точной является электромагнитная теория полей – электрического, магнитного, светового (теория Максвелла). Она прекрасно работает в масштабном диапазоне от протонов и нейтронов до галактических размеров, то есть дает классическое описание полей с поразжающей воображение точностью 10 – 34%; из нее также родилась специальная теория относительности. Все теории – и материальных тел, и полей – великолепно согласованы, дополняют и расширяют друг друга, обеспечивая точное и строгое описание классического мира – мира макроскопических тел.

Наука, описывающая микромир, – квантовая механика – родилась в начале XX века, точнее, вечером 19 октября 1900 года, когда к Максиму Планку пришел его друг Рубенс и принес экспериментальные результаты по излучению абсолютно черного тела в длинноволновой области. «Квантовая магия», «квантовое таинство» – вот лишь некоторые ее определения; это самая точная и загадочная наука, где все не так, но все верно и более того – абсолютно точно. И она математически так же строга и совершенна, как и классическая механика. «Царственное уравнение» квантовой механики – уравнение Шредингера – абсолютно точно; не найдено ни одного явления или события в микромире, которое расходится с его количественными предсказаниями.

Наш жизненный опыт говорит, что тела могут иметь любую энергию, а все объекты – либо частицы, либо волны; третьего не дано. В мире квантовой механики это третье есть: объекты микромира ведут себя непостоянно и нелогично – они преобразуются из частиц в волны и обратно. Кроме того, им разрешены только определенные энергетические состояния и запрещено иметь произвольную, любую энергию. И эти волшебные свойства – не вымысел, они все строго подтверждены всем опытом жизни и экспериментальной науки. Неопровержимая достоверность парадоксального результата...

Да, в квантовой механике все не так, но она – величайшее достижение XX века, опора новой, современной цивилизации, ее новое лицо и новые прорывы – от атомной энергии до высадки человека на Луну. Она породила изысканную, элегантную теорию – квантовую электродинамику, квантовую теорию полей и движущихся зарядов. Точность этой теории такая же, как если бы расстояние от Нью-Йорка до Лос-Анджелеса измерялось с точностью до толщины человеческого волоса. И это не просто впечатляющий образ; за этим стоит точность 10 – 8%. Именно с такой точностью вычисленный из квантовой электродинамики магнитный момент электрона совпадает с экспериментально измеренным.<sup>1</sup> И не надо забывать, что все эти совершенные теории, так безупречно точно изображающие мир, рождены на кончике пера и на острие мысли — это ли не свидетельство волшебного могущества науки и ее великого очарования?

Получается, что мы живем в двух мирах: макромир, мир «больших» объектов, управляется законами классической механики; микромир, мир «малых» частиц, беспрекословно подчиняется законам квантовой механики. Но они несовместны, они не могут быть одновременно справедливы, они находятся в состоянии «свирепого антагонизма». И эта мысль для великих умов невыносима, она мучила Эйнштейна в его поисках единой теории поля<sup>2</sup>, в его поисках объединения упрямо необъединяющихся теорий макромира и микромира. Каждая из них безупречна и совершенна, но именно то обстоятельство, что два совершенства несовместимы, рождает смутное подозрение, что в этом таится их несовершенство.

Конечно, в пределе, когда микромир сближается по размерам с макромиром, обе механики объединяются – это естественно. Но остается интрига – как и по каким законам квантовая механика «перетекает» в классическую. Это относится и к объединению квантовой механики с общей теорией относительности, то есть к квантовой теории гравитации. Большинство физиков считает, что возникающие квантовые поправки ничтожны и проявляются лишь на масштабе так называемой планковской длины (около 10 – 35 м). Но самые изысканные умы это не удовлетворяет: стремление к полной гармонии и совершенной красоте безгранично.

---

<sup>1</sup> Пенроуз, Р. Новый ум короля. – М.: УРСС, 2003.

<sup>2</sup> Пайс, А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. – М.: Наука, 1989. – С. 309; Дюкас, Э., Хофман, Э. Альберт Эйнштейн как человек // Вопросы философии. 1991. – № 1. – С. 61.



Сегодня – и опять на кончике пера и острое математической мысли – рождаются контуры великой Универсальной Теории Всего – и веществ, и полей, и микро-, и макромира. И эта теория объединяет обе механики; более того, в этой новой теории они не могут существовать друг без друга, ибо это теория Великого Объединения, к которой упрямо шел Эйнштейн. Это теория суперструн, в которой электроны и кварки – эти фундаментальные частицы – состояются из петель вибрирующих, колеблющихся волокон, суперструн. И все свойства мира и его элементов определяются свойствами и поведением суперструн.

Физики не единодушны в отношении к суперструнам. Есть шанс их найти экспериментально в столкновениях сверхбыстрых частиц в ускорителях-коллайдерах, хотя для этого нужны огромные (возможно, недостижимые) мощности. Здесь стоит вспомнить историю позитрона: его предсказание было принято физиками безучастно. Каково же было их изумление, когда через год позитрон был обнаружен экспериментально...

Уже есть пять теорий суперструн; они дали также новую жизнь десятимерной теории супергравитации. И все они развиваются, переливаются друг в друга, совершенствуя и обобщая друг друга, и этот процесс обязательно приведет к единой теории, к пониманию того, как чарующе элегантно устроен наш мир и наша Вселенная.<sup>3</sup> Но и сегодня, как и четыреста лет назад, остаются правдой слова Галилея: «Здесь скрыты столь глубокие тайны и столь возвышенные мысли, что <...> радость творческих исканий и открытий продолжает существовать». А рядом с ними – очарование...

Великий путь познания прошла химия – от древней алхимии до современной науки, достигшей верхнего горизонта – способности детектировать и распознавать отдельную, одиночную молекулу, пространственно фиксировать ее и перемещать, измерять все ее свойства, включая электропроводность, химические преобразования и функционирование. Химия освоила современные физические технологии, достигнув умения не только наблюдать процессы преобразования молекул за фантастически короткие времена 10 – 15 секунд, но и управлять ими. И сейчас идет гонка за времена 10 – 18 секунд...

В химии появилось осознание своего собственного Великого Объединения: в ней есть шестнадцать базовых атомных орбиталей – элек-

---

<sup>3</sup> Грин, Б. Элегантная Вселенная. – М.: УРСС, 2005.

тронных волновых функций, своеобразных «химических нот».<sup>4</sup> И как из комбинации простых шахматных ходов слагаются бесконечные шахматы, как из семи музыкальных нот рождается волшебная и вечная музыка, так из шестнадцати простых атомных орбиталей – химических нот – сотворена могучая и неисчерпаемая химия, построен весь атомно-молекулярный мир, создана вся химическая архитектура мира и его самого сознательного элемента – Человека. Вся природа – и неживая, и живая – построена на фундаменте, сложенном этими шестнадцатью атомными орбиталями.

Но самые впечатляющие, завораживающе прекрасные открытия делает биология. Двигаясь по дорогам вслед за Творцом, она приносит то, что не может не вызывать восторга. Посмотрите, как восхитительно устроен и красиво функционирует генетический аппарат. А как безупречно работают молекулярные машины – ферменты, снабжающие организм аденозинтрифосфатом, главным энергоносителем в организме. И эти энергоснабжающие машины производят энергоноситель в огромном количестве – в сутки половину веса организма; это количество покрывает все потребности организма на все процессы – от проницаемости клеточных мембран до сокращения мышц и запоминания...

А как прекрасна ДНК-полимераза – фермент, ответственный за деление клеток, за размножение и воспроизведение всего живого на Земле. Это комбайн, составленный из нескольких молекулярных машин, каждая из которых выполняет свою функцию, действуя изумительно согласованно с другими. Этот комбайн движется по двойной спирали ДНК, расплетает ее на одиночные нити, принимает подаваемые ему нуклеотиды (а их приносит транспортная РНК), отбирает нужный, соответствующий заданному коду, затем присоединяет его к нити ДНК, а та не только «шьет» новую нить ДНК, но еще и сама исправляет ошибки, которые она изредка допускает в своем «швейном» деле. При этом новые нити строятся сразу на обеих «старых». Это восхитительно прекрасный процесс редупликации ДНК. Привыкнуть к чему-либо – значит потерять очарование, но к тому, что делает ДНК-полимераза, привыкнуть невозможно...

Изумительно устроены и функционируют синапсы – структурные элементы нейронов, где происходит запоминание, рождаются мысли и мышление; восхищает работа кинезина – молекулярного двигателя-извозчика, доставляющего нейромедиаторы из аппарата Гольджи в

---

<sup>4</sup> Бучаченко, А.Л. Химия как музыка. – Тамбов: Нобелистика, 2004.

синапс. Не может не вызывать восхищения микросома – структура, способная свернуть двухметровую спираль ДНК в шарик микронного размера. Или таинство экспрессии генов... А как волшебна устроена иммунная система... И, конечно, рождает восхищение потрясающая согласованность огромного каскада биохимических реакций, обеспечивающих жизнь организма строительным материалом, энергией и исполнением его разнообразных функций. Современная биология – самая энергичная наука, поражающая своими открытиями в познании самой жизни и ее вершины – мышления. И конца этой дороги познания не видно; и всегда биология будет источником очарования. По мнению автора, в сегодняшней науке есть две самые горячие точки – суперструны и молекулярная биология, и обе они чарующе прекрасны.

*«Вне науки» и «вне современной науки»*

Здесь заключена интрига вопросов: есть ли вещи непознаваемые, как отличить их от вещей непознанных, беспредельна ли наша способность познания мира? Есть ли вещи вне науки? Но и в последнем вопросе скрыто два: «вне науки?» или «вне современной науки?». Разница между ними такая же, как между любовью ко всему человечеству и любовью к одному, конкретному человеку.

Во времена Аристотеля вне науки было электричество. Но при Фарадее оно стало элементом цивилизации; зато вне науки оставались лазеры, радиоактивность, компьютеры, мобильный телефон, телевизор и многое другое, что входит в понятие современной цивилизации. Еще недавно, десяток лет назад, в химии даже не возникало мысли об одиночной молекуле как объекте исследований и познания. А сегодня это прекрасно освоенная область химии. И уже создан транзистор на одной молекуле, появились одномолекулярные магниты и реальные контуры новой технологической цивилизации — молекулярной электроники, в которой функциональными элементами служат одиночные молекулы.<sup>5</sup>

Еще недавно говорить о влиянии магнитного поля на химические реакции считалось признаком постыдного невежества, это было вне науки. А сегодня утвердились новые области – спиновая химия, химическая радиофизика, химическая поляризация ядер; они принесли крупные открытия новой, магнитной изотопии и новых, магнитно-спиновых эффектов. Здесь наука разрушила старые догмы и предрассудки и принесла новую правду.

---

<sup>5</sup> Минкин, В.И. Молекулярная электроника на пороге нового тысячелетия // Российский химический журнал. – 2000. Т. 44. № 6. – С. 3 – 13; Бучаченко, А.Л. Новые горизонты химии: одиночные молекулы // Успехи химии. – 2006. Т. 75. № 1. – С. 3 – 26.

Еще недавно даже в мыслях не допускалось участие парамагнитных состояний в производстве главного энергоносителя в организме – аденозинтрифосфата; теперь же это участие доказано. Отсюда следует возможность магнитной поляризации ядер фосфора при ферментативном синтезе аденозинтрифосфата, возможность энергетической накачки ядерного зеемановского резервуара и радиоизлучения этого резервуара (в химических реакциях это уже известно – мазер с химической накачкой). А отсюда шаг до физических основ телепатии, которая сегодня, бесспорно, вне науки.

И такими неожиданными и почти волшебными превращениями явлений и событий из состояния «вне науки» в состояние «так и должно быть» полны физика, химия и особенно биология. Чудо – это то, что не имеет причины. И потому поиск причин «вненаучных чудес» и включение в ряд «законных» научных находок есть одно из великих очарований науки.

Все сказано на свете:  
Несказанного нет.  
Но вечно людям светит  
Несказанного свет.

*Новелла Матвеева*

Именно этот чарующий свет непознанного зовет людей науки... У них это профессиональная гонка за новым, неизведанным. Тайна всегда пленительна и очаровательна. «Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, – это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и в науке. Тот, кто не испытал этого ощущения, кажется мне если не мертвецом, то, во всяком случае, слепым» – это Эйнштейн.<sup>6</sup>

И это не по И.П.Павлову, не по его условным рефлексам, ибо новое обещает не только приятное, но и может грозить опасностями. Погоня за новым – это не гонка за удовольствиями. «Только очарование, сопровождающее науку, способно победить свойственное людям отвращение к напряжению ума» (Гаспар Монж).

*Есть ли непознаваемое?*

Научное творчество, как и всякое творчество, есть превращение непредсказуемого в неизбежное. Но все ли поддается такому превра-

---

<sup>6</sup> Эйнштейн, А. Мое кредо / Собрание научных трудов. В 4-х т. Т. 4. – М.: Наука, 1967. – С. 176.

щению? Одно из очарований науки – соблазн найти ответ на этот вопрос. Известно, что единственная борьба, в которой приятно проигрывать, – это борьба с соблазнами...

Самый трудный вопрос – почему? Почему так совершенны совершенные теории? Почему эвклидова геометрия и ньютоновская механика так точно описывают макромир, а квантовая механика — микромир? Почему так точны уравнения Максвелла и теории относительности? Почему мир существует с такими фундаментальными константами? Почему существует сознание, откуда оно взялось? Почему в живых организмах все белки построены из «левых» аминокислот (вращающих плоскость поляризации света по часовой стрелке), а все полисахариды – из «правых» молекул? Почему нейромедиаторы синтезируются в одном месте, а работают в другом? Почему так чудно устроена рибосома? Даже если мы хорошо поймем, как работают нейроны и синапсы – эти структурные элементы мозга, где формируется память, где происходят химические реакции запоминания и считывания памяти (а к этому упорно и успешно идут современные нейрофизиология и нейрохимия), – это не будет ответ на вопрос «почему». Можно догадываться, как происходит мышление, как генерируются мысли, как происходит синтез новых знаний и идей на базе известных, заложенных в синапсах. Похоже (и подсказки дает микроэлектродная техника современной нейрофизиологии), что это происходит как согласованная, совместная, когерентная работа ансамблей синапсов, но что стимулирует их когерентность – вопрос открытый, и не видно, как искать ответ.

Конечно, можно отмахнуться от этих вопросов, от этих соблазнов и заявить, что они неуместны – как неуместна табличка «Добро пожаловать» на дверях морга. Но найдется не меньше людей, которых поиск ответов и сопровождающая его игра ума и интеллекта будут интриговать. И вот уже не праздный, а социально значимый вопрос – почему у человека два ума. Один – алгоритмизированный, появляется, усовершенствуется и обогащается как результат опыта, обучения, образования (говорят, образование — это то, что остается после того, как все выученное забыто). Совершенство, глубина и сила этого ума — признак таланта (который, как известно, попадает в цель, в которую никто не может попасть). Но есть и другой ум — неалгоритмизированный, существующий независимо, неуправляемо от человека, ум загадочный, божественный – источник внезапных озарений, догадок, ум неожиданный, автономный, непредсказуемый; ум гения, попадаю-

щий в цель, которую никто не видит. Лежат ли ответы на эти загадки на дорогах науки или они вне науки, неподвластны науке – вопрос открытый. Даже великие умы расходятся на этот счет; кажется, граница между проблемами, решаемыми средствами науки и не решаемыми в принципе<sup>7</sup>, лежит не в области знаний, а в области вкуса или веры.

Происхождение жизни как явления, существование сознания даже в рамках традиционных представлений об Эволюции как стимулирующем факторе развития остаются загадочными. И вечное очарование науки, зовущая магия тайны – способность науки внезапно давать ответы на загадочные вопросы. Или не давать их вовсе...

Магия познания увлекает надеждами, хотя, как утверждают остро-словы, надежда – всего лишь отсроченное разочарование. И все-таки есть надежда понять, что такое сознание и каково происхождение жизни на основе теории суперструн, – кто знает...

#### *Очарование скромности и безупречности*

Наука живет почти независимо от общества; огромное большинство людей абсолютно равнодушно к ней, к ее взлетам и открытиям; люди знают, что все блага можно приобрести в магазине, не интересуясь, откуда все это появилось, не задумываясь, причем здесь наука. Признание в науке приходит, как правило, редко и поздно; чаще всего – никогда. Настоящие ученые, как правило, скромны; добыча знаний – это постоянное прикосновение к тайнам, они величественны и внушают почтение, а настоящее величие всегда скромно. В мире ученых другая шкала ценностей...

Уничтожить науку нельзя. Да и не стоит, ведь она – элитарная часть цивилизации, ее высшая культура. Она величественна и вечна, как пирамиды Египта. Добыча знаний – вещь безобидная, поэтому истинная наука чиста и безупречна. Открывая новые знания, она выполняет две функции – создает полезные вещи и обнаруживает вещи, опасные для людей, предупреждая об опасностях. Наука становится опасной, когда ее отнимают у ученых; так было с атомной бомбой, с химическим и бактериологическим оружием... И так будет всегда, потому что *Knowledge itself is a Power*; эта фраза переводится на русский как «знание – сила», и в этом звучании она стала крылатой. Но истинный перевод есть «знание – власть», власть в первую очередь, и уж во вторую – сила. И те, кто отнимает у ученых науку, знают эту истину

---

<sup>7</sup> Блюменфельд, Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. – М.: УРСС, 2002. – С. 140.

лучше всех. Часто говорят, что наука стоит на острие прогресса, но умалчивают, что сам прогресс часто лицемерен и лишь маскируется благородными красками.

Да, в науке есть лукавство... Нет, она не врет, просто она не говорит всей правды. А иногда запускает мифы – вроде сказок о глобальном потеплении или о повороте Гольфстрима и глобальном оледенении. (Кстати, неоднократные чередования периодов охлаждения и потепления в земной истории хорошо известны ученым; в нынешнем потеплении нет никакой экзотики.) Люди из научного мира не скрывают, что такие мифы – способ выбивать деньги на науку из не слишком умных правительств...

В движении по дорогам науки можно отчетливо выделить три группы участников, три эшелона. В первом идут те, кто совершает прорывы, кто открывает новые области познания, новые научные поля. Во втором эшелоне те, кто «пасется» на этих полях, собирая часто неплохой урожай. В третьем – те, кто собирает остатки, кто вытаптыкает до пыли эти некогда зеленевшие идеями поля. Сильная наука там, где мала доля последних; в слабой науке мала доля первых двух.

Вокруг науки всегда ореол загадочности, и потому вокруг нее вьется (и кормится) много авантюристов и невежд, спекулирующих этим ореолом. Но самые опасные и для науки, и для общества – имитаторы. Борьба с ними – почти безнадежное дело.<sup>8</sup> Причина процветания лженауки очевидна: освоение истинных, добротных знаний требует хотя бы небольшого напряжения ума, фальшивки от имени науки подносятся готовыми, увлекают лживыми обещаниями и доверчиво воспринимаются обществом. В этом смысле наука становится своеобразным заложником своего могущества и авторитета. И это тот экзотический случай, когда авангард науки располагается сзади. Повторим: истинная наука чиста и безупречна...

### *Эстетика науки*

Когда в близкой мне химии докладчик рассказывает, как он показал, что механизм химической реакции сложный, я отчетливо осознаю, что он его не знает и все, что он говорит, – вранье. Познанное всегда просто и красиво. Ахмед Зевайл, создатель фемтохимии, выразил эту мысль так: «Я уверен, что за каждой значимой и фундаментальной концепцией должна стоять простота и ясность мысли».

---

<sup>8</sup> Кругляков, Э.П. «Ученые» с большой дороги. – М.: Наука, 2005.

<sup>9</sup> Зевайл, А. Путешествие сквозь время. Шаги к нобелевской премии. – Тамбов: Нобелистика, 2004. – С. 39.

Эстетика науки есть отражение эстетики и тонкой красоты мира, эстетики и красоты мышления как главного метода познания этого мира. Галилей это заметил четыре столетия назад, указав, что наука начертана на страницах огромной книги, имя которой – Вселенная, и написана она на языке математики, самой изящной и эстетически совершенной науки. Всякое противоречие, любая несогласованность, отсутствие единства и гармонии – антиэстетичны. Противоречие классической и квантовой механики было мучительным для эстетического ума Эйнштейна и упрямо вело его к поиску Единой Теории.

Музыка – самое абстрактное и самое волнующее искусство. Наука подобна музыке, хотя абстрактность ей нельзя приписать, скорее напротив... Наука – вещь настолько высокая и красивая, что о ней уместно говорить лишь в аристократически изысканных выражениях, тонких лингвистических оборотах и писать языком, которым написаны прекрасные книги Пенроуза и Грина (см. выше). То же относится и к людям науки; величие ученого, по Эйнштейну, – это не его непогрешимость и безупречность; это его цельность, гармония ума и совести, его произведение ума на порядочность. Кстати, это относится к любому человеку... «Подлинный прогресс человечества зиждется не столько на изобретательности ума, сколько на совести людей» – это опять Эйнштейн.<sup>10</sup>

И наконец, еще одно очарование науки, замеченное Эйнштейном: «Научные исследования и вообще поиски истины и красоты – это область деятельности, в которой дозволено всю жизнь оставаться детьми».<sup>11</sup>

### *Послесловие*

Эта статья посвящена моим друзьям, коллегам и знакомым из научного мира. И тем, кто рядом и кто далеко... Их много, и они все прекрасны...

*Бучаченко А.Л.* Очарование науки // Новый мир. – 2007. № 8. – С. 3 – 13.

---

<sup>10</sup> Дюкас, Э. Альберт Эйнштейн как человек / Э. Дюкас, Э. Хофман // Вопросы философии. – 1991. № 1. – С. 88.

<sup>11</sup> Эйнштейн, А. Собрание научных трудов. Т. 4. – С. 176.



## Вопросы для размышления

1. Что, по мнению Макса Вебера, является неперенным предварительным условием научной деятельности?
2. Какова роль фантазии в науке?
3. Как соотносятся научное вдохновение и вдохновение в искусстве?
4. В чем специфическое отличие науки от всех остальных элементов культуры?
5. В чем смысл современной науки на основе представлений М. Вебера?
6. Как вы поняли следующую мысль: наука выступает предпосылкой и результатом образования человека?
7. На чем основана убежденность И.А.Ильина в том, что наука готовит человека к духовной самостоятельности, то есть к *свободе*?
8. Чем отличаются, по мнению А.Л. Бучаченко, положения «вне науки» и «вне современной науки»?
9. Согласны ли вы с тем, что «наука живет почти независимо от общества»?
10. Сформулируйте для себя секрет очарования науки. Что для вас главное в исследовательской деятельности? Самостоятельность и свобода? Вдохновение и новые области познания? А может быть, *«тихое, созерцательное и осмысленное благоговение»*, как для И.А.Ильина?

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

### ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ

<i>Ермилин А.И.</i> Модели научного образования школьников: идеи, опыт, перспективы.....	11
--	----

### ФИЗИКА

<i>Глявина Мария.</i> Исследование хроматических аберраций тонкой линзы.....	24
<i>Громов Дмитрий.</i> Теоретическое исследование динамики пульсирующих фонтанов.....	29
<i>Карпов Егор.</i> Механические методы измерения скорости пули .....	34
<i>Коновалов Даниил.</i> Возникновение подъемной силы при вращении цилиндра в воздухе .....	39
<i>Кутлин Антон.</i> Ультразвуковой датчик обнаружения крупных объектов ....	42
<i>Лебедев Всеволод.</i> Двигатель Герца – Квинке .....	46
<i>Локтев Федор.</i> Прохождение звуковых волн сквозь различные среды и устройство «веревочного телефона» .....	53
<i>Мыльников Василий.</i> Измерение характеристик гауссова пучка, сфокусированного неизвестной линзой .....	57
<i>Паришина Наталья.</i> Сравнение моющих средств по изменению краевого угла .....	62
<i>Раксин Александр.</i> Изучение протекания электрического тока в воздухе в условиях, близких к ситуации грозы .....	67
<i>Рябинин Иван.</i> Столбы Тейлора.....	73
<i>Сидоров Дмитрий.</i> Лабораторное физическое моделирование и визуализация процессов, происходящих с вакуумными окнами криоэлектронных приемников, возникающих при их эксплуатации на радио- и оптических телескопах .....	78
<i>Спивак Алексей.</i> Исследование влияния паров воды на давление воздуха ...	83
<i>Сучкоусов Андрей.</i> Измерение расстояния между атомами в молекуле.....	88
<i>Шалаева Полина.</i> Измерение волнового фронта оптического излучения методом сканирования углового спектра .....	92
<i>Шампоров Василий.</i> Исследование степени практической эффективности и функциональных параметров, а также оценка прогноза последствий внедрения энергосберегающих ламп .....	98

### АСТРОНОМИЯ

<i>Троцкий Павел.</i> Эволюция шарового скопления: влияние ухода звезд ....	106
---	-----

## ХИМИЯ

<i>Бояркин Михаил.</i> Кофеин: определение содержания в некоторых продуктах .....	112
<i>Пименов Владимир.</i> Исследование возможностей микрокристалло- пического определения катионов тяжелых металлов с ртутно-родано- вым реактивом .....	117
<i>Слепченков Александр.</i> Такой необходимый калий .....	121

## МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

<i>Ахмеджанов Дмитрий.</i> Исследование статистических характеристик ансамбля случайных величин.....	126
<i>Зайцев Сергей.</i> Моделирование статистики двумерного газа .....	131
<i>Зотова Ульяна.</i> Применение показателя Херста для прогнозирования поведения временных рядов.....	137
<i>Садова Дарья.</i> Замечательные кривые: эллипс, парабола, гипербола.....	140

## НАУКА КАК ПРИЗВАНИЕ И ПРОФЕССИЯ

<i>Вебер М.</i> Наука как призвание и профессия .....	146
<i>Ильин И.А.</i> Мы, академики. Исповедь .....	170
<i>Бучаченко А.Л.</i> Очарование наукой .....	174
Вопросы для размышления .....	185