

Проблемы  
Учебного  
Физического  
Эксперимента

42

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ОБРАЗОВАНИЯ**

**ПРОБЛЕМЫ  
УЧЕБНОГО  
ФИЗИЧЕСКОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**ВЫПУСК 42**

Основан в 1995 году

**THE PROBLEMS  
OF EDUCATIONAL  
PHYSICAL EXPERIMENT**

The 42th Collection of Articles

Москва ИСРО РАО • 2025

УДК 53.05+372.853  
ББК 74.262.23:74.48  
П78

Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 42. — М.: ИСРО РАО, 2025. — 128 с.: ил. — ISBN 978-5-93008-439-9.

Материалы XXX Всероссийской научно-практической конференции «Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения» с международным участием.

Сборник содержит научные труды по проблематике, включающей общие вопросы и три направления: теория и практика учебного физического эксперимента; новые учебные опыты по физике; компьютер в учебном физическом эксперименте. Выпуск сборника обеспечивают Институт стратегии развития образования Российской Академии образования и Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко.

Для научных работников, преподавателей высших и средних учебных заведений, исследователей в области теории и методики обучения физике.

Ответственный редактор: **В. В. Майер**

Редактор: **Е. И. Вараксина**

Оргкомитет конференции:

Вараксина Е. И.	к.п.н., доцент, Глазов
Даммер М. Д.	д.п.н., профессор, Челябинск
Зуев П. В.	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Майер В. В.	д.п.н., профессор, Глазов
Молотков Н. Я.	д.п.н., профессор, Тамбов
Никифоров Г. Г.	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Пентин А. Ю.	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Сауров Ю. А.	д.п.н., член-корр. РАО, Киров
Сидоренко Ф. А.	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Чиговская-Назарова Я. А.	к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Шамало Т. Н.	д.п.н., профессор, Екатеринбург

ISBN 978-5-93008-439-9

© Институт стратегии развития образования РАО, 2025  
© Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко, 2025

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

М. Д. ДАММЕР

### РОЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТА В ПРОПЕДЕВТИЧЕСКОМ КУРСЕ ФИЗИКИ 5–6 КЛАССОВ

Рассматриваются дидактические функции эксперимента в условиях опережающего обучения физике с пятого класса, его развивающий потенциал. Описываются особенности процесса эмпирического познания при изучении физики в 5–6 классах и виды предлагаемых экспериментальных заданий для выполнения в классе и дома.

*Ключевые слова:* физика, пропедевтика, мышление, физический эксперимент, экспериментальное задание, явление, свойство, закономерность.

В существующих концепциях одним из ведущих факторов, влияющих на построение содержания общего образования, является структура объекта изучения — окружающей действительности. Структура окружающего материального мира отражена в научных знаниях. Эксперимент является ведущим методом научного познания и поэтому занимает соответствующее место в содержании обучения предметам естественно-научного цикла.

Второй важной детерминантой, определяющей содержание образования и последовательность освоения его отдельных компонентов, являются возрастные особенности обучаемых. Предлагая начало изучения физики с пятого класса, мы должны проанализировать готовность учеников к этому, с одной стороны, и влияние данного учебного предмета на их развитие — с другой. При этом мы ставим акцент на влияние физического эксперимента на развитие школьников. По данным исследований психологов:

1. Физиологические системы человека тесно взаимосвязаны. Дети в результате тонких движений пальцев очень быстро овладевают речью. Это, в свою очередь, влияет на развитие мышления [ 1 ].

2. В младшем подростковом возрасте интеллектуально-познавательная сфера школьников развивается быстрее, чем мотивационно-потребностная. Переход в основную школу происходит на фоне несоответствия между операционно-техническими возможностями ребенка и задачами и мотивами деятельности, на основе которых они формировались. Поэтому в это время должен быть переход к новой воспитательно-образовательной системе. Необходимо более существенное изменение характера учебной деятельности после начальной школы [2].

3. В подростковом периоде происходит переход к мышлению в понятиях, что приводит к пониманию связей окружающего мира, его закономерностей. Развитие высших форм интеллектуальной деятельности в переходном возрасте является чрезвычайно важным [3].

Таким образом, физический эксперимент в пропедевтическом курсе физики влияет на развитие познавательных процессов школьников — восприятия, мышления и речи, памяти, воображения; формирование мыслительных операций — анализа, синтеза, сравнения, классификации, абстрагирования, конкретизации, обобщения; развитие творческих способностей учащихся. Физический эксперимент реализуется в различных видах экспериментальных заданий. Поэтому, в соответствии с перечисленными функциями нами были определены и виды экспериментальных заданий в учебниках пропедевтического курса физики 5–6 классов:

1. Задания на развитие восприятия пространства и восприятия времени. Задания на глазомерное определение значений величин.

2. Наблюдение тел для выделения их внешних признаков. К примерам таких заданий относятся наблюдения кристаллов и аморфных тел, упругих и пластичных тел.

3. Наблюдение явлений для выяснения их внешних признаков и условий протекания. К примерам таких заданий относятся наблюдения осмоса, процессов плавления, испарения, кипения.

4. Задания на усвоение признаков вновь изученных понятий. К примерам таких заданий можно отнести измерение давления твердого тела на поверхность, измерение силы трения (скольжения и качения, их сравнение) и т. д.

5. Задания на формирование процедурных знаний. Например, на формулировку проблемы, цели, гипотезы исследования; описание последовательности действий в эксперименте; на формулировку выводов по результатам эксперимента.

6. Задания на установление закономерностей явления, функциональной зависимости между величинами (на качественном уровне). Например, выяснение закономерностей испарения, установление зависимости между силой упругости и деформацией тела, зависимости между силой тяжести и массой тела и др.

7. Задания на разработку методики измерительного эксперимента.

8. Задания на объяснение явлений и свойств тел при помощи материализованной модели.

9. Проектные задания на конструирование приборов и устройств. Например, сконструировать действующую модель водяных или песочных часов.

Проведенный нами педагогический эксперимент подтвердил влияние разработанной системы экспериментальных заданий в пропедевтическом курсе физики на развитие мышления учащихся.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Возрастная и педагогическая психология / В. В. Давыдов и др. Под ред. А. В. Петровского. — М.: Просвещение, 1979. — 288 с.
2. Эльконин Д. Б. Природа детства и его периодизация // Избранные психологические труды. — М.: Педагогика, 1989. — С. 25–121.
3. Выготский Л. С. Педагогическая психология / Под ред. В. В. Давыдова. — М.: Педагогика, 1991. — 480 с.

Южно-Уральский государственный  
гуманитарно-педагогический  
университет

Поступила в редакцию 09.01.25.

А. П. УСОЛЬЦЕВ

### **СИСТЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Предлагается система применения учебного физического эксперимента, позволяющая оптимальным образом использовать дидактический потенциал физического эксперимента при изучении тем школьного курса физики. Приводится пример ее содержательного наполнения при изучении темы «Электростатика».

*Ключевые слова:* системное применение эксперимента, школьный физический эксперимент, электростатика.

Учебный физический эксперимент в общем контексте всего школьного образования выполняет свою уникальную функцию, заменить которую невозможно. Эта функция связана с формированием современного научного мировоззрения, развитием критического мышления, формированием образов, представлений и понятий, создающих объективно существующую картину окружающего нас мира, не опосредованную цифровыми моделями.

Но любой, тем более, очень мощный инструмент должен использоваться системно, с пониманием основных целей, задач и проблем, стоящих на пути ее достижения. Если пытаться сохранить физический эксперимент в школе как отдельный, ценный, но вымирающий вид «сам по себе» в отрыве от имеющихся реалий и решаемых задач, то неминуемо произойдет принципиально недопустимое вырождение школьной физики в изучение компьютерных моделей.

Возникает проблема: «С какой целью и как использовать натуральный физический эксперимент в современных условиях?»

Ответ на этот вопрос следующий: *натурный эксперимент призван развивать мышление ребенка, сохраняя его связь с материальным миром.*

Для реализации этой миссии натурального эксперимента важна система физического эксперимента, которую мы предлагаем строить следующим образом:

1. «Знакомство» с изучаемым физическим явлением в занимательных опытах, демонстрация его использования и учета явления в жизни и на производстве.

2. «Ключевая» демонстрация, формирующая наглядный образ изучаемого явления.

3. Демонстрации, направленные на формирование основных понятий, характеризующих изучаемое явление.

4. Спектр различных опытов и видов экспериментальной деятельности — от простых опытов до работ физического практикума, зависящий от потребностей, способностей учащихся и образовательных задач, поставленных учителем.

5. Множество альтернатив для дальнейшего творчества в разных сферах: от проектно-исследовательской, изобретательской деятельности до создания художественных арт-объектов.

Продемонстрируем практическую реализацию этой системы на примере изучения темы «Электростатика».

1. Занимательные опыты с электрофорной машиной (опыты с султанчиками, проскакивание искры и пр.). Опыт, показывающий инновационный метод нанесения торкрет-бетона на ограждающие конструкции с применением технологии электростатического электричества для снижения отскока материала [ 1 ].

2. Демонстрация притяжения и отталкивания заряженных тел с гильзами из фольги.

3. Демонстрации, направленные на формирование понятий электростатического поля, электростатической индукции, электризации, проводников и диэлектриков, закона сохранения электрического заряда.

4. Создание и использование установки для экспериментального обоснования закона Кулона [ 3 ].

5. Исследование электризации домашней одежды в разных условиях. Создание простейшего электроскопа. Визуализация электрических полей. Изготовление генератора Ван де Граафа своими руками.

Создание и использование учителем подобной системы физического эксперимента по каждой теме позволит оптимальным образом использовать его дидактический потенциал для обучения школьников разного уровня подготовки и потребностей: не только подготовить школьника к выполнению заданий ЕГЭ (что важно для поступающих, к примеру, на инженерные направления профессиональной подготовки), но и сформировать у него правильные представления и понятия об явлениях окружающего мира (что важно для любого человека, независимо от его будущей профессии).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко В.Я., Семенов А.Л., Титова Л.Н., Лобода Д.В. Инновационная технология торкретирования с применением электростатики // Строительное производство. — 2023. — № 2. — С. 111–113.

2. Усольцев А. П. Принципы развития мышления. — Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2023. — 220 с.
3. Майер В. В., Саранин В. А., Варакина Е. И., Федоров А. Б. Учебное исследование электростатического взаимодействия как средство развития экспериментальных умений студентов // Физическое образование в ВУЗах. — 2011. — Т. 17, № 2. — С. 123–135.

Уральский государственный  
педагогический университет

Поступила в редакцию 05.01.25.

А. А. ШАПОВАЛОВ

### **СПЕЦИФИКА ЛАБОРАТОРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

Утверждается, что содержание и методика постановки лабораторного практикума по физике в педагогическом вузе на современном этапе подготовки учителя должна быть пересмотрена. Приведен вариант такого пересмотра.

*Ключевые слова:* лабораторный физический практикум, курс общей физики, методика обучения физике, профессиональная подготовка учителя физики.

Физический лабораторный практикум, как элемент курса общей физики, в педагогических вузах в течение многих десятилетий принципиально не отличался от практикумов в вузах иного профиля, где изучалась физика. Многие работы практикума ставились на относительно сложном оборудовании, на базе которого можно было выполнять не только учебные, но и настоящие исследовательские проекты [1]. В настоящее время ситуация с профессиональной подготовкой учителей физики во многих педагогических вузах принципиально изменилась.

Рассмотрим частный, но далеко не единичный и, возможно, не самый худший пример подготовки учителей физики в Алтайском государственном педагогическом университете.

Физический факультет с набором 100 человек перестал существовать. В последние годы набиралась всего одна группа по специальности «Физика и информатика». В настоящее время набирается только одна группа студентов на специальность «Математика и физика».

Все это идет на фоне катастрофической нехватки в крае учителей физики, кстати, замалчиваемой органами образования.

Но дело даже не в этом. Из программ подготовки учителей физики в последние годы исключены курсы радиотехники и электротехники.

При этом на обозначенные направления подготовки приходят выпускники школ, в массе своей изучавшие физику на, так называемом, базовом (читай, на поверхностном, ознакомительном) уровне. Демонстрационных опытов в школе они почти не видели, лабораторных работ выполняли мало, да и то не так, как хотелось бы.

Резюме по этой части: уровень подготовки студентов, поступивших в педагогический вуз на направление подготовки учителя физики таков, что требуется кардинально менять все устоявшиеся технологии,

в том числе, содержание и методику постановки лабораторного физического практикума по курсу общей физики. В качестве примера остановимся на разделе «Электродинамика».

Если студент не владеет даже элементарными умениями сборки электрических цепей и процедурами измерений, надо эти умения формировать. Напомним, что электро- и радиотехники нет и не будет. Уповать на курс методики обучения физике тоже не стоит. Там свои задачи, да и дефицит времени.

Мы нашли выход в том, что часть часов, отводимых на лабораторный физический практикум в составе общей физики [2], мы отвели на усложненные лабораторные работы школьного уровня, проводимые во фронтальном режиме.

Усложнение произошло за счет сборки источников тока с регулируемым напряжением, расчета во всех работах погрешностей измерений и вычислений, введения цикла исследовательских заданий. Наконец, все фронтальные работы стали выполняться без письменных инструкций, но при активной руководящей и направляющей деятельности преподавателей. Таких работ, разного уровня сложности, разного вида, разной длительности было поставлено 12.

Получив первичные навыки сборки электрических цепей, работы с электроизмерительными приборами, измерения физических величин и исследования зависимостей между ними, студенты переходили в лабораторию для выполнения более сложных работ в режиме классического практикума. Важно, что для расширения кругозора студентов при комплектации работ использовались разные электроизмерительные приборы и источники электропитания.

На третьем этапе практикума студенты осваивали имеющиеся в нашем распоряжении компьютерные программы «Logger Pro» и «Научные развлечения». В первом случае к компьютеру через системы сбора данных подключались датчики напряжения, силы тока, магнитной индукции. Во втором случае использовался двухканальный осциллографический датчик. Параллельно, студентам выдавались цифровые и стрелочные мультиметры. Задача состояла в том, чтобы познакомить студентов как с классическими, так и с относительно современными способами сбора и обработки информации, в частности, научиться применять компьютер в качестве измерительного устройства.

Таким образом, новый вариант практикума по физике, на наш взгляд, стал более отвечать задачам современной школы и несколько скрасил негативные тенденции в профессиональной подготовке учителей физики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лабораторный практикум по физике: учеб. пособие для студентов вузов / Б. Т. Алексеев, К. А. Барсукова, И. А. Войцеховская и др.; под ред. К. А. Барсукова и Ю. И. Уханова. — М.: Высшая школа, 1988. — 351 с.
2. Певин Н. М. Комплексный лабораторный практикум по курсу общей физики: учебное пособие для студентов физ.-мат. факультетов пед. институтов. — Барнаул: Изд-во БПГУ, 1998. — 88 с.

Алтайский государственный педагогический университет

Поступила в редакцию 14.12.24.

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Е. В. АИТОВА

## ИНЖЕНЕРНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ В 7 КЛАССЕ

Предлагается серия методических приемов, направленных на инженерное, прикладное содержание лабораторных работ в 7-м классе. Данные материалы включены в соответствии с образовательной программой по физике. Методические разработки были апробированы на обучающихся средней общеобразовательной школы и показали высокую эффективность в профориентационной работе и работе по формированию экспериментальных умений у обучающихся.

*Ключевые слова:* экспериментальные умения, инженерное мышление, инженерные задания, профориентация.

В соответствии с нормативными документами, принятыми правительством Российской Федерации в 2023 и 2024 гг., образовательная среда, в которую помещен обучающийся, должна быть практико и предметно ориентирована на технологии и производства Российской Федерации [1, 2, 3].

Для усиления профориентационной работы и политехнической подготовки обучающихся на уроках физики в 7-х классах можно использовать инженерные задания в рамках выполнения обучающимися лабораторных работ, включенных в федеральную рабочую программу по физике. Инженерные задания являются особенно ценными в условиях достижения технологического суверенитета нашей страны и тем задачам, которые поставлены перед отраслью образования в нормативных правовых документах.

Целью представленного в докладе исследования является разработка и апробация инженерных заданий для лабораторных работ по физике в 7 классе:

- Лабораторная работа 3. Измерения массы тела.
- Лабораторная работа 8. Исследование зависимости силы трения скольжения от площади соприкосновения тел, прижимающей силы, рода поверхности.
- Лабораторная работа 11. Выяснение условия равновесия рычага.

Инженерные задания включают в себя работу с реальными чертежами физических тел, выполненных из различных веществ (размеры физических тел представлены в разных единицах измерения и масштабах); а также работу с дополненными гидравлическими системами,

представленными в дидактических материалах по физике 7–8 классов Л. И. Скредина [4].

Апробация методических материалов проводилась на обучающихся средних общеобразовательных учреждений города Перми: МАОУ «Школа дизайна «Точка», МАОУ «СОШ № 134», МАОУ «СОШ № 146». Апробация инженерных заданий показала повышенный интерес обучающихся к задачам инженерной направленности.

Таким образом, включение инженерных заданий в основной блок лабораторных работ по физике является целесообразным. Инженерные задания необходимо разрабатывать на основе реальных чертежей, производственных установок и процессов, реализуемых на предприятиях Российской Федерации, и дополнять данными заданиями проводимые лабораторные работы и исследования в образовательной организации по курсу физики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение правительства Российской Федерации от 19 ноября 2024 года № 3333-р «Комплексный план мероприятий по повышению качества математического и естественно-научного образования на период до 2030 года».
2. Распоряжение правительства Российской Федерации от 31 марта 2022 года № 678-р «Концепция развития дополнительного образования детей до 2030 года».
3. Постановление правительства Российской Федерации от 15 апреля 2023 года № 603 «О перечне приоритетных направлений для инженерно-технологического образования».
4. Скредин Л. И. Дидактические материалы по физике: 7–8 кл.: Пособие для учителя. — М.: Просвещение, 1989. — 143 с.

Пермский государственный  
гуманитарно-педагогический  
университет

Поступила в редакцию 30.12.24.

Н. В. АЛЕКСАНДРОВА, Г. В. АНАНЬЕВ, Н. Н. ВЗОРОВ,  
В. А. КУЗЬМИЧЕВА

#### **АКТИВИЗАЦИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ ЧЕРЕЗ ИХ ВОВЛЕЧЕННОСТЬ В РАЗРАБОТКУ ЛАБОРАТОРНЫХ И ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Обсуждается активизация познавательной деятельности студентов через их вовлеченность в разработку лабораторных и демонстрационных экспериментов. Представлен опыт такого взаимодействия.

*Ключевые слова:* познавательная деятельность, лабораторный эксперимент, демонстрационный эксперимент.

Познавательная деятельность — это активная деятельность по приобретению и использованию знаний. Надо отметить эффективность данного процесса именно через самостоятельное изучение предметной

области. В основе познавательной деятельности всегда лежит проблема, поэтому ее цель обусловлена решением возникших затруднений. Решение учебных задач является неотъемлемым компонентом познавательной деятельности. Это способствует развитию критического мышления, аналитических навыков и творческого потенциала обучающихся [ 1 ].

Активизация познавательной деятельности — традиционная задача, решаемая различными методами в процессе обучения. Для студентов инженерных специальностей целесообразно одним из таких методов выбрать их привлечение к экспериментальной работе, так как овладение навыками и умениями лабораторного исследования является необходимым для будущих инженеров.

Группе студентов было решено предложить апробировать работу новых лабораторных установок по механике и разработать методику проведения экспериментов на данных установках. Были представлены установки производства ООО «Вектор»: машина Атвуда, диск Максвелла, установка по определению модуля Юнга.

На первом этапе студентами выявлены особенности эксплуатации новых установок, определены основные параметры исследуемых характеристик. Для этого студентам необходимо было изучить принцип действия и состав установок, возможные измеряемые величины и проверяемые законы. Это способствовало глубокому и всестороннему рассмотрению соответствующих тем механики.

Далее обучающиеся предложили свои методики проведения лабораторных работ на основе имеющихся традиционных вариантов. Стоит отметить внесение студентами принципиально новых заданий в известные лабораторные работы.

Другая группа студентов разрабатывала демонстрационные эксперименты по разным разделам физики. При этом некоторые эксперименты проводились на имеющемся оборудовании, а для некоторых студенты специально самостоятельно изготавливали установки. Для исследования технических возможностей таких установок осуществлялись серии дополнительных экспериментов, также предложенных студентами. Разработанные эксперименты демонстрировались на потоковых лекциях.

В результате вовлеченности в разработку лабораторных и демонстрационных экспериментов у студентов отмечено значительное повышение интереса к изучаемым темам, более глубокое освоение учебного материала, улучшение успеваемости. Результаты работы в данном направлении признаны успешными, планируется продолжение.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Смолин Г. К., Тельманова Е. Д. Активизация познавательной деятельности студентов в процессе моделирования. — Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «РГПУ», 2008. — 110 с.

Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ»;  
Российский университет  
транспорта (МИИТ)

Поступила в редакцию 01.01.25.

Н. Г. АРЗУМАНЯН

**ОБОБЩЕНИЕ ИМЕЮЩЕГОСЯ ОПЫТА  
ПО ФИЗИКЕ В НАСТОЛЬНОЙ ИГРЕ «ОПЕРАЦИЯ РО  
И ДРУГИЕ ПРИКЛЮЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ»**

Описывается опыт организации настольной игры, с целью обобщения имеющихся знаний и опыта по физике у школьников, в том числе до начала изучения физики.

*Ключевые слова:* образовательные игры, обучение физике, серьезные развлечения.

Занимаясь репетиторством, педагог сталкивается с запросами, отражающими потребности учеников и родителей. Так мы узнали, что есть категория родителей и учеников, которые заранее боятся физику и ищут репетитора на лето, чтобы пройти курс физики 7 класса хотя бы частично и в дальнейшем иметь точки опоры в виде заранее пройденного материала.

Одновременно с этим, проанализировав учебники и программы начальной и средней школы по окружающему миру, математике и технологии, мы нашли изученный к 7 классу материал, который может стать точками опоры при изучении физики без необходимости штудировать учебники заранее.

Например, в математике решаются задачи на нахождение площадей [1], изучается связь между скоростью, временем и расстоянием [3], формируются первые представления о физических величинах, единицах их измерения [1–5]. Оттачивается перевод в кратные единицы. На уроках по окружающему миру формируются и развиваются представления о наблюдении и эксперименте, оформлении их результатов, развиваются умения ставить гипотезы и формулировать выводы [6]. На уроках технологии в 5 классе ребята изучают физические свойства материалов, в том числе выполняют лабораторные работы [7].

Когда ученики приходят на уроки физики, они не берут в расчет этот опыт, считая его слишком простым, а физику слишком сложным предметом.

Исходя из этих положений нами сначала был разработан трехдневный интенсив «физика до физики», который проводился в 2021, 2022, 2024 годах, одновременно с этим мы упаковали теорию этого интенсива в коробку с настольной игрой «Операция Ро и другие приключения школьников». Ро — потому что это первая буква греческого алфавита, с которой сталкиваются семиклассники, и которая вызывает первое сопротивление в изучении предмета.

Образовательная цель игры — обобщить имеющийся опыт, расставить акценты и показать обучающимся, как много они уже знают. Игровая цель — отвечая на вопросы и решая задачи, продвигаться по

игровому полю и собирать артефакты. В конце игры необходимо придумать и показать простой опыт с собранными предметами.

Игровое поле выстроено на основе обычной механики «кинь–двинь», где бросая кубик и, продвигаясь по полю, необходимо выполнять задания, попадая на определенные клетки. Кроме дорожки на поле изображены правила игры, физические явления и приборы, на которые нужно смотреть, отвечая на вопросы. Также есть 4 вида карточек: задача, вопрос, артефакт и эксперимент. Ответы на вопросы и задачи написаны на самих карточках, поэтому читают их игроки слева или справа. Содержание вопросов и задач опирается на жизненный опыт учащихся, а также на школьный опыт, полученный на математике, окружающем мире и технологии. Задачи не всегда имеют физическое содержание и часто направлены на умение рассуждать логично. Мы формулировали их так, чтобы простые вычисления можно было делать устно.

Вот несколько примеров вопросов: «найди на игровом поле два звуковых явления», «найди на игровом поле уличный термометр и ответь, какую минимальную температуру можно им измерить», «назови два измерительных прибора, которые используют врачи», «в каких единицах измеряется длина?».

Пример задачи: «От дома Насти до школы 500 метров. Настя прошла полпути, вспомнила, что забыла дома дневник и вернулась за ним. Затем, когда она уже дошла до школы она вспомнила, что забыла пенал и снова вернулась за ним. Сколько метров прошла Настя, пока шла в школу?»

Артефакты мы выбирали такие, что при потере или использовании игроки могли дополнить коробку сами: воздушные шарики, соломинки для коктейля, зубочистки, пластилин и прочее.

Эксперименты предполагают простые опыты: «собрать из своих артефактов любой измерительный прибор», «показать равновесие», «показать колебание» и т. д.

Тестирование прототипа проходило с января 2023 по настоящее время: в рамках Хакатона «педагогическая мафия» (организатор педагогическое конструкторское бюро, 13–15 января 2023, СПб), в частной школе «Нешкола» (апрель 2023, июнь 2023, СПб), воскресной школе при храме св. Димитрия Донского (май 2023, ноябрь 2023, СПб), творческое пространство «Листва» (июль 2023, февраль 2024), Хакатон «педагогическая мафия 4.0» (ноябрь 2024, СПб). В общей сложности в тестировании приняло участие порядка 70 человек (дети от 8 лет и взрослые).

К сожалению, мы не сразу разработали форму обратной связи, поэтому на данный момент имеем только результаты наблюдений. Во всех экспериментальных группах большая часть участников сначала сомневалась в своих силах, но когда начиналась игра и они видели первые вопросы и задачи, то быстро включались в процесс, искали вместе нужные картинки на поле, ждали свои вопросы и получали артефакты.

Когда в процессе игры они понимали, что карточки с артефактами будут обменены на реальные предметы и им предстоит придумать самим реальный эксперимент, они испытывали смешанные чувства, но в итоге все до одного придумывали свои опыты. Дети вообще не ограничивались одним экспериментом, а просили разрешения взять еще карточки, активно обменивались артефактами, добавляли свои предметы, снимали фото и записывали видео.

В результате игроки не только актуализировали свои знания по физике, но и систематизировали их (разные типы явлений, разные методы научного познания и т. д.).

Коробка с такой игрой однозначно повышает интерес к изучению физики в дальнейшем, позволяет выстроить касание с предметом, независимо от того, изучает ли участник физику сейчас, еще не начал, или она осталась где-то в прошлом. Для педагогов — это готовый инструмент для работы на внеурочной деятельности, организации досуга детей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Математика: 2 класс: учебник: в 2 частях / М. И. Моро, М. А. Бантова, Г. В. Бельтюкова [и др.]. — М.: Просвещение, 2023. — 111 с. (Школа России). Ч. 1.
2. Математика: 3-й класс: учебник: в 2 частях / М. И. Моро, М. А. Бантова, Г. В. Бельтюкова [и др.]. — М.: Просвещение, 2023. — 112 с. (Школа России). Ч. 1.
3. Математика: 3-й класс: учебник: в 2 частях / М. И. Моро, М. А. Бантова, Г. В. Бельтюкова [и др.]. — М.: Просвещение, 2023. — 111 с. (Школа России). Ч. 2.
4. Математика: 4-й класс: учебник: в 2 частях / М. И. Моро, М. А. Бантова, Г. В. Бельтюкова [и др.]. — М.: Просвещение, 2023. — 112 с. (Школа России). Ч. 1.
5. Математика: 4-й класс: учебник: в 2 частях / М. И. Моро, М. А. Бантова, Г. В. Бельтюкова [и др.]. — М.: Просвещение, 2023. — 112 с. (Школа России). Ч. 2.
6. Окружающий мир: 3-й класс: учебник: в 2 частях / А. А. Плешаков. — М.: Просвещение, 2023. — 111 с. (Школа России). Ч. 1.
7. Технология: 5 класс: учебное пособие / Е. С. Глоzman, Е. Н. Кудаква, Ю. Л. Хотунцев и др. — М.: Дрофа, 2017. — 320 с.

Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 17.12.24.

В. И. ВАГАНОВА, В. Г. ВАГАНОВА

**МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ  
ПО РАЗДЕЛУ «ТЕРМОДИНАМИКА»**

Предлагается методика обучения решению расчетных и графических задач по разделу «Термодинамика». Методика предназначена для школьных уроков физики и внеурочной деятельности обучающихся при подготовке к Единому государственному экзамену.

*Ключевые слова:* работа при изменении объема газа, первый закон термодинамики, количество теплоты, тепловые двигатели, алгоритм решения графических и расчетных задач.

Многолетний опыт работы с учащимися старших классов показал, что анализ и решение задач по разделу школьного курса физики «Термодинамика» вызывает непонимание для современных выпускников средней школы. Анализ результатов ЕГЭ по рассматриваемой теме также демонстрирует низкие результаты освоения учащимися соответствующих компетенций. На наш взгляд эти проблемы связаны, с одной стороны, с непониманием сути физических явлений и законов, рассматриваемых в термодинамике, с другой стороны — с отсутствием соответствующей методики обучения решению задач по данному разделу.

Методика обучения решению задач по термодинамике в школьном курсе физики состоит из нескольких этапов и достаточно обширна. Остановимся на методике обучения решению графических задач по термодинамике. Данная методика включает в себя несколько этапов: 1) обучение решению расчетных и графических задач на нахождение внутренней энергии газа и изменение внутренней энергии; 2) обучение решению расчетных и графических задач на нахождение работы, совершаемой газом; 3) обучение решению расчетных и графических задач на использование первого закона термодинамики; 4) обучение решению расчетных и графических задач на нахождение КПД тепловых двигателей.

На первом этапе, при обучении решению задач необходимо сделать акцент на том, что изменение внутренней энергии определяется только начальной и конечной температурами газа и не зависит от способа, каким была достигнута конечная температура. Анализируя условие задачи, важно учитывать исходные данные: если известны давления и объемы газа в разных состояниях, то от основной формулы для нахождения изменения внутренней энергии

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T,$$

при помощи уравнения Менделеева–Клапейрона, нужно переходить на формулы с давлением и объемом. К примеру:

$$\Delta U = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

Это очень важное умение, которое в дальнейших задачах на первый закон термодинамики и нахождении КПД тепловых двигателей будет играть ключевую роль.

Второй этап методики обучения решению задач по термодинамике связан с обучением решению расчетных и графических задач на нахождение работы газа. Расчетные задачи, при кажущейся простоте, зачастую вызывают затруднения у учащихся, связаны с неумением перейти от стандартных формул для нахождения работы газа (по сути, в школьном курсе физики мы говорим лишь об одной формуле работы газа при изобарном процессе  $A = p(V_2 - V_1)$ ), к формулам, в которых фигурируют температура и количество вещества.

Графические задачи целесообразно решать в координатных осях ( $p, V$ ). Обращаем внимание на обязательный анализ графика: учимся, что происходило с газом — расширение или сжатие, и находим работу, как площадь фигуры под графиком. Если же мы имеем дело с циклическим процессом (фигура на графике — замкнутая), то работу находим, как площадь замкнутой фигуры. Далее анализируем полученное выражение и находим неизвестные величины через формулы изопроцессов, уравнение Клапейрона или уравнение состояния идеального газа.

Третий этап методики обучения решению задач по термодинамике связан с решением расчетных и графических задач на использование первого закона термодинамики. При анализе расчетной задачи учитываем, о каком изопроцессе идет речь в задаче, и применяем соответствующие формулы. В графических задачах также делаем акцент на использовании при решении координатных осей ( $p, V$ ). Анализируем разные участки графика с целью определения характера процесса: получение или отдача тепла была в этом процессе, и сопоставление с вопросом задачи. Зачастую в этих задачах при довольно сложных внешне графиках, состоящих из нескольких участков, вопрос состоит в нахождении количества теплоты только на одном из них (на участке получения или отдачи). Дальнейшее решение задачи на нахождение количества теплоты связано с применением умений находить изменение внутренней энергии и работы газа, описанных выше.

Четвертый этап предлагаемой методики является наиболее сложным, но и, в то же время, наиболее увлекательным для учащихся, так как включает в себя все предыдущие этапы вместе взятые. Расчетные задачи данной темы достаточно просты и останавливаться на них в этой статье мы не будем.

Графические задачи на нахождение КПД тепловых двигателей можно разделить на два основных типа: задачи, в которых отсутствуют графики изотермического и адиабатного процессов и задачи, в которых эти графики есть.

Для первого типа используем формулу  $\eta = A/Q_1$ . Здесь  $A$  — работа газа за цикл (находим, как площадь замкнутой фигуры в координатных осях ( $p, V$ )). Далее, для нахождения  $Q_1$ , выделяем на графике участки, соответствующие процессам получения тепла, и находим, используя первый закон термодинамики  $Q_1 = \Delta U + A_1$ . Акцентируем внимание учащихся на то, что работа при получении тепла  $A_1$  находится как площадь фигуры под графиком. То есть в данном случае мы находим

работу газа  $A$  за цикл (площадь замкнутой фигуры) и работу  $A_1$  в процессе получения тепла (площадь фигуры под графиком).

Второй тип задач на нахождение КПД тепловых двигателей (задачи, в которых есть график изотермического или адиабатного процессов) решается при помощи формулы  $\eta = 1 - Q_2/Q_1$ . В данном типе задач также выделяем процесс получения тепла и находим  $Q_1$  по формуле  $Q_1 = \Delta U + A_1$ . Аналогично работаем с  $Q_2$ , выделяя процессы отдачи тепла. Упражнение — тренажер для отработки умения определять по графику участки получения и отдачи тепла рекомендуется провести заранее.

Применение данной методики дает хорошие образовательные результаты, подтвержденные экспериментом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В. и др. Задачи по физике для поступающих в вузы. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 344 с.
2. Ваганова В. Г. Задачи по физике и методы их решения. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2016. — 164 с.
3. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего (полного) общего образования [Электронный ресурс]. — URL: <http://минобрнауки.рф/документы/2365> (дата обращения: 11.08.2015).

Восточно-Сибирский  
государственный университет  
технологий и управления

Поступила в редакцию 10.01.25.

В. П. ГУГАЛО, Ю. С. ОСТРОУМОВА, С. Д. ХАНИН

### **УЧЕБНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ КАК СФЕРА АКТУАЛИЗАЦИИ И КОНСТРУКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ**

Показываются возможности реализации образовательного ресурса учебного физического практикума как средства актуализации и конструктивного применения теоретических знаний. Приводится конкретная, представительная в плане решения этой задачи тематика.

*Ключевые слова:* теоретические знания, тематика практикума, изучение фотопроводимости сильно легированных компенсированных полупроводников.

Будучи направленным на овладение обучающимися методологической культурой решения проблемных задач, выполнение учебного практикума в вузе должно иметь в качестве одной из своих целей формирование у будущего специалиста готовности к актуализации и конструктивному применению теоретических знаний. Последние же, хотя

и с необходимостью востребованы в понимании цели и метода эксперимента, анализе его результатов, представляются обучающимся в виде готовой, авторитетной информации. Поскольку собственных усилий по изысканию и применению необходимых для решения задач знаний от обучающихся по существу не требуется, готовность к этому практически не формируется.

Для исправления этой ситуации необходимо интегрировать в содержание практикума задания, выполнение которых требует самостоятельного привлечения (при необходимости, разработки на уровне познавательных возможностей) и применения теоретических знаний. Следуя психологии и педагогике, привлекаемый материал должен обладать достаточной сложностью, чтобы требовать высокий уровень организации умственной деятельности. В настоящей работе в качестве выразительного примера такого материала выступает физика сильно легированных и компенсированных полупроводников, а изучаемого в практикуме явления — их фотопроводимость.

Устанавливаемый в эксперименте экспоненциальный рост фотопроводимости с увеличением температуры является для обучающихся новым фактом, требующим выходящей за рамки имеющейся учебной информации теоретической интерпретации.

Указанием со стороны преподавателя может быть установка на анализ определяющих фотопроводимость параметров полупроводника, спектральной и температурной зависимостей каждого из этих параметров и прогнозирование таких зависимостей для самой фотопроводимости.

Выполнение первого пункта требует привлечения теоретических знаний о фотопроводимости полупроводников, в результате чего очерчивается круг следующих параметров: коэффициент оптического поглощения, подвижность носителей заряда, время жизни неравновесных носителей [1].

Выполнение второго пункта с необходимостью требует знаний об особенностях энергетической диаграммы сильно легированных компенсированных полупроводников, прежде всего о наличии крупномасштабных флуктуаций потенциала [2]. В отношении коэффициента оптического поглощения эта особенность приводит к возможности собственного поглощения при энергии квантов воздействующего излучения, меньшей ширины запрещенной зоны, что в конечном счете объясняет красный сдвиг края собственного поглощения. В отношении подвижности — приводит к выводу об активационном характере ее изменения с температурой, в силу необходимости активации носителей на энергетический уровень протекания в случайном силовом поле [3]. Наконец, в отношении времени жизни неравновесных носителей заряда — на его экспоненциальную с положительным показателем температурную зависимость, в силу пространственной разделенности электронов и дырок.

Выполняя, согласно третьему пункту плана, прогнозирование температурной зависимости фотопроводимости, обучающиеся должны учитывать, что для пространственного совмещения разноименных носите-

лей заряда требуется большая энергия, чем для активации на уровень протекания, так что в конечном счете фотопроводимость сильно легированного компенсированного полупроводника с повышением температуры должна возрастать по экспоненциальному закону. Сравнивая результаты анализа с полученными в практикуме опытными данными обучающиеся обнаруживают хорошее качественное их совпадение.

Как показывает опыт преподавания, обучающиеся часто прогнозируют новое для них, проверяемое на эксперименте явление долговременной релаксации фотопроводимости. Тем самым предметно проявляется эвристическое значение теоретических знаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рывкин С. М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. — М.: Главное Издательство Физико-Математической Литературы, 1963. — 494 с.
2. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. — М.: Наука, 1977. — 672 с.
3. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. — М.: Наука, 1979. — 416 с.

Военно-медицинская  
академия имени С. М. Кирова;  
Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Поступила в редакцию 28.12.24.

М. Д. ДАММЕР, Т. Р. ХАБИБУЛИН

### ПРОВЕРКА И ОЦЕНКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПОСРЕДСТВОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Доклад посвящен решению актуальной проблемы перегрузки педагогов при проверке работ учащихся. В докладе рассматриваются перспективы применения искусственного интеллекта для автоматизированной обработки рукописных работ и оценки результатов.

*Ключевые слова:* нейронные сети, искусственный интеллект (ИИ), обработка рукописного текста, автоматизированная проверка, преподаватели, лабораторные работы, образование, мотивация, эффективность, время.

Доклад посвящен исследованию возможностей применения нейронных сетей для автоматизации процесса проверки лабораторных работ, что является актуальной проблемой в современной педагогике. Проведенное исследование показало, что значительная часть рабочего времени преподавателей уходит на рутинную проверку студенческих работ, что снижает эффективность их педагогической деятельности.

Предлагается инновационный подход, основанный на использовании нейронных сетей, для автоматизации этого процесса. Разработанная концепция позволяет не только распознавать рукописный текст и математические формулы, но и проводить глубокий анализ решений, выявляя типичные ошибки и недочеты. Для оценки потенциала современных нейронных сетей были проведены эксперименты, в ходе которых анализировались их способности к распознаванию различных типов данных, характерных для лабораторных работ.

Результаты исследования демонстрируют, что применение нейронных сетей позволяет существенно повысить эффективность процесса проверки, сокращая время, необходимое преподавателю для оценки работ. Кроме того, автоматизированная система способна обеспечить более объективную и полную оценку знаний студентов, выявляя как сильные, так и слабые стороны их решений. Внедрение такой системы в образовательный процесс позволит освободить время преподавателей для более творческой работы, такой как разработка новых методик обучения и индивидуальная работа со студентами.

Разработана и представлена структура и содержание приложения, нацеленного на облегчения проверки ученических работ с целью повышения качества образования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Умуров О.Ф. Нейронные сети и образование // *Universum: технические науки*. — 2024. — № 3(120). — С. 57–59.
2. Курбанова З.С., Исмаилова Н.П. Нейросети в контексте цифровизации образования и науки // *Мир науки, культуры, образования*. — 2023. — № 3(100). — С. 309–311.

Южно-Уральский государственный  
гуманитарно-педагогический  
университет

Поступила в редакцию 01.01.25.

В. А. ЖУКОВ, Б. А. ЛОГИНОВ, Ю. С. ОСТРОУМОВА, С. Д. ХАНИН

#### **МЕТОДЫ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ КАК ПРЕДМЕТ И СРЕДСТВО УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА**

С дидактических и методологических позиций развивается аргументация в пользу изучения в учебном физическом практикуме методов сканирующей зондовой микроскопии. Показываются возможности интеграции этих методов в практику обучения.

*Ключевые слова:* методы сканирующей зондовой микроскопии, предмет изучения в практикуме, средство выполнения практикума.

Эффективность учебного физического практикума в значительной степени зависит от того, насколько интересна и полезна для обучающихся его тематика. Содержание и организация практикума в этих

аспектах должны систематически анализироваться на предмет выявления и реализации имеющихся возможностей. Практикум должен быть с необходимостью открыт по отношению к передовым достижениям, имеющим принципиальное значение и доказавшим свою эффективность в развитии методов физического эксперимента и технологии. К таким методам в настоящее время несомненно относятся методы сканирующей зондовой микроскопии, которые при современном уровне их аппаратного обеспечения и наличии соответствующего методического обеспечения (например, [ 1, 2 ]) могут выступать, как показывается в настоящей работе, в качестве предмета и средства учебного физического практикума.

Целесообразность обращенности практикума к методам зондовой микроскопии, наряду с очевидным мотивационным потенциалом их содержания, обусловлена информационной и методологической ресурсностью в плане освоения теоретического материала, до настоящего времени не имеющего достаточной поддержки в практикуме. Речь идет о таких важных вопросах, как межмолекулярное взаимодействие, являющееся базовым в атомно-силовой микроскопии, и квантовом эффекте транспорта, лежащем в основе туннельной микроскопии. Важными обстоятельствами являются полнота и системность в выполнении заданий по зондовой микроскопии всех ветвей современной физики — экспериментальной, теоретической и компьютерной (вычислительной) в их конкретном применении к реальным, представляющим научный и практический интерес объектам и процессам; возможности применения предлагаемых к изучению методов не только для анализа, но и для создания материалов и структур с функциональными элементами нанометровых размеров.

Особо отметим уже апробированные в процессе обучения возможности использования рассматриваемых методов в изучении столь интересных для обучающихся и повышающих их самооценку вопросов, как космические технологии [ 3, 4 ].

В плане использования методов сканирующей зондовой микроскопии как средства выполнения учебного физического практикума наиболее значимыми представляются открываемые возможности визуализации атомного строения вещества, установление распределения по площади поверхности изучаемых объектов электродинамических и энергетических параметров, моделирование поведения функциональных материалов и структур в экстремальных, не реализуемых в учебном практикуме условиях [ 1, 5, 6 ].

Имеющийся опыт преподавания и сопровождения исследовательской и проектной (проектно-исследовательской) работы обучающихся с определенностью позволяет рекомендовать его распространение на разных уровнях образования.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Логинов Б. А. Новые возможности в преподавании курсов по зондовой микроскопии и нанотехнологиям // Физическое образование в вузах. — 2017. — Т. 23, № 4. — С. 71–78.

2. Ханин С. Д., Хинич И. И. Освоение физики материалов и приборов электронной техники и проблемы достижения целостности и результативности исследовательского обучения: монография. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. — 108 с.
3. Логинов Б. А., Хрипунов Ю. В., Щербина М. А., Вьюник А. О., Дмитриева В. Л., Дьякова А. А., Лебедева М. К., Макеев В. С., Первых А. Р., Шевченко Д. С., Ханин С. Д. Исследование способа термоэмиссионного распыления для создания тонкопленочных покрытий из металлов для работы сканирующего туннельного микроскопа в открытом космосе // Наноиндустрия. — 2024. — Т. 17. — № 1. — С. 8–17.
4. Логинов Б. А., Хрипунов Ю. В., Щербина М. А., Вьюник А. О., Дмитриева В. Л., Дьякова А. А., Лебедева М. К., Макеев В. С., Первых А. Р., Шевченко Д. С., Ханин С. Д. Наблюдение изменения морфологии пленок высокотемпературных металлов в сканирующем зондовом микроскопе при прогреве в условиях открытого космоса // Наноиндустрия. — 2024. — Т. 17, № 2. — С. 90–97.
5. Логинов Б. А. Постановка задач радиационного материаловедения для автоматизированных экспериментов на первом в мире спутниковом зондовом микроскопе // Сборник докладов 14-го Международного Уральского Семинара «Радиационная физика металлов и сплавов». — Кыштым, 2023. — С. 211.
6. Логинов Б. А. Четыре уровня проектной деятельности на примере курса по сканирующей зондовой микроскопии // Физическое образование в вузах. — 2019. — Т. 25, № 3. — С. 50–56.

Военно-медицинская  
академия имени С. М. Кирова;  
Национальный исследовательский  
университет «МИЭТ»;  
Санкт-Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Поступила в редакцию 28.12.24.

В. А. ЖУКОВ, Ю. С. ОСТРОУМОВА, С. Д. ХАНИН

### **К ФОРМИРОВАНИЮ СРЕДСТВАМИ ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ**

Предлагаются методические приемы, направленные на формирование средствами учебного физического практикума познавательной самостоятельности обучающихся в части выбора метода экспериментального решения задач и их постановки.

*Ключевые слова:* познавательная самостоятельность, потенциал учебного физического практикума, методические приемы и их реализация, примеры осуществления.

Формирование у обучающихся познавательной самостоятельности было и остается одной из важнейших задач фундаментального образования. Существенная роль в ее решении принадлежит учебному физическому практикуму как обладающему в этом отношении

значимым потенциалом. Диктуемая запросами интенсивного научно-технологического развития необходимость повышения познавательной самостоятельности заставляет обратиться к вопросам о том, насколько полно реализуется образовательный потенциал практикума в обучении, какие здесь существуют резервы и что нужно привнести в методику обучения для их использования.

Характеризуя существующее в рассматриваемом аспекте состояние дел, следует признать, что познавательная самостоятельность при выполнении учебного практикума востребована и, соответственно, формируется, как правило, только лишь в части проведения эксперимента и обработки его результатов, алгоритмизируемых методическими указаниями. При всей значимости роли приобретаемого здесь опыта работы с физическими приборами, познавательная самостоятельность обучающихся в экспериментальном решении задач находится, следуя приведенному в [1] ее ранжированию по уровням, на низшем — исполнительском уровне.

В настоящей работе на основе проведенных исследований и опыта преподавания физики в вузах различной направленности формулируются некоторые методические приемы формирования познавательной самостоятельности на уровнях выбора метода решения задачи и самой ее постановки.

В отличие от традиционного изложения метода (методики) эксперимента в готовом виде, предлагается самостоятельное его обоснование обучающимися на основе аналитического решения соответствующих физических задач. В интересах персонализации обучения, с учетом имеющегося в учебной лаборатории инструментария, могут формулироваться циклы поддерживающих различные варианты решения задач.

В качестве примера реализации этого приема приведем определение в практикуме момента инерции твердых тел [2]. К обоснованию различных вариантов методики может привести решение следующих задач: к варианту с использованием маятника Обербека — задача о приводящем крестовину маятника во вращение движении груза заданной массы при известных (измеримых) расстоянии и времени; к варианту с использованием вращающегося маховика — задача о движении приводящем во вращение диск соединенного с ним груза; к варианту с применением наклонной плоскости — задача о движении тела сначала вниз, а затем вверх по другой наклонной плоскости при известных углах наклона плоскостей и проходимых по ним расстояниях.

В части постановки задачи эксперимента, учитывая его сложность, к ней приходится учащегося подвести, опираясь на приобретенные им знания. На этапе обучения общей физике в выборе проблематики следует исходить из возможности осуществления макроскопического подхода к изучению физических явлений с присущей ему наглядностью.

Так, базируясь на знаниях об эффекте протекания в статичных случайно и сильно неоднородных средах, может быть поставлен вопрос о динамическом эффекте, возникающем под воздействием различных факторов. В результате обучающийся приходит к постановке задачи

об изучении структур с сильным различием температурных коэффициентов расширения компонентов и прогнозирует позисторный эффект в таких структурах. Вслед за экспериментальным подтверждением этого эффекта, осуществляемого, например, на металл–полимерных композитах, ставятся новые, значимые для практики вопросы о возможности создания чувствительных элементов датчиков температуры и влажности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оспенникова Е. В. Развитие самостоятельности учащихся при изучении школьного курса физики в условиях обновления информационной культуры общества. — Автореф. дисс... докт. пед. наук. — Челябинск, 2003. — 46 с.
2. Костарев С. В., Жуков В. А., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Проблемно-деятельностный подход к организации учебного процесса в военном вузе как средство формирования у курсантов методологической культуры // Развитие военной педагогики в XXI веке: Материалы V межвузовской научно-практической конференции. — СПб.: ВАС, 2018. — С. 39–46.

Военно–медицинская академия имени С. М. Кирова;  
Санкт–Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч–Бруевича

Поступила в редакцию 28.12.24.

Т. В. ЗАХАРОВА

#### КАК ЗАПИСЫВАТЬ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Приведена нормативная база по методам и методикам обработки измерений. Показано, как выполняется округление результатов и погрешности серии опытов с учетом значащих цифр.

*Ключевые слова:* физика, лабораторный практикум, погрешность измерений, доверительный интервал, округление экспериментальных данных.

Обработка экспериментальных данных, включающая расчет погрешностей, является важной частью лабораторного практикума. И тут возникают проблемы: как правильно рассчитать, округлить и записать полученные результаты. Во многих лабораторных практикумах по физике и пособиях по элементарной обработке опытных данных приводятся рекомендации по математической обработке измеряемых физических величин, процедуры вычисления погрешностей (прямые измерения и косвенные, систематических и случайных, абсолютных, относительных, промахов), но имеются некоторые особенности. Появляются вопросы: действительно ли полученное опытное значение является

истинным? и как правильно записать результат? Актуальность возникающих нюансов при измерениях и интерпретациях опытных данных подтверждается наличием ряда нормативных документов по измерениям, применяемыми в промышленности: Федеральный закон N 102-ФЗ от 26.06.2008 г. «Об обеспечении единства измерений», ГОСТ 8.8736–2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов наблюдений», ГОСТ Р 8,563–2009 «Методики и методы измерений», ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6 — 2002. «Использование значений точности на практике». Правила, содержащиеся в нормативной базе, устанавливают характеристики качества измерений, регламентированные подходы для различных частных случаев к требуемой точности их оценки.

При выполнении лабораторного практикума студентами расчет погрешности измерений является его обязательной частью.

Окончательный результат эксперимента, в рамках которого проводят серию измерений, записывается в виде:  $x = \bar{x} \pm \Delta x$ , где  $\Delta x$  — абсолютная погрешность,  $\bar{x}$  — среднее арифметическое (наилучшая аппроксимация истинного значения за исключением метода Корнфельда).

При обработке серии измерений учитываются систематические (приборные  $\Delta x_{\text{пр}}$  и случайные  $\Delta x_{\text{с}}$ ) погрешности согласно формуле:

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{пр}}^2 + \Delta x_{\text{с}}^2}.$$

В случае косвенных измерений для определения  $\Delta x$  рассчитывают сначала относительную погрешность, на которую влияют погрешности определения характеристик, входящих в расчетные формулы.

Округление результата измерений начинают с погрешности. Удержание большого числа десятичных знаков при расчетах не только доставляет лишнюю работу, но и вводит в заблуждение, что полученный результат точнее, чем он есть на самом деле. При обработке результатов опытов следует учитывать, что точность суммы не может быть больше, чем точность любого из слагаемых. При округлении среднего опытного значения оставляют цифры только в тех сомнительных разрядах, которые оставлены у погрешности. Последняя значащая цифра в любом приводимом результате обычно должна быть того же порядка, что и погрешность.

Правила округления погрешности учитывают значащие цифры, которыми по определению являются все цифры от первой слева, не равной нулю, до последней записанной цифры справа. При этом нули, следующие из множителя  $10^n$  не учитываются. Например, в  $0,0123$ ,  $0,000320$  значащие цифры подчеркнуты. В числе  $508000$ , полученном округлением  $507893$ , три нуля — незначащие. В физических измерениях используются только верные значащие цифры. Это значит, погрешность числа не превышает единицы последнего (младшего) разряда среди значащих цифр. К примеру, если результат в мм выразить в мкм:  $15 \text{ мм} = 15000 \text{ мкм}$  (погрешность  $\sim 1000 \text{ мкм}$ ). Запись  $0,743(2)$  означает, что данный результат получен с погрешностью  $0,002$ ,  $0,743(2)$ .

Количество значащих цифр регламентируется для различных случаев, например, при измерении массы драгметаллов, чем больше значащих цифр, тем лучше, так как позволяет точнее определить стоимость материала.

На практике оказывается важной оценка количества верных значащих цифр в результате действий, проведенных с исходными данными, каждое из которых имеет заданное число верных значащих цифр.

Какая окончательная запись погрешности считается корректной? В учебных физических лабораториях с учетом реальных условий экспериментов рекомендуется использовать одну значащую цифру. Но, если первая цифра погрешности единица, то в погрешности оставляют две цифры, а в самом числе сохраняют лишний разряд [ 1 ].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фаддеев М. А. Элементарная обработка результатов эксперимента. — Нижний Новгород: ННГУ, 2010. — 122 с.

Российский университет  
транспорта (МИИТ)

Поступила в редакцию 31.12.24.

Ш. Г. ЗИЯТДИНОВ

### **К 80–ЛЕТИЮ СО ДНЯ ХИРОСИМСКОЙ ТРАГЕДИИ И 75–ЛЕТИЮ СНЯТИЯ ЯДЕРНОЙ МОНОПОЛИИ США**

В работе описываются основные этапы работы ученых по созданию атомной бомбы, приведшей к Хиросимской трагедии, и деятельности советских ученых над снятием монополии США над ядерным оружием.

*Ключевые слова:* 80 лет со дня Хиросимской трагедии, конец ядерной монополии США.

Первым ключевым событием в появлении Манхэттенского проекта, урановых программ у ряда государств стало открытие немцами О. Ганом и Ф. Штрассманом распада урана в результате бомбардировки нейтронами на осколки, среди которых был обнаружен барий [ 1–6 ]. Никто из физиков этого не ожидал, полагая, что распад должен приводить к элементам, близким к урану. Вторым событием стало обнаружение испускания нейтронов при ядерном взрыве урана в опытах Ф. Жолио–Кюри. Результаты Ганна и Штрассмана, их интерпретация О. Фришем и Л. Мейтнер вместе с опытами Жолио–Кюри, представленные Н. Бором, стали главными темами знаменитой Вашингтонской конференции 1939 года, организованной Дж. Гамовым [ 2 ]. Именно в

этот момент ученые пришли к пониманию принципиальной возможности атомной бомбы. Как вспоминает один из учеников Оппенгеймера: «Когда был открыт распад, приблизительно через неделю на доске в кабинете Оппенгеймера появился чертеж — очень плохой, просто ужасный чертеж бомбы» [7].

Конкретно в Манхэттенском проекте участвовали около 129 тысяч человек (!), а его стоимость составила около 2 миллиардов долларов США (около 23 миллиардов долларов по ценам 2019 года). В проекте непосредственное участие приняли 12 лауреатов Нобелевской премии, многие ученые с мировым именем:

Л. Мейтнер, Э. Ферми, Л. Сцилард, Э. Резерфорд, Н. Бор, Дж. Чедвик, Г. (Дж.) Гамов, Э. Теллер, Р. Оппенгеймер, А. Эйнштейн, Р. Пайэрлс, Э. Лоуренс и многие другие [7].

В скором времени через знаменитое письмо Эйнштейна (составленное Сцилардом) президенту США Ф. Рузвельту было доложено о возможности создания атомной бомбы; в результате был организован Урановый Комитет. Однако идея атомной бомбы у руководства страны не вызвала особого интереса, и Урановый комитет еще долгое время оставался скорее формальным — мировая война была европейской, а возможность создания урановой бомбы была отдаленной.

Вместе с тем ученые в рамках «Уранового комитета» продолжали исследования. Вступление США во Вторую мировую войну в декабре 1941 года после нападения Японии на Перл-Харбор, провал немецкого блицкрига в СССР ускорили исследования по атомному проекту, которые к середине 1942 года привели к формированию программы под кодовым названием «Манхэттенский проект». В скором времени была оценена величина критической массы урана-235 (в пределах 2–100 кг), и стало понятно, что можно изготовить атомную бомбу, которую можно сбросить с самолета.

К лету 1945 года усилиями ученых, вовлеченных в проект специалистов, были созданы три атомные бомбы: плутониевая «Троица» (для первого экспериментального испытания 16 июля 1945 года), урановая «Малыш» (сброшена на Хиросиму 6 августа 1945 года) и плутониевая «Толстяк» (сброшена на Нагасаки 9 августа 1945 года).

Урановая бомба «Малыш» была сконструирована по «пушечному снарядному типу» с соединением кусков урана до сверхкритической массы. Данная схема еще использовалась в ядерных бомбах первого поколения. Для «Толстяка» «пушечный тип» оказался невозможным и было решено использовать «имплозивную схему», которая предполагает быстрое сжатие расположенного в центре сферического корпуса плутониевого-239 боезаряда сфокусированной ударной волной от взры-



Рис. 1. Атомная бомба «Малыш»

ва химической взрывчатки, увеличивая его плотность и превращая в критическую массу [3, 7].

К концу 1942 года Советское правительство располагало достоверной информацией о секретных работах ученых Германии и США по созданию сверхмощного оружия [4–6]. 11 февраля 1943 года И. В. Курчатов назначается научным руководителем советской урановой программы. Куратором программы стал Л. Берия, что говорит о многом [1, 4]. Развитие советской программы создания атомной бомбы началось с «импловзивной схемы». Этому способствовал доступ к информации о разработках американских специалистов, и наши ученые отказались от «пушечной схемы» и сразу перешли к разработке бомбы «импловзивного типа».

К началу 1945 года промышленность СССР начала выпускать графит требуемой чистоты и получать в необходимом количестве металлический уран. 25 декабря 1946 года впервые в СССР была осуществлена управляемая цепная реакция деления в уран–графитовом реакторе. 10 июня 1948 года был запущен ядерный котел для выработки Pu–239. Следует заметить, что, как писали сами американцы, на получение чистого графита США потребовалось более 2 лет, а СССР эту задачу решили за 6 месяцев. На сооружение ядерного котла для получения плутония в СССР потрачено времени на 1 год меньше, чем в США.

Руководитель «Манхэттенского проекта» Л. Гровс в 1945 году заявил конгрессу США, что СССР для получения атомного оружия потребуется лет 15–20, а Э. Ферми и Р. Опенгеймер давали 10 лет. Однако 75 лет назад, 29 августа 1949 года в 7.00 на Семипалатинском полигоне в Семипалатинской области Казахской ССР было произведено успешное испытание первой советской атомной бомбы «импловзивного типа» под официальным секретным названием РДС–1. СССР стал второй державой — обладателем ядерного оружия. Естественно, факт испытания был засекречен, однако оно было зафиксировано американцами. И «в связи с заявлением президента США Трумэна» 25 сентября 1949 года



Рис. 2. Атомная бомба «Толстяк»

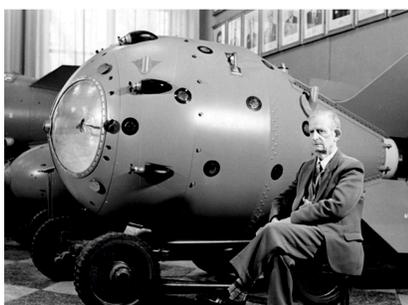


Рис. 3. Создатель атомной бомбы Юрий Харитон в музее РФЯЦ–ВНИИЭ у корпуса бомбы РДС–1

ТАСС опубликовало сообщение о проведении в СССР ядерного взрыва. Таким образом, монополия США над атомной бомбой сохранялась недолго. Обозначение бомбы РДС-1 расшифровывалось по-разному: «Россия делает сама», «Россия дарит Сталину», «Реактивный двигатель Сталина» и др. Но в официальных документах Совета Министров СССР РДС имела формулировку — «Реактивный двигатель специальный».

Название бомбы	Оригинальное название	Масса, кг	Длина, мм	Диаметр, мм	Мощность взрыва, килотонны TNT	Наполнение
Троица	Trinity					Pu-239
Малыш	Little Boy	4400	3000	700	13–18	U-235
Толстяк	Fat Boy	4670	3250	1250	21	Pu-239
РДС-1		4600	3700	1500	22	Pu-239

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зиятдинов Ш. Г. Случайное открытие с продолжением (к 80-летию начала гонки за атомной бомбой и 70-летию создания ядерного щита страны) // Физика в школе. — 2019. — № 6. — С. 3–11.
2. Зиятдинов Ш. Г. Великий «невозвращенец» Георгий (Джордж) Гамов // Физика в школе. — 2023. — № 5. — С. 8–15.
3. Зиятдинов Ш. Г. К истории создания атомной бомбы (О книге Р. Роудса «Создание атомной бомбы») // Физика в школе. — 2024. — № 4. — С. 46–54.
4. Овчинников В. В. Горячий пепел. — М.: Правда, 1987. — 496 с.
5. Пестов С. В. Бомба. Тайны и страсти атомной преисподней. — СПб.: Издательство фирмы «Шанс», 1995. — 432 с.
6. Рихард фон Ширах. Ночь физиков. Гейзенберг, Ган, Вайцзеккер и немецкая бомба. — М.: Издательство «Логос», 2014. — 224 с.
7. Роудс Р. Создание атомной бомбы [пер. с англ. Д. А. Прокофьева]. — М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2020. — 1056 с.

Уфимский университет  
науки и технологий

Поступила в редакцию 22.12.24.

С. М. КОКИН, С. Г. СТОЮХИН

### **О ПОСТАНОВКЕ ЛЕКЦИОННЫХ ДЕМОНСТРАЦИЙ ПО ФИЗИКЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВСТРЕЧ СО ШКОЛЬНИКАМИ**

Набор опытов, которые демонстрируются школьникам на встречах типа «Университетские субботы», «Ночи музеев» и т. д., должен содержать не только эффектные эксперименты, но и обладать мобильностью с тем, чтобы их можно было показывать не только в аудиториях кафедры «Физика». Для этого на кафедре преподавателями-энтузиастами сформирован набор соответствующих демонстраций и подготовлены рекомендации к его использованию.

*Ключевые слова:* мобильные лекционные демонстрации, опыты по физике для школьников, физические эффекты, работа с будущими абитуриентами.

Одной из форм работы кафедры со школьниками, планируемыми поступать в РУТ (МИИТ), является проведение мероприятий типа «Университетские субботы» [1], «Ночь музеев» [2], расширенных заседаний физического кружка для учащихся Москвы и ближнего Подмосковья [3]. В рамках подобных встреч рассказ об университете сопровождается показом серии демонстраций физических явлений, опытов, в проведении части из которых могут принимать участие все желающие (и не только сами школьники, но и их младшие сестры, братья, а также родители, бабушки, дедушки, кое-кто из которых, порой, оказываются выпускниками МИИТа прошлых десятилетий).

Понятно, что для успешного проведения таких мероприятий требуется подготовить не простой набор демонстраций, а такой, чтобы сами опыты были эффектными, запоминающимися, вызывающими желание не только еще раз прийти в университет, но и привести с собой товарищей (или детей, внуков). Способствовать восприятию информации могут специально подобранные видеофильмы, демонстрируемые (без звука) в режиме он-лайн на размещаемых в аудитории дисплеях, а хорошему настроению слушателей — недорогие сувениры на память (например, воздушные шарики, наполненные гелием, который используется для проведения опытов).

Существенной особенностью таких мероприятий, однако, является то, что они проводятся не только на территории кафедры «Физика», но порой и в других местах, причем не всегда достаточно приспособленных для этого, что создает заметные трудности в проведении опытов. Требуется перемещение (иногда — перевозка) оборудования с кафедры, его подключение и настройка на новом месте и т. д. Трудности, однако, можно свести к минимуму, если для подобных целей подобрать отдельный набор демонстраций, которые, с одной стороны, могли бы

характеризоваться мобильностью и не являлись бы сложными в проведении, а, с другой, — были бы достаточно эффектны. К числу подобных демонстраций мы отнесли: гироскопы, «Кельтский камень», колесо Франклина, электродинамическое подвешивание, адиабатное расширение, голограммы, фотоэффект, люминесценция, падение магнита к металлической трубке, лазер, опыты с сухим льдом, жидким азотом, газообразным гелием, имитация «вечных двигателей» и др. Многие в проведении таких встреч зависят от опыта ведущего, его умения «держать аудиторию», оперативно (порой — с юмором) отвечать на задаваемые вопросы, вовлекать слушателей в процесс проведения экспериментов.

Подбором возможных опытов, подготовкой соответствующих перечней, рекомендаций (в том числе советов преемникам — молодым преподавателям по поводу того, где можно заранее приобрести расходные материалы: жидкий азот, сухой лед, гелий, элегаз) и собственно проведением описанных встреч с молодежью занимается постоянная группа преподавателей. Идет постоянный поиск новых демонстраций требуемого характера, чему помогает большой массив видеороликов, выкладываемых в интернете энтузиастами, а также ряд научно-познавательных передач, демонстрируемых по телевидению.

В заключение можно сказать: наличие некоего «тревожного чемоданчика» в виде набора мобильных, компактных и надежных в работе лекционных демонстраций в руках создававших этот набор и разработавших сценарии его применения преподавателей позволяет успешно решать задачу формирования положительного образа университета в умах будущих абитуриентов и их родителей. Об этом, в частности, говорит то, что на такие встречи некоторые слушатели приходят не один раз и приводят на них своих друзей.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Никитенко В. А., Прунцев А. П., Антипенко В. С., Кокин С. М. Университетские субботы и физические семинары для школьников в Московском государственном университете путей сообщения // В сб. материалов XIII Междунар. научно-методич. конф. «Физическое образование: проблемы и перспективы развития». Часть 1. — М.: МГПУ, 2014. — С. 150–152.
2. Пауткина А. В., Андреев А. И., Кокин С. М. Участие кафедры «Физика» в мероприятии «Ночь в музее» в техническом университете // В сб. трудов двенадцатой Всероссийской конференции «Необратимые процессы в природе и технике». Ч. 2. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. — С. 306–308.
3. Антипенко В. С., Кокин С. М., Никитенко В. А., Пауткина А. В., Прунцев А. П., Селезнев В. А. «Физический фейерверк» для школьников // В сб. трудов XIV междунар. учебно-методич. конф. «Современный физический практикум» Москва 27–29 сентября 2016. — М.: Издательский дом МФО, 2016. — С. 268–271.

Российский университет  
транспорта (МИИТ)

Поступила в редакцию 29.12.24.

А. С. КУИМОВ

## **РОЛЬ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И САМОДЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В РАЗВИТИИ ПРОДУКТИВНОГО МЫШЛЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГРАМОТНОСТИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ**

Представлены задания и проекты, включающие создание самодельных устройств, направленные на развитие продуктивного мышления и повышения уровня технической грамотности у школьников на уроках физики. Материалы полезны учителям и студентам педагогических вузов.

*Ключевые слова:* образование, техническое мышление, продуктивное мышление, методика обучения физике, формирование инженерных кадров, инженерное дело в образовании, физический эксперимент, самодельные устройства.

Формирование технической грамотности играет ключевую роль в развитии современного общества, особенно в условиях стремительного технологического прогресса и инноваций. Владение техническими навыками становится все более востребованным, обеспечивая адаптацию к новым вызовам и успешное участие в профессиональной и социальной жизни.

Техническая грамотность представляет собой совокупность знаний и навыков, необходимых для осмысленного взаимодействия с техникой. Она включает понимание законов физики, умение решать технические задачи, создавать чертежи, проводить эксперименты и анализировать их результаты.

Ключевые характеристики базируются на поиске новых решений и перестройке восприятия задачи, что соответствует концепции М. Вертгеймера — продуктивное мышление. Ее компоненты включают целостное понимание проблемы, инсайт, гибкость и творческий подход. Для решения сложных инженерных задач необходимы творческий подход и нестандартные методы. Техническая грамотность служит основой для понимания проблемы, в то время как продуктивное мышление помогает находить инновационные решения.

Физика, как дисциплина, имеет широкие межпредметные связи с химией, биологией, информатикой. Практические и проектные занятия играют важную роль в развитии технической грамотности, способствуя более глубокому пониманию теоретических и прикладных аспектов науки.

Наиболее успешными методами развития технической грамотности является проектная деятельность, направленная на разработку устройств и приборов, моделирование физических явлений и проведение физических экспериментов. Важную роль в этом играют современные технологии и интерактивные методы обучения, способствующие более глубокому пониманию и освоению материала.

В качестве примера проектов можно предложить создание жидкостного реостата и гидравлического пресса. В первом случае в качестве проводника используется жидкость. Устройство оснащено механизмом, позволяющим регулировать силу тока. Создание подобного прибора не требует больших финансовых затрат и может быть реализовано в домашних условиях. Для разработки устройства учащимся необходимо разбираться в назначении физического оборудования, его устройстве и принципе работы, обладать знаниями из смежных учебных предметов, проявить свой творческий потенциал, попробовать себя в инженерном деле.

Подобные проекты можно включить в различные разделы обучения физике в школе. При изучении закона Паскаля учащимся может быть предложена работа по созданию гидравлического пресса. В качестве исследования при помощи изготовленного устройства учащиеся могут провести измерения силы и площади поршня, чтобы подтвердить закон Паскаля.

Подобным самодельным устройством может служить гидравлический подъемник. Выполнив все шаги по его созданию, учащиеся смогут познакомиться с работой гидравлических машин, углубив свои познания в принципе работы техники.

Моделирование физических явлений как форма деятельности учащихся может иметь схожий дидактический потенциал с проектной деятельностью. Моделирование является важным инструментом, поскольку позволяет учащимся визуализировать и экспериментировать с физическими процессами. Огромное разнообразие датчиков позволяет обработать полученные данные с помощью компьютера, увидеть на практике принцип их работы, провести более точные и сложные эксперименты. В качестве подобного эксперимента можно предложить исследование движения тела под действием силы тяжести с применением маятника, штатива и цифровой лаборатории *RELAB*. Такой эксперимент позволит исследовать динамику маятника, а также актуализировать знания о колебательных процессах. Использование робототехники и информатики поможет в автоматизации процесса сбора и обработки данных.

Однако, проведение уроков, направленных на формирование технической грамотности, не является простой задачей и требует от учителей осмысленного пересмотра содержания и методов преподавания. В качестве рекомендаций можно предложить следующее: формулировать задачи, связанные с реальными ситуациями; привлекать к проектной деятельности с элементами творчества; включать междисциплинарные подходы через сотрудничество с другими предметами; развивать креативное мышление через задания с множеством решений; анализировать результаты работ, акцентируя внимание на ошибках и выводах.

Стимулирование творческой активности учащихся через продуктивное мышление способствует подготовке их к жизни в условиях быстрого технологического прогресса. Это также повышает конкурентоспособность школьников на рынке труда, развивая навыки, необходимые для успешной профессиональной деятельности в будущем.

Развитие продуктивного мышления и технической грамотности в процессе обучения физике способствует повышению уровня сформиро-

ванности компетенций, необходимых для решения реальных задач и разработки инновационных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаева Н. Основы развития продуктивного мышления учащихся // Образование через всю жизнь: непрерывное образование в интересах устойчивого развития. — 2014. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovy-razvitiya-produktivnogo-myshleniya-uchaschihsya> (дата обращения: 14.10.2024).
2. Вертгеймер М. Продуктивное мышление. — М.: Педагогика, 1987. — 137 с.
3. Есенжанова А. А. Педагогические условия развития продуктивного мышления подростка средствами проектной деятельности // Личность, семья и общество: вопросы педагогики и психологии. — 2014. — № 39-1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pedagogicheskie-usloviya-razvitiya-produktivnogo-myshleniya-podrostka-sredstvami-proektnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 14.10.2024).
4. Зуев П. В., Кошеева Е. С. Развитие инженерного мышления учащихся в процессе обучения // Педагогическое образование в России. — 2016. — № 6. — С. 44–49.
5. Лебедева Л. Н. Межпредметные связи на уроках физики // Развитие естественнонаучного образования в образовательном учреждении: опыт работы, перспективы: материалы обл. науч.-практ. Конф., 23 апр. / Гос. бюджет. образоват. учреждение доп. проф. обр-я Свердл. обл. «Ин-т развития образования». — Екатеринбург: ИРО, 2010. — 226 с.
6. Майер В. В., Вараксина Е. И. Образовательные ресурсы проектной деятельности школьников по физике: монография. — М.: ФЛИНТА, 2016. — 228 с.
7. Зжегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка. — М.: Азбуковник, 2000. — 940 с.
8. Разумовский В. Г., Майер В. В., Вараксина Е. И. ФГОС и изучение физики в школе: о научной грамотности и развитии познавательной и творческой активности школьников: Монография. — М.; СПб.: Нестор-История, 2014. — 208 с.
9. Разумовский В. Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике: пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1975. — 272 с.
10. Фаритов А. Т. Формирование инженерной компетенции учащихся общеобразовательных учреждений как педагогическая проблема // Современное образование. — 2019. — № 4.
11. Шабров П. Н. О проблеме общей технической грамотности молодого пополнения Российской армии // Армия и общество. — 2010. — № 4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-probleme-obschey-tehnicheskoy-gramotnosti-molodogo-popolneniya-rossiyskoj-armii> (дата обращения: 24.10.2024).
12. Энгельмейер П. К. Теория творчества / с предисл. проф. Петербургского ун-та, акад. Д. Н. Овсяннико-Куликовского и Эрнста Маха. — СПб.: Образование, 1910.

Уральский государственный  
педагогический университет

Поступила в редакцию 10.01.25.

Н. И. ЛАПИН

### **ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА**

Физика — один из предметов, который сочетает в себе теорию, практику, эксперимент. Данная особенность позволяет включать слабослышащих и глухих детей в процесс познания мира, с точки зрения эксперимента.

*Ключевые слова:* физика, глухие школьники, эксперимент.

Дети с нарушениями слуха — одна из самых малочисленных групп среди детей с ОВЗ. Между тем, обучающиеся с нарушением слуха представляют собой разнородную группу, различающуюся по степени и времени снижения слуха, по уровню общего и речевого развития и т. д.

Одной из главных проблем сурдопедагогики на протяжении всей ее истории и на современном этапе является развитие словесной (в устной и письменной формах) речи обучающихся с нарушенным слухом.

Учебный предмет «Физика» обладает потенциалом для личностного и когнитивного развития обучающихся, коррекционно–развивающей и воспитательной направленностью, является основой для успешного изучения других учебных предметов.

Качественное освоение этого предмета в дальнейшем позволит обучающимся с нарушенным слухом продолжить обучение на уровне среднего профессионального или высшего образования по инженерным, техническим и другим перспективным специальностям.

Одна из особенностей преподавания физики — это физический эксперимент. Он позволяет заинтересовать учащихся в предмете, а также наиболее наглядно объяснить явление, поскольку специфика глухих детей предполагает обучение на уровне зрительного восприятия.

Особенность же самого эксперимента в таких учреждениях предполагает его упрощенный вид. Школьный физический эксперимент должен быть прост и понятен, поскольку даже элементарные вещи, как равномерность движения, воспринимаются детьми с нарушениями слуха очень плохо.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Книга для учителя школы слабослышащих: Обучение рус. яз., чтению, произношению. Под ред. К. Коровина. — М.: Просвещение, 1995.

Нижегородский государственный  
педагогический университет  
им. К. Минина  
(Мининский университет)

Поступила в редакцию 31.12.24.

А. А. МАЛЯТИНА, И. В. ГРЕБЕНЕВ

### **ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Обсуждается необходимость виртуальных демонстрационных экспериментов в школьном курсе физики. Традиционные демонстрационные эксперименты по физике не всегда способствуют глубокому пониманию, так как не включают активное участие учащихся. Виртуальные эксперименты позволяют многократно повторять исследования, что способствует лучшему усвоению материала и развитию аналитических навыков.

*Ключевые слова:* виртуальные демонстрационные эксперименты, применение знаний.

Современная педагогическая практика показывает, что демонстрационные эксперименты по физике зачастую не способствуют глубокому усвоению и пониманию физических законов и явлений у школьников. Это подтверждается исследованиями, которые указывают на недостатки в интерпретации и изложении результатов эксперимента. Важным элементом итогов экспериментальной работы для учащихся является способность четко и кратко излагать полученные результаты, что, в свою очередь, требует умения обобщать информацию, формировать правильные выводы, которые имеют применимость за пределами увиденного. Однако, как показывает мировой опыт, даже на высоких уровнях образования учащиеся сталкиваются с трудностями в формулировке адекватных и содержательных выводов [1]. Часто они ограничиваются поверхностным повторением результатов или делают недостаточно информативные заключения, что свидетельствует о малой глубине понимания изучаемых явлений.

Н. А. Менчинская писала о двух взаимосвязанных процессах — усвоении и применении знаний. Она отмечала, что о подлинном усвоении знаний обычно судят на основе того, умеет ли учащийся применять их при решении различных задач [2].

Согласно современным дидактическим воззрениям, «под содержанием образования понимается опыт деятельности учащихся» [3], значит, содержание, которое учитель закладывает для усвоения в ходе наблюдения за экспериментом, должно быть направлено не только на демонстрацию явлений, но и на активное вовлечение учеников в процесс познания. По мнению В. В. Майера, опыты должны быть не только средством наглядности, но и способом экспериментального исследования изучаемых явлений [4]. Эксперимент должен служить не просто иллюстрацией теоретических законов, а становиться основой для формулирования вопросов, выдвижения гипотез и самостоятельного анализа результатов. Таким образом, важно, чтобы ученики не просто пассивно наблюдали за происходящим, но и активно включались в

процесс экспериментирования, принимали участие в сборе и интерпретации данных. Однако в современной педагогической практике традиционные демонстрационные эксперименты по ряду причин остаются ориентированы преимущественно на визуализацию физических явлений, не обеспечивая достаточную основу для формирования у школьников глубоких знаний и аналитических навыков в ходе последующих этапов учебной работы.

Для обеспечения применения знаний, полученных в ходе наблюдения демонстрационных экспериментов, необходимы специальные действия, направленные на выработку прочных связей между новыми знаниями и определенными элементами старых знаний. Способ реализации мы видим в применении в учебном процессе виртуальных демонстрационных экспериментов. Виртуальные эксперименты позволяют увеличить объем познавательных действий и преодолеть ограничения традиционного варианта учебного эксперимента. Значимость данного подхода заключается в возможности многократного повторения эксперимента без ограничения по времени и ресурсам, учащиеся могут проводить каждый эксперимент, варьируя параметры и анализируя результаты, что способствует более глубокому пониманию физических законов и развивает у школьников способность применять полученные знания в новых ситуациях. Это особенно важно в школах с ограниченной материально-технической базой, где проведение реальных экспериментов может быть затруднено.

Актуальной методической проблемой является формирование обобщенной методики проведения виртуальных экспериментов, обеспечивающих единство познавательной деятельности учащихся в ходе реального и виртуального этапов учебного процесса.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Pol, F. (2024). Elements of proper conclusions // *Physics Education*. 60(1). DOI: 10.1088/1361-6552/ad8f88
2. Усольцев А. П., Шамало Т. Н. Наглядность и ее функции в обучении // *Педагогическое образование в России*. — 2016. — № 6. — С. 91–99.
3. Менчинская Н. А. Психологические проблемы активности личности в обучении // *Хрестоматия по возрастной и педагогической психологии*. — М., 1980. — Т. 2.
4. Майер В. В., Сауров Ю. А. Экспериментирующее мышление в методике обучения физике // *Физика в школе*. — 2018. — № 7. — С. 3–11.

Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского

Поступила в редакцию 23.12.24.

Ю. В. МАСЛЕННИКОВА, М. А. ФАДДЕЕВ, Н. С. ТАРАКАНОВ

### **РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАВЫКОВ УЧАЩИХСЯ В РАМКАХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ**

В статье рассматривается подход к созданию и использованию в учебном процессе многоуровневых экспериментальных заданий и задач по физике, способствующих эффективному формированию экспериментальных навыков учащихся, организации экспериментальной деятельности в рамках выполнения учебно-исследовательских работ (УИР).

*Ключевые слова:* дополнительное образование, деятельностный подход в обучении, экспериментальные задания и задачи, учебно-исследовательские работы учащихся.

Современные тенденции развития физико-математического образования акцентируют внимание на усилении инженерной направленности в подготовке выпускников школы, их раннюю профориентацию [1]. Известно, что любое реальное явление физика описывает сначала в первом приближении, затем более тщательный эксперимент и более глубокий анализ выводят исследователей на более высокий уровень описания исследуемых объектов и, как следствие, создание новых более совершенных инженерных конструкций. Раннее обучение физике в основной школе способствует привитию интереса к исследовательской деятельности и формирует мотивацию к дальнейшему обучению. В ходе изучения пропедевтического курса физики учащимся предлагается выполнить ряд экспериментальных заданий, готовящих их к изучению основного курса физики. После знакомства с требуемыми программой явлениями и законами у учащихся появляется возможность построения более сложных теоретических и математических моделей. При этом постепенно формируется умение решать творческие экспериментальные задачи. В дидактическом и методическом плане важно разработать серию сквозных экспериментальных заданий различного уровня сложности, посильных учащимся на каждом этапе обучения и готовить их к сознательному выбору профиля дальнейшего обучения. В рамках довузовской подготовки к обучению в Передовой инженерной школе (ПИШ) в ННГУ преподавателями физического факультета разработаны курсы дополнительного образования по физике, не только для старшеклассников, но и для учащихся 7–9 классов, включающие решение творческих экспериментальных задач [2–4]. Предлагаемые учащимся учебно-исследовательские работы (УИР) расширяют содержание школьного курса физики и формируют навыки постановки эксперимента. Приведем пример выстраивания серии заданий по теме «Выталкивающая сила. Условие плавания тел».

Учащиеся 6 класса, изучающие пропедевтический курс физики, способны определить значение выталкивающей силы, погружая тело в

жидкость и наблюдая, что оно теряет в весе, провести исследование зависимости величины выталкивающей силы от объема погруженной части тела, убедиться, что ее значение меняется при использовании жидкости, имеющей другую плотность. Владея понятием плотности, они убеждаются, в том, что в воде тонут тела с большей плотностью, и всплывают — с меньшей. В 7 классе в ходе экспериментальной деятельности учащиеся подтверждают закон Архимеда и динамическое условие плавания тел. При этом они способны вычислить значение выталкивающей силы, действующей на плавающее тело, сравнить ее значение с силой тяжести, моделируют ситуацию, иллюстрирующую понятие «водоизмещение судна», успешно осваивают метод двойного взвешивания. В элементарной гидростатике много задач, которые могут быть темами серьезных УИР для 7–8 класса. Простые закономерности, установленные для однородных тел, могут не выполняться для неоднородных. Неожиданным фактом является, например, изменение уровня погружения неоднородного тела при его перевороте. Интересные явления наблюдаются при плавании тел в жидкости с неоднородной плотностью. Учащиеся 9–х классов способны выполнять УИР из области гидродинамики. Характерным примером служит исследование колебаний плавающих тел на поверхности воды. Теоретический анализ и тщательные эксперименты дают совпадение результатов определения периода вертикальных колебаний.

На завершающем этапе обучения (в 10–11 классе) учебно-исследовательские работы трансформируются в научно-исследовательские работы (НИР) по сходной проблематике, в ходе выполнения которых учащиеся оказываются в ситуациях максимально приближенных к реальной исследовательской деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексный план мероприятий по повышению качества математического и естественно-научного образования на период до 2030 года. Утвержден распоряжением Правительства РФ от 19.11.2024 г. № 1333-р. <https://legalacts.ru/doc/gasporjzhenie-pravitelstva-rf-ot-19112024-n-3333-r-ob-utverzhenii/>
2. Фаддеев М. А., Масленникова Ю. В. Решение многоуровневых экспериментальных задач по физике как основа подготовки учащихся к обучению в передовых инженерных школах // Сборник трудов XVII Международной конференции. Физика в системе современного образования (ФССО 2023). — СПб., 2023. — С. 452–458.
3. Масленникова Ю. В., Фаддеев М. А. Экспериментальные задания по физике. Учебное пособие. — Н. Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета, 2022. — 128 с.
4. Масленникова Ю. В., Фаддеев М. А. Экспериментальные задачи по физике. Механика. Учебное пособие. — Н. Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета, 2020. — 80 с.

Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный  
университет им. Н. И. Лобачевского

Поступила в редакцию 11.12.24.

А. Н. РОМАНОВА, Е. А. КОЗУСЬ, Н. Б. БУТКО, С. П. СТЕПИНА

### **ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ КАК СПОСОБ ЗАРОЖДЕНИЯ ИНТЕРЕСА К НАУКЕ У ШКОЛЬНИКОВ**

Представлен ряд простых, но интересных физических экспериментов из подручных средств. Целью данных физических опытов является помощь школьному учителю в пробуждении увлеченности к изучению физики школьниками.

*Ключевые слова:* школьное образование, физический эксперимент.

К изучению такой сложной науки, как физика, современные школьники в 7 классе подходят уже с накопившимся страхом: физика — это непонятно, абстрактно и «зачем это вообще нужно», если в будущем не собираются заниматься ее изучением и покорять научные вершины. Перед школьным учителем стоит непростая задача — с первых минут увлечь ребенка, зародить в нем интерес к науке, пусть даже исключительно в рамках школьного курса, и показать, что, на самом деле, физика находится вокруг нас, а ее изучение, по сути, это изучение того, как устроен наш мир.

К сожалению, хоть в школьном курсе и прописано проведение лабораторных работ, а в учебнике описаны демонстрации физических опытов, которые иллюстрируют физические явления и понятия, не во всех школах есть возможность реального проведения физических экспериментов. В большинстве случаев причиной является нехватка оборудования и его высокая стоимость. Школьникам абсолютно неинтересно читать про эксперименты, гораздо большее любопытство вызывает собственноручное проведение или, хотя бы, демонстрация этих же опытов учителем. Когда ребенок видит «магию», которую творит учитель своими руками, в нем неосознанно просыпается дух исследователя, появляется желание докопаться до истины и, наконец, возникает долгожданный вопрос «почему». Именно появление этого вопроса показывает, что с этапом «заинтересовать» учитель справился на отлично. А дальше учитель может переходить к этапам «научить» и «закрепить».

Цель данной статьи — показать, что физический эксперимент несет в себе гораздо большую ценность, чем может показаться на первый взгляд. Более того, создание физических экспериментов и проведение опытов, которые могут понравиться школьнику и проиллюстрировать любую область науки, это зачастую не так уж и сложно, а для реализации требуются всего лишь простые подручные средства.

**Опыт 1. Несмешивающиеся жидкости и лед.** Учителю потребуется высокий прозрачный стакан, в который он по очереди наливает несмешиваемые жидкости, например, растительное масло и детский гель для душа. После этого в образовавшуюся полосатую субстанцию учитель бросает кубик льда, который застревает где-то между слоями, и постепенно начинает таять и отправлять капельки воды на самое дно стакана. Так можно начать изучать тему «Плотность тел» в 7 классе.

**Опыт 2. Воздушный шарик и свеча.** Учитель подносит надутый воздушный шарик к свече. Шарик моментально лопается, что, вызывает бурю эмоций у детей даже в 8 классе. Затем учитель подносит к свече еще один шарик, но уже наполненный водой, и этот шарик не лопается. Таким образом можно переходить к изучению темы «Внутренняя энергия» или «Количество теплоты».

**Опыт 3. Радуга.** В емкость с водой учитель кладет зеркальце, в классе выключается свет, и с помощью фонарика, который направляется на зеркальце, на стене или на любой другой поверхности «ловится» радуга. Этот красивый эксперимент подводит учеников 9 класса к изучению темы «Свойства света» или «Дисперсия».

**Опыт 4. Лимонная батарейка.** Для проведения этого интересного опыта учителю понадобится несколько лимонов, оцинкованных болтов, медных монеток, моток проволоки и маленький светодиод. В лимоны воткнуты болт («минус») и монетка («плюс»). Соединяя параллельно лимоны с помощью проволоки и затем подсоединяя к концам этой цепи светодиод, учитель демонстрирует превращение обыкновенных лимонов в настоящую гальваническую батарейку. Это будет началом изучения темы «Электричество».

В тезисах приведены несколько примеров. Проведение подобных экспериментов из имеющихся приборов и подручных средств может помочь учителю заинтересовать школьников в изучении физики.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Перышкин А. В. «Физика» (7, 8, 9, 10, 11 класс). — М.: Дрофа, 2019.
2. Познавательная программа «Галилео».

Российский университет  
дружбы народов имени  
Патриса Лумумбы (Москва)

Поступила в редакцию 19.12.24.

А. Е. ТАРЧЕВСКИЙ

**ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ: СБОРНИК  
МЕТОДИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ ДЛЯ УЧИТЕЛЯ  
И УЧАЩИХСЯ 7–11 КЛАССОВ**

В докладе представлен опыт создания и проведения авторского практикума по физике. Лабораторные исследования практикума (74 работы) составили содержание учебно-методического пособия.

*Ключевые слова:* физика, лабораторный практикум, пособие.

Автор сборника, Андрей Евгеньевич Тарчевский, в течение 15 лет организует и совершенствует практикум по физике в математической школе № 179 г. Москвы. В книге обобщен многолетний опыт работы с «продвинутыми» школьниками, предложены тщательно отлаженные пособия для проведения 74 лабораторных исследований по различным темам физики, ряд статей для учителя с рекомендациями по успешной организации практикума и ряд важных вспомогательных материалов для школьников.

Каждое из исследований было выполнено различными школьниками десятки или сотни раз, наработан огромный опыт, все пособия многократно исправлялись и улучшались, и этот процесс продолжается. Пособия позволили сохранить и обобщить многие технические и методические находки и описать успешно работающую технологию. В результате школьники делают нетривиальные, в достаточной степени научные исследования (часто с неожиданными для них результатами) успешно, быстро и с интересом, приобретают важные навыки практических действий. В предложенных пособиях тщательно описаны не очевидные даже для опытного специалиста важные технические, обучающие и организационные моменты, выстроена логика пошагового выполнения исследований и проверок учителем, подсказаны успешные способы проведения экспериментов. Предложены многочисленные советы и подсказки, основанные на характерных трудностях и ошибках, возникавших у ребят при выполнении исследований. Для удобства учителя и учащихся в каждом пособии выделены ключевые вопросы, проверка которых требуется в ходе работы.

Пособия помогут учителю, опытному или начинающему, желающему организовать (улучшить, дополнить новыми работами) занятия со школьниками практической физикой. Некоторые пособия мы используем для проведения фронтальных лабораторных работ, некоторые (посложнее) — на кружке по физике. Ряд пособий можно использовать в качестве руководства для проектных исследований. Сборник поможет школьникам приобрести навыки успешной постановки опытов и грамотной обработки результатов, будет полезен в подготовке к экспериментальным турам олимпиад по физике. Пособия также помогут

учителю легко подготовить, «красиво» продемонстрировать и грамотно объяснить на уроках ряд важных учебных экспериментов.

Автор старался сделать работы логичными и интересными. Чтобы исследование проходило ярко и иногда приводило к неожиданным и «красивым» результатам. Чтобы глубоко изучить явление, применить различные методы исследования, отработать навыки обработки результатов, оценки точности, коллективной работы, добросовестного подхода научного работника к проведению эксперимента. Чтобы ребята активизировали свои знания, полученные на уроках, учились применять здравый смысл и делать работающие вещи.

Этот сборник вышел в печать в 2021 году [ 1 ]. Но бумажная книга уже серьезно устарела. Текущая обновленная версия периодически выкладывается для скачивания коллегами (бесплатно) при условии некоммерческого использования по ссылке [ 2 ].

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Тарчевский А. Е. Практикум по физике. Профильный уровень обучения. 7–11 классы. — М.: МЦНМО, 2021. — 410 с.
2. Физпрактикум Тарчевский — 2024.docx. — URL: <https://disk.yandex.ru/i/VEFxtbp3Y2FuC> (дата обращения 18.01.2025).

Школа 179, Москва

Поступила в редакцию 11.01.25.

Е. М. ТЕТЕЛЕВА

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТУШКИ ТЕСЛА ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ В РАЗНЫХ РАЗДЕЛАХ ФИЗИКИ**

В статье описано применение катушки Тесла для демонстрации физических законов и явлений при изучении различных тем и разделов физики — «Электричество», «Колебания и волны», «Переменный ток», «Фазовые переходы», «Электромагнетизм» и «Строение атома».

*Ключевые слова:* катушка Тесла, демонстрационный физический эксперимент.

Катушка Тесла — это уникальное устройство, созданное Николой Тесла в конце XIX века. Сегодня это устройство зачастую используется в развлекательных целях — устраиваются различные шоу с большими молниями и музыкой. Однако, использование трансформатора Тесла в образовательных целях обладает большим потенциалом, который может быть использован при изучении различных тем и разделов. Рассмотрим некоторые из них.

В разделе «Электричество» возможно рассмотреть электрическую схему, устройство и принцип работы катушки Тесла. Здесь будет актуально рассмотрение таких понятий как катушка индуктивности, конденсатор, колебательный контур и другие.

В разделе «Колебания и волны» демонстрация и обсуждение резонансных стоячих электромагнитных волн, как они возникают и как достигается резонанс.

При изучении темы «Фазовые переходы» в разделе «Молекулярная физика» с помощью катушки Тесла можно продемонстрировать одно из состояний вещества — плазму, а также обсудить процессы ионизации и рекомбинации при демонстрации плазменных шаров.

При изучении темы «Переменный ток» целесообразно обсудить понятие частота, используя трансформатор Тесла. Здесь можно вспомнить, что при высоких частотах (как показал Тесла, более 700 кГц) человек может прикасаться к молниям катушки и не испытывать болезненные ощущения, так как в этом случае ток как бы стекает по коже и не доходит до нервных окончаний.

В разделе «Электромагнетизм» демонстрация действия электромагнитного поля катушки на лампу дневного света позволит еще раз показать, что поля — это особый вид материи, который нельзя увидеть или потрогать, они обнаруживаются только по действию, которое оказывают. Здесь целесообразно уточнить у обучающихся: почему лампа загорается? И, как правило, получить в ответ: из-за действия электромагнитного поля. В таком случае можно поднести к катушке обычную лампу накаливания и показать, что она не загорается, и найти еще одну причину свечения лампы дневного света — наличие в ее баллоне газа.

В теме «Строение атома» использование плазменных шаров позволит продемонстрировать, что электроны, возбуждаясь в электромагнитном поле катушки, испускают кванты энергии определенных частот, что визуально демонстрируется свечением различного цвета у различных газов и смесей. Демонстрация плазменных шаров вызывает у обучающихся яркие положительные эмоции.

Таким образом, катушку Тесла можно использовать для демонстрации и обсуждения физических законов и явлений в различных разделах физики. Включение ее в физический эксперимент повышает мотивацию и обладает высоким образовательным потенциалом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ржонсницкий Б. Н. Никола Тесла. Первая отечественная биография. — М.: Яуза; Эксмо, 2009. — 256 с.
2. Уткин В. Теоретические основы теслатехники. — 2021. — URL: [http://samlib.ru/u/utkin\\_w\\_m/teslatech.shtml](http://samlib.ru/u/utkin_w_m/teslatech.shtml) (дата обращения: 15.12.2024).

Петрозаводский государственный университет

Поступила в редакцию 14.12.24.

Е. В. ХАНЖИНА, У. И. ЗИЗИКИНА

### **ИЗ ОПЫТА РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ УЧАЩИХСЯ СРЕДСТВАМИ НЕПРЕРЫВНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ОТ ПРОПЕДЕВТИКИ ДО ПРЕДПРОФИЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**

Рассматриваются возможности развития инженерных компетенций учащихся современной школы на примерах опыта практической деятельности в условиях непрерывного физического образования. Предложены рекомендации по внедрению успешных практик, связанных с пропедевтикой физических знаний и предпрофильной подготовкой учащихся к получению инженерного образования.

*Ключевые слова:* инженерные компетенции, непрерывное физическое образование, пропедевтика физических знаний, курс «Занимательная физика для будущих инженеров», проектная деятельность.

Происходящая в настоящее время модернизация различных отраслей экономики и производства ставит во главу угла задачу совершенствования инженерного образования как приоритетного направления развития страны. Налицо запрос о необходимости поиска путей повышения эффективности процесса подготовки будущих инженеров, связанного в первую очередь с развитием инженерного мышления и инженерных компетенций обучающихся в системе непрерывного образования. Под инженерными компетенциями [2] в рамках настоящего исследования будем понимать совокупность знаний, умений и качеств личности, обеспечивающих готовность к инженерной деятельности, направленной на самоорганизацию и принятие социальной ответственности за решение поставленных задач.

В этой связи в число важнейших требований общества к системе современного школьного физического образования входит последовательный и непрерывный характер освоения знаний и способов деятельности учащихся на протяжении всего периода обучения, в первую очередь от пропедевтики в 5–6 классах [1] до предпрофильной подготовки [3] к моменту окончания основной школы. Задача учителя состоит в создании условий для развития личности, способной к самореализации, экспериментированию, творчеству и поиску с учетом интересов и потребностей учащихся. Поясним сказанное на конкретных примерах из практики работы в МАОУ «Школа № 5» г. Богородска Нижегородской области.

В рамках муниципального проекта «Профильная предпрофессиональная осенняя школа» во время осенних каникул в октябре 2024 г. была организована осенняя предпрофильная школа, в ходе которой учащиеся 5–7-ых классов изучали экспериментальную физику и беспилотные авиационные системы в очном и дистанционном форматах.

Так, работая в командах, ребята осуществляли сборку и программирование квадрокоптера, управляли дроном в симуляторе, проводили тестовые полеты дронов в малой полетной зоне. Физический эксперимент был представлен такими заданиями, как «Инерция и полет дрона», «Определение температуры плавления олова с помощью паяльника» и др.

В ходе настоящего исследования разработан и апробирован на платформе *Moodle* авторский пропедевтический курс дополнительной общеобразовательной общеразвивающей направленности «Занимательная физика для будущих инженеров», ориентированный на учащихся 5–7 классов. Теоретическая часть курса разделена на модули, в которых рассматриваются следующие ключевые вопросы: 1) Мир физики. Физика вокруг нас. Роль физики как науки в понимании окружающего мира и применении в различных сферах жизни. 2) Физические явления и процессы. Влияние на повседневную жизнь и использование в инженерных разработках. 3) Законы и принципы физики и их роль в решении задач инженерно-технического и прикладного характера. Практическая часть курса, предусматривающая выполнение эксперимента в классе и дома, представлена комплексом экспериментальных заданий по всем модулям. Например, тепловое расширение и сжатие воды при нагревании и охлаждении, исследование поведения металлов при изменении температуры; определение плотности различных жидкостей и твердых тел; сборка простейших электрических цепей, соединение проводников; конструирование самодельных компасов и др. Фотографии и текстовые документы с описанием опыта как результат исследовательской экспериментальной деятельности учащиеся размещают в соответствующих элементах курса.

В настоящее время учащиеся «инженерного» 7 класса принимают участие в реализации муниципального сетевого проекта «В мире физических явлений». В процессе выполнения одного из этапов творческих заданий разработан лабиринт физических величин в виде филворда, на другом этапе — игра-квест. Учащимися сгенерированы ребусы инженерно-физического содержания, при решении которых определяется код для открытия «двери» и объяснения физического явления, процесса, объекта, закона. Таким образом, достигается цель приобщения школьников к учебно-исследовательской деятельности в процессе обучения использованию на практике современных сетевых технологий, а также профессиональной ориентации на получение инженерно-технического образования.

В рамках проектной деятельности учащимися 5–9-ых классов выполнены исследования: «Влияние шумового загрязнения на организм человека», «Исследование свойств проводниковых материалов, используемых в электротехнике (на примере алюминия, меди, олова)», «Физика и рыбалка» и др.

Учащиеся 5–8-ых классов на Всероссийском инженерно-техническом хакатоне «Рождественская сказка» (г. Мурманск, 2024 г.) выполнили в программе *Blender* задание по проектированию комнаты с использованием имеющихся элементов текстуры и расположению само-

стоятельно придуманных и изготовленных украшений–моделей (лесенка из электрических свечей на подоконник, гирлянда, елочный шар и др.) для фотозоны.

В настоящее время разрабатываются диагностические материалы для определения уровня развития инженерных компетенций учащихся в рамках непрерывного физического образования основной школы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Просвещения Российской Федерации в рамках реализации государственного задания на проведение научных исследований № 073–00024–24–07 от 05.12.2024 г. по теме «Методология проектирования единой системы научно–методического сопровождения учителей технологического профиля (физика, информатика, технология) в условиях непрерывного образования».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Румбешта Е. А., Кисленко Е. С. Ориентация школьников в процессе обучения физике на выбор физического профиля и дальнейшее техническое образование: учебно–методическое пособие для студентов педагогических вузов, учителей физики. — Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2019. — 40 с.
2. Фаритов А. Т. Формирование основ инженерной компетенции в сфере научно–технического творчества обучающихся основного общего образования: Дисс. ... канд. пед. наук. — Саратов, 2023. — 225 с.
3. Якута А. А., Паршутина Л. А. О возможных путях повышения качества преподавания физики в предпрофессиональных инженерных классах // Реализуем ФГОС ОО. Инженерно–технологическое образование. Лучшие практики. — М.: ФГБНУ «Институт стратегии развития образования», 2023. — Вып. 2. — С. 49–57.

Нижегородский государственный  
педагогический университет  
им. Козьмы Минина

Поступила в редакцию 29.12.24.

А. В. ШАВЛОВ, В. А. НЕФЕДОВ, Д. И. ПОПОВ

#### МЕСТО И РОЛЬ ОБЗОРНЫХ ЛЕКЦИЙ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Предлагается идея исключения из обзорных лекций деталей. В обзорной лекции необходимо сосредоточить внимание обучающихся на ключевых моментах, позволяющих понять обучающимся суть главного элемента темы.

*Ключевые слова:* лекция, обзор, методы, программа, описание, вопросы, подход.

Обзорные лекции могут, по нашему мнению, стать самым важным и необходимым звеном лекционной части курса общей физики. При правильном построении обзорная лекция имеет ряд ценных качеств. *Во-первых*, подвергая обзору пройденный материал, лектор естественно

вынужден опустить более мелкие, а также описательные части курса. Тем самым он выделяет в сознании обучающихся основное, принципиальное. *Во-вторых*, подвергая обзору ряд тем программы, он имеет возможность внести ряд уточнений в вопросы более ранних тем с учетом материала более поздних тем. *В-третьих*, обзорные лекции позволяют осуществить сравнительный анализ материала ряда тем программы, подчеркнуть их сходство и различие.

Проиллюстрируем сказанное на примере одной из обзорных лекций, вошедших в нашу традиционную практику. Возьмем в качестве примера обзорную лекцию по темам «Интерференция, дифракция и поляризация света». Объем (в часах) изложения самих тем — 20 часов, объем обзорной лекции 2–3 часа. Из этой обзорной лекции можно исключить некоторые методы получения интерференционных картин, некоторые примеры интерференции в тонких пленках, применения интерференции, описание свойств оптически-активных веществ и ряд других относительно менее важных вопросов.

В обзорной лекции по электростатике нет необходимости рассматривать все случаи вычисления напряженности полей с помощью теоремы Остроградского–Гаусса, все случаи вычисления емкости конденсаторов различной формы. Достаточно указать идею вычисления и привести один пример.

В обзорной лекции по темам: «Интерференция, дифракция и поляризация света» мы подчеркиваем единый подход к объяснению всех этих явлений на основе учета волновых свойств света. В обзорной лекции по темам: «Кинематика и динамика точки и поступательного движения твердого тела» мы подчеркиваем различие в постановке задач кинематики в динамике. При обзоре условий, необходимых для получения интерференционной картины, кроме тех условий, о которых шла речь в теме «Интерференция света», нужно упомянуть и состояние поляризации. Говоря о получении когерентных лучей, следует упомянуть о новых источниках света — оптических квантовых генераторах, которые обучающимся еще предстоит изучать.

При обзоре всей темы «Дифракция света» и значительной части темы «Поляризация света» представляется возможным использовать понятия и закономерности, установленные в теме «Интерференция света». Если в обычной лекции возможно проведение вывода формул всеми необходимыми математическими преобразованиями, то в обзорной лекции должно преобладать изложение идеи вывода.

Дать идею вывода — значит разделить вывод на основные этапы. Имеется известный вывод–расчет дифракционной картины от щели в параллельных лучах. Длинные математические преобразования кажутся обучающемуся на первый взгляд трудными для запоминания. Идея же вывода проста. Разделяем определенным образом щель на одинаковые полоски. Находим смещение, созданное на экране лучами, идущими в некотором направлении от одной полоски. Затем суммируем действие полосок по всей щели. В полученном выражении находим амплитуду, а затем определяем положение дифракционных минимумов, то есть получаем расчет дифракционной картины.

Аналогично могут быть рассмотрены и другие примеры обзорных лекций. Обзорные лекции включаются в тематические планы лекционных курсов и проводятся чаще всего перед коллоквиумами и экзаменами. Обучающиеся, предупрежденные об обзорных лекциях, приносят на них записи, сделанные на лекциях и при изучении учебной литературы, и слушая обзорную лекцию, вносят коррективы и дополнения в эти записи.

Обучающиеся оценивают положительно роль обзорных лекций несмотря на то, что речь идет о пройденном материале. Обзорная лекция, по их мнению, имеет элементы новизны, так как заставляет посмотреть на старый материал под новым углом зрения, увидеть связь между вопросами, между которыми эта связь ранее не усматривалась. А связанное, как известно, легче запоминается.

Число обзорных лекций по одному разделу курса общей физики колеблется в пределах от двух до трех. Вряд ли нужно подчеркивать, что для того, чтобы обзорная лекция принесла всю возможную пользу, она должна быть тщательно подготовлена.

Филиал Военного учебно-научного  
центра Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия  
имени профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина», Челябинск

Поступила в редакцию 31.12.24.

# НОВЫЕ УЧЕБНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ

Н. А. АВДЕЕВ, О. Н. АРТАМОНОВ, В. А. ШЛЫКОВ

## ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Предлагается описание лабораторной работы для проведения исследования спектра преобразования солнечного элемента и зависимости напряжения на контактах солнечного элемента от угла наклона падающего излучения.

*Ключевые слова:* солнечный элемент, спектр преобразования фотоэлемента, угол наклона.

Целью лабораторной работы является изучение спектрального диапазона преобразования светового потока в электрическую энергию и исследование зависимости напряжения на контактах солнечного элемента от угла наклона падающего излучения.

Исследование оптических характеристик солнечного элемента производилось с помощью спектрофотометра СФ-4 оснащенного приставкой ПЗО, применяемой для исследования процессов отражения.

Для кремниевого фотоэлемента максимум спектральной характеристики почти соответствует максимуму спектрального распределения энергии солнечного света, в нашем случае в качестве источника излучения используется галогенная лампа. На рис. 1 представлен спектр галогенной лампы 1, измеренной фотоэлементом Ф-25, и спектральная зависимость напряжения на контактах солнечной ячейки 2.

Более узкий спектральный диапазон 400–800 нм относительно измеренного фотоэлемента Ф-25 обусловлен стеклянным покрытием солнечной ячейки.

На практике солнечные панели должны быть ориентированы под определенным углом к горизонтальной поверхности. На рис. 2 представлена зависимость напряжения на контактах солнечного элемента от угла падения светового потока.

Из рис. 2 видно, что при увеличении угла падения до  $20^\circ$  выходное напряжение остается практически постоянным, заметное снижение этой величины наблюдается при  $35^\circ$  (до 90%), при  $40^\circ$  уменьшается до 80%.

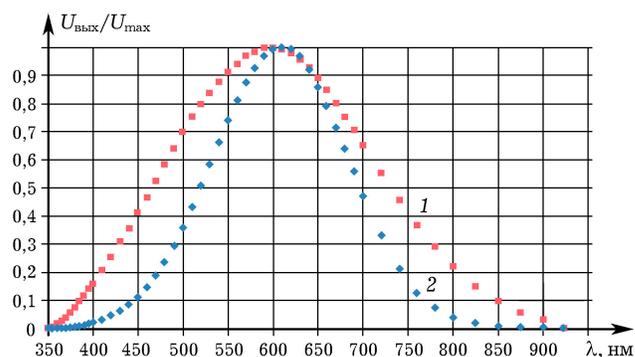


Рис. 1. Спектральная характеристика: 1 — галогенной лампы, измеренная вакуумным фотоэлементом Ф-25; 2 — солнечной ячейки

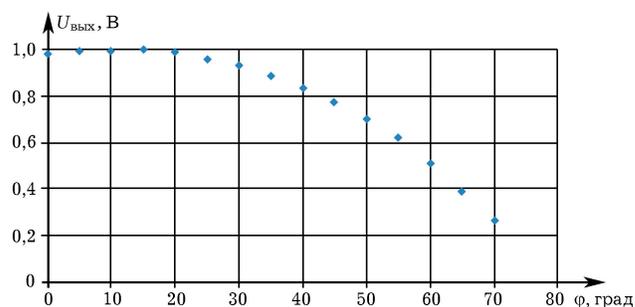


Рис. 2. Зависимость напряжения на контактах солнечного элемента от угла падения светового потока

В результате проведенных измерений показано, что исследуемый фотоэлемент совершает преобразование световой энергии в диапазоне 400–800 нм и может выполнять эффективное преобразование световой энергии при угле падения вплоть до угла 40°.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов. — М.: Наука, 1985. — 280 с.
2. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 360 с.
3. Угол наклона и ориентация солнечных батарей для максимальной производительности [Электронный ресурс]. — URL: <https://tcip.ru/blog/solar-panels/ugol-naklona-i-orientatsiya-solnechnyh-batarej-dlya-maksimalnoj-proizvoditelnosti.html> (дата обращения: 15.08.2022).

Петрозаводский государственный университет

Поступила в редакцию 31.12.24.

А. Р. АРЖАНИК, С. Г. КАТАЕВ, А. В. ШТАК

### **ПРИМЕНЕНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ**

Описываются методы получения и использования монохроматического рентгеновского излучения с помощью лабораторной установки *RNUWEX-rayXR 4.0*. Предложенное описание может быть использовано в лабораторном практикуме курса физики.

*Ключевые слова:* рентгеновское излучение, лабораторный практикум, монохроматическое рентгеновское излучение.

Во второй половине XX века началась работа с большим количеством материалов и веществ, которые могли иметь одинаковый химический состав, но разную атомно-молекулярную структуру. А свойства объектов, состоящих из одних и тех же элементов, зависит не только от свойств этих элементов, но и от структуры. Понимание этого факта и стало, вероятно, главным толчком к развитию рентгеноструктурного анализа.

В XXI веке рентгеноструктурный анализ поднялся на качественно новый уровень за счет новых научных открытий в области физики, а также в связи с созданием установок для генерации рентгеновского излучения, таких как синхротроны — кольцевые ускорители электронов, рентгеновские лазеры на свободных электронах.

На данный момент методы рентгеноструктурного анализа представляют не только академический, но и практический интерес в связи с активным использованием монохроматического излучения в таких областях как: материаловедение, медицина, исследование и разработка наноматериалов. Реальное рентгеновское излучение, которым облучается образец, не строго монохроматическое, оно содержит излучение с двумя близкими длинами волн  $K_{\alpha_1}$  и  $K_{\alpha_2}$ . А во многих приложениях желательно, чтобы падающее рентгеновское излучение было монохроматическим, для того, например, чтобы дифрактограмма не содержала лишних дифракционных максимумов от других длин волн. В медицине использование узконаправленных монохроматических пучков рентгеновского излучения при выделении из непрерывного спектра излучения линии определенной энергии позволяет улучшить контраст изображения и при этом снизить дозовые нагрузки на организм. Поэтому в этой области актуальными являются исследования методов монохроматизации пучков излучения электронных ускорителей средних энергий и разработка источников монохроматического рентгеновского излучения с перестраиваемой длиной волны.

Таким образом, использование монохроматического излучения в этих сферах повышает точность и эффективность исследований и при-

ложений, делая методы рентгеноструктурного анализа крайне востребованными в практической деятельности.

Несмотря на широкое применение монохроматического излучения в науке и технике, в общих курсах физики этому вопросу, и в частности преимуществам использования монохроматического излучения, уделяется явно недостаточное внимание.

Появление новой аппаратуры в ТГПУ позволяет, в какой-то мере, восполнить этот пробел, и в данной работе описываются методы получения и использования монохроматического рентгеновского излучения с помощью лабораторной установки *PHYWEX-rayXR 4.0* [3].

Монохроматическое излучение можно получить различными способами, в частности, с использованием абсорберов и монокристаллов.

Получение монохроматического излучения с помощью монокристалла основано на принципе Брэгга. Зная длину волны необходимого излучения и межплоскостное расстояние в кристалле, можно вычислить угол, под которым необходимо разместить монокристалл относительно падающего излучения, чтобы удовлетворить условиям максимума согласно закону Брэгга и получить отраженную волну с заданной длиной.

Данный метод позволяет получить монохроматический пучок за счет дифракции рентгеновского излучения на кристаллических плоскостях монокристалла.

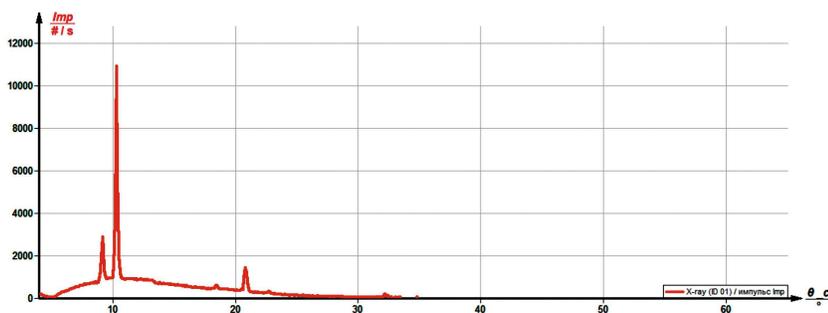


Рис. 1. Полихроматическое рентгеновское излучение

Второй способ базируется на том, что некоторые вещества обладают свойством поглощать определенные линии характеристического излучения. Это наблюдение и лежит в основе работы абсорберов. При прохождении полихроматического излучения через абсорбер, последний может эффективно ослабить или устранить нежелательные части спектра.

В работе использовался абсорбер из циркония, который позволяет поглощать спектр, соответствующий длинам волн  $K_{\beta}$ .

Схема установки представлена в [3].

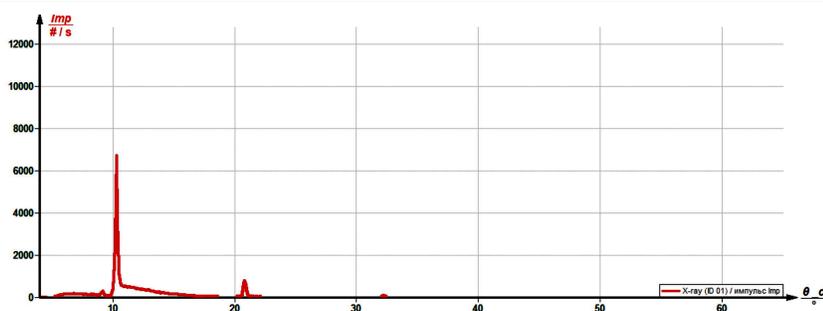


Рис. 2. Монохроматическое рентгеновское излучение

На рис. 1 и 2 представлены экспериментальные данные: характеристическое полихроматическое и монохроматическое излучения. Сравнение этих двух графиков позволяет увидеть процесс поглощения линий излучения  $K_{\beta}$  абсорбером.

Данное исследование проводится в рамках лабораторного практикума по курсу физики в Томском государственном педагогическом университете (ТГПУ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова Г. А. Качественный рентгенофазовый анализ: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТГУ, 2022. — 88 с.
2. Химич М. А. Введение в рентгеноструктурный анализ: методические указания. — Иркутск, 2005. — 28 с.
3. Аржаник А. Р., Катаев С. Г., Штак А. В. Перспективы применения учебной рентгеновской установки в физическом практикуме и междисциплинарных курсах // Учебная физика. — 2023. — № 2. — С. 45–54.

Томский государственный  
педагогический университет

Поступила в редакцию 25.12.24.

И. Ю. БУТУСОВ, Т. В. ПРОКОПОВА

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКАТЫВАНИЯ ТЕЛ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

В лабораторной работе с наклонной плоскостью по теме «Механика твердого тела» предлагается использовать в качестве исследуемого тела «простой формы», например, отрезок трубы. Показаны преимущества данного подхода.

*Ключевые слова:* наклонная плоскость, момент инерции, сила трения, отрезок трубы, диск, угловое ускорение, вращательный момент.

В лабораторный практикум в курсе физики для технических специальностей высшей школы в разделе «Механика твердого тела», как правило, включена работа по определению момента инерции твердого тела, скатывающегося либо по сплошной наклонной плоскости, либо по направляющим. Данная работа иллюстрирует теорию и закрепляет практические навыки по данной теме.

Существует два варианта этой работы: 1) скатывание тел «простой» формы по наклонной плоскости [1]; 2) скатывание тел «сложной» формы по наклонным направляющим [2].

Рассмотрим второй вариант (рис. 1). По наклонным направляющим (высота  $H$ ) скатывается диск  $D$ , жестко связанный с тонкой по сравнению с диаметром диска осью  $O$ . В этом варианте сила трения  $F_T$ , сообщающая угловое ускорение диску, приложена к оси  $O$ . Преимущество данного варианта опыта заключается в том, что подбором материалов, из которых изготовлены диск и ось, и также их диаметров, возможно сделать время скатывания достаточно большим, до десятков секунд, что в свою очередь, упрощает процесс измерения времени скатывания и увеличивает точность измерений. Однако в этом варианте исполнения лабораторной работы имеются существенные недостатки. Во-первых, достаточно велика сила трения между осью и наклонной плоскостью, и фактически, особенно в начале движения из состояния покоя, происходит некоторое проскальзывание. Во-вторых, данная конструкция довольно сложна в изготовлении. Направляющие представляют собой либо наклонную плоскость с достаточно широким сквозным пазом для свободного вращения диска, либо П-образный профиль с глубиной больше диаметра. Изготовление соосной системы диск-ось ( $D-O$ ) тоже требует специального оборудования.

Нам представляется наиболее простым, наглядным и точным реализовать в данной работе скатывание тел «простой» формы — шар, цилиндр, отрезок трубы. Рассмотрим этот вариант.

Пусть тело массой  $m$  скатывается по наклонной плоскости, расположенной под углом  $\alpha$  к горизонту. Пренебрегая потерями энергии, определим ускорение тела вдоль оси  $x$ . На тело действует сила трения

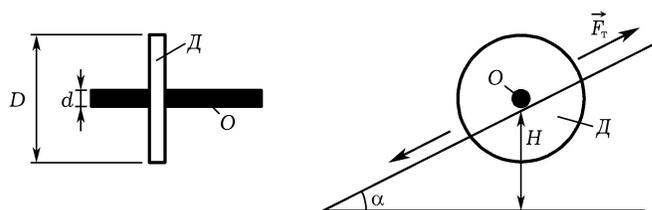


Рис. 1. Скатывание тела «сложной» формы

$F_t$  и сила тяжести, проекция которой  $mg \sin \alpha$ . Таким образом, уравнение движения запишется следующим образом:

$$OX : ma = mg \sin \alpha - F_t. \quad (1)$$

С учетом, что сила трения создает вращательный момент, уравнение движения запишется в виде:

$$ma = mg \sin \alpha - \frac{4aJ}{d^2}. \quad (2)$$

Введем коэффициент  $k$  для выражения моментов инерции тел различной формы:

$$J = \frac{kmd^2}{4}. \quad (3)$$

В табл. 1 представлены моменты инерции и значения коэффициента  $k$  трех тел различной формы:

Таблица 1

Тела различной формы	$J$	$k$
Отрезок трубы	$md^2/4$	1
Цилиндр	$md^2/8$	0,5
Шар	$md^2/10$	0,4

Тогда ускорение  $a$  приобретает вид:

$$a = g \frac{\sin \alpha}{k + 1}. \quad (4)$$

Таким образом, видно, что наименьшее ускорение должно быть при скатывании отрезка трубы, что удобнее для проведения измерений и повышения их точности, кроме того очевидно, что ускорение движения не связано с плотностью и массой тел. Следует отметить, что если шар и цилиндр могут быть использованы в реальном эксперименте, то абсолютно тонкостенная труба является идеализацией.

Можно показать, что относительное отклонение момента инерции реальной трубы от идеальной

$$\delta J = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $D$  и  $d$  — внешний и внутренний диаметры трубы. При отличии внешнего и внутреннего диаметров на 10% ( $d = 0,9D$ ) относительное отклонение  $\delta J \approx 9\%$ .

Был проведен эксперимент по скатыванию двух отрезков пластмассовой и стальной труб с диаметрами  $D_{\text{п}} = 51$  мм и  $d_{\text{п}} = 45,9$  мм;  $D_{\text{с}} = 47$  мм и  $d_{\text{с}} = 42,3$  мм, с наклонной плоскости длиной  $L = 1$  м и высотой  $h = 0,02$  м. Время скатывания составило  $t_{\text{п}} = 4,3$  с и  $t_{\text{с}} = 4,4$  с для пластмассовой и стальной труб соответственно.

Оценка времени скатывания идеальной трубы дает значение  $t = 4,52$  с, что мало отличается от экспериментальных значений.

Таким образом, в данном исследовании показано, что можно реализовать скатывание трубы по плоскости с малым наклоном в качестве учебного эксперимента в разделе «Механика твердого тела».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтмарк А. М., Морозов В. В., Черемухина И. А. Механика. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016.
2. Подольский В. А., Гукасов А. С., Логачева В. М. Лабораторный практикум по физике. Ч. 1. Механика и молекулярная физика. — Новомосковск: Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 2018.

Военно-воздушная академия  
им. профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина, г. Воронеж;  
Михайловская военная артиллерийская  
академия, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 24.12.24.

Е. И. ВАРАКСИНА, В. В. МАЙЕР, И. А. ШУДЕГОВ

#### ПРОСТАЯ ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЛНООБРАЗНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

Описан простой опыт для демонстрации в курсе общей физики при изучении основ градиентной оптики волнообразного распространения света в слоисто-неоднородных средах.

*Ключевые слова:* курс общей физики, основы градиентной оптики, волнообразное распространение света.

Для демонстрационного опыта предлагается использовать две плоскопараллельные стеклянные кюветы размером примерно  $20 \times 60 \times$

200 мм и три одинаково подкрашенные флюоресцеином жидкости: чистую воду ( $n_1 = 1,333$ ), насыщенный водный раствор поваренной соли ( $n_2 = 1,380$ ) и насыщенный водный раствор мочевины ( $n_3 = 1,415$ ). В первую кювету вначале заливают примерно до половины высоты раствор мочевины, а затем на дно кюветы — раствор поваренной соли. Во второй кювете тем же способом снизу располагают раствор поваренной соли и над ним — чистую воду. Аккуратно размешивают жидкости в кюветах так, чтобы в них получились переходные слои толщиной примерно 15 мм с вертикальными градиентами показателей преломления.

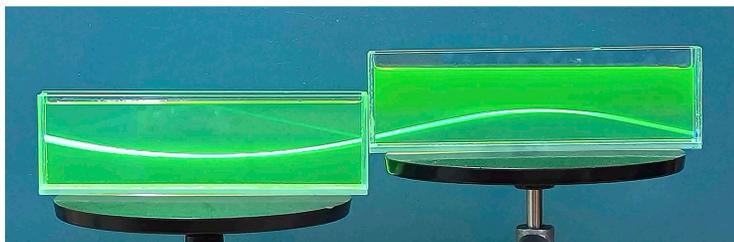


Рис. 1. Пучок света в оптически неоднородных средах; градиент показателя преломления направлен: 1 — вверх; 2 — вниз

Лазерный пучок ультрафиолетового излучения направляют в первую кювету сбоку на переходный слой сверху вниз под таким углом, чтобы спереди была видна выпуклая вниз траектория распространения света. Вторую кювету располагают на такой высоте, чтобы вышедший из первой кюветы пучок падал на переходный слой между жидкостями снизу вверх под углом, превышающим предельный для находящихся в кювете жидкостей. Наблюдают, что в такой искусственно созданной среде свет распространяется волнообразно.

Новизна рассмотренного опыта по сравнению с известным [1] состоит в простоте получения слоисто-неоднородной среды с противоположно направленными градиентами показателя преломления.

*Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней школе и в педагогическом вузе» (ХУА-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В.В., Вараксина Е.И. Свет в неоднородной среде // Квант. — 2011. — № 4. — С. 43–46.

Глазовский государственный  
инженерно-педагогический  
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 24.12.24.

Е. В. ВОРСИНА

### ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЕ ОСЛАБЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В ВЕЩЕСТВЕ

Предлагается демонстрационный эксперимент для изучения экспоненциальной зависимости ослабления интенсивности лазерного излучения в материале. Опыт предназначен для занятий по физике в медицинском вузе.

*Ключевые слова:* закон Бугера, ослабление интенсивности света, экспоненциальное ослабление излучения.

В курсе физики, изучаемом студентами первого курса медицинского вуза, неоднократно встречаются закономерности, описываемые экспоненциальной зависимостью. К таким процессам относятся: ослабление тканями электромагнитных и ультразвуковых волн с расстоянием, уменьшение амплитуды затухающих колебаний от времени, радиоактивный распад, активность радиоактивного распада, выведение лекарственных веществ из организма и др. Общий вид закономерности может быть выражен формулой:

$$y(x) = y_0 e^{-kx},$$

где, в зависимости от рассматриваемого процесса,  $y$  — интенсивность или поток монохроматического излучения, амплитуда затухающих колебаний, количество нераспавшихся ядер, активность радионуклида;  $x$  — толщина слоя вещества, время;  $k$  — характеристика системы: монохроматический коэффициент ослабления, коэффициент затухания, постоянная распада, постоянная скорости элиминации.

Сущность экспоненциальной зависимости можно выразить следующими утверждениями:

- скорость изменения функции пропорциональна текущему значению функции;
- при одинаковом изменении аргумента функция изменяется в одинаковое количество раз.

Предлагаемая демонстрация экспоненциальной зависимости основана на второй ее интерпретации и может быть осуществлена на примере ослабления интенсивности лазерного излучения при его прохождении через тонкие слои однородно поглощающего вещества.

Для данного эксперимента необходимы: штатив с закрепленными на нем фотодиодом и лазером, мультиметр, набор пластиковых пластинок. На мультиметре используется шкала силы тока, поскольку сила тока пропорциональна интенсивности излучения. При проведении эксперимента измеряется начальное значение силы тока, а также сила

тока при кратном увеличении толщины слоев. При проведении эксперимента обращаем внимание студентов на пренебрежение потерями интенсивности света при отражениях от поверхностей пластинок и явлением дифракции.

Результаты эксперимента записываются в таблицу. На основании данных таблицы строится график зависимости силы тока от количества слоев вещества. Обработка данных эксперимента с помощью электронных таблиц может включать помимо построения графика также построение линии тренда, подбор уравнения линии.

Таким образом, предлагаемый эксперимент, в зависимости от дидактических целей, может быть использован как для наглядной физической интерпретации математической (экспоненциальной) зависимости, так и для изучения процессов поглощения и рассеяния света веществом.

Ижевская государственная  
медицинская академия

Поступила в редакцию 30.12.24.

А. П. ГАЖУЛИНА

### **СЕРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ «БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК» В ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Предлагается серия экспериментов различного уровня сложности с использованием лабораторной установки REME06 «Баллистический маятник», поставляемой ООО «Вектор».

*Ключевые слова:* дополнительное образование, довузовская подготовка, многоуровневая работа лабораторного практикума, передовая инженерная школа, баллистический маятник, баллистическая траектория.

В рамках Передовой инженерной школы (ПИШ) ННГУ [ 1 ] создана «Лаборатория физико–технической подготовки абитуриентов», которая формирует цикл работ физического практикума, рассчитанных на довузовскую подготовку абитуриентов. Лабораторная установка REME06 [ 2 ], поставляемая ООО «Вектор», позволяет изучить движение снаряда как тела, брошенного под углом к горизонту, и определить начальную скорость снаряда двумя способами: с помощью метода баллистического маятника и по дальности полета снаряда [ 3 ].

Интерпретация результатов эксперимента по определению скорости снаряда с помощью баллистического маятника приводит в многоуровневой лабораторной работе [ 4 ]. В рамках этого подхода создаются физические модели решения задачи о баллистическом маятнике трех уровней сложности. На первом уровне снаряд и баллистический маятник рассматриваются как две материальные точки, на втором уровне —

снаряд рассматривается как материальная точка, а баллистический маятник — как твердое тело. Третий вариант модели предназначен для учащихся, имеющих серьезную базу знаний школьного курса физики и математики. В третьем варианте модели система рассматривается как физический маятник. Решение задачи с использованием модели третьего уровня приводит к серии дополнительных экспериментов: определение положения центра масс; исследование зависимости периода колебаний от амплитуды; определение периода колебаний; исследование зависимости амплитуды от времени.

Используемая установка РЕМЕ06, также позволяет измерить время от момента прохождения снарядом фотодатчика на вылете из баллистического пистолета до момента падения снаряда на сенсорную панель для определения начальной скорости по дальности полета. Следовательно, можно сравнивать значения начальной скорости снаряда, полученные с использованием различных методик, что способствует развитию исследовательских навыков учащихся.

Кроме того, в рамках физического практикума на лабораторной установке РЕМЕ06 можно реализовать следующие исследовательские работы:

- получение траектории различных снарядов с целью определения влияния сопротивления воздуха;
- исследование эллипса рассеяния различных снарядов;
- определение характеристик баллистического пистолета.

Выполнение работ физического практикума подразумевает знакомство учащихся с понятием прямых и косвенных измерений, приборной, случайной, абсолютной погрешностью прямых измерений, методикой расчета погрешности косвенных измерений, знакомство с понятиями аппроксимация и линеаризация, а также освоение расчетов по методу наименьших квадратов [ 5 ].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 08.04.2022 № 619 «О мерах государственной поддержки программ развития передовых инженерных школ». — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204110041> (дата обращения: 15.07.2024).
2. Каталог учебно-лабораторных комплектов производства Вектор. — URL: [https://vector-ld.ru/uploadedFiles/files/novyi-katalog\\_ispravleno-1-.pdf](https://vector-ld.ru/uploadedFiles/files/novyi-katalog_ispravleno-1-.pdf) (дата обращения: 15.07.2024).
3. Ballistic Pendulum and Projectile Motion. Teacher's Guide (Including Sample Data). Laboratory Manual and Workbook. 2014.
4. Гажулина А. П., Масленникова Ю. В. «Баллистический маятник» как многоуровневая лабораторная работа // Физика в школе (принята к печати).
5. Фаддеев М. А. Элементарная обработка результатов эксперимента: Учебное пособие. — ННГУ, 2010. — 122 с. — URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/Element-Treat.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Element-Treat.pdf) (дата обращения: 31.12.2024).

Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный  
университет им. Н. И. Лобачевского

Поступила в редакцию 31.12.24.

А. В. ГОРШКОВ

**ПРОЕКТ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО УЧЕБНОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА: УСКОРЕНИЕ ТЕЛА ЦЕПОЧКОЙ  
УПРУГИХ БОЙКОВ УБЫВАЮЩЕЙ МАССЫ**

Аналитически и численно решена задача об ускорении тела длиной цепочкой упругих бойков. В рамках теории удара Ньютона найдены необходимое условие и закон наилучшего убывания масс для наивысшего КПД при заданном увеличении скорости. Предложен конкретный проект.

*Ключевые слова:* демонстрационный эксперимент, механическое движение, не вполне упругий удар, оптимизация параметров устройства.

Классическая механика, казалось бы, давно изученная, остается не полностью исследованной областью физики, в которой до сих пор можно сделать открытия, большие или маленькие. В рамках теории удара Ньютона рассмотрена возможность увеличения скорости в цепочке неидеально упруго сталкивающихся тел с последовательно убывающей массой.

Элементарно, что при столкновении двух тел скорость может почти удваиваться, но КПД такой передачи при этом почти нулевой.

Не элементарно, что введение промежуточного тела с массой, равной среднему геометрическому крайних, всегда увеличивает КПД. В цепочке из трех тел и в цепочке из четырех тел доказано, что необходимый наилучший закон убывания масс — по среднему геометрическому  $m_{i+1} = \sqrt{m_i m_{i+2}}$ . Поэтому выдвинута гипотеза, что такой же закон убывания масс наилучший для цепочки любого количества  $N > 2$  тел. Коэффициент Ньютона восстановления скорости при ударе  $\eta$  на этот результат не влияет.

Выведены формулы метода и численно решена задача максимизации КПД  $D$  такой цепочки при условии, что заданы коэффициент увеличения скорости в цепочке  $K$  и коэффициент Ньютона. Оказалось, что неединичность коэффициента Ньютона принципиально меняет вид решения: появляется выраженный максимум  $D$ .

Оказалось, что при  $\eta < 0,56$  решить задачу оптимизации вычислительно трудно, а при  $\eta \leq 0,5$  математически невозможно. Для технической возможности создания оптимальной ударной цепочки следует выбирать материал такой, что  $\eta > 0,85$ , например, закаленное стекло, слоновую кость или бильярдный целлулоид, специальные твердоупругие сплавы, а также сильные магниты, сориентированные друг к другу отталкивающими полюсами.

Найдены наилучшие отношения последовательных масс  $x$ , наилучшее число бойков, наилучшее отношение крайних масс, фактически достигнутые  $D$  и  $K$  не меньше заданного. Оптимизация параметров,

по меньшей мере, в десятки раз увеличивает КПД по сравнению с «интуитивными» проектами таких цепочек бойков.

Неожиданно оказалось, что зависимость наилучшего числа бойков от  $\eta$  обладает минимумом при  $\eta \approx 0,85 \pm 0,025$ , причем при любых исследованных  $K$ , что пока не получило теоретического объяснения, но может быть практически применимо.

При близких массах максимум  $D$  найден аналитически и оказался при весьма упругом ударе в хорошем согласии с численными расчетами. Объяснена аналитически независимость  $x_{\text{opt}}$  от заданного  $K$ . Также при весьма упругом ударе проанализировано поведение  $N_{\text{opt}}$ ,  $K_{\text{факт}}$  и  $D_{\text{факт}}$ .

Сделан краткий обзор причин ограничения области применения ньютоновской теории удара и основных разновидностей современных теорий удара.

Казалось бы, на первый взгляд, простая физическая задача оказалась технически непросто осуществимой.

Даны конкретные рекомендации по изготовлению устройства для демонстрационного учебного эксперимента и предложен конкретный технологически осуществимый проект его в настольном исполнении, который позволит наглядно показывать в цепочке бойков убывающей массы увеличение скорости в  $K = 4$  раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. — М.: Мир, 1983. — 520 с.
2. Научные открытия России. Государственный реестр открытий СССР [сайт]. — URL: <https://ross-nauka.narod.ru/06/06-013.html> (дата обращения: 16.11.2024).

НПП «Теус–Урал»

Поступила в редакцию 17.11.24.

П. В. КАЗАРИН, Н. Ф. УСЛУГИН, Е. И. АНИСИМОВ

#### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ПРИНЦИПА ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ**

Рассмотрена демонстрационная установка, реализующая систему динамического демпфирования. Дизайн и параметры установки подобраны таким образом, чтобы максимально подчеркнуть принцип действия и эффективность таких систем.

*Ключевые слова:* колебательные системы, две степени свободы, динамическое демпфирование, демонстрационная установка.

При изучении колебательных процессов в курсе общей физики обычно основное внимание уделяется анализу систем с одной степенью свободы. Системы с двумя степенями свободы рассматриваются

более поверхностно с расчетом, что более глубокое изучение этого вопроса при необходимости будет проведено в специальных курсах. При таком положении вещей оказывается очень важным и полезным хотя бы «визуализировать» эффекты, присущие системам с двумя степенями свободы.

Ярким примером системы с двумя степенями свободы может служить устройство, использующее для подавления вибраций динамическое демпфирование [1]. Демонстрационная установка, реализующая систему динамического демпфирования в том виде, в котором она была впервые предложена Фрамом, в течение нескольких лет используется на лекциях по общей физике в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского и неизменно вызывает интерес студентов.

Динамическое демпфирование — процесс подавления нежелательных колебаний некой «главной» системы с помощью «вспомогательной» при условии, что главная система находится под воздействием переменной силы, изменяющейся с постоянной частотой.

Фотография установки, реализующей принцип динамического демпфирования, приведена на рис. 1. Главная система представляет собой цилиндр массы  $M = 0,3$  кг, а вспомогательная система — грузик массы  $m = 0,05$  кг. Цилиндр подвешивается на пружине, верхний конец которой закреплен на эксцентрик. При его вращении создается периодическое силовое воздействие на цилиндр. Грузик крепится к нижней части цилиндра с помощью другой пружины. Жесткости пружин и массы тел подобраны так, что собственные частоты колебаний грузика и цилиндра равны. Эксцентрик вращается электродвигателем постоянного тока, частота вращения которого (примерно 5 Гц) может регулироваться в небольших пределах. При настройке установки частота вращения эксцентрика подбирается равной частоте колебаний грузика.



Рис. 1. Установка для демонстрации динамического демпфирования

Как правило, демонстрация эффекта динамического демпфирования на лекции проводится в следующей последовательности: сначала, удерживая в руках грузик, так, что пружина, на которой он подвешен, остается не натянутой, включают электродвигатель — цилиндр начинает колебаться с амплитудой порядка 5–8 см. Затем отпускают грузик. Колебания грузика устанавливаются в течение нескольких периодов, по-

сле чего сам цилиндр практически перестает двигаться. Ловим рукой грузик — опять начинает колебаться цилиндр.

На наш взгляд, данная демонстрация может быть полезна и школьникам старших классов, поскольку сам принцип динамического демпфирования имеет достаточно ясное физическое объяснение — вспомогательное тело колеблется так, что упругая сила его пружины, действующая на главное тело, во всякий момент времени будет равна по величине и противоположно направлена возмущающей силе. Таким образом, эти две силы будут компенсировать друг друга.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ден-Гартог Дж. П. Механические колебания: Перевод с четвертого американского издания А. Н. Обморшега. — М.: Наука, 1960. — 674 с.

Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный  
университет им. Н. И. Лобачевского

Поступила в редакцию 18.12.24.

И. Г. КИРИН

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АНТИСТОКСОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТОМАРНЫХ ПАРАХ»**

Описывается лабораторная работа, предназначенная для изучения процесса антистоксового преобразования частоты лазерного излучения в атомарных парах щелочных металлов.

*Ключевые слова:* антистоксовое преобразование частоты, параметрический процесс смешения частот, вырожденная накачка, генерация третьей волны в среде распространения накачки, атомарные пары щелочных металлов.

Лабораторная работа посвящена изучению процесса антистоксового преобразования частоты лазерного излучения в атомарных парах щелочных металлов. В изучаемом процессе преобразование частоты проходит по схеме [ 1 ]:

$$\nu_{\phi} = 2\nu_{н} - \nu_{ик},$$

где  $\nu_{\phi}$  — частота антистоксового излучения,  $\nu_{н}$  — частота лазерного излучения, подвергаемого процессу преобразования,  $\nu_{ик}$  — частота излучения, возникающего в среде, обеспечивающей процесс преобразования [ 2 ]. В качестве среды, обеспечивающей процесс преобразования, выбраны атомарные пары калия К, выбор которых был обусловлен удобным для проведения экспериментов расположением энергетических уровней. При двухфотонном возбуждении этих паров на переходе  $4S_{1/2} - 6S_{1/2}$  вырожденной накачкой ( $\nu_{4S_{1/2}-6S_{1/2}} =$

$27450,65 \text{ см}^{-1}$ ), отстройка частоты накачки от промежуточного резонанса велика ( $4S_{1/2} - 4P_{1/2,3/2}$ )  $\sim 700 \text{ см}^{-1}$ , как следствие нелинейная восприимчивость определяется в основном двухфотонным переходом, что исключает влияние промежуточных однофотонных переходов на изучаемый процесс. Излучение с частотой  $\nu_{\text{ИК}}$ , участвующее в процессе антистоксового преобразования частоты, генерируется в самой среде, обеспечивающей процесс преобразования — в атомарных парах К, за счет создания инверсии населенностей между уровнем  $6S_{1/2}$ , возбуждаемого вырожденной накачкой лазерным излучением и лежащими ниже уровнями  $5P_{1/2,3/2}$  [2].

В лабораторной установке для получения паров К была использована металлическая кювета, позволяющая менять давление в широких пределах: от 0 до 100 Тор. Источником возбуждающего излучения служил импульсный лазер на красителе — мощность лазера достигала  $\sim 1 \text{ МВт}$ , длительность импульса  $\sim 35 \text{ нс}$ , ширина линии генерации  $\Delta\nu = 0,4 \text{ см}^{-1}$ . Аналогичный лазер использовался в работах [3, 4] и подробно описан в работе [5]. Для получения необходимой интенсивности накачки, излучение лазера на красителе фокусировалось линзой с  $f = 50 \text{ см}$  в центр кюветы с парами. Интенсивность возбуждающего излучения на входе в кювету достигала  $\sim 100 \text{ МВт/см}^2$ . Длина волны возбуждающего излучения определялась на дифракционном спектрографе ДФС-8. На этом же спектрографе анализировалась видимая часть спектра выходящего из кюветы излучения.

В лабораторной работе излучение лазера настраивается на частоту двухфотонного перехода  $4S_{1/2} - 6S_{1/2}$  и проводится анализ спектра фиолетового излучения паров К при таком возбуждении. Этот спектр при давлении паров К ниже  $p = 1 \text{ Тор}$  состоит из двух линий с частотами  $24720,2 \text{ см}^{-1}$  и  $24701,4 \text{ см}^{-1}$ , соответствующих резонансным переходам  $5P_{3/2} - 4S_{1/2}$  и  $5P_{1/2} - 4S_{1/2}$  атомов К. Механизм возникновения этого излучения связан с резонансным четырехфотонным параметрическим процессом смещения частот вида:  $\nu_{\text{п}} = 2\nu_{\text{н}} - \nu_{\text{гэкр}}$ . В этом процессе ИК излучение частотой  $\nu_{\text{гэкр}}$  возникает в результате гиперкомбинационного рассеяния, при котором атомы К из основного состояния  $4S_{1/2}$  переходят в возбужденные состояния  $5P_{3/2,1/2}$ . Описание этой работы содержится в [4]. При увеличении давления паров К выше уровня  $p = 1 \text{ Тор}$  на линии излучения с частотами  $24720,2 \text{ см}^{-1}$  и  $24701,4 \text{ см}^{-1}$  накладывалось излучение, соответствующее исследуемому процессу в виде более широких линий. Частота этих линий при отстройках частоты лазерного излучения от частоты двухфотонного резонанса  $4S_{1/2} - 6S_{1/2}$  синхронно изменяется в соответствии с соотношением, указанным выше:  $\nu_{\text{ф}} = 2\nu_{\text{н}} - \nu_{\text{ИК}}$ . Далее в лабораторной работе определяется область давления атомов К, в которой этот процесс осуществляется. Кроме того, за счет уменьшения интенсивности лазерного излучения в лабораторной работе определяется минимальное значение интенсивности возбуждающего излучения, при котором возникает исследуемое антистоксовое излучение, и область отстроек от двухфотонного резонанса, при которых исследуемый процесс еще реализуется.

Лабораторная работа может быть использована в университетах, в курсе нелинейной оптики для специальности «Физика».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бахрамов С. А., Кирин И. Г., Хабибуллаев П. К., Шаабдурахманова Н. Ш. Генерация перестраиваемого фиолетового излучения в парах щелочных металлов // Доклады АН УзССР. — 1981. — № 4. — С. 23–24.
2. Кирин И. Г. Генерация когерентного инфракрасного излучения в атомарных парах калия // Международный научный журнал «Символ науки». — 2017. — Т. 2, № 2. — С. 70–72.
3. Кирин И. Г. Лабораторная работа «Изучение четырехфотонной параметрической суперлюминесценции» // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 36. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 53–54.
4. Кирин И. Г. Лабораторная работа «Изучение четырехфотонных параметрических процессов» // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 47–49.
5. Кирин И. Г. Лабораторная работа «Изучение многофотонной ионизации в условиях резонансного возбуждения атомарных паров» // Учебная физика. — 2024. — № 3. — С. 31–41.

Оренбургский государственный университет

Поступила в редакцию 21.12.24.

М. С. КОНСТАНТИНОВ, М. Н. СИЗОВ

### **ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ЛЕВИТАЦИЯ В УЧЕБНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ИЛИ ФОКУСЫ ФИЗИКИ: ОТ НАУЧНОЙ ФАНТАСТИКИ К РЕАЛЬНОСТИ**

Предлагается методика, позволяющая легко продемонстрировать любому школьному учителю серию экспериментов эффекта левитации в электростатическом поле без использования дорогостоящего оборудования. Опыты предназначены как для школьных уроков физики, так и для внеурочной проектной деятельности обучающихся.

*Ключевые слова:* левитация, электростатическое поле, электризация, электрический заряд, средняя школа.

В настоящее время огромное влияние на школьный образовательный процесс оказывают информационные технологии, искусственный интеллект внедряется в естественный мир семимильными шагами. Учителя физики на своих уроках все больше и больше используют интерактивные плакаты и презентации. Школьный физический эксперимент (ШФЭ) постепенно уходит на второй план, развитие информационных

технологий диктует новые методики наглядного представления физических процессов и явлений. Но опыт показывает, что нельзя изучать науку о природе и технике, непосредственно не касаясь ее на практике. Поэтому, первостепенной задачей для учителя физики становится тесное внедрение школьного физического эксперимента в образовательный процесс, и дозированное соединения ШФЭ с новейшими компьютерными технологиями.

Электризация — процесс перераспределения зарядов, при котором электроны от одного тела переходят к другому и электрически нейтральные тела становятся заряженными.

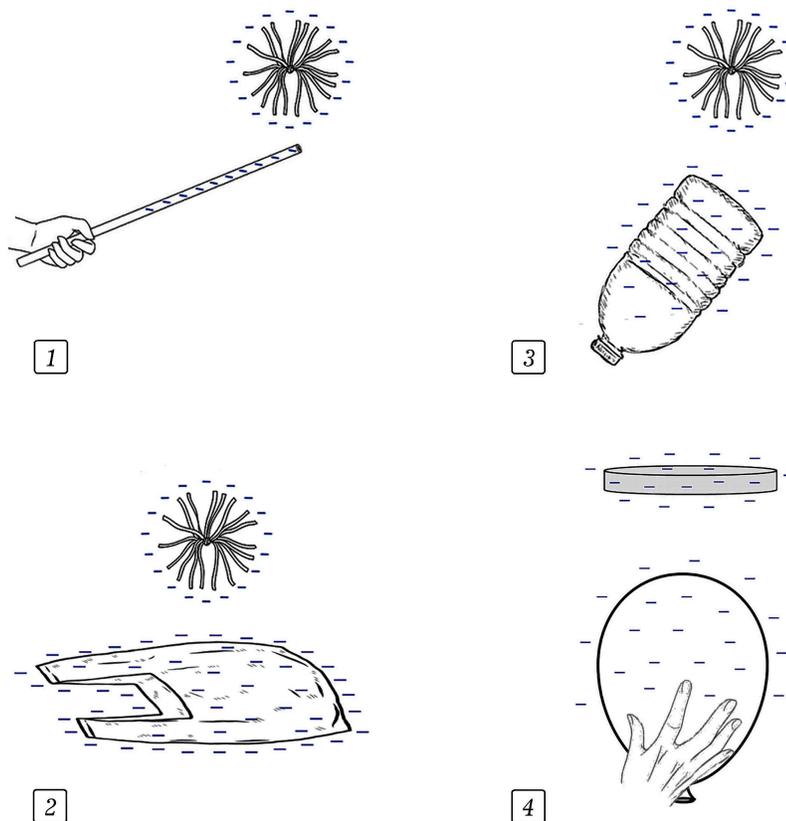


Рис. 1. Схематичная визуализация экспериментов

Методика и проведение эксперимента с помощью салфетки из нетканого материала на основе вискозы полностью отражены в источнике [1]. Левитацию наблюдаем при электризации двух тел. В качестве первого тела, для наглядности, используем вырезанную из уголка прозрачного полиэтиленового пакета «звездочку». Масса «звез-

дочки» порядка десятых грамма. В качестве второго тела используем (рис. 1): 1 — полипропиленовую трубу *PP-R100* (для систем питьевого и хозяйственно-питьевого холодного водоснабжения, технологических трубопроводов); 2 — полиэтилентерефталат (ПЭТ) пакет из сетевых магазинов; 3 — пятилитровая ПЭТ бутылка; 4 — обыкновенный воздушный шарик (смесь латекса, серы, оксида цинка и красящего пигмента).

Каждый ребенок, да и взрослый любит фокусы, большинство фокусов так и остаются для человека загадкой. Демонстрируя явление левитации, учитель физики не только показывает его как фокус, но и объясняет этот потрясающий эксперимент. К тому же простой эксперимент, показанный эффектно и артистично, будет способствовать повышению интереса к науке ученика и подражанию экспериментатора как популяризатора науки. Вполне возможно, что не любой учитель, в силу своих личностных особенностей, сможет эффективно использовать этот прием, но над техникой эксперимента нужно работать. Эффект левитации можно включить в проектную деятельность во внеклассной работе, тогда уже ученик выступает в роли фокусника.

В рамках новизны в настоящей работе использованы новые материалы помимо полипропиленовой трубы *PP-R100*. Важно, что не любой подручный полимерный материал даст ожидаемый результат левитации.

В стесненных условиях наэлектризованные тела будут реагировать на все близлежащие предметы, поэтому желательно освободить пространство или провести эксперимент в более свободной аудитории.

Была проведена серия экспериментов со «звездочками» разного размера и соответственно разной массы. Стоит отметить, что чем больше масса левитирующего объекта, тем необходимо дольше и стремительнее натирать (то есть электризовать), как трубу, пакет, бутылку, шарик, так и саму «звездочку».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов М. С., Сизов М. Н. Методика проведения демонстрационного эксперимента «Электростатическая левитация» в курсе физики средней школы // Проблемы теории и практики инновационного развития и интеграции современной науки и образования. Материалы IV международной междисциплинарной конференции. — Москва, 2024. — С. 180–183.
2. Методика факультативных занятий по физике: Пособие для учителя / О. Ф. Кабардин и др. под ред. О. Ф. Кабардина, В. А. Орлова. — М.: Просвещение, 1988. — 240 с.
3. Опыты в домашней лаборатории. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, Библиотечка «Квант». Вып. 4, 1981. — 144 с.
4. Химия и технология высокомолекулярных соединений: учеб.-метод. пособие / Ю. И. Нейн, О. С. Ельцов, М. Ф. Костерина; [науч. ред. Т. В. Глухарева]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 116 с.

Государственный университет  
просвещения (Москва)

Поступила в редакцию 27.12.24.

А. Ю. МИЛИНСКИЙ, С. В. БАРЫШНИКОВ

## ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Предложен авторский приемник теплового излучения для проведения физического эксперимента, выполненный на основе сферического зеркала с внешним металлическим покрытием и термобатарейного датчика MRT311S.

*Ключевые слова:* физика, физический эксперимент, тепловое излучение, зеркало, оптическая ось, пирозлектрический датчик, пирозлектрический эффект.

Учебные физические эксперименты играют ключевую роль в образовательном процессе по нескольким причинам. Физические законы и явления абстрактны и сложны для восприятия, поэтому использование физических экспериментов позволяет наблюдать физические процессы в реальном времени и интегрировать их с теоретическими знаниями. Кроме того, такие эксперименты дают учащимся возможность применить полученные знания на практике [1].

Несмотря на широкое распространение, доступность и высокий уровень технологичности учебного физического оборудования, значительная его часть может быть модернизирована и усовершенствована [2]. Также остается актуальной задача разработки новых, более эффективных приборов [3, 4]. В настоящей статье описан авторский высокочувствительный приемник теплового излучения, разработанный для проведения физического эксперимента.

Основу высокочувствительного приемника теплового излучения, в отличие от известного приемника [4], составляет термобатарейный датчик MRT311S, применяемый в бесконтактных термометрах, помещенный вблизи фокуса сферического зеркала с внешним металлическим покрытием. Для фокусировки на конкретном источнике

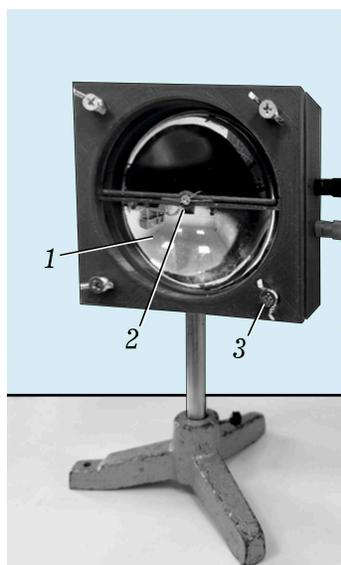


Рис. 1. Фотография опытного образца высокочувствительного приемника теплового излучения: 1 — сферическое зеркало; 2 — датчик температуры MRT311S; 3 — регулировочные винты

излучения предусмотрена возможность перемещения датчика вдоль оптической оси зеркала. Источником теплового излучения могут служить тела с температурой от  $-20$  до  $120$  °С. Когда излучение от объекта падает на сферическое зеркало с металлическим покрытием, оно фокусируется на датчике, расположенном на оптической оси. Для перемещения датчика вдоль оптической оси используется механизм с четырьмя регулировочными винтами. Для усиления сигнала с датчика можно использовать готовый инструментальный усилитель AD620. Опытный образец приемника представлен на рис. 1.

Применение данного приемника при его невысокой стоимости, простоте изготовления и высокой надежности, удобстве использования, позволит осуществить проведение физического эксперимента в учебных заведениях и способствовать наглядности в учебном процессе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вараксина Е. И. Учебный эксперимент в современном школьном физическом образовании // Учебная физика. — 2021. — № 3. — С. 52–70.
2. Милинский А. Ю., Барышников С. В. Демонстрационные физические эксперименты по изучению инфракрасного излучения: современный взгляд // Проблемы современного педагогического образования. — 2023. — 80(4). — С. 193–195.
3. Патент на полезную модель № 227245 Приемник теплового излучения для проведения демонстрационного физического эксперимента. Авторы: Барышников С. В., Милинский А. Ю. Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 12.07.2024.
4. Патент на полезную модель № 220812 Приемник инфракрасного излучения для проведения демонстрационного физического эксперимента. Авторы: Барышников С. В., Милинский А. Ю. Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 04.10.2023.

Благовещенский государственный педагогический университет

Поступила в редакцию 28.12.24.

С. И. ОФИЦИН, Н. С. ЖБАНОВ, М. М. ГУРЕЕВ

#### ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОТОРЕЛЕ

Рассматривается проектное решение задачи по созданию демонстрационной модели «Фотореле» на фоторезисторе и других дискретных электронных компонентах. Реализация прикладного направления физики и техники позволяет сформировать политехнические компетенции среди обучающихся через технологию создания авторской экспериментальной конструкции установки.

*Ключевые слова:* фотореле, спецификация элементов, принципиальная схема, демонстрационная модель, фоторезистор.

Изучение в курсе общей физики прикладных тем, связанных с техническим применением достижений наукоемких технологий становится

актуальной задачей современной дидактики и методики преподавания дисциплины.

На примере демонстрационной модели «Фотореле» (рис. 1) рассмотрим принцип работы устройства и описание конструкции для создания возможного проекта изделия [1].

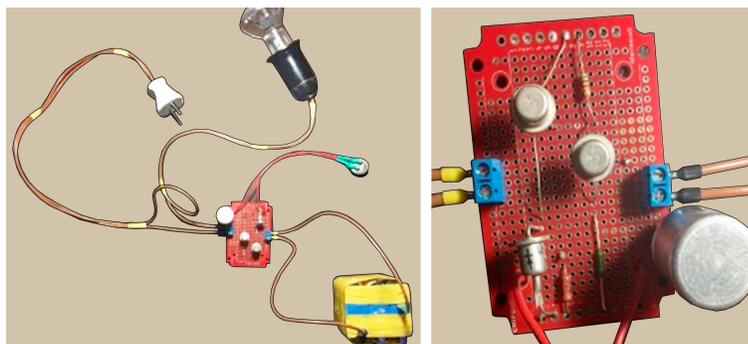


Рис. 1. Внешний вид демонстрационной установки

Актуальность проектного решения по созданию экспериментальной модели «Фотореле» продиктована необходимостью автоматизации различных технологических процессов, связанных с оптическим излучением. Например, фотореле помогает управлять электрическим освещением, тем самым уменьшается расход электроэнергии.

Принципиальная электрическая схема демонстрационной модели «Фотореле» представлена на рис. 2.

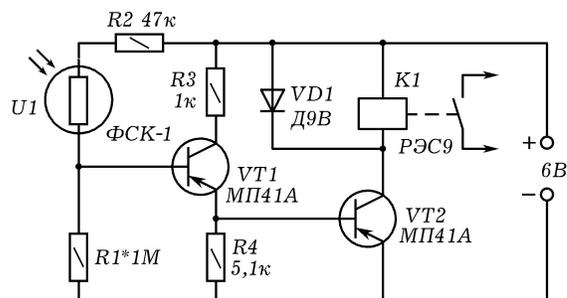


Рис. 2. Принципиальная схема модели «Фотореле»

Устройство работает следующим образом. Если рабочая поверхность фоторезистора ФСК–1 не освещена, то сопротивление последнего очень велико и через обмотку электромагнитного реле  $K1$  протекает незначительный ток, который недостаточен для срабатывания реле. При освещении фоторезистора его электрическое сопротивление резко уменьшается в несколько раз, что приводит к увеличению тока,

протекающего по обмотке электромагнитного реле. Реле при этом срабатывает и коммутирует на выходных клеммах напряжение вторичной цепи. Многократное действие фотореле достигается включением и выключением осветителя или путем перекрытия лучей света, падающих на фоторезистор.

Для осуществления проекта модели потребуются компоненты, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Спецификация элементов принципиальной схемы

Компонент	Наименование компонента и его характеристика
$VT1, VT2$	Транзистор МП41 (с любой буквой в конце обозначения) — германиевый, усилительный, маломощный, низкочастотный, структуры $p-n-p$ . Корпус металлокерамический с гибкими выводами. Масса — около 2 г. Маркировка буквенно-цифровая, на боковой поверхности корпуса. Номинальная мощность 150 мВт. Зарубежные аналоги транзистора: 2N369, 2N2428, 2SB33, 2SB37, 2SB60, 2SB61, 2SB120, 2SB175, 2SB439, 2SB440, AS542, OC75.
$VD1$	Диод Д9В германиевый, точечный, в стеклянном корпусе с гибкими выводами. Маркируется точками или кольцами на корпусе. Положительный вывод обозначается красной точкой. Масса диода не более 0,3 г. Основные технические характеристики диода Д9В: максимальное постоянное обратное напряжение 30 В; максимальный прямой ток 20 мА; рабочая частота диода 100 кГц.
$U1$	Фоторезистор ФСК-1 предназначен для работы в составе фотоэлектрической аппаратуры. Выпускается в пластмассовом корпусе. Постоянное напряжение, при котором обеспечены номинальные значения его параметров: 50 В. Ток, протекающий через фоторезистор при рабочем напряжении, и воздействию потока излучения и спектрального распределения: не менее 1500 мкА.
$R1 \div R4$	Резистор постоянный, металлопленочный, лакированный, теплостойкий, бескорпусный, толстопленочный. Предназначен для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного тока. Используется для поверхностного монтажа. Номинальная мощность — 0,25 Вт: $R1^*$ — 1 МОм; $R2$ — 47 кОм; $R3$ — 1 кОм; $R4$ — 5,1 кОм. Резистор $R2$ подбирается экспериментально в процессе наладки конструкции.
$K1$	Электромагнитное реле РЭС9, пылевлагозащищенное, управляемое постоянным током с двумя переключающими контактами, предназначено для коммутации электрической цепи постоянного и переменного тока. Основные технические характеристики реле РЭС9: напряжение в нормальных климатических условиях 5÷7 В. Исполнение РС 4.529.029–03.
Источник питания	Батарея из гальванических элементов номинальным напряжением 6 В.

Экспериментальная установка может быть собрана на монтажной или печатной (из гетинакса или стеклотолита) плате. Компоненты модели могут быть взаимозаменяемы в соответствии с зарубежными аналогами.

В данной работе тезисно представлена межпредметная связь физики и технологии на примере модели «Фотореле» — устройства автоматизации различных технологических процессов, связанных с оптическим излучением.

Проект имеет важный методологический аспект, связанный с включением в курс изучения общей физики описания достижений современной науки и техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официн С. И., Гуреев М. М. Конструкторский проект по физике и технике // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 58–60.

Рязанский институт (филиал)  
Московского политехнического  
университета

Поступила в редакцию 24.11.24.

З. Н. ПЕТРОВА, Е. И. ВАРАКСИНА, В. В. МАЙЕР

### **УЧЕБНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН РАСТЕНИЙ**

Разработана установка для учебного исследования результатов воздействия ультразвука частотой 40 кГц на семена растений. Установка состоит из ультразвукового генератора, магнитострикционного излучателя с ферритовым вибратором, аккумуляторного блока питания напряжением 7,4 В и камеры для ультразвуковой обработки семян.

*Ключевые слова:* учебное исследование, ультразвуковое облучение, семена растений, экспериментальная установка.

Изучение воздействия ультразвука на семена растений является одной из актуальных проблем биологии и современного сельского хозяйства [1]. Для учебного исследования влияния ультразвука низкой частоты на всхожесть семян некоторых растений необходима простая, надежная и безопасная ультразвуковая установка, с которой обучающиеся могут работать самостоятельно. Анализ известной учебной техники, применяющейся при обучении физике и биофизике, показал, что указанным выше дидактическим требованиям может удовлетворить ультразвуковой генератор, обеспечивающий работу магнитострикционного излучателя с ферритовым вибратором [2].

Чтобы ультразвуковые колебания не воспринимались органами слуха человека, их частота должна превышать 25–30 кГц. Мы выбрали значение частоты, равное  $\nu = 40$  кГц, так как на такой частоте работают ультразвуковые излучатели, применяющиеся в образовательной робототехнике [3]. Поскольку облучение семян ультразвуком в воздухе заведомо неэффективно, то необходима специальная камера с водой, в которой располагаются облучаемый биологический материал и

ультразвуковой излучатель. Этим обусловлен выбор простого магнито-стрикционного излучателя с ферритовым вибратором. Поэтому интенсивность ультразвука ограничена пределом прочности феррита, то есть не превышает  $2\text{--}4 \text{ Вт/см}^2$  [2, с. 85].

В основу электронной части установки положена разработанная ранее [2, с. 103] принципиальная схема ультразвукового генератора (рис. 1). Были изменены только номиналы деталей схемы и параметры колебательного контура, состоящего из катушки  $L1$  и конденсатора  $C1$ . Настройка генератора на резонансную частоту вибратора осуществляется в контурной катушке ферритового сердечника диаметром 8 мм и длиной 60 мм. Катушка содержит 520 витков провода ПЭЛ 0,5, намотанных виток к витку на каркасе из диэлектрика.

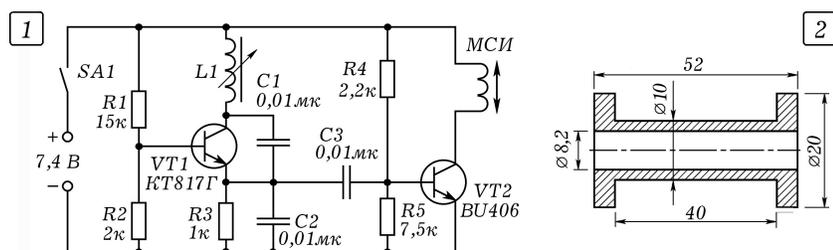


Рис. 1. Ультразвуковой генератор: 1 — принципиальная схема; 2 — чертеж каркаса контурной катушки  $L1$  генератора

Перед включением генератора рабочий конец ферритового вибратора должен быть погружен в жидкость, в которой находятся семена. Настройка генератора на резонансную частоту излучателя производится изменением индуктивности контурной катушки ферритовым сердечником до появления характерного кавитационного шума. Недопустима настройка в резонанс, если вибратор находится в воздухе, так как при достижении максимальной интенсивности ультразвуковых колебаний он может быть разорван.

Авторы выражают благодарность И. А. Васильеву за помощь в работе.

*Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней школе и в педагогическом вузе» (ХУА-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ультразвуковая стимуляция семян: теория и принципы действия. — URL: <https://rosstip.ru/news/3348-ultrazvukovaya-stimulyatsiya-semyan-teoriya-i-printsipy-dejstviya> (дата обращения: 24.12.2024).
2. Майер В. В., Вараксина Е. И. Звук и ультразвук в учебных исследованиях. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. — 336 с.

3. Ультразвуковой датчик (HC-SR04) для проектов Arduino. — URL: <https://www.chipdip.ru/product/8012143220> (дата обращения: 24.12.2024).

Глазовский государственный  
инженерно-педагогический  
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 24.12.24.

А. А. ПРОКОПЬЕВА, Е. И. ВАРАКСИНА, В. В. МАЙЕР

### РЕЗИСТОРНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРА

Обоснована возможность применения резисторного делителя напряжения для расширения пределов измерения школьного демонстрационного электрометра. Высоковольтный вольтметр на основе электрометра предназначен для лабораторной работы по количественному исследованию пьезоэффекта в курсах элементарной физики.

*Ключевые слова:* пьезогенератор, измерение напряжения, демонстрационный электрометр, резисторный делитель.

В работе [1] описана установка для количественной демонстрации прямого пьезоэлектрического эффекта. В настоящем сообщении представлены результаты физического этапа дидактического исследования этой установки с целью определения возможности использования ее в лабораторном практикуме элементарной физики.

Изучен следующий вариант установки: на подъемном столике закреплен пьезогенератор с удлиненным рычагом, на конце которого висят грузы; напряжение с пьезогенератора подано на резисторный делитель, состоящий из  $K = 7$  одинаковых резисторов сопротивлением  $r = 10^9$  Ом = 1 ГОм каждый; часть делителя из  $k$  резисторов соединена с электрометром. Источником ЭДС пьезогенератора являются два одинаковых цилиндра из пьезокерамики типа ЦТС-10, расположенные в общей обойме последовательно, чтобы их можно было одинаково деформировать рычажным механизмом с длинами плеч  $l = 7$  мм и  $L = 252$  мм. Пьезоэлементы электрически соединены параллельно, поэтому общая их емкость равна  $C = 40$  пФ.

Зависимость напряжения  $U$  на выходе пьезогенератора от силы деформации пьезоэлементов  $F$  получают следующим образом. На конец рычага подвешивают  $n$  одинаковых грузов массой  $m$  каждый. Тогда деформирующая пьезоэлементы сила  $F = nmg \cdot L/l$ , где  $g$  — ускорение свободного падения, и стрелка электрометра отклоняется, показывая максимальное напряжение  $U_3$ . При этом напряжение, развиваемое пьезогенератором, равно  $U = (K/k) \cdot U_3$ . Отсюда заряд пьезоэлементов  $Q = CU$ , и пьезомодуль керамики ЦТС-10:

$$d = \frac{Q}{F} = \frac{CU}{F} = \frac{CUl}{nmgL}. \quad (1)$$

В табл. 1 приведены результаты одной из выполненных серий измерений. Так как при измерении напряжения используется равномерная часть шкалы электрометра с ценой деления 0,5 кВ, то приборная (систематическая) погрешность напряжений  $U_3$  равна  $\Delta U_3 = 0,25$  кВ. Наибольшую погрешность может дать измерение длины  $l$  малого плеча рычажного механизма пьезогенератора, но в учебных экспериментах допустимо сообщить обучающимся значение этой величины из паспортных данных производителя пьезогенератора.

Таблица 1. Определение величины пьезомодуля

№	$k$	$nm$ , кг	$U_3$ , В	$U$ , В	$U$ , кВ	$Q$ , нКл	$F$ , Н	$d$ , нКл/Н	$\Delta d$ , нКл/Н
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	0,3	2000	2800	2,8	112	105,8	1,06	0,05
3	4	0,4	2250	3938	3,9	158	141,1	1,12	0,11
4	4	0,5	2500	4375	4,4	175	176,4	0,99	0,01
5	3	0,6	2250	5250	5,3	210	211,7	0,99	0,01
6	4	0,7	2500	5833	5,8	233	247,0	0,94	0,06
7	2	0,8	2000	7000	7,0	280	282,2	0,99	0,01
8	2	1,0	2500	8750	8,8	350	352,8	0,99	0,01
9	1	1,2	1500	10500	10,5	420	423,4	0,99	0,01
10	1	1,5	2000	14000	14,0	560	529,2	1,06	0,05
Средние значения								1,00	0,04

В результате эксперимента среднее значение пьезомодуля равно:  $d = 1,0 \pm 0,04$  нКл/Н. Для пьезокерамики типа ЦТС–10 пьезомодуль составляет 1 нКл/Н.

Основным недостатком рассмотренного здесь метода является необходимость при измерениях навешивать на рычаг грузы с одинаковой скоростью. Дело в том, что при быстрых нагрузках или разгрузках рычага пьезогенератора стрелка электрометра отбрасывается далеко за пределы шкалы. Однако небольшая тренировка экспериментатора позволяет снизить этот разброс показаний электрометра.

*Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней школе и в педагогическом вузе» (ХУИА-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В., Вараксина Е. И., Прокопьева А. А. Количественная демонстрация прямого пьезоэлектрического эффекта // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 39. — М.: ИСРО РАО, 2024. — С. 80–83.

Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 24.12.24.

А. А. САБИРЗЯНОВ

### **ИЗНАШИВАЕТСЯ ЛИ ПРАВЫЙ РЕЛЬС СИЛЬНЕЕ, ЧЕМ ЛЕВЫЙ?**

Рассмотрена правильность распространенного в учебной литературе утверждения, что сила Кориолиса вызывает повышенный износ правого рельса по сравнению с левым.

*Ключевые слова:* сила Кориолиса, износ рельсов.

В учебной литературе при объяснении тех или иных явлений часто используют примеры из жизни, то есть мира природы, техники, художественной литературы (которая есть отражение жизни). Очевидно, используемые примеры должны по возможности принадлежать к области знакомых учащемуся понятий. В этом случае незнакомое понятие связывается с знакомым, что облегчает его усвоение. Важную роль при этом играет имеющийся багаж знаний учащихся. Если при объяснении магнитных явлений автор будет приводить в пример принцип работы циклотрона, то это полезно только в случае, если учащиеся хотя бы слышали о существовании циклотрона. На фоне падения общего уровня школьного образования и, как следствие, кругозора учащихся использование в обучении примеров из жизни требует внимания и аккуратности.

В программе вузов при изучении на достаточно развернутом уровне раздела «Механика» изучается тема «Неинерциальные системы отсчета». В этой теме рассматриваются так называемые силы инерции, в том числе сила Кориолиса. У авторов различных учебных пособий можно встретить примеры действия силы Кориолиса: в Северном полушарии у рек сильнее размывается правый берег; при движении поездов быстрее изнашивается правый рельс; циклоны вращаются против часовой стрелки, а антициклоны — по часовой; упоминаются также приливные волны, морские течения, пассатные ветры и т. д. В Южном полушарии направление эффекта противоположно.

Конкретно пример про усиленный износ правого рельса можно найти во многих учебниках [1–5]. Наверняка их гораздо больше, просто мы проверили лишь часть.

Но действительно ли можно заметить на практике данное явление?

Уточним, что речь идет о двухпутном движении, при котором поезда движутся по определенному пути всегда в одном направлении. Кроме того, так как рассматривается действие горизонтальной составляющей силы Кориолиса, правый рельс должен, сильнее, чем левый, стираться с внутренней стороны, где к нему прижимается реборда колеса. Реборда правого колеса, в сравнении с левым, также должна испытывать повышенный износ.

Любой человек видел железнодорожные рельсы. Но, насколько известно, никто не сообщал, что увидел вышеописанный преимущественный износ правого рельса. Может быть, его замечали специалисты в области железнодорожного транспорта, которым необходимо следить за износом путей и колес? Нигде в специализированных изданиях, посвященных железнодорожному транспорту, нет указаний на данное явление. Среди факторов износа в системе «колесо–рельс» повышенный износ правого рельса вообще не упоминается [6].

Ничего удивительного в этом нет. Сила Кориолиса слишком мала, чтобы вызвать наблюдаемый эффект. Для рассматриваемой ситуации она зависит от скорости движущегося тела (поезда), угловой скорости вращения системы отсчета (Земли), широты местности. В [7] сделан расчет на таком примере: допустим, на широте Москвы ( $56^\circ$ ) поезд массой 150 т движется на север со скоростью 72 км/ч. Результат: сила Кориолиса оказалась равна 360 Н, что составляет 0,025% от веса поезда. Понятно, что на фоне других, более значимых факторов, данный эффект заметить невозможно, даже если пытаться это сделать.

Таким образом, авторы ряда в целом хороших учебных пособий [1–5] в качестве подтверждения рассматриваемого явления приводят в пример эффект, который в реальности является ненаблюдаемым. Такая ситуация, по нашему мнению, является не просто безобидной, но вредной, снижая авторитет научных знаний. В особенности потому, что, как сказано выше, потенциальная почва для лженауки и суеверий уже подготовлена падением уровня школьного образования. Для преподавателей это означает, что и к известным пособиям стоит порой относиться критически, особенно когда речь идет о практических, узкопрофессиональных вопросах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин С. Э. Физические основы механики. — М.: Физматгиз, 1962. — 772 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3 т. Том 1. Механика. Молекулярная физика. — СПб.: Лань, 2022. — 500 с.
3. Трофимова Т. И. Курс физики. 20-е изд., стер. — М.: Академия, 2014. — 557 с.
4. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности. — М.: Мир, Б. г. (1988). — 413 с.
5. Элементарный учебник физики: в 3 т. / Под ред. Г. С. Ландсберга. — 10-е изд., перераб. — М.: Наука, 1985. — 1986. Т. 1: Механика. Теплота. Молекулярная физика. — 608 с.
6. <https://opzt.ru/news/factory-iznosa-v-sisteme-koleso-rels-problemy-i-resheniya/>.
7. НИЯУ МИФИ. Физические основы механики. 8.4. Сила Кориолиса.

Уральский государственный  
университет путей  
сообщения

Поступила в редакцию 31.12.24.

А. А. СМИРНОВ, О. В. ЛЕБЕДЕВА, А. С. РУЛЬКОВ

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Предлагается несколько экспериментальных задач на основе сюжетов, часто встречающихся на экспериментальных турах физических олимпиад в 7–9 классах. Задания могут быть использованы в пропедевтических курсах физики, на школьных уроках физики и во внеурочной деятельности обучающихся и актуальны в рамках формирования инженерной грамотности школьников.

*Ключевые слова:* инженерная грамотность, экспериментальные задачи, гидростатическое взвешивание, олимпиадный эксперимент.

Анализ результатов муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников 2024 года, регионального этапа олимпиады им. Дж. К. Максвелла прошлых лет, а также экспериментальных туров образовательных интенсивов для школьников 7–8 классов явно свидетельствует о том, что даже базовые и тривиальные сюжеты экспериментальных заданий знакомы и освоены узким кругом школьников. Это требует, на наш взгляд, дополнительного внимания к ним и включения их в учебный физический эксперимент в качестве индивидуального практикума или фронтальной работы.

Первый сюжет связан с использованием стандартного листа бумаги формата А4 с поверхностной плотностью  $80 \text{ г/м}^2$  размерами  $210 \times 297 \text{ мм}$ . Простой расчет согласно определению поверхностной плотности дает нам массу листа примерно  $4,98 \text{ г}$ . Таким образом, лист может быть использован:

- как эталон массы массой  $5 \text{ г}$  с достаточной точностью;
- как весомый рычаг, жесткость которому можно придать, свернув его в цилиндр или сложив несколько раз (отметим, что мы можем повысить точность измерений за счет большего диапазона доступных плеч приложенных сил, сворачивая лист вдоль длинной стороны);
- в случае, если мы сворачиваем или складываем лист вдоль одной из сторон, может быть вычислена линейная плотность листа;
- как измерительный инструмент длины (не самый точный);
- как объект неизвестной толщины (для вычисления понадобится метод рядов, а для увеличения точности — 3 линейки и 2 канцелярских зажима, толщина листа около  $100 \text{ мкм}$ );
- как однородное тело неизвестной плотности;
- как экран или экран с отверстием (есть имеется устройство для создания отверстия) и т. д.

Достаточно часто на образовательных интенсивах мы предлагаем ребятам экспериментальное задание по определению средней плотности тела и плотности неизвестной однородной жидкости, в качестве оборудования предоставляя стандартный листок бумаги формата А4,

нить, стакан с водой (плотность  $1000 \text{ кг/м}^3$ ), ножницы и скотч по требованию, неизвестное тело (погружается в стакан, не касаясь дна и стенок) и неизвестную жидкость в другом стакане.

Задача решается методом гидростатического взвешивания [ 1 ] неизвестного тела на листе бумаги в качестве весоного рычага и повторным экспериментом с неизвестной жидкостью более, чем половиной участников. Однако, если мы заменяем оборудование и вместо листа бумаги предлагаем электронные весы, снижая, по нашему мнению, сложность, результат парадоксально ухудшается. Так, из 22 участников отбора на образовательный интенсив, решая подобную задачу в качестве псевдо-эксперимента, набрали более половины баллов лишь пятеро, семеро не приступили к заданию.

В связи с этим мы предлагаем активно включать задания с использованием листа формата А4 в физические практикумы на уровне пропедевтических курсов и в 7–9 классах, а задания на гидростатическое взвешивание на электронных весах в 7 классе как обязательное, а на весоном рычаге — как пропедевтическое в области олимпиадной физики.

Подобные практикумы, на наш взгляд, играют ключевую роль при планировании пропедевтических инженерных курсов физики. Именно постоянное опытное подтверждение материала, собственные открытия субъективной актуальности, совершаемые школьниками в процессе выполнения эксперимента, решение конкретных практических экспериментальных задач позволяют наряду с математической и естественнонаучной грамотностью формировать навыки работы с информацией, исследовательские умения, креативность, получить опыт созидательного творчества, то есть с одной стороны являются эффективным мотиватором для изучения физики и тренировкой к экспериментальным турам физических олимпиад, а с другой — формируют базу инженерной грамотности [ 2 ], что особо актуально в условиях нарастающего дефицита инженерных и научных кадров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гаузнер С. И., Кивилис С. С., Осокина А. П., Павловский А. Н. Измерение массы, объема и плотности. — М.: Издательство стандартов, 1972. — 623 с.
2. Смирнов А. А., Лебедева О. В., Рульков А. С. Определение понятия «инженерная грамотность» в контексте школьного образования // Проблемы подготовки учителей математики, информатики и предметов естественнонаучного цикла. Сборник трудов Международной научно-методической конференции 19–20 ноября 2024 года. — Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 2024. — С. 215–218.

Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный  
университет им. Н. И. Лобачевского;  
Лицей № 40, Нижний Новгород

Поступила в редакцию 31.12.24.

Ю. В. ТЕХТЕЛЕВ, Д. Н. ТЕРЕЩУК, Е. С. МОЛЧАНОВА

### МОДЕЛЬ ДОСКИ ГАЛЬТОНА

В дополнение к циклу демонстрационных работ по общему курсу физики предлагается изготовленная с применением аддитивных технологий модель доски Гальтона. Устройство предназначено для школьных уроков физики и внеурочной проектной деятельности обучающихся.

*Ключевые слова:* доска Гальтона, демонстрационный эксперимент, физика, демонстрация центральной предельной теоремы, нормальное распределение, Фрэнсис Гальтон.

Доска Гальтона — это уникальный статистический инструмент, впервые разработанный Фрэнсисом Гальтоном в 19 веке. Она представляет собой простое, но эффективное устройство, которое иллюстрирует концепции вероятности и распределения данных. В условиях современного образования, где значимость визуализации информации становится все более актуальной, внедрение доски Гальтона в учебный процесс открывает новые горизонты для преподавания как математики, так и статистической физики и статистики в целом.

Одним из главных преимуществ доски Гальтона является ее способность наглядно демонстрировать статистические принципы. Студенты могут наблюдать за тем, как случайные события приводят к «предсказуемым» результатам, что является основой закона больших чисел и нормального распределения. Этот визуальный подход позволяет обучающимся лучше понять абстрактные теории и увидеть их применение в реальных задачах.

Работа с доской Гальтона развивает критическое мышление, позволяя анализировать результаты экспериментов и делать выводы на основе наблюдений. Студенты учатся не только проводить эксперименты, но и интерпретировать полученные данные, сопоставлять их с теоретическими моделями и формулировать собственные гипотезы. Это способствует глубинному пониманию материала и улучшает аналитические навыки.

Доска Гальтона предлагает возможность интерактивного обучения, что делает процесс образования более увлекательным и динамичным. Преподаватели могут организовывать групповые эксперименты, в которых студенты самостоятельно запускают шарики и наблюдают за тем, как они распределяются по корзинам. Такое активное вовлечение способствует лучшему запоминанию информации и развитию интереса к предмету.

Для успешного внедрения доски Гальтона в учебный процесс можно организовать мастер-классы по изготовлению прототипов из доступных материалов. Использование подручных средств поможет студентам не только создать физическую модель, но и углубить свои знания о статистике. Также можно интегрировать современные технологии, разрабатывая виртуальные версии доски, что позволит расширить возможности обучения.

Нами была изготовлена с применением аддитивных технологий модель доски Гальтона. Студентом была подготовлена подходящая 3D-модель и распечатана на двухэкструдерном 3D-принтере из PLA-пластика. Передняя прозрачная панель была выполнена из листового ПЭТ. Перед окончательной сборкой внутрь засыпались шарики из нержавеющей стали диаметром 2 мм (рис. 1).

Существует множество примеров успешного применения доски Гальтона в образовательных учреждениях. В некоторых школах и университетах эта модель стала неотъемлемой частью курсов по статистике, где студенты активно используют ее в своих проектах.

Внедрение доски Гальтона в образовательный процесс представляет собой важный шаг к улучшению качества преподавания физики, особенно, это касается уникальных экспериментов и установок. Такой инструмент не только помогает объяснить сложные концепции, но и развивает у студентов навыки критического мышления и аналитики.



Рис. 1

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 1. Механика. — М.: Физматлит, 2005. — 560 с.

Луганский государственный педагогический университет

Поступила в редакцию 24.12.24.

А. В. ЧЕРНЯЕВ, В. Ю. ЗАХАРОВ, Р. Г. ИСМАГИЛОВ,  
Н. С. ПЩЕЛКО

#### ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ ФОРТЕПИАНО

Предложена методика изучения спектра колебаний струны фортепиано. Предлагается способ возбуждения колебаний, при котором гармоника одной струны возбуждает соответствующую гармонику другой струны.

*Ключевые слова:* свободные колебания струны, фортепиано, гармоники.

В колебательном спектре струны присутствует не только основной тон (первая гармоника), но и высшие гармоники [1]. Это связано с

наличием как основного колебания с частотой  $\nu_1$ , когда на длине струны укладывается  $1/2$  длины волны (рис. 1.1), так и высших гармоник с частотами, кратными  $\nu_1$ : на длине струны — кратное число полувольт (рис. 1.2, 1.3, 1.4). При этом результирующее колебание точек струны длины  $l$  может быть приближенно описано формулой:

$$u(x, t) = \sum_{n \geq 1} u_n \sin(2\pi n \nu_1 t) \sin\left(\frac{\pi n x}{l}\right),$$

где  $u_n$  — коэффициенты, убывающие по мере возрастания номера  $n$ . Набор  $u_n$  определяет тембр, что позволяет отличать различные музыкальные инструменты на слух.

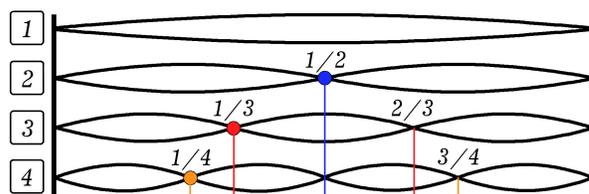


Рис. 1. Различные виды колебаний струны: 1 — основное колебание (первая гармоника); 2 — вторая гармоника; 3 — третья гармоника; 4 — четвертая гармоника

Цель данной лабораторной работы — продемонстрировать сложное колебание струны фортепиано и определить частоты некоторых их высших гармоник. Для этого предлагается способ возбуждения, при котором колебания одной струны как источника звука воздействуют на другую струну [2]. При этом определенная гармоника одной струны возбуждает соответствующую гармонику другой струны. Для опыта рекомендуется использовать «чистые» интервалы, для которых отношения частот двух нот, образующих интервал, близко к следующим: октава — 2, квинта —  $3/2$ , кварта —  $4/3$ . Небольшие отличия вызваны повсеместной практикой применения равномерно-темперированной настройки, а также особенностями отдельно взятого инструмента. Частоты колебаний струн фортепиано в одной из октав, соответствующие равномерно-темперированному строю, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Частоты основных колебаний струн в малой октаве

Нота	<i>до</i>	<i>ре</i>	<i>ми</i>	<i>фа</i>	<i>соль</i>	<i>ля</i>	<i>си</i>
Частота, Гц	130,81	146,83	164,81	174,61	196,00	220,00	246,94

#### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Выбрать любую клавишу в малой октаве и нажать на нее столь медленно, чтобы соответствующая струна не зазвучала. При этом

демпфер отходит от струны, «освобождая» ее, но молоточек струны не достигает.

2. Выбрать другую ноту (возбуждающую). При этом использовать «чистые» интервалы (октава, квинта, кварта) [2]. Нажать вторую ноту несколько раз достаточно сильно (громкий звук) и отпустить. Колебания второй струны прекратятся, и теперь можно наблюдать относительно тихое звучание первой струны. Постараться определить на слух, какую ноту «поет» возбуждаемая струна. Если влияния не заметно, то есть первая струна не возбуждается (это может быть связано с тем, что инструмент не настроен, либо с плохим качеством самой струны) — повторить опыт с другой парой струн.

3. Пользуясь табл. 1, рассчитать частоты нескольких высших гармоник выбранных нот, найти среди них близкие по значениям. Сделать вывод.

4. Повторить опыт, записав последовательно звучание струн в файл на цифровой диктофон [2]. При этом выставить соответствующий уровень записи, учитывая большую разницу в громкости звучания возбуждающей и возбуждаемой струны. Открыть файл соответствующей компьютерной программой, определить в ней частоты колебаний гармоник [2].

**Пример.** Выбираем в качестве возбуждаемой струны ноту *до* малой октавы, возбуждающая струна — нота *фа* малой октавы. Интервал — кварта. Записываем частоты основного тона из табл. 1 и рассчитываем частоты гармоник (табл. 2).

Таблица 2. Частоты гармоник в герцах для выбранных колебаний

Струна	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_3$	$\nu_4$
Возбуждающая — <i>фа</i>	174,61	349,22	523,83	698,44
Возбуждаемая — <i>до</i>	130,81	261,62	392,43	523,24

Вывод: третья гармоника ноты *фа* малой октавы возбуждает 4-ю гармонику ноты *до* малой октавы. Частота этой гармоники соответствует ноте *до* второй октавы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Том 4: Кинетика. Теплота. Звук. Перевод с английского. — М.: Мир, 1976. — С. 441.
2. Черняев А. В., Пщелко Н. С. Компьютерный анализ спектра свободных колебаний струны музыкальных инструментов // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 40. — М.: ИСРО РАО, 2024. — С. 107–108.

Военная академия связи имени  
Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного

Поступила в редакцию 09.01.25.

Л. В. ШИЛЯЕВА, Е. И. ВАРАКСИНА, В. В. МАЙЕР

### **ХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ В ОПЫТАХ ПО ДИФФУЗИИ В ГАЗАХ И ЖИДКОСТЯХ**

Для демонстрации явления диффузии в газах и жидкостях предлагается на уроках физики и химии использовать одну и ту же установку, состоящую из сосуда Ландольта, в колена которого введены водные растворы аммиака и фенолфталеина.

*Ключевые слова:* диффузия, демонстрационный опыт, сосуд Ландольта, водные растворы аммиака и фенолфталеина.

Для формирования целостного представления о природе необходимо развитие умений школьников интегрировать знания из различных предметов. Например, явление диффузии изучается в курсе физики и используется во многих химических реакциях. Осознание сути и значимости этого явления углубится, если на уроках физики и химии один и тот же эксперимент будет изучен с точек зрения этих разных наук.

В статье [1] описаны простые демонстрационные опыты, которые химическими методами убедительно показывают существование диффузии в газах и жидкостях. Однако сколь ни просты эти опыты, но они все же требуют изготовления специального прибора, состоящего из двух одинаковых пластиковых сосудов с герметично завинчивающимися крышками, соединенных отрезком силиконовой трубки. В пособии [2] показано, что этот прибор может составить основу проектной деятельности школьников по экспериментальному исследованию явления диффузии.

В настоящей работе решается задача повышения доступности прибора для демонстрации диффузии газов и жидкостей посредством применения имеющегося в школьном кабинете химии сосуда Ландольта. Этот прибор обычно используется на уроках химии для подтверждения закона сохранения массы и представляет собой двухколенную пробирку с пробкой, хомутами и дужками для подвешивания на штативе.

В химических опытах, связанных с диффузией, сосуд Ландольта удобно не подвешивать, а закреплять в лапке штатива (рис. 1). В правое колено пробирки, с помощью шприца, снабженного отрезком силиконовой трубки, наливают водный раствор фенолфталеина. В левое колено таким же способом, но посредством другого шприца вводят необходимое количество растворенного в воде аммиака (нашатырного

спирта) и герметично закрывают сосуд резиновой пробкой. Рядом с сосудом Ландольта вертикально ставят линейку и через равные промежутки времени смартфоном фотографируют происходящий физико-химический процесс.

Суть этого процесса состоит в том, что в левом колене аммиак испаряется из водного раствора и диффундирует в воздухе. Достигнув поверхности жидкости в правом колене, аммиак при взаимодействии с водой образует основание [3, с. 102], которое вызывает окрашивание фенолфталеина [4]. Получившееся вещество обладает насыщенным малиновым цветом и в свою очередь диффундирует в бесцветную прозрачную жидкость. По результатам эксперимента можно построить график зависимости толщины диффузионного проникновения аммиака в раствор фенолфталеина от времени (в течение урока толщина окрашенного слоя достигает 1 см).



Рис. 1. Применение сосуда Ландольта в демонстрационных опытах по диффузии газов и жидкостей

Успех демонстрационного опыта достигается ярким визуальным эффектом. Именно поэтому в описанной здесь демонстрации предпочтителен фенолфталеин, который при взаимодействии со щелочью способен придать жидкости насыщенный малиновый цвет. Кислотно-основные индикаторы также являются хорошим объектом для наблюдения, так как они меняют свою окраску в зависимости от кислотности среды.

В школьном кабинете химии, как правило, имеются такие индикаторы, как метиловый оранжевый, лакмус (лакмоид), фенолфталеин, а также универсальный индикатор. Для опыта по изучению диффузии в жидкостях и газах не подходят индикаторы метиловый оранжевый и лакмус, так как изменение их окраски в щелочной среде не очень заметно. Метиловый оранжевый меняет цвет с оранжевого на желтый, а лакмус — с фиолетового на синий, такие изменения не все могут

заметить. Возможно также применение *универсального индикатора*, в тех же условиях изменяющего окраску в широком интервале *pH*, который дает четкое, контрастное изменение цвета от бледно-зеленого к фиолетовому.

*Исследование выполнено на базе ФИП «Школа учебного физического эксперимента» по проекту «Методология создания и внедрения современных учебных физических приборов и опытов для урочной и внеурочной деятельности по физике в средней школе и в педагогическом вузе» (XUIA-2024-0030) при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ в рамках госзадания, № НИОКТР 1023040600021-1-5.3.1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Майер В. В., Мамаева Е. С. Несколько новых опытов для седьмого класса // Учебная физика. — 2007. — № 1. — С. 14–21.
2. Вараксина Е. И., Майер В. В. Учебные проекты по школьному физическому эксперименту: 7 класс. Дидактические ресурсы проектной деятельности. — М.: Флинта, 2019. — 172 с.
3. Гузей Л. С. Химия. 9 класс: Учеб. для общеобразоват. учреждений / Л. С. Гузей, В. В. Сорокин, Р. П. Суровцева. — М.: Дрофа, 2003. — 288 с.
4. Беспалов П. И. Новое в методике химического эксперимента. — URL: <https://him.1sept.ru/article.php?ID=200302601> (дата обращения: 24.12.2024).

Глазовский государственный  
инженерно-педагогический  
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 24.12.24.

# КОМПЬЮТЕР В УЧЕБНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

А. И. АНДРЕЕВ, А. В. ПАУТКИНА

## СПЕЦПРАКТИКУМ В НАУЧНО– ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ЦЕНТРЕ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО–АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Описаны лабораторные установки спецпрактикума «Прикладная нанофотоника», организованного в Научно–образовательном центре цифровой информационно–аналитической оптики, назначение которого — развитие цифровых технологий и информационно–аналитических методов в оптике. Приведены схемы установок.

*Ключевые слова:* Научно–образовательный центр, цифровые технологии, инновационное мышление, информационно–аналитические методы, наноразмерные объекты, оптоволоконные спектрометры, светоизлучающие диоды, радиометрические измерения, фотокolorиметрия, координаты цветности.

Научно–образовательные центры, такие как НОЦ ЦИАО (научно–образовательный центр цифровой информационно–аналитической оптики), играют важную роль в подготовке высококвалифицированных кадров для решения современных научных и технологических задач. Основная цель таких центров заключается в создании условий для воспитания специалистов с инновационным мышлением, которые обладают глубокими знаниями в своей области и способны эффективно применять их на практике.

В частности, НОЦ ЦИАО фокусируется на развитии цифровых технологий и информационно–аналитических методов в оптике. Это включает в себя использование передовых технических средств, оборудования и приборов для проведения исследований и разработки новых решений в этой сфере. Специалисты, прошедшие обучение в таком центре, должны быть готовы к работе в условиях быстро меняющихся технологий и обладать навыками адаптации к новым вызовам.

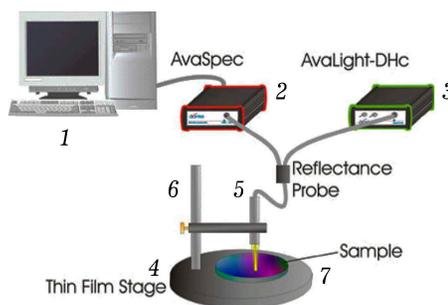


Рис. 1. Схема установки для лабораторной работы «Измерение толщины наноразмерных объектов»

С этой целью был организован курс лабораторных работ (спецпрактикум) «Прикладная нанофотоника» [1], который включает следующие работы.

**Лабораторная работа 1. Измерение толщины наноразмерных объектов.** *Цель работы:* освоение принципов интерференционных измерений толщины наноразмерных объектов на оптоволоконных спектрометрах; освоение принципов количественных измерений толщины наноразмерных покрытий, пластин и пленочных материалов. На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки к этой работе [2].

**Лабораторная работа 2. Исследование фотометрических параметров светоизлучающих диодов.** *Цель работы:* практическое освоение методики экспериментального определения фотометрических параметров источников света (на примере светоизлучающих диодов) на автоматизированном оптоволоконном спектрометрическом оборудовании; освоение принципов измерений спектральных характеристик излучения, определение длин волн максимальной интенсивности и полуширины пиков излучения; освоение принципов количественных радиометрических измерений. На рис. 2 приведена схема экспериментальной установки к этой работе [2].

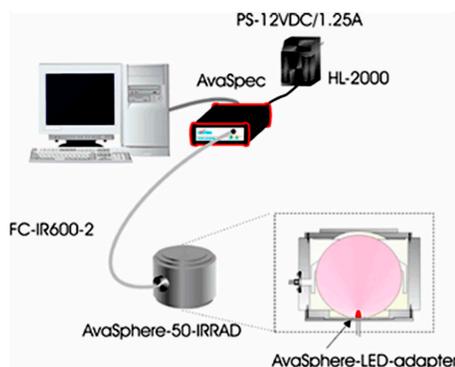


Рис. 2. Схема установки для лабораторной работы «Исследование фотометрических параметров светоизлучающих диодов»

**Лабораторная работа 3. Экспериментальная фотоколориметрия.** *Цель работы:* практическое освоение методики проведения колориметрических (цветовых) измерений на оптоволоконных спектрометрах фирмы «Avantes». Приобретение навыков в экспериментальном определении спектральных характеристик и координат цветности различных образцов в диффузно-отраженном свете с применением рефлектометрического пробника и интегриру-

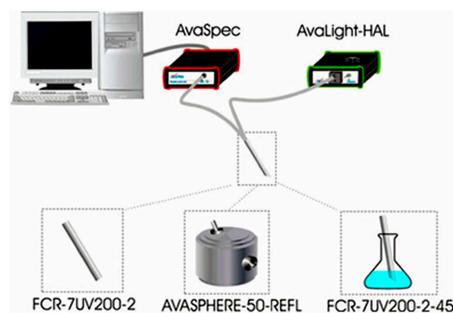


Рис. 3. Схема установки для лабораторной работы «Экспериментальная фотоколориметрия»

ющей сферы. На рис. 3 приведена схема экспериментальной установки к этой работе [2].

Когда студенты получают глубокие и качественные знания в области инженерных дисциплин, это не только расширяет их профессиональные горизонты, но и стимулирует интерес к дальнейшему изучению физики, математики и других смежных областей. Это также помогает раскрыть творческий потенциал, так как инженерные задачи часто требуют нестандартного мышления и поиска инновационных решений [3].

Таким образом, качественное образование в инженерных науках способствует развитию критического мышления, аналитических навыков и креативности у обучающихся, что является важным фактором для успешной карьеры в научно-технической сфере.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Андреев А. И., Мухин С. В., Некрасов В. В., Никитенко В. А., Пауткина А. В. Модульная многофункциональная оптоволоконная спектрометрическая система: учебное пособие в двух частях. Под редакцией профессора, докт. физ.-мат. наук Никитенко В. А. и доцента, канд. физ.-мат. наук Некрасова В. В. — М.: МИИТ, 2008. — 424 с.
2. Сайт компании Avantes B. V. и ее Российского представителя ООО «Локамед». — URL: <https://www.avantes.com/> (дата обращения: 05.11.2024).
3. Сайт Центра инновационных образовательных технологий Новосибирского Государственного университета. — URL: <http://www.psj.nsu.ru/> (дата обращения: 05.11.2024).

Российский университет  
транспорта (МИИТ)

Поступила в редакцию 10.11.24.

Л. В. ГОРЧАКОВ

### МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ ВАРИАНТ УСТАНОВКИ КУНДТА ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ЗВУКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Предлагается схема и реализована в соответствии с ней лабораторная установка для изучения зависимости скорости звука от температуры методом Кундта.

*Ключевые слова:* опыт Кундта, лабораторная установка, микроконтроллер, зависимость, скорость звука, температура.

Оригинальные опыты Кундта послужили основой для создания нескольких приборов для проведения опытов по изучению скорости звука и других термодинамических параметров. В наших работах мы модифицировали заводскую установку несколько раз. Сначала она была автоматизирована с использованием компьютера. Затем вместо компьютера был использован микроконтроллер. Потом были изготовлены установки с дистанционным управлением [ 1 ]. В данной работе предлагается вариант, который позволит исследовать температурную зависимость скорости звука.



Рис. 1. Внешний вид установки ФТП1-7

Исходный заводской вариант учебной установки представлен на рис. 1. Принципиальная схема предлагаемой установки приведена на рис. 2. На рис. 3 дана фотография прототипа реализованной по этой схеме установки.

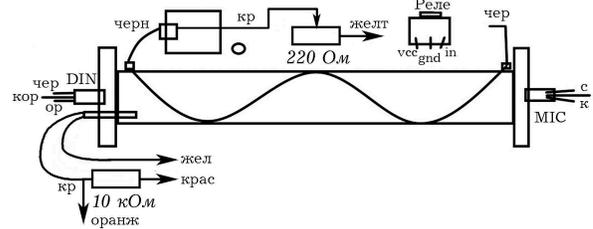


Рис. 2. Принципиальная схема микроконтроллерной установки по изучению зависимости скорости звука от температуры

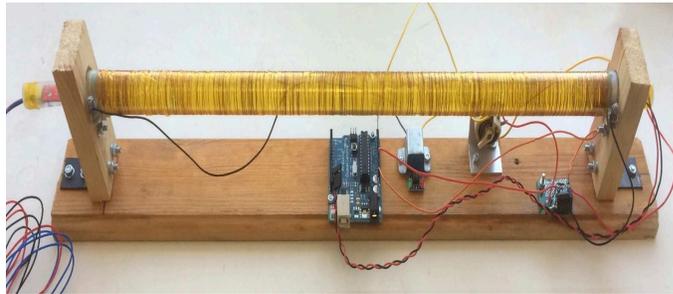


Рис. 3. Прототип экспериментальной установки

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков Л. В., Колесников Д. А. Реальная лабораторная установка с удаленным доступом // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 34. — М.: ИСПО РАО, 2021. — С. 89–91.

Томский государственный  
университет

Поступила в редакцию 28.10.24.

Р. Г. ИСМАГИЛОВ, К. Л. ЛЕВИН, Д. В. РЯБОКОНЬ, В. Ю. ЗАХАРОВ

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ТРАЕКТОРИИ СПУТНИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЛЬНОЙ СИЛЫ

Задача о движении спутника под действием дополнительной радиальной силы адаптирована для численного решения на компьютере. Для этого произведена замена переменных на естественные для данной задачи и получены начальные условия из предположения, что до начала действия радиальной силы движение происходило только под действием центральной гравитационной силы, то есть траектория была эллиптической.

*Ключевые слова:* система дифференциальных уравнений, апогей, перигей, начальные условия.

Использование компьютерной техники и стандартных математических пакетов (*Mathcad, Matlab*) позволяют существенно разнообразить задания по физике, сделать их ближе к реальным расчетным задачам, а также более наглядными. Рассмотрим, например, задачу о второй космической скорости. Известное выражение

$$v \geq \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

предполагает появление такой скорости (от неизвестного источника) на расстоянии  $r$  от центра планеты. Более же реальная задача должна начинаться с задания исходной траектории движения (эллиптической) и характера воздействия на спутник.

В качестве примера рассмотрим следующую задачу. Спутник массой  $m$  движется вокруг планеты массой  $M$  по эллиптической траектории с эксцентриситетом  $\varepsilon$  и перигеем  $r_1$ . В момент времени  $t = 0$  на спутник начинает действовать постоянная радиальная сила (включается двигатель). При каком значении этой силы спутник удалится от планеты на неограниченное расстояние? Следует также описать характер траектории.

Дифференциальные уравнения, описывающие движение спутника в полярных координатах, имеют вид [1, 2]:

$$\begin{cases} m(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) = -\frac{\alpha}{r^2} + F_r \\ m(\ddot{\varphi}r + 2\dot{\varphi}\dot{r}) = 0 \end{cases}, \quad \alpha = GMm.$$

Решение задачи предполагает использование программы решения системы дифференциальных уравнений и задание в ее рамках начальных условий. Но еще на предварительном этапе разумно перейти к

естественным переменным, выбрав в качестве единиц времени и пространственного интервала период движения по исходной орбите  $T$  и ее перигей  $r_1$ :

$$r = r_1 y, \quad t = \frac{\tau}{\omega}, \quad \omega^2 = \frac{\alpha}{m} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^2)^3}{p^3}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Новая переменная  $\tau$  изменяется на  $2\pi$  за один оборот по исходной эллиптической орбите. Уравнения движения в новых переменных превращаются в

$$y'' = y\varphi'^2 - \frac{1}{(1 - \varepsilon)^3 y^2} + \frac{\gamma}{(1 - \varepsilon)^3}, \quad y\varphi'' = -2\varphi'y',$$

где штрих означает производную по новой переменной  $\tau$ . Замена переменных делает уравнения универсальными (нет зависимости от масс и от  $r_1$ ), и новые переменные принимают значения порядка единицы. Параметр  $\gamma$  характеризует радиальную силу:

$$\gamma = F_r \frac{r_1^2}{\alpha}.$$

Для построения решения необходимо задать начальные условия. Пусть при  $\tau = 0$  положение спутника задается азимутальным углом  $\varphi_0$ , тогда начальное значение производной  $d\varphi/d\tau$  найдем из соотношений:

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{d\varphi}{dt}, \quad \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{L}{mr^2}, \quad L = \sqrt{\alpha mp}, \quad r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi},$$

где  $p$  — параметр эллипса,  $L$  — момент импульса. В итоге получим при  $\tau = 0$ :

$$\frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{(1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi_0)^2}{(1 - \varepsilon^2)^{3/2}}. \quad (1)$$

Начальное значение  $y_0$  получим из уравнения траектории

$$y_0 = \frac{r}{r_1} = \frac{p}{1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi_0} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{p} = \frac{1 + \varepsilon}{1 + \varepsilon \cdot \cos \varphi_0}. \quad (2)$$

А начальное значение производной  $dy/d\tau$  найдем, дифференцируя уравнение траектории и используя (1):

$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{\varepsilon \cdot \sin \varphi_0}{\sqrt{(1 + \varepsilon)(1 - \varepsilon)^3}}. \quad (3)$$

Таким образом, начальные условия заданы (1)–(3), и задача построения траектории может быть решена с помощью стандартных математических средств. Заметим, что полученные начальные условия универсальны, то есть не содержат масс и значения  $r_1$ .

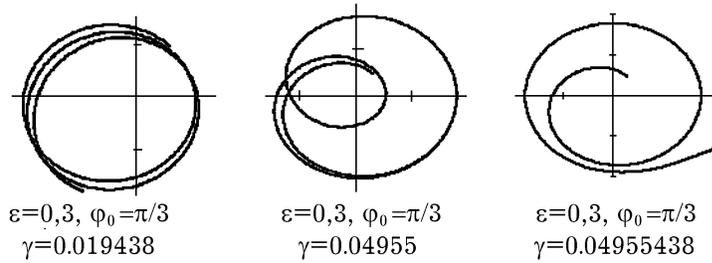


Рис. 1. Возможные варианты траектории спутника в условиях рассмотренной задачи

Меняя параметр  $\gamma$ , можно наблюдать, как постепенно меняется форма траектории, и определить критическое значение, при котором траектория становится инфинитной. В качестве заключения приведем возможные варианты траектории (рис. 1).

Для случаев  $\varphi_0 = 0$  и  $\varphi_0 = \pi$ , которые соответствуют «включению двигателя» в перигее и апогее, известны точные результаты [2], это позволяет проверить корректность процедур. Полезно обсудить еще и форму траектории, и ее эволюцию при изменении параметра  $\gamma$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 1. Механика. — М.: Наука, 1973. — 208 с.
2. Исмагилов Р. Г., Левин К. Л., Рябоконт Д. В. Движение спутника под действием радиальной силы // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. — 2024. — Т. 17, № 3. — С. 122–129.

Военная орденов Жукова и Ленина  
 Краснознаменная академия связи  
 имени Маршала Советского Союза  
 С. М. Буденного

Поступила в редакцию 30.12.24.

К. Л. ЛЕВИН, Р. Г. ИСМАГИЛОВ, Д. В. РЯБОКОНЬ,  
В. Ю. ЗАХАРОВ, Н. В. КЛИШКОВА

### **РАЗВИТИЕ УЧЕБНОГО ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ**

Рассмотрены примеры решения прикладных задач небесной механики в аспекте развития у учащихся навыков применения принципов математического анализа, теории возмущений, использования программных пакетов вычислительной математики для изучения траекторий космических летательных аппаратов численными методами.

*Ключевые слова:* дифференциальные уравнения, численные методы, траектория, небесная механика, метеороидная опасность.

Основным методом повышения интереса учащихся к преподаваемому предмету является показ его значимости с точки зрения практического применения. При этом важна наукоемкая составляющая и способность преподаваемого материала выдерживать конкуренцию на принадлежность к современным научным трендам. К таковым безусловно относится освоение космического пространства. Как показывает наш преподавательский опыт, в рамках преподавания законов сохранения в небесной механике можно найти востребованные практикой области, результаты в которых будут практически значимыми и востребованными для публикаций в рецензируемых журналах, входящих в наукометрические базы данных.

Примером может служить исследование влияния возмущающей силы, лежащей в плоскости тела, изначально вращающегося по окружности в потенциальном поле вокруг общего центра масс (спутника вокруг Земли). На практических занятиях полезно обсудить вывод дифференциальных уравнений движения орбитирующего небесного тела, летательного аппарата (ЛА) в декартовых и сферических координатах [1, 2]. Показать, как происходит переход от уравнений в размерной форме к безразмерным [3], что существенно упрощает их вид. Упомянуть, что существующие программные пакеты, такие, как *Mathcad* и *Математика* позволяют эффективно решать дифференциальные уравнения, и привести примеры траекторий ЛА, возникающих при воздействии возмущающей силы [2], которая может носить как постоянный, так и импульсный характер [4]. С точки зрения выработки практических навыков работы с интегралами движения, а также углубления понимания физичности процессов, возникающих при этом, полезно на основе законов сохранения вывести эллиптические интегралы движения, позволяющие задать траекторию в неявном виде [5], и убедиться, что траектории, вычерчиваемые в результате решения полученных интегралов, совпадают с таковыми, построенными на основании решения дифференциальных уравнений движения [5].

Вооружившись подготовленным математическим аппаратом, можно перейти к решению прикладных задач небесной механики. Актуальной

на сегодняшний день является задача коррекции орбит ЛА для избегания метеороидной опасности [6] как на низких (до 1000 км), так и высоких орбитах. Если для низких орбит для предотвращения метеороидной опасности обычно применяют тангенциальные силы, повышающие орбиту, на высоких орбитах также можно использовать радиальные силы, реализация которых в ряде случаев упрощена [6]. Исследование воздействия на ЛА радиальных сил математически, выявило интересные закономерности, позволяющие проиллюстрировать применение теории возмущений и математического анализа [3, 4, 6–7] для решения актуальных практических задач небесной механики [6, 8]. В результате применения вышеописанного подхода удастся получить более высокую мотивацию обучающихся в освоении как общих, так и специальных дисциплин, что повышает их качество, как специалистов, усиливает их востребованность на рынке занятости, что и является той целью, которую ставит себе высшее учебное заведение при их обучении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левин К. Л., Жуков В. А., Рябоконт Д. В., Клименков Б. Д. Применение подхода с использованием функции Лагранжа для решения упрощенных задач орбитальной механики при ведении физического кружка для студентов младших курсов // Актуальные вопросы математического образования: состояние, проблемы и перспективы развития: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Сургут, 06–08 апреля 2022 года, 2022. — С. 42–46.
2. Исмагилов Р. Г., Левин К. Л., Рябоконт Д. В. Движение спутника под действием радиальной силы // Вестник Псковского государственного университета. — 2024. — Т. 17, № 3. — С. 122–129.
3. Исмагилов Р. Г., Левин К. Л., Клименков Б. Д., Рябоконт Д. В., Жуков В. А. Развитие навыков анализа учащимися уравнений движения // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 39. — М.: ИСПО РАО, 2024. — С. 16–18.
4. Рябоконт Д. В., Левин К. Л., Исмагилов Р. Г., Захаров В. Ю. Исследование влияния радиальных сил на отклонение космического летательного аппарата от круговой орбиты с целью выполнения маневра уклонения от метеороидной опасности // Донецкие чтения 2023, Материалы VIII Международной научной конференции, Донецк: Донецкий государственный университет, 2023. — С. 161–163.
5. Левин К. Л., Рябоконт Д. В., Мартынов В. А., Клименков Б. Д., Жуков В. А., Логинов А. Ю., Логинов Б. А. Расчет орбиты летательного аппарата с использованием функции Лагранжа для решения упрощенных задач орбитальной механики при рассмотрении двигателя постоянной тяги // Вестник Псковского государственного университета. — 2022. — Т. 15, № 3. — С. 60–68.
6. Levine K. L., Ismagilov R. G. Studying the Influence of Radial Forces on Satellites Orbiting, Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, v. 55 n. 3 (2023), DOI:10.6125/JoAAA.202309\_55(3).08.
7. Исмагилов Р. Г., Левин К. Л., Жуков В. А., Рябоконт Д. В. Применение теории возмущений при расчете движения орбитального аппарата под действием радиальной силы // Материалы VII Международной научной конференции, посвященной 85-летию Донецкого национального университета. Том 1, 2022. — С. 14–16.
8. Исмагилов Р. Г., Захаров В. Ю., Левин К. Л., Рябоконт Д. В. Приближенное решение задачи о движении спутника под действием дополнительной радиальной силы // Донецкие чтения 2024, Донецкий национальный университет. — 2024. — С. 29–31.

Военная академия связи имени  
Маршала Советского Союза  
С. М. Буденного

Поступила в редакцию 01.01.25.

С. В. ЛОГИНОВА, В. Б. ПИКУЛЕВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКА *PYTHON* ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Представлен опыт обучения студентов возможностям языка программирования *Python*, направленным на обработку и графическое представление результатов модельных расчетов и лабораторного физического эксперимента.

*Ключевые слова:* научная графика, язык программирования *Python*, лабораторный эксперимент, математическое моделирование.

Для современных студентов инженерно-технических направлений свободно распространяемый язык *Python* является универсальным средством для решения физических и технологических задач. Этот язык удобен в связи с имеющимся у них опытом программирования на *Python* в старшей школе, обилием актуальных учебных материалов в сети Интернет, большим количеством функционально богатых модулей и фреймворков. Авторы используют *Python* в научных исследованиях для управления экспериментальным оборудованием и обработки полученных результатов [1], в учебной деятельности для решения физических задач (учебные дисциплины «Физика полупроводников», «Физика микроэлектронных приборов АЗВ5», «Физика и диагностика поверхности») [2]. В рамках учебных дисциплин «Инженерная и компьютерная графика», «Программирование на *Python*» и «Базы данных» студенты, начиная с первого курса, осваивают возможности языка для выборки, статистического анализа и графического представления экспериментальных данных. На старших курсах студенты используют *Python* при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

Первым, но наиболее важным этапом применения *Python* для обработки результатов физического эксперимента является обучение студентов построению двумерных или трехмерных графиков (диаграмм) с использованием библиотеки *matplotlib* [3]. Наглядность представления научных результатов в виде правильно выбранного и корректно оформленного графического представления неоспорима. К графикам, как к наглядному способу представления результатов, предъявляются определенные требования либо со стороны правил оформления ВКР, либо со стороны редакций научных журналов. Язык *Python* с модулем *matplotlib* дает возможность виртуозно подстроить графическое представление результатов под любые требования и цели, во многом успешно заменяя проприетарные пакеты научной графики, такие как *OriginLab* либо *Matlab*. Использование собственных программ визуализации позволяет легко адаптировать их код под конкретные требования, а, следовательно, быстро изменять вид графиков (рис. 1).

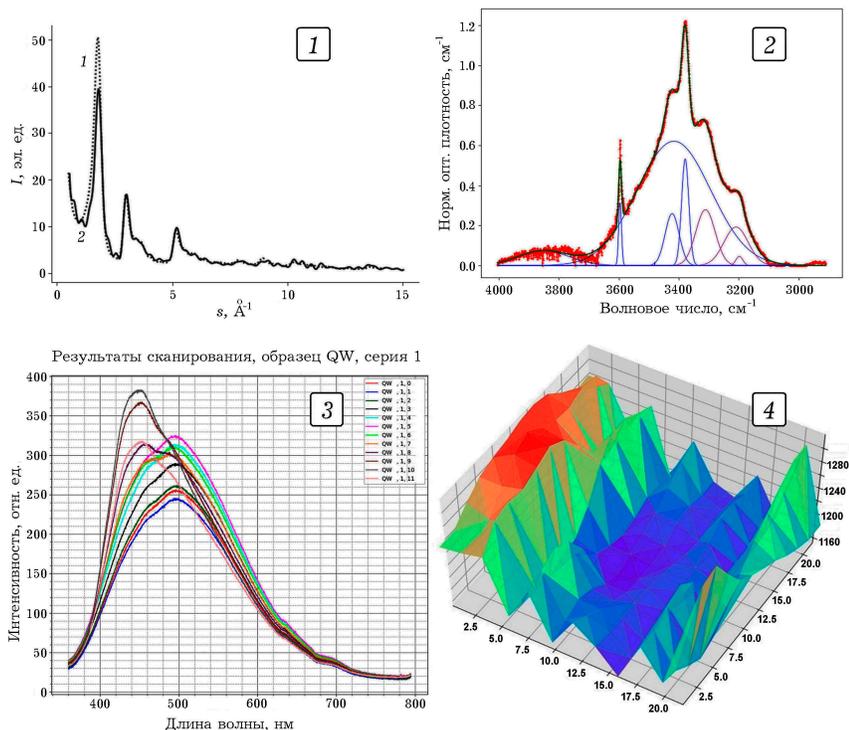


Рис. 1. Примеры визуализации экспериментальных данных: 1 — рентгенографический эксперимент; 2 — ИК-спектроскопический эксперимент; 3, 4 — эксперимент по исследованию фотолюминесценции

Сохранение первичных экспериментальных данных совместно с кодом для их отображения устраняет проблему потери или искажения первичной информации в случае повторного обращения к результатам эксперимента.

Таким образом, язык программирования *Python* в настоящее время является популярным, доступным, мощным, простым для освоения студентами средством разработки графического представления и анализа данных лабораторного и научного экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пикулев В.Б., Логинова С.В. Язык Python в приложении к экспериментальным исследованиям: учебное электронное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. — 2019. — 54 с. — URL: <http://elibrary.petrso.ru/books/40377> (дата обращения: 14.11.2024).
2. Пикулев В.Б. Сайт поддержки учебных курсов, поддерживаемых кафедрой физики твердого тела ПетрГУ [сайт]. — URL: <http://sandbox.scilink.ru>.

3. Miles W. Numerical Methods with Python: for the Sciences. De Gruyter, 2023. — 326 p.

Петрозаводский государственный университет

Поступила в редакцию 25.11.24.

Р. В. МАЙЕР

### ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛ ПО СКОРОСТЯМ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрены две компьютерные программы на *ABCPascal*, позволяющие: 1) получить случайные величины, подчиняющиеся нормальному закону распределения Гаусса; 2) изучить распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла).

*Ключевые слова:* распределение Гаусса, распределение Максвелла, программирование, статистическая физика, молекула, скорость, модель, компьютер.

Одной из важнейших зависимостей статистической физики является распределение молекул газа по скоростям; оно называется также распределением Максвелла. Его строгий вывод довольно сложен [4, с. 289–294]. В то же время известны различные учебные физические эксперименты, позволяющие обосновать вид зависимости вероятности обнаружения молекул от модуля ее скорости [3]. Этот вопрос может также быть изучен методом вычислительного эксперимента [1, 2, 5]. Используя вычислительные возможности компьютера, можно решить задачу «в лоб», то есть путем подсчета числа молекул, модуль скорости которых лежит в диапазоне скоростей  $[v_i; v_{i+1}]$ , где  $v_{i+1} = v_i + \Delta v$ ,  $v_0 = 0$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ . Для этого необходимо: 1) получить равномерно распределенную случайную величину; 2) преобразовать ее в случайную величину, распределенную по нормальному закону; 3) получить более  $10^6$  значений случайной нормально распределенной величины и записать их в одномерный массив  $sl[i]$ ; 4) случайным образом выбрать из этого массива проекции скорости для  $10^6$  молекул газа; 5) для каждой молекулы вычислить модуль скорости  $v$ ; 6) получить распределение количества молекул от модуля скорости.

Для получения случайных чисел, распределенных по закону Гаусса

$$\varphi(v_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-v_x^2/2\sigma^2},$$

при  $\sigma = 1$  применяется программа ПР–1, содержащая цикл, в котором выполняется следующая последовательность действий. С помощью рекурсивной процедуры генерируется случайное число  $x_i$  из интервала

$[-5; 5]$  с равномерным законом распределения и определяется вероятность  $p_i = \varphi(x_i) = \exp(-x_i^2/2)/\sqrt{2\pi}$  его появления. После этого генерируется еще одно случайное число  $y$  из интервала  $[0; 1]$  и сравнивается с  $p_i$ . Если  $y < p_i$ , то число  $x_i$  поступает на выход, а если нет — отбрасывается. После этого генерируют другое  $x_{i+1}$  и все повторяется снова. Распределение получающейся при этом случайной величины показано на рис. 1.1.

```

Программа ПР-1. Распределение Гаусса.
uses crt, graphABC;
const L=10000000;
var t,x,x1,y,y1,p,K: single; i,j,s,M,M1,Ls : integer;
    n: array[-36..36] of integer; sl: array[1..L] of single;
BEGIN x:=24; M:=210; M1:=183; K:=0.008;
Randomize; MaximizeWindow;
For i:=1 to L do begin x:=x+7.312+random(10)/100;
  If x>M then Repeat x:=x-M; until x<M;
  x1:=10*x/M-5; y:=y+157.1+random(10)/100;
  If y>M1 then Repeat y:=y-M1; until y<M1;
  y1:=y/M1; p:=exp(-x1*x1/2)/sqrt(2*3.14);
  If y1<p then begin inc(s); sl[s]:=x1; end; end; Ls:=s;
  for s:=1 to Ls do For j:=-35 to 35 do If (sl[s]>=j*0.1)and
    (sl[s]<(j+1)*0.1) then inc(n[j]);
For i:=-35 to 35 do rectangle(350+10*i,650-round(n[i]*K),
358+10*i,650); Repeat until keypressed; END.

```

Для получения распределения Максвелла  $F(v)$  использовалась программа ПР-2, моделирующая систему из 2 млн. молекул. Все вычисления производятся в обезразмеренном виде. При этом доказываем, что если проекции скоростей молекул распределены по нормальному закону, то зависимость числа молекул от модуля скорости имеет вид, изображенный на рис. 1.2. Из графика  $F(v)$  несложно определить наиболее вероятную скорость молекул. Программа суммирует квадраты скоростей молекул и вычисляет среднюю квадратическую скорость (оператор  $\sqrt{vkv}$ ). Это позволяет убедиться в справедливости соотношения  $v_{\text{вер}} : v_{\text{ср.кв.}} = 1 : 1,22$ , которое следует из теории [4].

```

Программа ПР-2. Распределение Максвелла.
uses crt, graphABC;
const L=2000000; Mx=200; My=0.0025;
var t,x,x1,y,y1,p,vx,vy,vz,v,vv,vkv: single;
i,j,s,M,M1,Ls,mm: integer; n: array[-3..300] of integer;
sl: array[1..L] of single;
BEGIN Randomize; MaximizeWindow;
line(290,0,290,700); line(290+Mx,0,290+Mx,700);
line(290+2*Mx,0,290+2*Mx,700);
x:=24; M:=210; M1:=183;
For i:=1 to L do begin x:=x+7.312+random(10)/100;
  If x>M then Repeat x:=x-M; until x<M;
  x1:=10*x/M-5; y:=y+157.1+random(10)/100;
  If y>M1 then Repeat y:=y-M1; until y<M1;
  y1:=y/M1; p:=exp(-x1*x1/2)/sqrt(2*3.14);
  If y1<p then begin inc(s); sl[s]:=x1; end; end; Ls:=s-1;
  For i:=1 to L do begin vx:=sl[round(random(Ls))+1];
  vy:=sl[round(random(Ls)+1)]; vz:=sl[round(random(Ls))+1];
  vv:=vx*vx+vy*vy+vz*vz; v:=sqrt(vv); If v<3.6 then
    begin vkv:=vkv+vv; inc(mm); end; j:=0;
  Repeat inc(j); until ((v>=j*0.05)and(v<(j+1)*0.05))or(j=250);
  inc(n[j]); end; vkv:=vkv/mm; writeln(mm,' ',sqrt(vkv));

```

```
For i:=0 to 100 do rectangle(290+10*i,650-round(n[i]*My),
298+10*i,650); line(290+round(sqrt(vkv)*Mx),
0,290+round(sqrt(vkv)*Mx),700); Repeat until keypressed; END.
```

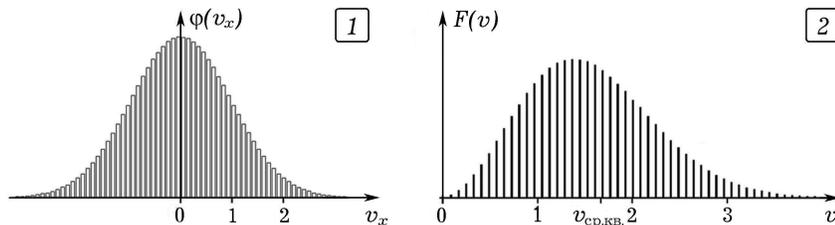


Рис. 1. Распределения молекул по скоростям: 1 — распределение Гаусса; 2 — распределение Максвелла

Кроме того, метод компьютерного моделирования позволяет изучить: 1) нормальное распределение шариков, скатывающихся с доски Гальтона; 2) зависимость среднего квадратического отклонения координаты блуждающей частицы от количества шагов; 3) увеличение энтропии при расширении газа; 4) зависимость вероятности макросостояния идеального газа от степени его близости к состоянию термодинамического равновесия [5]. Применение подобных моделей на занятиях по компьютерному моделированию способствует повышению интереса студентов к математике и физике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. — ИНТУ-ИТ.РУ, 2010. — 349 с.
2. Булавин Л. А., Выгорницкий Н. В., Лебовка Н. И. Компьютерное моделирование физических систем. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. — 352 с.
3. Кравченко Н. С., Ревинская О. Г. Изучение распределения Максвелла с помощью компьютерной модели и в натурном эксперименте // Открытое образование. — 2014. — № 1 (102). — С. 12–18.
4. Кузнецов С. И. Курс физики с примерами решения задач. Часть 1. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика: Учебное пособие. — СПб.: Лань, 2021. — 464 с.
5. Майер Р. В. Компьютерное моделирование: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов. — Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2015. — 620 с.

Глазовский государственный  
инженерно-педагогический  
университет имени В. Г. Короленко

Поступила в редакцию 20.11.24.

В. Б. ПИКУЛЕВ

### РЕАЛИЗАЦИЯ *PYTHON*-МОДУЛЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

Рассмотрены возможности языка *Python* для управления спектральной установкой в различных режимах измерения, для обработки, хранения и визуализации экспериментальных данных.

*Ключевые слова:* язык программирования *Python*, объектно-ориентированное программирование, лабораторный эксперимент, спектроскопия.

Спектральная измерительная установка [1] используется преподавателями и сотрудниками для решения научных задач, а также студентами инженерно-технических направлений при выполнении лабораторных и выпускных квалификационных работ. Поскольку диапазон задач весьма широк, установка имеет модульную структуру. Базовым модулем является вакуумная камера для установки образцов, имеющая кварцевые окна, вакуумный электрический ввод и систему вакуумирования на турбомолекулярном и форвакуумном насосах. Образец крепится либо на фиксированный держатель, либо на платформу нагревателя, либо на платформу гелиевого криостата замкнутого цикла МСМР-1.10Н, либо на координатный столик AG-LS 25.

Съемная система регистрации люминесценции состоит из спектрографа SOL SL-100М с ПЗС-детектором FLI ML 1107 с охлаждаемой матрицей на видимую область спектра. Источником возбуждения люминесценции может быть либо электрическое поле, либо источник света (УФ He-Cd лазер, ртутная УФ лампа, ксеноновая лампа и др.). Для выделения нужного диапазона возбуждающего излучения используются фильтры либо монохроматор ДМР-4.

Как можно видеть, используемое оборудование весьма разнородно по времени и месту изготовления, а в некоторых случаях доработано в условиях лаборатории (например, нами сделан привод поворота призмы ДМР-4, управляемый платой *Arduino*). Таким образом, ставилась задача разработать собственное программное обеспечение, которое также имело бы модульную структуру и могло бы адаптироваться под широкий круг решаемых задач.

Выбор языка *Python* не был очевидным решением, поскольку скорость работы интерпретатора существенно ниже, чем у языков, использующих компиляцию. Однако оказалось [2], что критичные ко времени исполнения модули либо уже реализованы производителем в виде готовых драйверов, либо можно использовать внешние контроллеры с загружаемым в них кодом. На *Python*-программу были возложены задачи общей коммуникации между драйверами устройств, организации интерфейса с пользователем и управления данными.

Был использован объектно-ориентированный подход для создания структуры классов, ответственных за работу с устройствами. Разработанная функциональная логика была интегрирована в структуру приложения с графическим пользовательским интерфейсом, написанном с использованием фреймворка *pyQt5*. Данные, получаемые в результате измерений, сохраняются в базе данных *PostgreSQL* на сервере с внешним IP-адресом, что позволяет просматривать их с любого другого компьютера с помощью аналогичной программы, лишенной измерительных модулей. Реализован поиск по дате, типу и наименованию эксперимента, исполнителю. Можно дать развернутые комментарии к любому набору данных. Сохранение данных в файл на диск и чтение из файла также доступны, файлы имеют текстовый формат. Для просмотра спектров в виде двумерных графиков использован модуль *PyQtGraph*: программа умеет накладывать графики различных измерений, масштабировать результат наложения, нормировать графики в интервале  $[0...1]$ , показывать спектры в шкале длин волн или в шкале энергий. Изменение режима работы установки требует подключения необходимого класса в код программы, что требует минимальных изменений в коде и в пользовательском интерфейсе.

Апробация программы показала правильность принятого подхода. Можно констатировать, что язык программирования *Python* весьма удобен для реализации модульной схемы управления экспериментальным оборудованием, что избавляет от приобретения дорогостоящих аналогов программного обеспечения и дает возможность студентам быстро осваивать работу с оборудованием в рамках выполнения лабораторных работ и написания выпускных квалификационных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Логинова С. В., Пикулев В. Б. Лабораторный практикум по оптической микроскопии и люминесцентной спектроскопии: учебно-методическое электронное пособие. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2021. — 40 с. <http://elibrary.petrso.ru/books/54010> (дата обращения: 19.11.2024)
2. Пикулев В. Б., Логинова С. В. Язык Python в приложении к экспериментальным исследованиям: учебное электронное пособие. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2019. — 54 с. <http://elibrary.petrso.ru/books/40377> (дата обращения: 14.11.2024).

Петрозаводский государственный университет

Поступила в редакцию 25.11.24.

А. А. ПЛАТОНОВ

### ДЕМОНСТРАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОГРАФИИ

Рассматривается возможность использования *Arduino* и совместимой платы на базе микросхемы AD8232 для демонстрации биоэлектрических потенциалов в процессе изучения физических основ электрографии (в частности электрокардиографии).

*Ключевые слова:* демонстрационный эксперимент, биопотенциалы, миография, электрокардиография, *Arduino*.

Реализация межпредметных связей при изучении физики играет важную роль для формирования у учащихся целостного представления об окружающем мире и повышения эффективности образовательного процесса. Это касается и школьников, и студентов. Особенно это важно, когда физика не является профильным предметом (например, школьники химико–биологических классов, студенты биологических, медицинских направлений подготовки). Это стимулирует интерес к физике.

Демонстрация биопотенциалов, методов электрографии в школе может стать увлекательным занятием для учеников, так как она позволяет наглядно показать работу сердца и других органов через электрические сигналы. Студентам это позволит познакомиться с методами регистрации и анализа биологических потенциалов (электромиография, электрокардиография).

Существуют приборы позволяющие регистрировать биопотенциалы и записывать электрограммы различных органов — электромиограф, электрокардиограф и т. п. Эти приборы дорогостоящие и продемонстрировать их, особенно в школах, бывает проблематично. Частично эту проблему можно решить с использованием широко известной и применяемой в учебном процессе (в школах, вузах и пр.) микроконтроллерной платформы *Arduino*. С помощью нее можно создавать устройства, которые применимы в околемецидинской или фитнес тематике за небольшие деньги.

Для регистрации биопотенциалов можно использовать, например, модуль ЭКГ на базе микросхемы AD8232. Микросхема AD8232 [1] предназначена для регистрации сигнала ЭКГ (но подходит и для регистрации других биопотенциалов). Она включает в себя устройство измерения, усиления биопотенциалов, фильтрации их от шумов вызванных, например, движением человека и позволяет передавать зарегистрированные данные для последующей визуализации и обработки. Модуль выполнен в виде небольшой платы, на которой организованы контакты для питания модуля, разъем для подключения электродов (два электрода для непосредственной регистрации биопотенциала

и третий для реализации алгоритмов фильтрации шумов), выход данных. Модуль комплектуется проводами со стандартными одноразовыми (условно) гелевыми электродами, которые можно заменить, например, на зажимные или вовсе сделать самодельные (в этом случае между электродом и поверхностью кожи следует наложить кусочек марли или бинта, смоченного физраствором для лучшего контакта). Схема имеет встроенный контроль наложения электродов — сообщит, если электроды не наложены, отвалились или имеют плохой контакт с кожей. Выходной сигнал аналоговый и может быть зарегистрирован различными способами. В простейшем случае с помощью осциллографа; то есть даже наличие микроконтроллера и компьютера, навыков программирования не является обязательным для демонстрации. Достаточно наложить три электрода, подключить питание и вывести сигнал с выхода платы на экран осциллографа (желательно цифрового, но подойдет самый недорогой вариант). В случае регистрации ЭКГ два электрода накладываются, например, на запястья рук и третий в области живота или ногу. При регистрации электрической активности других мышц электроды закрепляются в области локализации интересующей мышцы. На экране можно получить изображение сигнала и по нему вычислить частоту сердечных сокращений (если регистрировали ЭКГ), длительность различных фаз формирования регистрируемого биопотенциала. Использование для регистрации электрограммы микроконтроллерных плат *Arduino* или подобных расширяет возможности. Тогда, выходной сигнал можно зарегистрировать в графическом виде, сохранить в виде числовых данных для последующей обработки на ПК по различным алгоритмам (например, построить график Пуанкаре для сигнала ЭКГ). Это конечно потребует навыков работы с микроконтроллерами, программирования, но это не так сложно, как может показаться. Зато позволит познакомить учащихся с методами компьютерной обработки данных. Кроме того, для *Arduino* есть большое количество модулей с жидкокристаллическими экранами, а значит можно сделать устройство для регистрации биопотенциалов и анализа полученных данных без компьютера, доверив обработку сигналов и данных микроконтроллеру. Подобная работа может послужить основой для организации проектной деятельности заинтересованных школьников, в рамках которой они не только узнают о биологических потенциалах, но и смогут проявить себя в программировании и конструировании.

В процессе демонстрации, конечно, надо рассказать о том, что такое биопотенциалы и электрография, как они снимаются и какие параметры можно измерить. Объяснить ученикам, почему важно изучать эти показатели и как они используются в медицине. Показать, как правильно устанавливаются электроды на теле. Рассказать о важности правильного расположения электродов для получения точных данных. Процесс продемонстрировать можно на одном из учеников или позвать подопытного коллегу. Полученные результаты надо пояснить, проанализировать, объяснить, что означают различные волны и интервалы на графике (тем более при регистрации ЭКГ). Следует обратить внима-

ние на частоту сердечных сокращений, ритм и возможные аномалии. В процессе подведения итогов необходимо подчеркнуть важность физики для физиологии и медицины.

Такая демонстрация поможет ученикам лучше понять принципы работы организма и заинтересует их в изучении естественных наук. Когда ученики видят, как физические принципы применяются в других дисциплинах, они начинают мыслить шире и глубже. Это помогает им развивать навыки анализа сложных систем, где различные элементы взаимодействуют друг с другом. Такой подход важен не только для изучения естественных наук, но и для решения реальных жизненных задач, требующих комплексного подхода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. AD8232 Single-Lead, Heart Rate Monitor Front End, Data Sheet, pp. 1–28, 2013, [Online]. Available: <https://www.micro-semiconductor.com/data-sheet/29-AD8232ACPZ-R7.pdf>.

Петрозаводский государственный  
университет

Поступила в редакцию 04.12.24.

И. В. ТИХОНОВ

### **ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ НА ОСИ КАТУШКИ С ТОКОМ**

Предлагается цифровой образовательный ресурс, обеспечивающий сравнение теории и эксперимента при изучении магнитного поля катушки с током. Использована среда *Lazarus*. В эксперименте применяется датчик Холла, извлеченный из устаревшего компьютера.

*Ключевые слова:* цифровой образовательный ресурс, магнитная индукция, закон Био–Савара–Лапласа, датчик Холла, соленоид, катушка с током.

Расчету магнитных полей прямого проводника, витка, соленоида, катушки с током уделяется большое внимание в лекционном курсе электродинамики, а также при решении физических задач [1, 2]. Сравнение экспериментальных данных с теорией производится, как правило, в лабораторном практикуме [3]. Для этого применяются экспериментальные установки на основе датчика Холла и программные

средства, обеспечивающие наглядное сопоставление эксперимента и теории [4].

Целью нашего исследования стала разработка демонстрационного варианта эксперимента и соответствующего цифрового образовательного ресурса, позволяющих непосредственно на лекции за несколько минут сравнить результаты эксперимента с выводами теории при изучении магнитного поля катушки с током.

Экспериментальная установка описана раньше в работе [5]. Она состоит из горизонтальных алюминиевых направляющих, по которым движется платформа с расположенной на ней катушкой. На торце горизонтального стержня, расположенного по оси катушки, закреплен датчик Холла с чувствительностью 5,4 В/Тл, извлеченный из дисковода старого компьютера [6]. Токовые выводы датчика через амперметр подключены к блоку питания В–24, потенциальные выводы подключены к милливольтметру. В качестве амперметра и вольтметра используются мультиметры. Вдоль направляющих располагают линейку.

В начале опыта платформу с катушкой максимально удаляют от датчика Холла, включают источник постоянного тока и устанавливают силу тока примерно 1 А. Перемещают платформу, приближая катушку к датчику, записывают координату датчика относительно центра катушки и соответствующее значение холловского напряжения. Вводят значения координаты и холловского напряжения в окно разработанной нами программы.

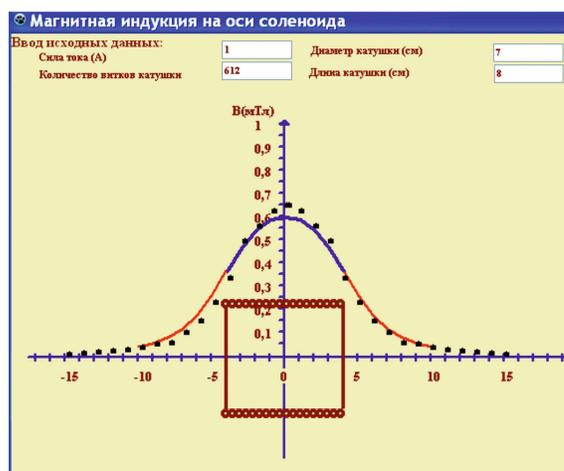


Рис. 1. Индукция магнитного поля на оси катушки; сплошная линия — теоретический график

На рис. 1 показаны результаты работы программы. Использована катушка на 220 В от универсального трансформатора. Параметры катушки: 1) внутренний диаметр 56,3 мм; 2) внешний диаметр 81,8 мм;

3) длина катушки 75 мм; 4) толщина намотки  $(81,8 - 56,3)/2 = 12,75$  мм; 5) число витков согласно паспорту 612.

*ЛИТЕРАТУРА*

1. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. — М.: Наука, 1988. — 496 с.
2. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. — М.: Наука, 1985. — 384 с. (С. 152–160).
3. Бункин А. Ю., Филанович А. Н., Подгорных С. М. Исследование магнитного поля соленоида. Текстовый электронный образовательный ресурс. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2022. — URL: <https://study.urfu.ru/Aid/Publication/14309/1/> (дата обращения: 28.12.2024).
4. Юркевич Н. П., Савчук Г. К., Кужир П. Г. Исследование распределения магнитного поля в многослойном соленоиде конечной длины // Физическое образование в вузах. — 2015. — Т. 21, № 2. — С. 49–60.
5. Вараксина Е. И., Тихонов И. В. Цифровой образовательный ресурс: индукция магнитного поля на оси кругового тока // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 73–75.
6. Майер В. В., Вараксина Е. И., Васильев И. А. Учебное исследование датчика Холла, извлеченного из устаревшего компьютера // Учебная физика. — 2018. — № 3. — С. 18–32.

МБОУ «СОШ № 10»  
им. Героя РФ А. Б. Ушакова,  
г. Глазов

Поступила в редакцию 25.12.24.

## АВТОРЫ СБОРНИКА

1. АВДЕЕВ НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры твердого тела Петрозаводского государственного университета.
2. АИТОВА ЕЛИЗАВЕТА ВАЛЕРЬЕВНА аспирант Пермского государственного гуманитарно–педагогического университета.
3. АЛЕКСАНДРОВА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА кандидат технических наук, доцент кафедры общей физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и кафедры физики Российского университета транспорта (Москва).
4. АНАНЬЕВ ГРИГОРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ старший преподаватель кафедры общей физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».
5. АНДРЕЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры «Физика» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва).
6. АНИСИМОВ ЕВГЕНИЙ ИГОРЕВИЧ ассистент кафедры общей физики радиофизического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
7. АРЗУМАНЯН НАТАЛЬЯ ГЕННАДЬЕВНА кандидат педагогических наук, самозанятый (Санкт–Петербург).
8. АРЖАНИК АЛЕКСЕЙ РЕМОВИЧ кандидат педагогических наук, доцент; заведующий кафедрой физики и методики обучения физике Томского государственного педагогического университета.
9. АРТАМОНОВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ведущий инженер кафедры физики твердого тела Петрозаводского государственного университета.
10. БАРЫШНИКОВ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ доктор физико–математических наук, профессор; профессор кафедры физического и математического образования Благовещенского государственного педагогического института.
11. БУТКО НАТАЛИЯ БОРИСОВНА кандидат физико–математических наук, доцент; доцент института физических исследований и технологий (ИФИТ) Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (Москва).
12. БУТУСОВ ИГОРЬ ЮРЬЕВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент, преподаватель кафедры и физики ВУНЦ ВВС ВВА «Военно–воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина».
13. ВАГАНОВА ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА доктор педагогических наук, доцент; заведующий кафедрой «Физика» Восточно–Сибирского государственного университета технологий и управления (Улан–Удэ).

14. ВАГАНОВА ВЛАДИСЛАВА ГЕННАДЬЕВНА доктор педагогических наук, доцент; доцент кафедры «Физика» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Улан-Удэ).
15. ВАРАКСИНА ЕКАТЕРИНА ИВАНОВНА кандидат педагогических наук, доцент; доцент кафедры физики и дидактики физики Глазовского государственного инженерно-педагогического университета имени В. Г. Короленко.
16. ВЗОРОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ старший преподаватель кафедры общей физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».
17. ВОРСИНА ЕКАТЕРИНА ВИКТОРОВНА старший преподаватель кафедры медбиофизики, информатики и экономики Ижевской государственной медицинской академии.
18. ГАЖУЛИНА АНАСТАСИЯ ПЕТРОВНА кандидат физико-математических наук, доцент; доцент кафедры кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
19. ГОРШКОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ магистр; инженер-физик научно-производственного предприятия «Теус-Урал» (Челябинск).
20. ГОРЧАКОВ ЛЕОНИД ВСЕВОЛОДОВИЧ доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей и экспериментальной физики физического факультета Томского государственного университета.
21. ГРЕБЕНЕВ ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ доктор педагогических наук, профессор; профессор кафедры кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
22. ГУГАЛО ВИТАЛИЙ ПЕТРОВИЧ кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры медицинской и биологической физики Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (Санкт-Петербург).
23. ГУРЕЕВ МАКСИМ МИХАЙЛОВИЧ студент Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.
24. ДАММЕР МАНАНА ДМИТРИЕВНА доктор педагогических наук, профессор; профессор кафедры физики и методики обучения физике Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета (Челябинск).
25. ЖБАНОВ НИКИТА СЕРГЕЕВИЧ кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение» Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.
26. ЖУКОВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ преподаватель кафедры медицинской и биологической физики Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (Санкт-Петербург).
27. ЗАХАРОВ ВИТАЛИЙ ЮРЬЕВИЧ кандидат физико-технических наук, доцент; доцент кафедры физики Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного (Санкт-Петербург).

28. ЗАХАРОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры «Физика» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва).
29. ЗИЗИКИНА УЛЬЯНА ИГОРЕВНА магистрант Нижегородского государственного педагогического университета им. Козьмы Минина; учитель физики МАОУ «Школы № 5» в г. Богородске.
30. ЗИЯТДИНОВ ШАМИЛЬ ГАБДИНУРОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры высшей математики и физики Бирского филиала Уфимского университета науки и технологий.
31. ИСМАГИЛОВ РАВИЛЬ ГАББАСОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры физики Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного (Санкт–Петербург).
32. КАЗАРИН ПЕТР ВАСИЛЬЕВИЧ кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры общей физики радиофизического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
33. КАТАЕВ СЕРГЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор; профессор кафедры физики и методики обучения физике Томского государственного педагогического университета.
34. КИРИН ИГОРЬ ГРИГОРЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, академик МАНЭБ; профессор кафедры физики и методики преподавания физики Оренбургского государственного университета.
35. КЛИШКОВА НАТАЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой физики Военной академии связи им. С. М. Буденного (Санкт–Петербург).
36. КОЗУСЬ ЕЛИЗАВЕТА АЛЕКСЕЕВНА студентка Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (Москва).
37. КОКИН СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ доктор физико–математических наук, профессор; профессор кафедры «Физика» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва).
38. КОНСТАНТИНОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ заведующий лабораторией кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии Государственного университета просвещения (Москва).
39. КУИМОВ АНДРЕЙ СЕРГЕЕВИЧ аспирант Уральского государственного педагогического университета (Екатеринбург).
40. КУЗЬМИЧЁВА ВИКТОРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры физики Российского университета транспорта (Москва).
41. ЛАПИН НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ кандидат физико–математических наук; декан физико–технологического факультета Нижегородского государственного педагогического университета им. Козьмы Минина.
42. ЛЕБЕДЕВА ОЛЬГА ВАСИЛЬЕВНА, доктор педагогических наук, доцент; профессор кафедры кристаллографии и экспериментальной физики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.

43. ЛЕВИН КИРИЛЛ ЛЬВОВИЧ кандидат химических наук, доцент; доцент кафедры физики Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного (Санкт-Петербург).
44. ЛОГИНОВ БОРИС АЛЬБЕРТОВИЧ начальник научно-исследовательской лаборатории атомной модификации и анализа поверхности полупроводников Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Москва).
45. ЛОГИНОВА СВЕТЛАНА ВЛАДИМИРОВНА кандидат физико-математических наук, доцент; доцент кафедры физики твердого тела Петрозаводского государственного университета.
46. МАЙЕР ВАЛЕРИЙ ВИЛЬГЕЛЬМОВИЧ доктор педагогических наук, профессор; заведующий кафедрой физики и дидактики физики Глазовского государственного инженерно-педагогического университета имени В. Г. Короленко.
47. МАЙЕР РОБЕРТ ВАЛЕРЬЕВИЧ доктор педагогических наук, доцент; профессор кафедры физики и дидактики физики Глазовского государственного инженерно-педагогического университета имени В. Г. Короленко.
48. МАЛЯТИНА АЛЁНА АЛЕКСЕЕВНА аспирант Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского; учитель физики МБОУ «Гаврилово-Посадская СШ № 1».
49. МАСЛЕННИКОВА ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА доктор педагогических наук, доцент; заведующая кафедрой педагогики и управления образовательными системами Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского; Заслуженный учитель РФ.
50. МИЛИНСКИЙ АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ доктор физико-математических наук, доцент; профессор кафедры физического и математического образования Благовещенского государственного педагогического института.
51. МОЛЧАНОВА ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА ассистент кафедры физики и методики преподавания физики Луганского государственного педагогического университета.
52. НЕФЕДОВ ВАСИЛИЙ АНДРЕЕВИЧ соискатель кафедры теории и методики управления авиацией филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» (Челябинск).
53. ОСТРОУМОВА ЮЛИЯ СЕРГЕЕВНА доктор педагогических наук, доцент; заведующая кафедрой медицинской и биологической физики Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (Санкт-Петербург).
54. ОФИЦИН СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ кандидат педагогических наук, доцент; доцент кафедры «Энергетические системы и точное машиностроение» Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.
55. ПАУТКИНА АННА ВЛАДИМИРОВНА кандидат физико-математических наук, доцент; доцент кафедры «Физика» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва).

56. ПЕТРОВА ЗУЛЬФИЯ НУРИСЛАМОВНА старший преподаватель кафедры физической культуры и медико–биологических дисциплин; магистрант кафедры физики и дидактики физики Глазовского государственного инженерно–педагогического университета имени В. Г. Короленко.
57. ПИКУЛЕВ ВИТАЛИЙ БОРИСОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры физики твердого тела Петрозаводского государственного университета.
58. ПЛАТОНОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры общей физики Петрозаводского государственного университета.
59. ПОПОВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ курсант филиала Военного учебно–научного центра Военно–воздушных сил «Военно–воздушная академия» в г. Челябинске.
60. ПРОКОПОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры математических, естественно–научных и общепрофессиональных дисциплин Михайловской военной артиллерийской академии (Санкт–Петербург).
61. ПРОКОПЬЕВА АННА АЛЕКСАНДРОВНА студентка Глазовского государственного инженерно–педагогического университета имени В. Г. Короленко.
62. ПЩЕЛКО НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ доктор технических наук, доцент; старший научный сотрудник научно–исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного (Санкт–Петербург), профессор кафедры физики СПбГЭТУ «ЛЭТИ», научный сотрудник АО НИИ «Рубин».
63. РОМАНОВА АННА НИКОЛАЕВНА студентка Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (Москва).
64. РУЛЬКОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ учитель физики Лицея № 40 (Нижний Новгород).
65. РЯБОКОНЬ ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА старший преподаватель кафедры физики Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного (Санкт–Петербург).
66. САБИРЗЯНОВ АЛЕКСАНДР АДЕЛЕВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения (Екатеринбург).
67. СИЗОВ МИХАИЛ НИКОЛАЕВИЧ студент Государственного университета просвещения (Москва).
68. СМЕРНОВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ аспирант Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
69. СТЕПИНА СВЕТЛАНА ПЕТРОВНА кандидат физико–математических наук, доцент; доцент института физических исследований и технологий (ИФИТ) Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы (Москва).

70. СТОЮХИН СЕРГЕЙ ГЛЕБОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры «Физика» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва).
71. ТАРАКАНОВ НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ магистрант кафедры кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
72. ТАРЧЕВСКИЙ АНДРЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ преподаватель школы 179 г. Москвы.
73. ТЕТЕЛЕВА ЕКАТЕРИНА МИХАЙЛОВНА старший преподаватель кафедры общей физики физико–технического института Петрозаводского государственного университета.
74. ТЕРЕЩУК ДАРИНА НИКОЛАЕВНА студентка Луганского государственного педагогического университета.
75. ТЕХТЕЛЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ ассистент кафедры физики и методики преподавания физики Луганского государственного педагогического университета.
76. ТИХОНОВ ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ учитель физики и информатики высшей категории школы № 10 имени Героя РФ А. Б. Ушакова (Глазов).
77. УСЛУГИН НИКОЛАЙ ФЕДОРОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент, руководитель Центра физических демонстраций кафедры общей физики радиофизического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
78. УСОЛЬЦЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, технологии и методики обучения физике и технологии Уральского государственного педагогического университета (Екатеринбург).
79. ФАДДЕЕВ МИХАИЛ АНДРЕЕВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
80. ХАБИБУЛИН ТИМУР РИНАТОВИЧ бакалавр Южно–Уральского государственного гуманитарно–педагогического университета (Челябинск).
81. ХАНЖИНА ЕЛЕНА ВЯЧЕСЛАВОВНА кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики, математики и физико–математического образования Нижегородского государственного педагогического университета им. Козьмы Минина.
82. ХАНИН САМУИЛ ДАВИДОВИЧ доктор физико–математических наук, профессор; профессор кафедры электроники Санкт–Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. профессора М. А. Бонч–Бруевича.
83. ЧЕРНЯЕВ АНТОН ВАЛЕНТИНОВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент кафедры физики Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного (Санкт–Петербург).

84. ШАВЛОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры теории и методики управления авиацией филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» в г. Челябинске.
85. ШАПОВАЛОВ АНАТОЛИЙ АНДРЕЕВИЧ доктор педагогических наук, профессор; профессор кафедры физики и методики обучения физике Алтайского государственного педагогического университета (Барнаул).
86. ШИЛЯЕВА ЛАРИСА ВИКТОРОВНА старший преподаватель кафедры физической культуры и медико-биологических дисциплин; магистрант кафедры физики и дидактики физики Глазовского государственного инженерно-педагогического университета имени В. Г. Короленко.
87. ШЛЫКОВ ВАЛЕРИЙ АНДРЕЕВИЧ студент Петрозаводского государственного университета.
88. ШТАК АЛЁНА ВАДИМОВНА студентка Томского государственного университета.
89. ШУДЕГОВ ИЛЬЯ АЛЕКСЕЕВИЧ студент Глазовского государственного инженерно-педагогического университета имени В. Г. Короленко.

# ABSTRACTS

## GENERAL PROBLEMS

**Dammer M. D. The role of experiment in the propaedeutic course of physics for grades 5–6.** There are considered didactic functions of the experiment in the context of advanced physics training from the fifth grade, its development potential. There are described the features of the process of empirical cognition in the study of physics in grades 5–6 and the types of proposed experimental tasks for implementation in class and at home. *Keywords:* physics, propaedeutics, thinking, physical experiment, experimental task, phenomenon, property, regularity.

**Usoltsev A. P. The system of using physical experiment in the educational process.** A system of application of an educational physical experiment is proposed, which makes it possible to optimally use the didactic potential of a physical experiment when studying topics of a school physics course. An example of its use in the study of the topic «Electrostatics» is given. *Keywords:* systematic application of experiment, school physics experiment, electrostatics.

**Shapovalov A. A. The specifics of the laboratory physical practice at a pedagogical university.** It is argued that the content and methodology of setting laboratory practice in physics at a pedagogical university at the present stage of teacher training should be radically revised. A variant of such a review is given. *Keywords:* laboratory physics workshop, general physics course, methods of teaching physics, professional training of a physics teacher.

## THE THEORY AND PRACTICE OF EDUCATIONAL PHYSICS EXPERIMENT

**Aitova E. V. Engineering tasks for physics laboratory works in grades 7.** It offers a series of methodological techniques aimed at engineering, applied content of laboratory works in the 7th grade. These materials are included in accordance with the educational programme in physics. The methodological developments have been tested on secondary school students and have shown high efficiency in career guidance work and work on the formation of experimental skills among students. *Keywords:* experimental skills, engineering thinking, engineering assignments, career guidance.

**Aleksandrova N. V., Ananiev G. V., Vzorov N. N., Kuzmicheva V. A. Activation of students' cognitive activity through their involvement in the development of laboratory and demonstration experiments.** The activation of students' cognitive activity through their involvement in the development of laboratory and demonstration experiments is discussed. The experience of such interaction is presented. *Keywords:* cognitive activity, laboratory experiment, demonstration experiment.

**Arzumanyan N. G. Generalization of existing experience in physics in the board game «Operation Ro and other adventures of schoolchildren».** The

experience of organizing a board game is described in order to generalize the existing knowledge and experience in physics among schoolchildren, including before starting to study physics. *Keywords*: educational games, physics teaching, serious entertainment.

**Vaganova V. I., Vaganova V. G. Methodology of teaching the solution of problems in the section «Thermodynamics».** A methodology of teaching the solution of computational and graphical problems in the section «Thermodynamics» is proposed. The methodology is intended for school physics lessons and extracurricular activities of students in preparation for the Unified State Exam. *Keywords*: work with a change in gas volume, First law of thermodynamics, amount of heat, heat engines, algorithm for solving graphical and computational problems.

**Gugalo V. P., Ostroumova Ju. S., Khanin S. D. Educational physical practicum as a sphere of actualization and constructive application of theoretical knowledge.** The possibilities of implementing the educational resource of the educational physical practicum as a means of updating and constructive application of theoretical knowledge are shown. A specific topic is presented, representative in terms of solving this problem. *Keywords*: theoretical knowledge, the topic of the practicum, the study of the photoconductivity of highly doped compensated semiconductors.

**Dammer M. D., Khabibulin T. R. Verification and Evaluation of Laboratory Works Using Neural Networks.** This report is devoted to addressing the pressing issue of teacher overload in checking students' work. The report explores the prospects of using artificial intelligence for automated processing of handwritten work and evaluation of results. *Keywords*: neural networks, artificial intelligence (AI), handwritten text processing, automated verification, teachers, laboratory work, education, motivation, efficiency, time.

**Zhukov V. A., Loginov B. A., Ostroumova Ju. S., Khanin S. D. Scanning probe microscopy methods as a subject and means of an educational physical practicum.** From a didactic and methodological point of view, an argument is being developed in favor of studying scanning probe microscopy methods in an educational physical practicum. The possibilities of integrating these methods into teaching practice are shown. *Keywords*: methods of scanning probe microscopy, the subject of study in the practicum, the mean of performing the practicum.

**Zhukov V. A., Ostroumova Ju. S., Khanin S. D. Towards the formation of cognitive independence by means of a physical practicum.** Methodological techniques aimed at the formation of cognitive independence of students by means of an educational physical practicum at the levels of choosing the method of experimental problem solving and their formulation are proposed. *Keywords*: cognitive independence, the potential of an educational physical practicum, methodological techniques and their implementation, examples of implementation.

**Zacharova T. V. How to wright the error of measurements.** The regulatory framework for measurement processing methods and techniques is given. It is shown how the results and errors of series of experiments and rounded, taking into account significant figures. *Keywords*: training physical laboratory, error of measurements, credible interval, rounding of experimental data.

**Ziyatdinov Sh. G. On 80th anniversary of Hiroshima tragedy and on 75th anniversary of the end of US nuclear monopoly.** We describe main stages and milestones of the nuclear bomb creation leading to Hiroshima tragedy, and we talk about the efforts of Soviet scientists to end the nuclear monopoly of the USA. *Keywords:* 80 years since Hiroshima tragedy, the end of US nuclear monopoly.

**Kokin S. M., Stoyukhin S. G. On setting up lecture demonstrations in physics during meetings with schoolchildren.** A set of experiments that are demonstrated to schoolchildren at meetings such as «University Saturdays», «Museum Nights», etc. should contain not only spectacular experiments, but also have mobility so that they can be shown not only in the classrooms of the Physics department. For this purpose, enthusiastic teachers at the department have formed a set of relevant demonstrations and prepared recommendations for its use. *Keywords:* mobile lecture demonstrations, physics experiments for schoolchildren, physical effects, work with future applicants.

**Kuimov A. S. The role of physical experimentation and self-made devices in the development of productive thinking in enhancing technical literacy in physics lessons.** The article presents tasks and projects, including the creation of self-made devices, aimed at developing productive thinking and enhancing students' technical literacy in physics lessons. The materials are useful for teachers and education students. *Keywords:* education, technical thinking, productive thinking, physics teaching methodology, engineering formation, engineering in education, physics experiment, self-made devices.

**Lapin N. I. Workshop in physics for students with hearing impairment.** Physics is one of the subjects that combines theory, practice and experiment. This feature allows to include hearing-impaired and deaf children in the process of cognition of the world from the point of view of experiment. *Keywords:* physics, deaf students, experiment.

**Malyatina A. A., Grebenev I. V. The use of virtual demonstration experiments in educational activities.** The issue of organizing demonstration experiments in the school physics course is raised. Traditional demonstration experiments in physics do not always contribute to deep understanding, as they do not involve the active participation of students. Virtual experiments allow you to repeat research many times, which contributes to better assimilation of the material and the development of analytical skills. *Keywords:* virtual demonstration experiments, application of knowledge.

**Maslennikova Yu. V., Faddeev M. A., Tarakanov N. S. Development of experimental skills of students in the framework of additional education in physics in primary school.** The article considers an approach to the creation and use of multilevel experimental tasks and tasks in physics in the educational process, contributing to the effective formation of experimental skills of students, the organization of experimental activities within the framework of educational research (R&D). *Keywords:* additional education, an activity-based approach to learning, experimental tasks and tasks, educational and research work of students.

**Romanova A. N., Kozus E. A., Butko N. B., Stepina S. P. Physical experiment as a way to generate interest in science among schoolchildren.** A number of simple but interesting physical experiments from improvised means are presented. The purpose of these physical experiments is to help

the school teacher in awakening enthusiasm for the study of science among schoolchildren. *Keywords:* school education, physical experiment.

**Tarchevsky A. E. Practice in physics: a collection of methodological manuals for teachers and students in grades 7–11.** The report presents the experience of creating and conducting an author's workshop on physics. Laboratory studies of the workshop (74 papers) made up the content of the training manual. *Keywords:* physics, laboratory practice, manual.

**Teteleva E. M. Using a Tesla coil for demonstration in different sections of Physics.** The article describes the use of a Tesla coil to demonstrate physics laws and phenomena in the study of various topics and sections of Physics — «Electricity», «Oscillation and waves», «Alternating current», «Phase transitions», «Electromagnetism» and «Atomic Structure». *Keywords:* Tesla coil, demonstration physics experiment.

**Khanzhina E. V., Zizikina U. I. From the experience of developing students' engineering competencies through continuous physical education: from propaedeutics to pre-professional training.** The possibilities of developing the engineering competencies of modern school students are considered based on the examples of practical experience in continuous physical education. Recommendations for the implementation of successful practices related to propaedeutics of physical knowledge and pre-professional preparation of students for engineering education are proposed. *Keywords:* engineering competencies, continuing physical education, propaedeutics of physical knowledge, the course «Entertaining physics for future engineers», project activities.

**Shavlov A. V., Nefedov V. A., Popov D. I. The place and role of review lectures in the general physics course.** The idea of excluding details from the review lectures is proposed. In the review lecture, it is necessary to focus students' attention on key points that allow students to understand the essence of the main element of the topic. *Keywords:* lecture, review, methods, program, description, questions, approach.

#### NEW EDUCATIONAL EXPERIMENTS ON PHYSICS

**Avdeev N. A., Artamonov O. N., Shlykov V. A. Study of the optical characteristics of a solar cell.** A description of laboratory work is proposed to study the conversion spectrum of a solar cell and the dependence of the voltage at the contacts of the solar cell on the angle of inclination of the incident radiation. *Keywords:* solar cell, photocell conversion spectrum, tilt angle.

**Arzhanik A. R., Kataev S. G., Shtak A. V. Application of monochromatic X-ray radiation in laboratory practice.** Methods for obtaining and using monochromatic X-ray radiation using the *PHYWEX – rayXR 4.0* laboratory setup are described. The proposed description can be used in a laboratory workshop in a physics course. *Keywords:* X-ray radiation, laboratory workshop, monochromatic X-ray radiation.

**Butusov I. Y., Prokopova T. V. Comparative analysis of bodies rolling down an inclined plane.** In laboratory work with an inclined plane on the topic «Solid body mechanics», it is proposed to use a body of «simple shape» as a test body, for example, a piece of pipe. The advantages of this approach

are shown. *Keywords:* inclined plane, moment of inertia, friction force, pipe section, disk, angular acceleration, torque.

**Varaksina E. I., Mayer V. V., Shudegov I. A. A simple demonstration of the wave-like propagation of light.** A simple experiment is described to demonstrate wave-like propagation of light in layered inhomogeneous media in a general physics course when studying the basics of gradient optics. *Keywords:* General physics course, fundamentals of gradient optics, wave-like propagation of light.

**Vorsina E. V. Exponential attenuation of radiation in matter.** A demonstration experiment is proposed to study the exponential dependence of the attenuation of laser radiation intensity in a material. The experiment is intended for physics classes at a medical school. *Keywords:* Bouguer's law, attenuation of light intensity, exponential attenuation of radiation.

**Gazhulina A. P. A series of experiments with the laboratory setup «Ballistic pendulum» as part of pre-university training of students.** A series of experiments of varying levels of complexity is proposed using the REME06 «Ballistic Pendulum» laboratory setup supplied by Vector LLC. *Keywords:* additional education, pre-university training, multi-level work of laboratory practical training, advanced engineering school, ballistic pendulum, ballistic trajectory.

**Gorshkov A. V. Demonstration educational experiment project acceleration of the body by a chain of elastic strikers of decreasing mass.** The problem of accelerating the body with a long chain of elastic strikers is solved analytically and numerically. In the framework of Newton's impact theory, the necessary condition and the law of best decreasing masses for the highest efficiency at a given increase in speed were found. A specific project proposed. *Keywords:* demonstration experiment, mechanical movement, not quite elastic impact, optimization of device parameters.

**Kazarin P. V., Uslugin N. F., Anisimov E. Y. Device for demonstrating the principle of dynamic damping.** A demonstration setup implementing a dynamic damping system is considered. In order to maximally emphasize the operating principle and efficiency of such systems, the design and parameters of the setup were adjusted. *Keywords:* oscillatory systems, two degrees of independency, dynamic damping, demonstration setup.

**Kirin I. G. Laboratory work «Study of the process of anti-Stokes frequency conversion of laser radiation in atomic vapors».** The developed laboratory work is described, intended for studying the process of anti-Stokes frequency conversion of laser radiation in atomic vapors of alkali metals. *Keywords:* anti-Stokes frequency conversion, parametric frequency mixing process, significant gain, degenerate pumping, third wave generation in the pump propagation medium, atomic vapors of alkali metals.

**Konstantinov M. S., Sizov M. N. Electrostatic levitation in an educational experiment or The magic tricks of physics: from science fiction to reality.** A technique is proposed that makes it easy for any teacher to demonstrate a series of experiments on the effect of levitation in an electrostatic field without using expensive equipment. The experiments are intended for both school physics lessons and extracurricular project activities of students. *Keywords:* levitation, electrostatic field, electrification, electric charge, middle school.

**Milinskiy A. Yu., Baryshnikov S. V. Highly sensitive thermal radiation receiver for conducting physical experiment.**

An original thermal radiation receiver for conducting a physical experiment is proposed, made on the basis of a spherical mirror with an external metal coating and a thermopile sensor MRT311S. *Keywords:* physics, physical experiment, thermal radiation, mirror, optical axis, pyroelectric sensor, pyroelectric effect.

**Oifitsin S. I., Zhibanov N. S., Gureev M. M. A demo model of a photo relay.**

A design solution to the problem of creating a demonstration model of a «Photorele» on a photoresistor and other discrete electronic components is considered. The implementation of the applied direction of physics and technology allows the formation of polytechnic competencies among students through the technology of creating an author's experimental installation design. *Keywords:* photorelay, specification of elements, schematic diagram, demonstration model, photoresistor.

**Petrova Z. N., Varaksina E. I., Mayer V. V. Educational ultrasound installation for irradiating plant seeds.**

An installation has been developed for the educational study of the effects of ultrasound with a frequency of 40 kHz on plant seeds. The installation consists of an ultrasonic generator, a magnetostrictive radiator with a ferrite vibrator, a 7.4 V battery pack and a chamber for ultrasonic seed treatment. *Keywords:* educational research, ultrasound irradiation, plant seeds, experimental setup.

**Prokopyeva A. A., Varaksina E. I., Mayer V. V. Resistor divider for measuring piezoelectric generator voltage.**

The possibility of using a resistor voltage divider to expand the measurement limits of a school demonstration electrometer is substantiated. A high-voltage voltmeter based on an electrometer is designed for laboratory work on the quantitative study of the piezoelectric effect in elementary physics courses. *Keywords:* piezogenerator, voltage measurement, demonstration electrometer, resistor divider.

**Sabirzyanov A. A. Does the right rail wear out more than the left one?**

The correctness of the statement common in the educational literature that the Coriolis force causes increased wear on the right rail compared to the left is considered. *Keywords:* Coriolis force, rail wear.

**Smirnov A. A., Lebedeva O. V., Rulkov A. S. Experimental Physical Problems of Engineering Orientation.**

Several experimental tasks are proposed based on plots that are often encountered in experimental rounds of physics Olympiads. The tasks can be used in propaedeutic physics courses, in school physics lessons and in extracurricular activities of students and are relevant in the context of developing engineering literacy in schoolchildren. *Keywords:* engineering literacy, experimental problems, hydrostatic weighing, Olympiad experiment.

**Tekhtev Yu. V., Tereshchuk D. N., Molchanova E. S. Galton board model.**

In addition to the cycle of demonstration works on the general physics course, a Galton board model made using additive technologies is offered. The device is designed for school physics lessons and extracurricular project activities of students. *Keywords:* Galton's board, demonstration experiment, physics, demonstration of the central limit theorem, normal distribution, Francis Galton.

**Chernyaev A. V., Zakharov V. Yu., Ismagilov R. G., Pshchelko N. S. Studying the spectrum of free vibrations of a piano string.** The method for studying the vibration spectrum of a piano string is proposed. The method for exciting vibrations is proposed, in which the harmonic of one string excites the corresponding harmonic of another string. *Keywords:* free vibrations of strings, piano, harmonicas.

**Shilyaeva L. V., Varaksina E. I., Mayer V. V. Chemical indicators in experiments on diffusion in gases and liquids.** To demonstrate the phenomenon of diffusion in gases and liquids, it is proposed in physics and chemistry lessons to use the same installation consisting of a Landolt vessel, into the knees of which aqueous solutions of ammonia and phenolphthalein are introduced. *Keywords:* diffusion, demonstration experiment, Landolt vessel, aqueous solutions of ammonia and phenolphthalein.

### COMPUTER IN THE EDUCATIONAL PHYSICAL EXPERIMENT

**Andreev A. I., Pautkina A. V. Special workshop at the Scientific and Educational Center for Digital Information and Analytical Optics.** The laboratory settings of the special workshop «Applied Nanophotonics», organized at the Scientific and Educational Center for Digital Information and Analytical Optics, the purpose of which is the development of digital technologies and information and analytical methods in optics, are described. Installation diagrams are provided. *Keywords:* Scientific and educational center, digital technologies, innovative thinking, information and analytical methods, nano-sized objects, fiber optic spectrometers, light-emitting diodes, radiometric measurements, photocolourimetry, chromaticity coordinates.

**Gorchakov L. V. A microcontroller version of Kundt's installation for the study of the dependence of sound velocity on temperature.** A scheme is proposed and a laboratory setup for studying the dependence of sound velocity by the Kundt method is implemented in accordance with it. *Keywords:* Kundt experiment, laboratory setup, microcontroller, dependence, sound velocity, temperature.

**Ismagilov R. G., Levine K. L., Ryabokon D. V., Zakharov V. Yu. Statement of the problem of the evolution of the satellite trajectory under the action of a radial force.** The problem of the satellite's motion under the action of an additional radial force is adapted for a numerical solution on a computer. For this purpose, the variables are replaced by those natural for this problem and the initial conditions are obtained from the assumption that before the action of the radial force, the motion occurred only under the action of the central gravitational force, i. e. the trajectory was elliptical. *Keywords:* system of differential equations, apogee, perigee, initial conditions.

**Levine K. L., Ismagilov R. G., Ryabokon D. V., Zakharov V. Yu., Klishkova N. V. Development of an educational numerical experiment to obtain practically significant results in solving problems of celestial mechanics.** Examples of solutions to applied problems of celestial mechanics are considered in terms of developing students' skills in applying the principles of mathematical analysis, perturbation theory, and the use of computational mathematics software packages to study the spacecraft trajectories by us-

ing numerical methods. *Keywords:* differential equations, numerical methods, trajectory, celestial mechanics, meteoroid hazard.

**Loginova S. V., Pikulev V. B. Using Python language for graphical presentation of experimental results.** We have proposed the experience of teaching students the capabilities of the Python programming language aimed at processing and graphical presentation of the results of model calculations and data of physical experiments. *Keywords:* scientific graphics, Python language, laboratory experiment, mathematical modeling.

**Mayer R. V. Study of molecular velocity distribution using a computational experiment.** Two computer programs on ABCPascal are considered, allowing: 1) to obtain random variables that obey the normal Gaussian distribution law; 2) to study the distribution of molecules by velocities (Maxwell definition). *Keywords:* Gaussian distribution, Maxwell distribution, programming, statistical physics, molecule, velocity, model, computer.

**Pikulev V. B. Implementation of Python modules for controlling spectroscopic measurements.** We described the capabilities of the Python language for controlling the spectral measuring setup in various operating modes, for processing, storing and visualizing experimental data. *Keywords:* Python language, object-oriented programming, laboratory experiment, spectroscopy.

**Platonov A. A. Demonstrations of bioelectric potentials in the study of the physical foundations of electrography.** The possibility of using an Arduino and a compatible board based on the AD8232 chip to demonstrate bioelectric potentials in the process of studying the physical foundations of electrography (in particular electrocardiography) is being considered. *Keywords:* demonstration experiment, biopotentials, myography, electrocardiography, Arduino.

**Tikhonov I. V. Digital educational resource for determining magnetic induction on the axis of a current coil.** A digital educational resource is proposed that provides a comparison of theory and experiment in the study of the magnetic field of a coil with a current. The Lazarus environment is used. The experiment uses a Hall sensor extracted from an outdated computer. *Keywords:* digital educational resource, magnetic induction, Biot-Savard-Laplace law, Hall sensor, solenoid, current coil.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

<b>1. Даммер М. Д.</b> Роль эксперимента в пропедевтическом курсе физики 5–6 классов.....	3
<b>2. Усольцев А. П.</b> Система использования физического эксперимента в учебном процессе.....	5
<b>3. Шаповалов А. А.</b> Специфика лабораторного физического практикума в педагогическом вузе.....	7

### ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА УЧЕБНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

<b>4. Аитова Е. В.</b> Инженерные задания для лабораторных работ по физике в 7 классе.....	9
<b>5. Александрова Н. В., Ананьев Г. В., Взоров Н. Н., Кузьмичева В. А.</b> Активизация познавательной деятельности студентов через их вовлеченность в разработку лабораторных и демонстрационных экспериментов.....	10
<b>6. Арзумян Н. Г.</b> Обобщение имеющегося опыта по физике в настольной игре «Операция Ро и другие приключения школьников».....	12
<b>7. Ваганова В. И., Ваганова В. Г.</b> Методика обучения решению задач по разделу «Термодинамика».....	15
<b>8. Гугало В. П., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д.</b> Учебный физический практикум как сфера актуализации и конструктивного применения теоретических знаний.....	17
<b>9. Даммер М. Д., Хабибулин Т. Р.</b> Проверка и оценка лабораторных работ посредством нейронных сетей.....	19
<b>10. Жуков В. А., Логинов Б. А., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д.</b> Методы зондовой микроскопии как предмет и средство учебного физического практикума.....	20
<b>11. Жуков В. А., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д.</b> К формированию средствами физического практикума познавательной самостоятельности.....	22
<b>12. Захарова Т. В.</b> Как записывать погрешности измерений.....	24
<b>13. Зиятдинов Ш. Г.</b> К 80–летию со дня Хиросимской трагедии и 75–летию снятия ядерной монополии США.....	26
<b>14. Кокин С. М., Стояхин С. Г.</b> О постановке лекционных демонстраций по физике при проведении встреч со школьниками.....	30
<b>15. Куимов А. С.</b> Роль физического эксперимента и самодельных устройств в развитии продуктивного мышления при повышении технической грамотности на уроках физики.....	32
<b>16. Лапин Н. И.</b> Практикум по физике для обучающихся с нарушениями слуха.....	35
<b>17. Малятина А. А., Гребенев И. В.</b> Применение виртуальных демонстрационных экспериментов в учебной деятельности.....	36
<b>18. Масленникова Ю. В., Фаддеев М. А., Тараканов Н. С.</b> Развитие экспериментальных навыков учащихся в рамках дополнительного образования по физике в основной школе.....	38

<b>19. Романова А. Н., Козусь Е. А., Бутко Н. Б., Степина С. П.</b> Физический эксперимент как способ зарождения интереса к науке у школьников.....	40
<b>20. Тарчевский А. Е.</b> Практикум по физике: сборник методических пособий для учителя и учащихся 7–11 классов.....	42
<b>21. Тетелева Е. М.</b> Использование катушки Тесла для демонстрации в разных разделах физики.....	43
<b>22. Ханжина Е. В., Зизикина У. И.</b> Из опыта развития инженерных компетенций учащихся средствами непрерывного физического образования: от пропедевтики до предпрофильной подготовки.....	45
<b>23. Шавлов А. В., Нефедов В. А., Попов Д. И.</b> Место и роль обзорных лекций в курсе общей физики.....	47

### НОВЫЕ УЧЕБНЫЕ ОПЫТЫ ПО ФИЗИКЕ

<b>24. Авдеев Н. А., Артамонов О. Н., Шлыков В. А.</b> Изучение оптических характеристик солнечного элемента.....	50
<b>25. Аржаник А. Р., Катаев С. Г., Штак А. В.</b> Применение монохроматического рентгеновского излучения в лабораторном практикуме.....	52
<b>26. Бутусов И. Ю., Проколова Т. В.</b> Сравнительный анализ скатывания тел по наклонной плоскости.....	55
<b>27. Вараксина Е. И., Майер В. В., Шудегов И. А.</b> Простая демонстрация волнообразного распространения света.....	57
<b>28. Ворсина Е. В.</b> Экспоненциальное ослабление излучения в веществе.....	59
<b>29. Гажулина А. П.</b> Серия экспериментов с лабораторной установкой «Баллистический маятник» в довузовской подготовке обучающихся.....	60
<b>30. Горшков А. В.</b> Проект демонстрационного учебного эксперимента: ускорение тела цепочкой упругих бойков убывающей массы.....	62
<b>31. Казарин П. В., Услугин Н. Ф., Анисимов Е. И.</b> Устройство для демонстрации принципа динамического демпфирования.....	63
<b>32. Кирин И. Г.</b> Лабораторная работа «Изучение процесса антистоксового преобразования частоты лазерного излучения в атомарных парах».....	65
<b>33. Константинов М. С., Сизов М. Н.</b> Электростатическая левитация в учебном эксперименте или Фокусы физики: от научной фантастики к реальности.....	67
<b>34. Милинский А. Ю., Барышников С. В.</b> Высокочувствительный приемник теплового излучения для проведения физического эксперимента.....	70
<b>35. Официн С. И., Жбанов Н. С., Гуреев М. М.</b> Демонстрационная модель фотореле.....	71
<b>36. Петрова З. Н., Вараксина Е. И., Майер В. В.</b> Учебная ультразвуковая установка для облучения семян растений.....	74
<b>37. Прокопьева А. А., Вараксина Е. И., Майер В. В.</b> Резисторный делитель для измерения напряжения пьезогенератора.....	76
<b>38. Сабирзянов А. А.</b> изнашивается ли правый рельс сильнее, чем левый?.....	78

<b>39. Смирнов А. А., Лебедева О. В., Рульков А. С.</b> Экспериментальные физические задачи инженерной направленности .....	80
<b>40. Техтелев Ю. В., Терещук Д. Н., Молчанова Е. С.</b> Модель доски Гальтона .....	82
<b>41. Черняев А. В., Захаров В. Ю., Исмагилов Р. Г., Пшелко Н. С.</b> Изучение спектра свободных колебаний струны фортепиано .....	83
<b>42. Шиляева Л. В., Вараксина Е. И., Майер В. В.</b> Химические индикаторы в опытах по диффузии в газах и жидкостях .....	86

### КОМПЬЮТЕР В УЧЕБНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

<b>43. Андреев А. И., Пауткина А. В.</b> Спецпрактикум в научно-образовательном центре цифровой информационно-аналитической оптики .....	89
<b>44. Горчаков Л. В.</b> Микроконтроллерный вариант установки Кундта по изучению зависимости скорости звука от температуры .....	92
<b>45. Исмагилов Р. Г., Левин К. Л., Рябоконе Д. В., Захаров В. Ю.</b> Постановка задачи об эволюции траектории спутника под действием радиальной силы .....	94
<b>46. Левин К. Л., Исмагилов Р. Г., Рябоконе Д. В., Захаров В. Ю., Клишкова Н. В.</b> Развитие учебного численного эксперимента для получения практически значимых результатов при решении задач небесной механики .....	97
<b>47. Логинава С. В., Пикулев В. Б.</b> Использование языка <i>Python</i> для графического представления результатов эксперимента .....	99
<b>48. Майер Р. В.</b> Изучение распределения молекул по скоростям с помощью вычислительного эксперимента .....	101
<b>49. Пикулев В. Б.</b> Реализация <i>Python</i> -модулей для управления спектроскопическими измерениями .....	104
<b>50. Платонов А. А.</b> Демонстрации биоэлектрических потенциалов при изучении физических основ электрографии .....	106
<b>51. Тихонов И. В.</b> Цифровой образовательный ресурс для определения магнитной индукции на оси катушки с током .....	108
★        ★        ★	
<b>52. Авторы сборника</b> .....	111
<b>53. ABSTRACTS</b> .....	118

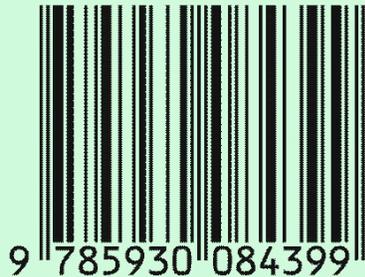
Подписано к печати 31.01.25. Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 8,0.

Тираж 100. Заказ № 168.

ФГБОУ ВО «Глазовский государственный инженерно-педагогический университет имени В. Г. Короленко».

427621, Удмуртия, г. Глазов, ул. Первомайская, 25.

ISBN 978-5-93008-439-9



9 785930 084399