ISSN 2307-5457

Учебная физика

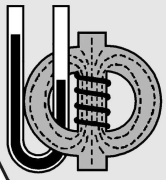


3
2026

ISSN 2307-5457

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Primus inter pares



УЧЕБНАЯ ФИЗИКА

Материалы XXXI Всероссийской научно-практической конференции

„Учебный физический эксперимент: Актуальные проблемы. Современные решения"

Июль - сентябрь 2026 №3

Издается с января 1997 года

Посвящается памяти В.В.Майера

СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

П. В. Зуев, Т. Н. Шамало — ПОДГОТОВКА УЧАЩИХСЯ К РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНОГО МЕТОДА ПОЗНАНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ 3

Старшая школа

М. А. Фаддеев, Ю. В. Масленникова — УЧЕБНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА «СИЛА ТРЕНИЯ ЭЙЛЕРА» 15

В. Н. Бакулин, М. И. Толмачева, М. П. Уварова — ТВОРЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ «ВОЛНОВАЯ ОПТИКА» 24

Высшая школа

О. В. Сергеева, Е. Л. Казакова — О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ 38

И. Ю. Зворыкин, М. Р. Каткова — УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ ПО СОЗДАНИЮ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА 49

Компьютер в эксперименте

А. П. Горлов, И. А. Горлов, Е. А. Самойлов — МЕЖПРЕДМЕТНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ: ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОСТИ АРТЕРИЙ 55

Исследования

И. Г. Кирин — ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ БУДУЩИМ ЮРИСТАМ В ЮРИДИЧЕСКОМ КОЛЛЕДЖЕ 70

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 76

Основатель журнала, главный редактор в 1997–2025 гг. — д.п.н., профессор ***Майер Валерий Вильгельмович*** *(Глазов)*

Редакция журнала:
Е. И. Вараксина (главный редактор), Р. В. Акатов, Л. С. Кропачева, Р. В. Майер, Е. С. Мамаева

Редакционный совет:

С. В. Барышников	д.ф.-м.н., профессор, Благовещенск
И. В. Гребенев	д.п.н., профессор, Нижний Новгород
М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
О. В. Лебедева	д.п.н., доцент, Нижний Новгород
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
А. П. Усольцев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
А. А. Шаповалов	д.п.н., профессор, Барнаул

Оргкомитет конференции:

Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Я. А. Чиговская–Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГИПУ, Глазов
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Перечень ВАК: Журнал «Учебная физика» включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Минобрнауки России в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов, Первомайская, 25, ФГБОУ ВО «ГИПУ», Телефон: (341 41) 5–32–29.
E-mail: uch-fiz@mail.ru, kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный инженерно–педагогический университет имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686; внесены изменения в запись о регистрации средства массовой информации Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77–69506.

Подписной индекс: 79876.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 07.09.26. Подписано в печать 24.09.26.
Дата выхода в свет: 29.09.26.
Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,75.

Заказ 177. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Исследование учебного физического эксперимента по диффузии (Вараксина Е. И., Майер В. В., Шиляева Л. В. Учебные опыты по диффузии на урочных и внеурочных занятиях по химии и физике // Учебная физика. — 2025. — № 1. — С. 39–55), прототип которого описан в статье В. В. Майера и Е. С. Мамаевой «Несколько новых опытов для седьмого класса» (Учебная физика. — 2007. — № 1. — С. 14–21).

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

П. В. Зуев, Т. Н. Шамало

ПОДГОТОВКА УЧАЩИХСЯ К РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНОГО МЕТОДА ПОЗНАНИЯ В ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССАХ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ

В статье обоснована необходимость подготовки учащихся инженерных классов начальной школы к экспериментальной деятельности на основе цикла научного познания. Приведены преимущества эксперимента как основного метода познания. Рассмотрены особенности организации познавательной деятельности учащихся начальной школы на основе эксперимента. Теоретические положения статьи обсуждены в докладе [1]. В настоящей статье они обоснованы примером реализации логики научного познания в начальной школе. Выполняя учебное исследование волчка, учащиеся наблюдают его устойчивое вращение, высказывают гипотезы о факторах, влияющих на продолжительность вращения, изготавливают волчки с разными параметрами и экспериментально исследуют их вращение, делают рисунки, фотографии, производят измерения, заполняют таблицы, формулируют выводы.

Ключевые слова: эксперимент, начальные классы, подготовка к инженерной деятельности, научный метод познания.

P. V. Zuev, T. N. Shamalo

PREPARING STUDENTS TO IMPLEMENT THE SCIENTIFIC METHOD OF COGNITION IN ENGINEERING CLASSES IN PRIMARY SCHOOL

The article substantiates the need to prepare students in engineering classes in primary school for experimental activities based on the cycle of scientific cognition. The advantages of experimentation as the main method of cognition are presented. The features of organizing the cognitive activity of primary school students based on experimentation are considered. The theoretical provisions of the article are discussed in the report [1]. As an example of implementing the logic of scientific cognition in primary school, a study of a top is considered. Students observe the stable rotation of a spinning top, formulate hypotheses about the factors influencing the duration of its rotation, make spinning tops with different parameters, experimentally study their rotation, draw pictures and take photographs, take measurements, fill in tables, and formulate conclusions.

Keywords: experiment, elementary classes, training for engineering activity, scientific method of cognition.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-3-14

© Зуев П. В., Шамало Т. Н., 2026

1. Введение

Одна из главных функций, которые выполняет человек, — познавательная, а познание без эксперимента невозможно. Поэтому очевидно, что человек рождается экспериментатором, и это свойство заложено в нем природой: его интересует пламя свечи на праздничном торте, вкус погремушки, мигание лампочек на новогодней елке. Став старше, он прыгает с зонтом с гаража, делает ракету, создает и испытывает горючую смесь. Взаимодействуя с разными материальными объектами, маленький изобретатель получает опыт познавательной деятельности и, прежде всего, деятельности экспериментальной.

В чем актуальность данного метода в познании? Как сформировать и развить умение экспериментировать у человека на протяжении жизни? Как повысить эффективность эксперимента и его связь с практической деятельностью человека? Это только некоторые вопросы, на которые следует получить ответы в этой статье. Теоретические положения статьи обсуждены в докладе [1]. В настоящей статье теоретические положения обоснованы убедительным примером из практики, в которой в полной мере применяется методология формирования наглядно–чувственных образов [2] с целью развития физического мышления учащихся начальной школы.

2. Понятия наблюдения и эксперимента в начальной школе

Известно, что эксперимент является одним из древних и широко распространенных методов научного познания. Становление этого метода было продолжительным и сложным процессом. Основателями метода обычно считают *Ф. Бэкона* и *Г. Галилея*. Сегодня экспериментальное исследование превратилось не только в важную составляющую научной методологии, но и, что не менее ценно, в одну из основных форм практической деятельности.

В переводе с латинского «эксперимент» означает «проба, опыт», и он всегда связан с наблюдением. Но в эксперименте наблюдатель активно вмешивается в протекание наблюдаемых явлений или процессов с целью лучшего изучения их свойств. Это вмешательство достигается либо непосредственным воздействием на изучаемый процесс, либо изменением реальных условий, в которых данный процесс протекает. Отмечая значимость эксперимента как самого рационального и продуктивного метода эмпирического исследования, американский философ Г. Уэльс писал, что в отличие от простого наблюдения эксперимент, «глубже проникая в находящееся под внешним покровом, составляет суть развивающейся и взаимосвязанной природы» [3].

Преимущество эксперимента перед наблюдением заключается в том, что можно выбрать интересные для наблюдения связи, отношения, стороны изучаемого объекта, устраняя дополнительные факто-

ры, усложняющие процесс, и сосредоточить внимание экспериментатора на явлении или свойстве, интересующем его. Благодаря эксперименту исследователь получает более точные знания об объекте.

Важным преимуществом эксперимента является то, что он *позволяет исследовать свойства объекта в различных экспериментальных условиях*: при очень низких и очень высоких температурах, при очень высоких давлениях, в электрических и магнитных полях с большой напряженностью. При необходимости экспериментатор, вводя в эксперимент все новые факторы, может получить такие теоретические результаты, которые в естественном состоянии изучаемого явления обычно невозможно выявить.

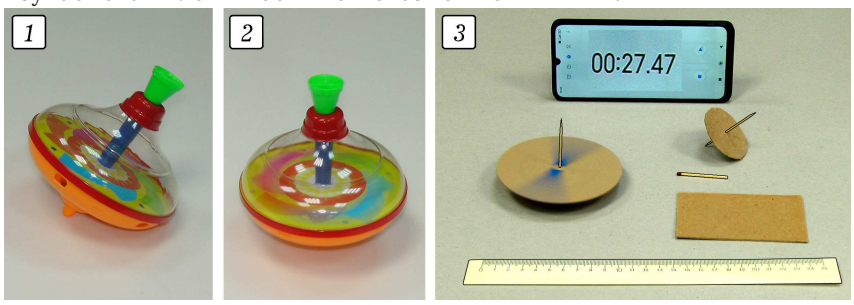


Рис. 1. Учащимся инженерных классов начальной школы объясняют разницу между наблюдением и экспериментом на простых примерах. Одним из таких убедительных примеров служит волчок: *1, 2* — наблюдение за поведением игрушки «Юла», ось которой занимает устойчивое вертикальное положение при быстром вращении маховика; *3* — эксперимент с самодельными волчками позволяет объяснить, что такое повторяемость, сравнение, измерение, изменение условий, проверка гипотезы, выявление новых результатов и т.д.

Другим преимуществом эксперимента является его *повторяемость*. Это означает, что наблюдение, сравнение и измерение, необходимые для него, могут неоднократно повторяться до получения точных данных, так как всегда есть возможность воздействия на объект исследования посредством создания необходимых условий самим наблюдателем (рис. 1). Эта особенность превращает эксперимент в средство проверки гипотезы и теоретических результатов.

В сравнении с наблюдением эксперимент обладает рядом других преимуществ: позволяет точно определить реальное условие, в котором протекает явление, изучить визуально не наблюдаемые явления, создавая аналог или модель естественного процесса, увеличивая скорость последнего, глубже проникать в суть, расширять область влияния явлений на основе их анализа и осмысления, раскрывать внутренние причины и законы явлений [3, 6].

3. Необходимость эксперимента в начальной школе

Перечисленные преимущества эксперимента перед другими методами позволяют говорить о необходимости его использования при

обучении физике не только в основной и старшей [9, 10], но и в начальной школе. Орест Данилович Хвольсон, автор первого в России пятитомного «Курса физики» [11], утверждал, что «обучение физике, в котором эксперимент не составляет основы и краеугольного камня всего изложения, должно быть признано бесполезным и даже вредным». Академик П. Л. Капица отмечал, что один из наиболее ценных уроков физики — это ее метод, основанный на наблюдении и опыте, ведущий к индуктивному синтезу [8]. Продолжая разговор о значении эксперимента в обучении физике, целесообразно привести слова академика *Г. С. Ландсберга*, который утверждал, что отчетливое понимание экспериментального характера физических законов имеет большое значение: оно делает из физики науку о природе, а не систему умозрительных построений [17].

Возникает вопрос: как следует изменить процесс обучения физике, чтобы оно стало эффективным, позволило понимать основные законы природы? В Постановлении подкомиссии по вопросам преподавания физики, работавшей под председательством член–корреспондента Петербургской академии наук *О. Д. Хвольсона* в 1900 году, им сформулированы задачи и функции учебного физического эксперимента: задачи состоят в ознакомлении с физическим явлением и научными методами познания; функции заключаются в открытии закона, проверке дедуктивно выведенного закона, развитии творческих способностей ученика при создании опытов [9].

Вслед за О. Д. Хвольсоном уже на современном этапе обучения физике академик В. Г. Разумовский отмечает, что в обучении физике теория и эксперимент находятся в таком же отношении, как в физической науке. Он указывает на необходимость приобретения опыта «экспериментальной деятельности ученика» [13]:

> «Для организации такого опыта деятельности учащихся потребуется совершенствование системы демонстрационных опытов, лабораторных работ и необходимого оборудования, превращение физического эксперимента из средства наглядности в экспериментальный метод познания. Этот метод должен обеспечить ученика фундаментальными опытами, на которых основывается теория, и экспериментальной проверкой теоретических выводов для внедрения в практику» [13].

4. Метод научного познания в начальной школе

Проведенный анализ преимуществ эксперимента перед другими методами познания и целесообразность его использования в процессе обучения физике, по мнению авторитетных ученых физиков и методистов, очевидна, однако существующая система обучения физике в школе нуждается в повышении эффективности. Одним из возможных путей реформирования физического образования является идея обучения физике с 1 класса общеобразовательной школы. В школе № 22 города Верхняя Пышма Свердловской области мы осуществляем эту деятельность в инженерных классах уже в течение 10–и лет, а в последние 4 года особое внимание уделяем

изучению цикла научного познания и его методов, особенно экспериментального. К сожалению, ознакомление младших школьников с процессом познания ограничивается изучением отдельных методов без связи и логической последовательности. В примерной рабочей программе «Окружающий мир» указано, как знакомить школьников с 1 по 4 класс с методами познания [16]. Однако сам цикл научного познания школьникам не сообщается, что, на наш взгляд, является важным методологическим и дидактическим недостатком. Схема научного познания включает в себя факты, полученные в результате наблюдений, позволяющих обозначить проблему, сформулировать гипотезу, следствия из нее, высказать предвидение, провести экспериментальную проверку (рис. 2).

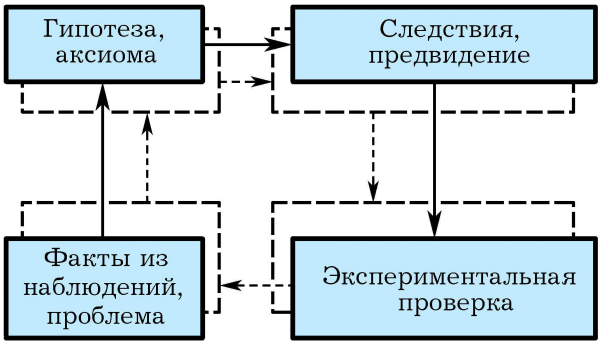


Рис. 2. Схема научного познания [13, с. 109]

Эта схема может быть использована в педагогических целях для субъективного (по Т. Рибо) «переоткрытия» учащимся того, что было открыто в историческом развитии науки [15]. Согласно представленной схеме процесс учебного познания начинается с анализа экспериментальных фактов или существующего жизненного опыта школьников. Затем формулируется познавательная проблема. Путем догадки, анализа, имеющегося опыта выдвигается предположение, которое может иметь разную форму: модели, рисунка, схемы, графика, чертежа. Из гипотезы дедуктивным методом выводятся следствия, которые позволяют объяснить и даже предвидеть еще незнакомые явления или свойства. Вершиной и завершающим этапом достоверности теоретических выводов является экспериментальная проверка. Если эксперимент подтверждает гипотезу, то полученные при наблюдении факты становятся для нее исходными, а если нет, то служат основанием для нового цикла познания. По мнению ученых–методистов [4, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 17], главное назначение использованной схемы научного познания — это понимание неразрывной связи составляющих ее элементов научного знания: явления, понятия, моделей, символов и величин, которые характеризуют эти явления.

Организация учебного процесса по физике в инженерных классах нашей школы построена на основе рекомендаций, которые сформулировал академик П. Л. Капица, говоря об инженере:

«По моему мнению, хороших инженеров мало. Они должны состоять из 4–х частей: на 25% инженер должен быть теоретически образован, на 25% он должен быть художником (машину нельзя проектировать, ее нужно рисовать — меня так учили и я тоже так считаю), на 25% он должен быть экспериментатором, то есть исследовать свою машину и на 25% он должен быть изобретателем. Вот так должен быть составлен инженер. Это очень грубо, могут быть вариации. Но все эти элементы должны быть» [7].

Из рекомендации следует, что овладение научным методом познания в процессе обучения физике детей при подготовке к инженерной деятельности является весьма эффективным средством [5]. Однако для получения позитивного результата необходимо учитывать следующие возрастные особенности учащихся и дидактические детали организации познавательного процесса.

1. При самостоятельном экспериментировании на первых занятиях дети нуждаются в конкретных планах учебных действий. Такие же планы действий нужны детям при формулировке гипотезы и следствий из нее.

2. Школьники должны использовать на первых стадиях овладения экспериментальным методом познания простой физический эксперимент. По мнению Е. И. Вараксиной, учебный физический эксперимент будем считать простым, если обучающиеся под руководством учителя могут выполнить его (создать условия опыта, получить его результат, осуществить анализ) в течение одного академического часа. Доступность оборудования для простого опыта определяется наличием в школьном кабинете физики или возможностью изготовления из доступных элементов. Особенности простого учебного эксперимента представлены в диссертации «Ресурсы экспериментальной деятельности субъектов физического образования» [4]. На последующих этапах обучения (3–4 классах) учащиеся используют специальное физическое оборудование для начальной школы.

3. Учащиеся после каждого занятия дома под руководством и контролем родителей выполняют экспериментальные задания. Для их успешного проведения дома родители также получают задание и планы действий. Особое внимание уделяется технике безопасности.

4. Учащиеся с сентября выбирают тему учебного проекта и вместе с родителями выполняют его в течение учебного года, при этом активно участвуют в различных мероприятиях, основанных на экспериментальных заданиях, например, «Удиви меня», «Малая инженериада», «Конкурс изобретателей» и других.

5. Метод научного познания в учебном исследовании волчка

Рассмотрим пример использования цикла научного познания при изучении темы «Механические явления». Учащимся сообщается, что механическое движение — это изменение места положения тела в

пространстве и во времени. Рассказываем о различных видах механического движения (прямолинейном, колебательном и вращательном). Указываем на то, что механическое движение относительно и зависит от тела отсчета. Основные характеристики движения учащиеся знают: путь, время, скорость. Демонстрируем видеоролик «Механическое движение», далее сообщаем цель урока, на котором рассматриваем вращательное движение с помощью изготовления волчка.

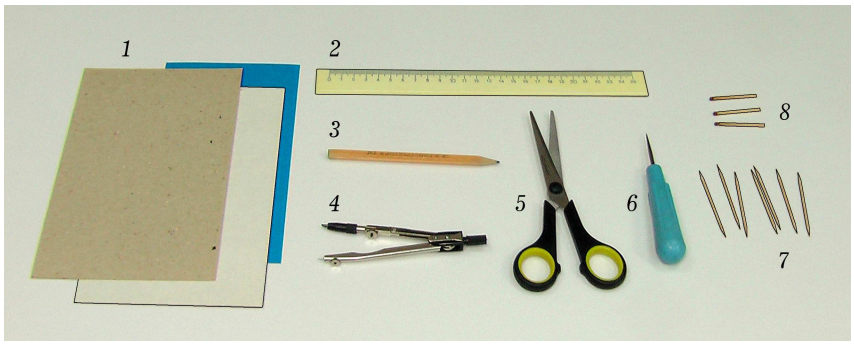


Рис. 3. Оборудование для изготовления волчков: *1* — плотная бумага, картон разной толщины; *2* — линейка; *3* — простой карандаш; *4* — циркуль; *5* — ножницы; *6* — шило; *7* — зубочистки; *8* — спички

Для реализации научного метода познания при обучении физике в начальных классах очень важно выбрать адекватные средства для проведения эксперимента. При изготовлении волчка (самодельной юлы) необходима плотная бумага для диска и зубочистка или спичка для оси вращения (рис. 3). Учащимся формулируется задание: по образцу изготовить два волчка с разным размером диаметра диска (рис. 4), в центр каждого вставить ось. Обращается внимание на то, чтобы ось была расположена точно в центре круга и плотно входила в бумагу.

Школьники должны самостоятельно запустить готовые волчки и выяснить, какой из них лучше и дольше вращается, указать причины, от которых, по их мнению, зависит продолжительность и устойчивость вращения волчка. Учащиеся получают возможность взаимодействовать с созданным самостоятельно материальным объектом и исследовать его, изменяя высоту диска на оси, изменяя поверхность основания (рис. 5), на которой происходит испытание, скорость и силу начального вращения. Перечисленные действия позволяют начать формирование наглядно–чувственного образа [2], который необходим для последующих этапов научного познания, центральным из которых является формулировка гипотезы (догадки). Школьники очень робко высказывают свое мнение о том, что скорость вращения зависит от первоначального импульса, а продолжи-

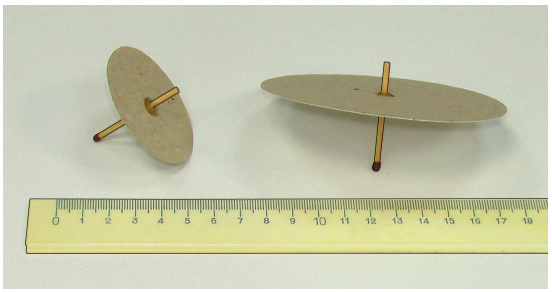


Рис. 4. Волчки разного диаметра, изготовленные из тонкого картона. Слева находится волчок диаметром 50 мм и массой 0,77 г, справа — диаметром 50 мм и массой 2,46 г. В качестве оси использована спичка, масса которой составляет примерно 0,1 г (масса 10 спичек составила 0,99 г). Точкой опоры волчков служит головка спички. Маховик в обоих волчках находится на расстоянии 30 мм от точки опоры

тельность вращения — от диаметра диска. Самые наблюдательные и заинтересованные отмечают, что устойчивость вращающегося волчка зависит от места нахождения диска на оси вращения: чем ниже диск, тем устойчивее вращение волчка. Перечисленные предположения проверяются учащимися экспериментально (например, рис. 6), что позволяет убедиться в их справедливости.

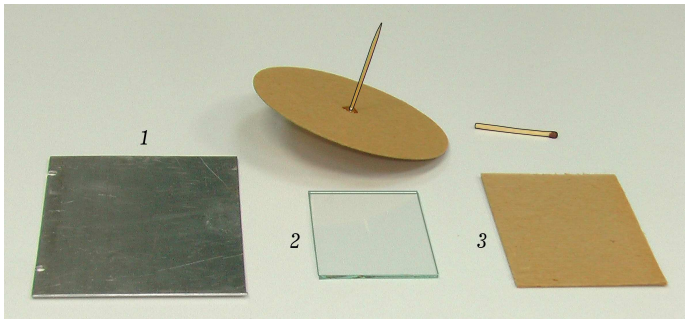


Рис. 5. Исследование вращения волчков на разных поверхностях: *1* — пластинка дюраля; *2* — стекло; *3* — картон. В качестве оси используется зубочистка или спичка

Следующим этапом цикла познания являются вытекающие из гипотезы следствия. Учащимся дается домашнее задание, выполнить которое необходимо совместно с родителями. Предлагается изготовить волчки из разных материалов: капроновой крышки (рис. 7), CD–диска, прямоугольной коробки, изменяя материал, размер диска, плоской платформы, оси, используя гвоздь, спицу, шпажку.

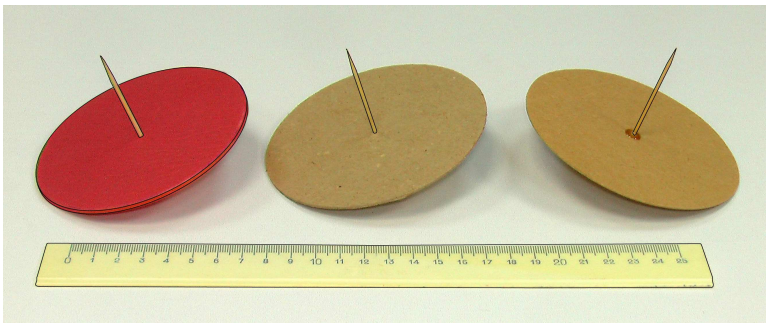


Рис. 6. Волчки для исследования зависимости продолжительности вращения от массы (массы волчков слева направо: 0,91 г; 9,33 г; 5,25 г). Зубочистка использована в качестве оси. Масса зубочистки равна примерно 0,1 г (10 зубочисток имеют массу 1,1 г). Маховик легкого волчка изготовлен из тонкого изолона, продолжительность вращения этого волчка минимальна. Маховики тяжелых волчков изготовлены из картона разной плотности и толщины

Цель — проверить сформулированное предположение. Учащимся предлагается фиксировать полученные результаты в таблицу, в которой следует указать устройство волчка (из чего он изготовлен) и время устойчивого вращения. Школьники должны определить центр тяжести у прямоугольника, параллелограмма, квадрата (рис. 8). Полученные результаты фиксируют в рабочей тетради, делают фотографии.

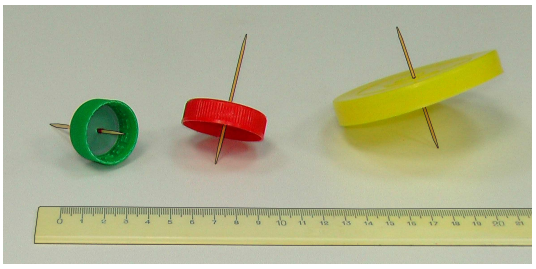


Рис. 7. Применение крышек разного диаметра в качестве маховика волчков. Самое продолжительное вращение продемонстрировал зеленый волчок с маховиком из крышки от стандартной пластиковой бутылки

На следующем уроке учащимся формулируется проблема возможности создания волчка не из геометрически правильных фигур, а из фигуры произвольной формы (рис. 8 и рис. 9). Многие ученики считают, что это сделать невозможно. Те, кто имеет определенный жизненный опыт, уверены, что возможно, и сразу начинают поиск, расположив фигуру на карандаше. После этого учащимся предлагается определить центр тяжести, используя штатив, отвесы, линейку,

булавку и карандаш (рис. 9). Далее они вставляют ось в найденную точку и на опыте убеждаются, что волчок остается в равновесии после сообщения ему вращающегося момента (рис. 8.3). Проведенное экспериментальное исследование имеет большое дидактическое значение: школьники знакомятся с важным для навигации прибором — гироскопом, который применяется для ориентации в пространстве, благодаря которому можно стабилизировать положение тела или точно определить положение других объектов. Гироскопы применяются в смартфонах, в авиации, судоходстве, помогают удерживать курс или стабилизировать платформу, чтобы она не накренилась. В космической технике они нужны для удерживания нужного положения аппарата в пространстве. Таким образом, реализация научного метода в процессе обучения учащихся начальных классов не только возможна, но и полезна.

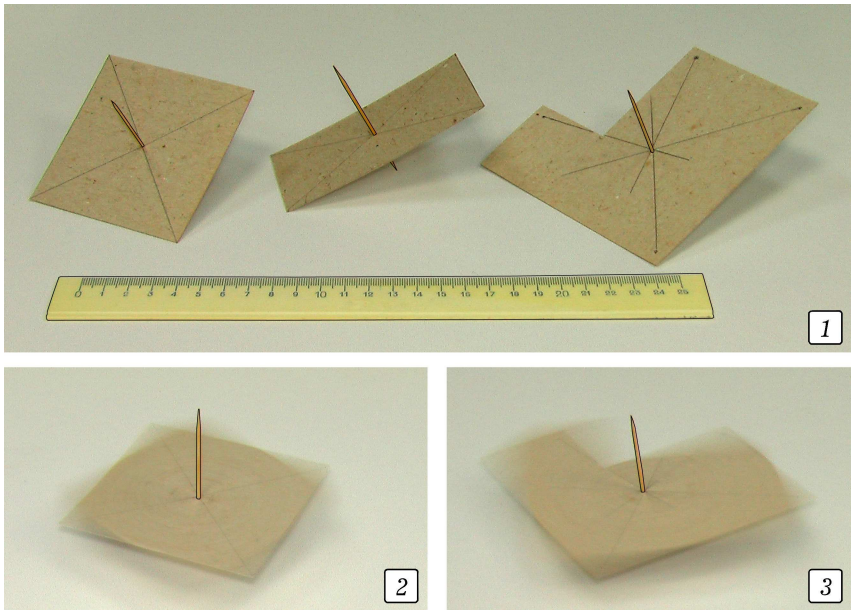


Рис. 8. Волчки с маховиками правильной формы (квадратный 80×80 мм и прямоугольный 100×50 мм) и волчок с маховиком неправильной формы: *1* — учащиеся определяют положение центра тяжести маховика разными способами, у квадратного и прямоугольного маховика центр масс находится в точке пересечения диагоналей; *2* — исследование вращения волчка с маховиком квадратной формы — продолжительное устойчивое вращение; *3* — исследование вращения волчка с маховиком неправильной формы

Такая организация учебно–познавательной деятельности школьников соответствует представлениям академика П. Л. Капицы о подготовке инженеров.

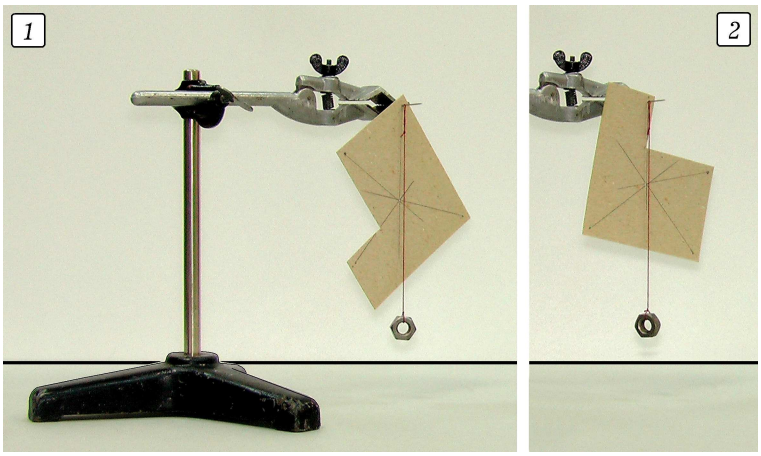


Рис. 9. Определение положения центра масс в маховике неправильной формы с помощью отвеса: *1* — учащиеся отмечают положение отвеса в одном из положений маховика; *2* — учащиеся находят центр тяжести посредством подвеса, подвешивая маховик еще за одну точку

6. Заключение

Опыт реализации научного метода познания в процессе обучения физике учащихся инженерных классов начальной школы позволяет сделать следующие выводы:

• учащиеся успешно воспринимают и усваивают основные элементы научного познания и при соответствующем этому методу процессе обучения активно овладевают необходимыми знаниями и умениями;

• использование научного метода в процессе обучения физике активизирует познавательную деятельность школьников, повышает мотивацию к обучению, позволяет реализовать деятельностный подход, избежать формализма в получении результатов обучения;

• использование цикла познания в процессе обучения позволяет организовать личностно ориентированную познавательную деятельность школьника, развить познавательную инициативу, желание изобретать, конструировать, творить;

• использование метода научного познания в процессе обучения позволяет школьнику повторить исторический путь развития науки, ощутить его органами чувств, потрогать его руками;

• организация обучения на основе научного метода развивает самостоятельное мышление в следующих направлениях: умение научно обобщать — индукция, умение применять теоретические выводы для предсказания течения процессов на практике — дедукция, вы-

явление противоречий между теоретическими обобщениями и процессами, происходящими в природе, — диалектика [18].

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев П. В. Подготовка учащихся инженерных классов начальной школы к реализации научного метода познания в процессе обучения физике // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 44. — М.: ИСРО РАО, 2026. — С. 3–8.
2. Шамало Т. Н. Учебный эксперимент в процессе формирования физических понятий: Кн. для учителя. — М.: Просвещение, 1986. — 96 с.
3. Быков В. Научный эксперимент и экспериментальные методы // Некоторые проблемы методологии научного исследования. — М., 1968. — С. 87.
4. Вараксина Е. И. Ресурсы экспериментальной деятельности субъектов физического образования. Диссертация на соискание ученой степени доктора педагогических наук по специальности 5.8.2 Теория и методика обучения и воспитания (физика, основное общее образование, среднее общее образование, высшее образование). — Глазов, 2024. — 496 с.
5. Зуев П. В. Дидактические основы эффективной подготовки молодежи к инженерно–технической деятельности: Монография. — Издательские решения, 2022. — 174 с.
6. Исмаилов В. И. Эксперимент и его особенности в современной физике // Известия вузов. Северо–Кавказский регион. Общественные науки. Приложение. — 2003. — № 6. — С. 23–33.
7. Капица П. Л. Карманный справочник физика–экспериментатора (цитатник). — Самиздат, 1974.
8. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. Статьи, выступления. — Изд. 3, доп. — 1981. — 496 с.
9. Майер В. В. Учебный эксперимент как основа развития физического мышления учащихся // Учебный физический эксперимент: актуальные проблемы. Современные решения: программы и материалы шестнадцатой Всероссийской научно–практической конференции. — Глазов: ГГПИ, 2011. — С. 15–16.
10. Покровский А. А. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе / В. А. Буров, Б. С. Зворыкин, А. П. Кузьмин и др.; Под ред. А. А. Покровского. — 3–е изд., перераб. — М.: Просвещение, 1978–1979.
11. Хвольсон О. Д. Курс физики в пяти томах. — Р.С.Ф.С.Р.: Государственное издательство Берлин. — Том 1, 1925, 677 с.; Том 2, 1925, 776 с.; Том 3, 1923, 752 с.; Том 4, 1923, 835 с.; Том 5, 1925, 984 с.
12. Практикум по физике в школе: дидакт. материал: пособ. для учителя / Л. И. Анциферов, В. А. Буров, Ю. И. Дик и др.; под ред. В. А. Бурова, Ю. И. Дика. — М.: Просвещение, 1987. — 191 с.
13. Разумовский В. Г. Проблемы теории и практики школьного физического образования: Избранные научные статьи / В. Г. Разумовский; составитель Ю. А. Сауров. — М.: Изд–во РАО, 2016. — 196 с.
14. Разумовский В. Г. ФГОС в действии: исследования учащихся как средство овладения методами научного познания явлений природы и техники / В. Г. Разумовский, В. В. Майер, Е. И. Вараксина // Физика в школе. — 2013. — № 3. — С. 13–27.
15. Рибо Т. Опыт исследования творческого воображения. — СПб, 1901.
16. Федеральная рабочая программа по окружающему миру 1–4 класс (Плешаков А. А.) ФОП НОО конструктор 2023–2024 г.
17. Элементарный учебник физики. Под ред. Г. С. Ландсберга. — Т. 1–3, М., 2010.
18. Капица П. Л. Доклад на международном конгрессе по подготовке преподавателей физики для средней школы. — Венгрия, Эгер, 11.09.1970.

Уральский государственный
педагогический университет

Поступила в редакцию 26.07.26.

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

М. А. Фаддеев, Ю. В. Масленникова

УЧЕБНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА «СИЛА ТРЕНИЯ ЭЙЛЕРА»

В статье описана простая и доступная экспериментальная установка, обеспечивающая количественные исследования сухого трения, в частности трения нити о цилиндрическую поверхность. Представлена методика проведения экспериментов, подтверждающих выводы физической теории и способствующих развитию познавательных умений учащихся в системе дополнительного образования. В отличие от других известных работ подробно описана конкретная конструкция лабораторной установки из доступных материалов, в которой применяются цилиндры небольшого диаметра. Отлажена методика проведения опытов, обеспечивающая воспроизводимость результатов. Материал адаптирован для школьников и студентов. Приведены образцы результатов экспериментов с учетом погрешностей.

Ключевые слова: дополнительное образование, старшая школа, учебно–исследовательские работы, экспериментальная установка, сила трения Эйлера.

M. A. Faddeev, Yu. V. Maslennikova

EDUCATIONAL AND RESEARCH WORK «EULER FRICTION FORCE»

The article describes a simple and accessible experimental setup that enables quantitative studies of dry friction, in particular, the friction of a thread against a cylindrical surface. A methodology for conducting experiments is presented, which confirms the conclusions of physical theory and contributes to the development of students' cognitive skills in the system of supplementary education. Unlike other well-known works, a specific design of the laboratory setup is described in detail; it is made from readily available materials and uses cylinders of small diameter. The methodology for conducting experiments has been refined to ensure the reproducibility of the results. The material is adapted for schoolchildren and students. Examples of experimental results are provided, taking into account the errors.

Keywords: additional education, basic school, educational and research work, experimental setup, Eulerian friction force.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-15-23

© Фаддеев М. А., Масленникова Ю. В., 2026

Актуальность темы работы

Совершенствование инженерно–физического образования представляет собой одну из самых актуальных проблем Российской Федерации. Применению учебного эксперимента при решении этой проблемы посвящены исследования П. В. Зуева [1], Т. В. Никитиной [2] и других ученых. Важным этапом инженерно–физического образования является многоэтапная довузовская подготовка школьников — будущих абитуриентов и студентов — по экспериментальной физике. Учащимся рекомендуется выполнять учебно–исследовательские работы, в перспективе имеющие практическое применение с учетом реальных условий. Такая деятельность возможна в рамках школьных проектов и в системе дополнительного образования.

В данной статье описывается методика и пример выполнения учебно–исследовательской работы на тему «Исследование силы трения Эйлера». Поучительные результаты проявления силы трения Эйлера рассмотрены в научно–популярной литературе [3, с. 38–41; 4]. Учебное исследование силы Эйлера представлено в работе [5]. На страницах журнала «Учебная физика» ранее разными авторами были рассмотрены занимательные опыты [6] и демонстрационные эксперименты [7], в которых проявляется сила трения Эйлера. В предлагаемой нами работе, в отличие от известных, подробно описана конкретная простая конструкция *лабораторной установки* из доступных материалов, в которой применяются цилиндры небольшого диаметра. Отлажена методика проведения опытов, обеспечивающая *воспроизводимость результатов*. Материал адаптирован для школьников и студентов. Приведены *образцы результатов экспериментов* с учетом погрешностей.

Во множестве механизмов происходит трение гибких тел (веревок, канатов, тросов и т.п.) о твердые цилиндрические поверхности. Леонард Эйлер еще в XVIII века решал задачу о закономерностях сил трения и получил характерную формулу, носящую его имя.

Цель работы: исследование трения нити о поверхность неподвижного цилиндра и экспериментальная проверка формулы Эйлера.

Задачи

1. Изучить теоретические аспекты проблемы.
2. Подобрать (изготовить) необходимое оборудование.
3. Провести эксперимент, подтверждающий выводы теории.

Теоретическая часть учебно–исследовательской работы

Рассмотрим физическую систему, часто встречающуюся на практике. Трос (канат, веревка, шнур) охватывает твердый неподвижный цилиндр (блок, шпиль, кабестан и т. п.). Обозначим φ угол охвата (рис. 1).

На один из концов троса действует постоянная сила $\vec{T}_0$. Величина этой силы много больше веса троса. К противоположному концу

троса прикладывается сила $\vec{T}$, необходимая для уравновешивания силы $\vec{T}_0$, как показано на рис. 1.

Рассмотрим малый элемент троса, опирающийся на малый центральный угол $\Delta\varphi$ (рис. 2). Пусть трос находится в состоянии покоя при минимальной удерживающей силе. При этом сила трения покоя $\Delta\vec{F}$ достигает максимального значения и ее модуль можно выразить по закону Амонтона:

$$\Delta F = \mu \Delta N, \qquad (1)$$

где μ — коэффициент трения, ΔN — модуль нормальной реакции цилиндра, действующей на элемент троса.

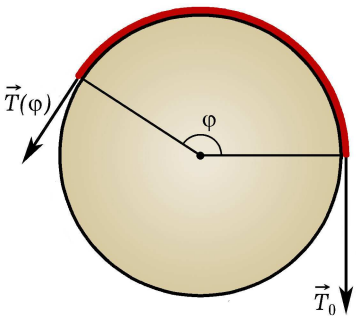


Рис. 1. Охват тросом цилиндрической опоры: $\vec{T}_0$ — сила, приложенная к концу троса, $\vec{T}(\varphi)$ — удерживающая сила, приложенная к другому концу троса

Из-за трения сила натяжения, действующая на левый конец элемента, по модулю меньше силы, действующей на правый конец элемента, на величину ΔT.

Так как трос находится в покое, то сумма сил, действующих на элемент троса, равна нулю. Разложим силы по двум направлениям: вдоль касательной к центру элемента троса и перпендикулярно ей. Уравнения равновесия имеют вид:

$$T\cos\frac{\Delta\varphi}{2} = (T-\Delta T)\cos\frac{\Delta\varphi}{2} + \Delta F, \qquad (2)$$

$$\Delta N = T\sin\frac{\Delta\varphi}{2} + (T-\Delta T)\sin\frac{\Delta\varphi}{2}. \qquad (3)$$

Из-за малости угла $\Delta\varphi$ уравнения (2) и (3) упрощаются:

$$\Delta T = \Delta F, \quad \Delta N = T\Delta\varphi. \qquad (4)$$

Используя (1), (4) и соотношения внизу рис. 2, объясняющие знак «—», составим уравнение:

$$dT = -\mu T\, d\varphi. \qquad (5)$$

Решение можно получить способом разделения переменных:

$$\ln T = -\mu\varphi + C. \qquad (6)$$

Для определения постоянной интегрирования используется граничное условие:

$$T(0) = T_0. \qquad (7)$$

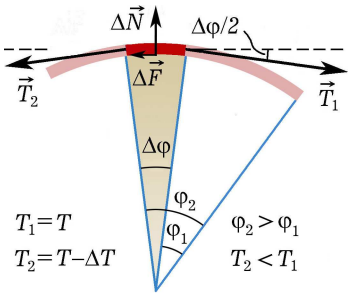


Рис. 2. Силы, действующие на малый элемент троса: $\Delta\vec{F}$ — сила трения покоя, $\Delta\vec{N}$ — нормальная реакция цилиндра

Тогда решение (6) можно представить в виде:

$$T(\varphi) = T_0 e^{-\mu\varphi}. \quad (8)$$

Таким образом, минимальная сила удержания с увеличением угла φ уменьшается монотонно практически до нуля. Следовательно, сила трения покоя $F(\varphi) = T_0 - T(\varphi)$ с ростом угла охвата φ может полностью компенсировать, в принципе, любую внешнюю нагрузку T_0. Отношение модулей сил $T_0/T(\varphi)$, равное числу $e^{\mu\varphi}$, характеризует «выигрыш» в силе удержания при использовании трения Эйлера. Например, расчет показывает, что при коэффициенте трения $\mu = 0,6$ и пяти полных оборотах троса ребенок может удержать атомный авианосец.

На практике использование силы трения Эйлера ограничено прочностью троса и цилиндрической опоры. Обычно используется не более трех оборотов троса.

Экспериментальная часть учебно–исследовательской работы

Для экспериментального исследования трения Эйлера использовались цилиндры, изготовленные из различных материалов (рис. 3).

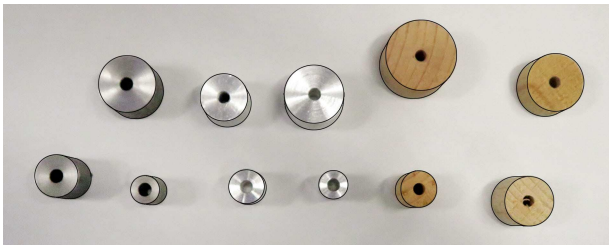


Рис. 3. Цилиндры разных диаметров, изготовленные из бука, алюминия и конструкционной стали

Все цилиндры имеют высоту (длину) 20 мм. Диаметры цилиндров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Цилиндрические образцы, предназначенные для экспериментов

Материал	Диаметры, мм				
Дерево (бук)	15	21	25	30	—
Алюминий	12	15	20	25	30
Сталь конструкционная	12	18	24	—	—

Все цилиндры имеют отверстие диаметром 5 мм, просверленное по оси, предназначенное для крепления на экспериментальной установке. Внешняя поверхность цилиндров была отшлифована абразивной бумагой П–2000.

Исследования проводятся с грузом, вес которого (сила T_0) предварительно измеряется динамометром (рис. 4.1). Цилиндр укрепляется горизонтально на вертикальной доске с помощью магнитной подвески. *Тросом служил капроновый плетеный шнур диаметром около 2 мм, который практически не удлинялся в ходе экспериментов.* Шнур перекидывался через укрепленный цилиндр, как через блок. К нижнему концу шнура крепился груз весом T_0. Для измерения углов охвата использовался угломер с градусной шкалой, закрепленный на одной оси с цилиндром. Величина минимальной удерживающей силы $T(\varphi)$ для данного угла охвата φ измерялась динамометром (рис. 4.2).

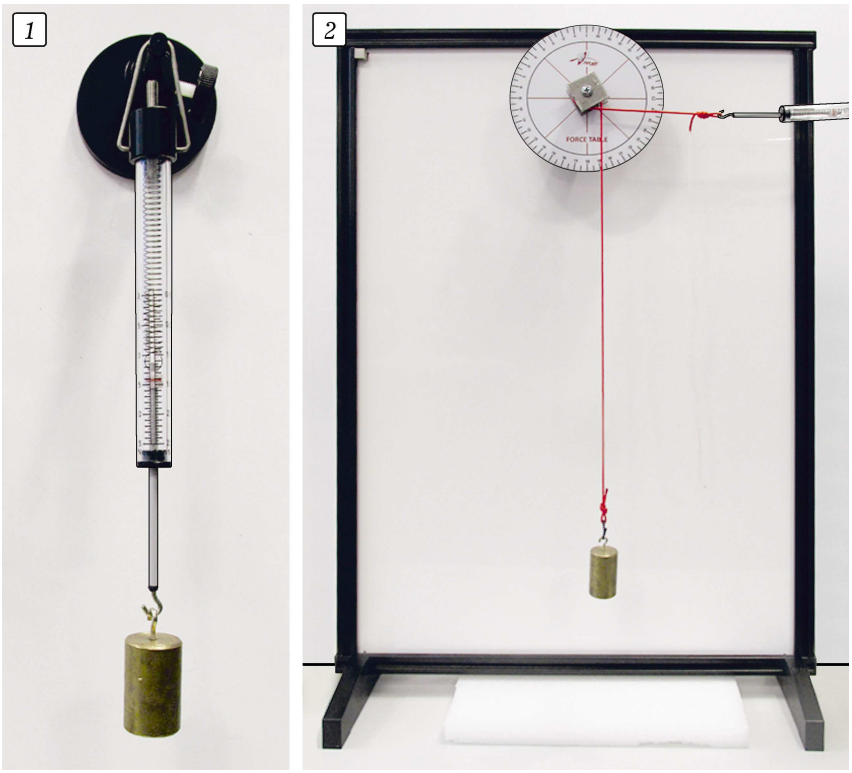


Рис. 4. Проведение эксперимента: *1* — измерение веса груза (силы T_0) динамометром; *2* — измерение минимальной силы удержания груза. Угол охвата $\varphi = 3\pi/2$ (три четверти оборота)

Эксперименты проводились с цилиндрами, показанными на рис. 3. Угол охвата увеличивался с шагом 90° (четверть оборота) до значения, при котором измеряемая минимальная удерживающая

сила по величине становилась близкой к приборной погрешности динамометра. *Количество различных углов охвата в опытах равнялось 8–10.*

Для примера в табл. 2 приведены результаты эксперимента с деревянным (буковым) цилиндром диаметром 15 мм.

Для определения коэффициента трения μ следует использовать экспоненциальную зависимость (8). Логарифмирование функции (8) позволяет провести линейную аппроксимацию методом наименьших квадратов. Величина $\ln(T_0/T)$ прямо пропорциональна углу охвата φ. Угловой коэффициент этой зависимости равен искомому коэффициенту трения μ, если угол φ выразить в радианах.

Таблица 2. Результаты эксперимента с буковым блоком диаметром 15 мм

Число оборотов троса	Угол охвата φ, радиан	Величина минимальной удерживающей силы T, Н	Отношение модулей сил T_0/T	Натуральный логарифм отношения $\ln(T_0/T)$
0	0	2,24	1,00	0
1/4	1,571	1,40	1,60	0,47
1/2	3,142	0,90	2,49	0,91
3/4	4,712	0,65	3,45	1,24
1	6,283	0,50	4,48	1,50
5/4	7,854	0,30	7,47	2,01
3/2	9,425	0,20	11,20	2,42
7/4	10,996	0,15	14,93	2,70
2	12,566	0,10	22,40	3,11

График линейной аппроксимации показан на рис. 5.

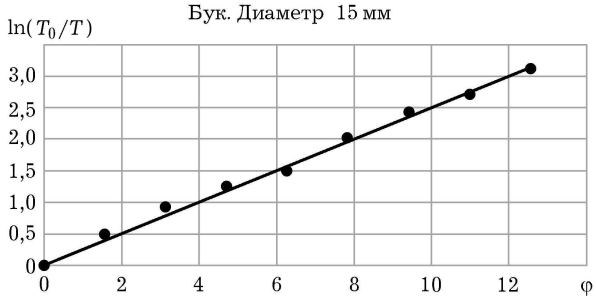


Рис. 5. Зависимость натурального логарифма отношения сил T_0/T от угла охвата φ. Сплошная линия — линейный аппроксимант

Метод наименьших квадратов выражает оптимальное значение углового коэффициента формулой:

$$\mu = \frac{\sum\limits_{i=1}^{N} \varphi_i y_i}{\sum\limits_{i=1}^{N} \varphi_i^2}, \tag{9}$$

где для краткости записи введено обозначение:

$$y = \ln \frac{T_0}{T}. \tag{10}$$

В формуле (9) целая величина N — количество различных углов охвата φ, для которых были измерены силы $T(\varphi)$. В данном примере величина N — количество строк в табл. 2. Расчет по данным табл. 2 дает коэффициент трения $\mu = 0,251$.

Расчет погрешности измерений

Оптимальная оценка погрешности коэффициента трения μ вычисляется методом математической статистики [8]:

$$\Delta\mu = t_{\alpha,\nu} \sqrt{\frac{Q}{(N-1)\sum\limits_{i=1}^{N} \varphi_i^2}}, \tag{11}$$

где $t_{\alpha,\nu}$ — коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности α и числа степеней свободы ν. В данной задаче равен параметр $\nu = N - 1$. Величина

$$Q = \sum_{i=1}^{N} (y_i - \mu\varphi_i)^2 \tag{12}$$

для коэффициента μ, вычисленного по формуле (9), имеет минимальное значение.

Погрешность коэффициента трения, рассчитанная по данным табл. 2 и по формуле (11), составляет $\Delta\mu = 0,007$.

Эксперименты, проведенные с деревянными (буковыми) цилиндрами разных диаметров, демонстрируют независимость коэффициента трения μ от диаметра цилиндра (в пределах погрешностей), что продемонстрировано на рис. 6.1. Этот результат согласуется с теоретическим выводом, который дает формулу (8), где отсутствует размер цилиндра (блока).

Эксперименты с цилиндрами из других материалов подтвердили вывод о независимости коэффициента трения μ от диаметра цилиндра. На рис. 6.2 приведены результаты для цилиндров из конструкционной стали, на рис. 6.3 — для цилиндров из алюминия.

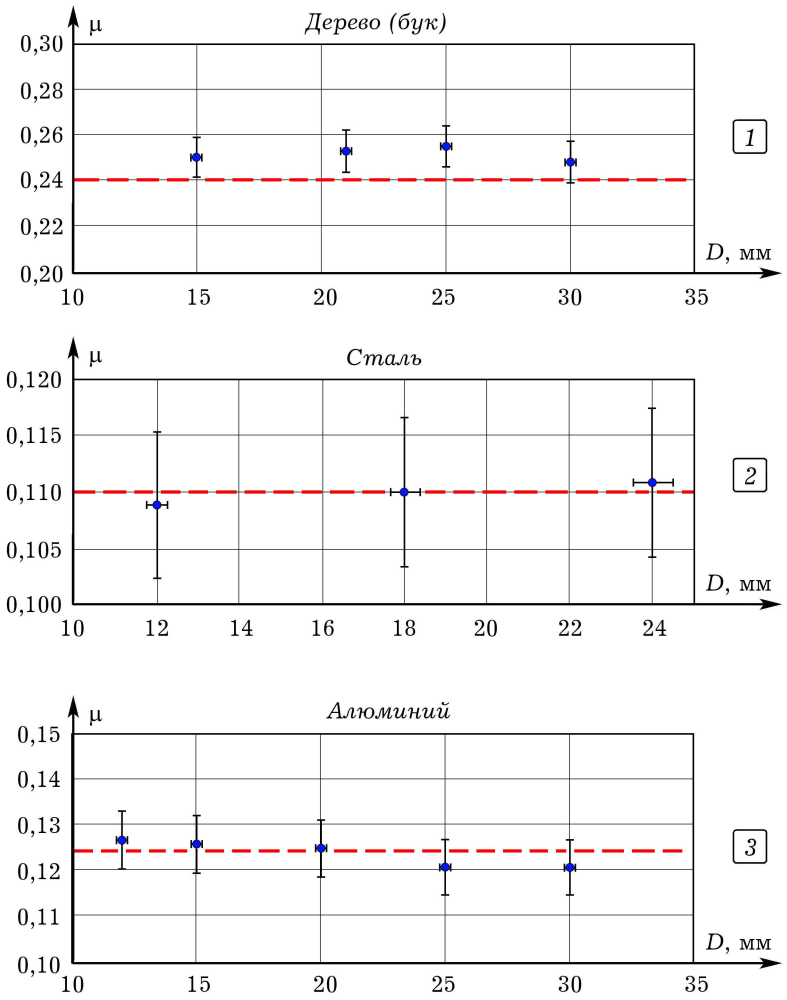


Рис. 6. Полученные в эксперименте коэффициенты трения силы Эйлера для цилиндров разного диаметра: *1* — деревянные цилиндры; *2* — стальные цилиндры; *3* — алюминиевые цилиндры

Дополнение

Коэффициент трения μ существенно зависит от гладкости поверхности. Для демонстрации этой особенности был проведен дополнительный эксперимент. Стальные цилиндры были выточены на токарном станке и перед шлифованием внешней поверхности бы-

ли проведены опыты измерения коэффициент μ по вышеописанной методике. Результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты трения μ для стальных цилиндров с нешлифованной поверхностью

Диаметр цилиндра(мм)	12	18	24
Коэффициент трения μ	0,159	0,216	0,129

По данным табл. 3 видно, что коэффициенты μ значительно различаются и имеют нерегулярный разброс. После шлифования значения коэффициентов выровнялись и уменьшились (рис. 6.2). Отсюда следует вывод, что увеличение шероховатости поверхности приводит к резкому возрастанию коэффициента трения силы Эйлера.

Заключение

Предложенная учебно–исследовательская работа, безусловно, выходит за рамки школьного курса физики. Однако опыт преподавания показывает, что мотивированные учащиеся успешно справляются с изучением представленного в статье теоретического материала и практической реализацией разработанного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев П. В. Подготовка учащихся к инженерной деятельности в процессе обучения физике // Физико–математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития. Материалы VII и VIII Международных научно–методических конференций. — М., 2023. — С. 793–796.
2. Никитина Т. В. Методика проектирования образовательных событий физико–технической направленности // Учебная физика. — 2026. — № 2. — С. 3–15.
3. Перельман Я. И. Занимательная физика. В двух книгах. Книга 2. — М.: Наука, 1979. — 272 с.
4. Буздин А. И. О швартовке, трении и формуле Эйлера // Квант. — 1988. — № 5. — С. 49–50.
5. Ловцова А. Ф. Исследование трения нити о поверхность неподвижного цилиндра и экспериментальная проверка формулы Эйлера // Молодой ученый. — 2022. — № 44(439). — С. 3–15.
6. Зуев П. В., Кабасов Ю. К., Толмачев М. Д., Костюков Ю. О. Дидактические возможности игрушки «Стамбульский волчок» // Учебная физика. — 2012. — № 4. — С. 10–19.
7. Даммер М. Д., Сибагатуллин А. А., Демин П. А., Горбунов П. В. Самодельное оборудование при изучении статики на уроках физики // Учебная физика. — 2023. — № 3. — С. 6–17.
8. Фаддеев М. А. Элементарная обработка результатов эксперимента. — Нижний Новгород: Изд–во ННГУ, 2004. — 120 с.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского

Поступила в редакцию 01.02.26.

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

В. Н. Бакулин, М. И. Толмачева, М. П. Уварова

ТВОРЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ «ВОЛНОВАЯ ОПТИКА»

Предложена система экспериментальных и теоретических заданий по волновой оптике, предназначенная для урочной и внеурочной деятельности учащихся старшей школы. Эта система может быть рекомендована также для применения в системе дополнительного естественнонаучного, физико–математического и инженерного образования. Рассмотрены учебные исследования по поляризации, интерференции и дифракции света. При выполнении заданий применяются маломощные источники лазерного излучения с длиной волны 630–680 нм мощностью менее 3 мВт. Описания исследований сопровождаются авторскими фотографиями. Ценность работы заключается в систематизации экспериментальных заданий по определенному разделу физики — волновой оптике.

Ключевые слова: исследовательская деятельность, физический эксперимент, волновая оптика, интерференция и дифракция света, лазер.

V. N. Bakulin, M. I. Tolmacheva, M. P. Uvarova

CREATIVE EXPERIMENTAL TASKS ON THE TOPIC «WAVE OPTICS»

A system of experimental and theoretical tasks on wave optics has been proposed, which can be integrated into the classroom and extracurricular activities of high school students. This system can also be recommended for use in the system of additional natural science, physics and mathematics, and engineering education. Educational studies on polarization, interference, and diffraction of light have been examined. When completing the tasks, low–power laser radiation sources with a wavelength of 630–680 nm and a power of less than 3 mW are used. The descriptions of the studies are accompanied by the author's photographs. The value of the work lies in the systematization of experimental tasks related to a specific branch of physics — wave optics.

Keywords: research, physics experiment, wave optics, interference and diffraction of light, laser.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-24-37

Учебная физика. 2026. № 3. С. 24–37
© Бакулин В. Н., Толмачева М. И., Уварова М. П., 2026

Введение

В предыдущей статье [1] мы обосновали необходимость организации исследовательской деятельности учащихся для обеспечения более осознанного и глубокого усвоения физики, а также формирования их творческо–поисковой активности.

Опыт работы со школьниками и студентами на олимпиадах и турнирах, а также при выполнении ими лабораторных работ, показывает, что культура экспериментальной деятельности не осваивается стихийно, она требует целенаправленного обучения.

В данной работе предложены творческие задания для исследовательского эксперимента по волновой оптике. Задания расположены в определенной последовательности, что позволяет управлять деятельностью, вниманием и мышлением учащихся, задавать условия для наблюдения и исследования явления. Предложенные задания требуют изобретательности при постановке опытов, позволяют применять теоретические знания для объяснения наблюдаемых в опыте явлений, для объяснения принципа действия распространенных в быту устройств и приборов.

Каждое из заданий может стать темой индивидуального или коллективного исследовательского проекта по курсу физики.

Материалы и методы

Приборы и оборудование

1. Источники когерентного излучения мощностью не более 3–5 мВт. В качестве источников когерентного излучения можно использовать сравнительно недорогие газовые и полупроводниковые демонстрационные лазеры или лазерные указки малой мощности, которые позволяют исследовать эффекты волновой оптики даже в домашних условиях. Подойдет гелий–неоновый лазер с поляризованным излучением, лучше всего, одномодовый: ЛГН–109, ЛГ–209, ГН–2П, ГН–5П и т. п. Такой лазер дает излучение с длиной волны 630 нм, его выходная мощность до 5 мВт. Можно использовать и доступные лазерные указки–брелоки. В этом случае длина волны составляет 630–680 нм, выходная мощность не превышает 3 мВт.

2. Приборы и приспособления по волновой оптике. Для опытов готовят: 1) поляризаторы; 2) экраны, измерительные линейки, штативы с держателями оборудования; 3) набор стеклянных пластин и зеркал; 4) плоское зеркало с внешним напылением от кодоскопа; 5) дифракционные решетки, щели, бипризма и другое оборудование из школьных наборов по дифракции и интерференции; 6) аквариум или любой сосуд прямоугольной формы с прозрачными стенками.

3. Цифровой фотоаппарат для сохранения результатов экспериментов и последующего их анализа.

Техника безопасности

По правилам безопасности ГОСТ Р МЭК 60825–1–2009 [2], СанПиН 5804–91 [3] лазеры класса 3А мощностью 1–5 мВт безопасны для наблюдения рассеянного излучения незащищенным глазом. Для этих лазерных изделий, генерирующих излучение в видимом диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, защита обеспечивается естественными реакциями, включая рефлекс мигания. Однако смотреть на такие лазеры продолжительное время или через оптические приборы опасно, как и на электрическую дугу сварочного аппарата.

Первое правило лазерной безопасности: никогда, ни при каких обстоятельствах не смотрите глазами на лазерный луч и никогда не направляйте никакой даже маломощный лазер в сторону людей, животных и транспортных средств, особенно авиационных аппаратов. Если луч попадет в чей–то глаз или направлен в лицо водителя или пилота, то может отвлечь их или ослепить даже на большом расстоянии. Это может спровоцировать аварию, что влечет за собой уголовную ответственность.

Лазерные указки мощностью 50–300 мВт относятся к классу 3 В и способны причинить сильные повреждения человеческому глазу прямым лазерным лучом, и зеркально или даже диффузно отраженным. Работа с лазерами мощность более 50–100 мВт без защитных очков и специальных мер защиты от рассеянного излучения может привести к поражению глаз. Использование таких лазеров для демонстраций и экспериментов в массовой аудитории или у себя дома представляет серьезную опасность для всех присутствующих поблизости и категорически запрещается.

Задания исследовательского характера по волновой оптике

Предлагаемые задания для удобства преподавателя были сгруппированы в серии, посвященные определенным явлениям.

Серия 1
Демонстрация свойств поляризованного излучения

Для демонстрации экспериментов в большой аудитории нам потребуются поляризаторы с хорошо видимыми указателями их осей пропускания (рис. 1.1). Их можно вырезать из любого листового материала (металл или пластик) и закрепить на держателе поляризаторов школьного набора по интерференции и дифракции света. Опыты можно проводить на любой оптической скамье с держателями поляроидов из школьного набора по оптике. Для снятия количественных данных о координатах элементов на оптической скамье можно закрепить на ней шкалу от старой рулетки (рис. 1.2). В качестве источника света можно использовать стандартный осветитель или лазер малой мощности.

Убедитесь, что луч света от естественного источника (лампа накаливания) обладает осевой симметрией и показания люксметра, по-

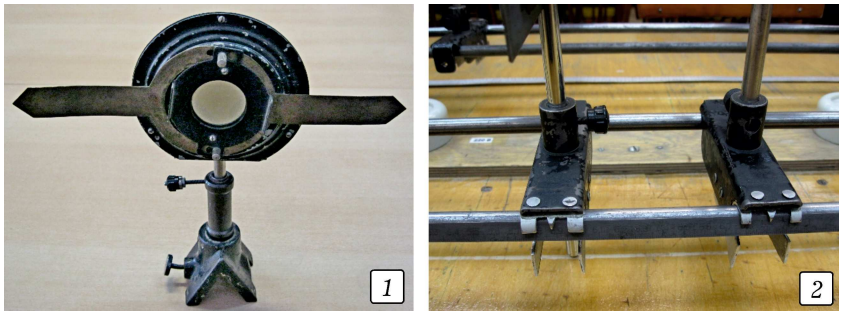


Рис. 1. Оборудование для экспериментов по поляризации света: *1* — поляризатор с указателем оси пропускания в рейтере; *2* — оптическая скамья с закрепленной на ней шкалой

ставленного за поляризатором, не зависят от угла поворота последнего.

Задание 1.1. Коэффициент пропускания поляроида. Определите коэффициент пропускания ваших поляроидов с помощью любого доступного люксметра. Поставьте два поляризатора друг за другом и убедитесь, что поляризованный луч света потерял осевую симметрию и при вращении любого из поляризаторов изменяет яркость от максимальной до практически нулевой (рис. 2.1, рис. 2.2).

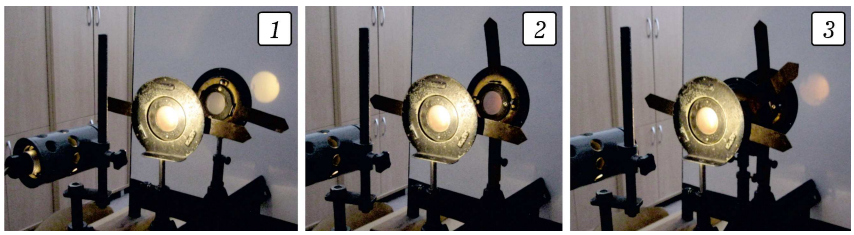


Рис. 2. Исследование поляризации света: *1* — оси пропускания двух поляризаторов параллельны; *2* — оси пропускания двух поляризаторов перпендикулярны; *3* — добавлен третий поляризатор

Задание 1.2. Закон Малюса. Исследуйте зависимость коэффициента пропускания поляроидов от угла поворота любого из них с помощью люксметра. Проверьте, соответствуют ли результаты закону Малюса. Поставьте между двумя скрещенными поляризаторами третий, ориентированный под углом 45° к ним (рис. 2.3).

Задание 1.3. Три поляризатора. Объясните отсутствие эффекта просветления при постановке третьего поляризатора перед первым или после второго.

Задание 1.4. Система из трех поляризаторов. Выведите формулу зависимости коэффициента пропускания системы от угла поворота добавленного поляризатора и сравните с результатами эксперимента.

Задание 1.5. Жидкокристаллические экраны как источники поляризованного света. Посмотрите через поляризатор на экран *LCD* монитора, планшета, калькулятора, часов и других устройств с дисплеями. Почему у многих из них ось поляризации верхней пленки направлена под углом 45° к краям рамки?

Задание 1.6. Поляризационная насадка на объектив фотоаппарата. Как работают поляризационные светофильтры–насадки для фотоаппаратов? Почему цены на них при одинаковых размерах могут отличатся на несколько порядков?

Задание 1.7. Поляризаторы в автотранспорте. Почему не была реализована идея избавления от ослепления светом фар водителей встречного автотранспорта в ночное время с помощью поляризаторов на фарах и лобовом стекле автомобиля?

Задание 1.8. Поляризационные очки. Как работают многослойные поляризационные очки–светофильтры для водителей?

Задание 1.9. Применение поляризаторов. Перечислите области применения поляризаторов в науке, технике, быту. Как их изготавливают? Почему поляризационные пленки с экранов дисплеев легко рвутся вдоль оси поляризации?

Серия 2

Дифракция на периодических структурах в проходящем свете

Явления дифракции и интерференции света редко встречаются в чистом виде и часто неотделимы друг от друга. Начнем опыты со школьной дифракционной решеткой. Возникает вопрос: как может быть изготовлена простая демонстрационная решетка? (Учитель может продемонстрировать имеющееся оборудование). Учащимся сообщается, что, оказывается, ее можно сделать и в домашних условиях. Начертите черной тушью рейсфедером на листе ватмана формата *A*1 систему равноотстоящих параллельных прямых, толщина которых равна просвету между ними, и сфотографируйте пленочным фотоаппаратом. Полученный негатив и есть дифракционная решетка. Таким же способом энтузиасты делали и зонные пластинки для опытов по волновой оптике. Оцените, сколько таких линий начертили создатели простой решетки для школьного набора.

В настоящее время проще нарисовать эти линии в любом графическом редакторе и распечатать на лазерном принтере в формате *A*3 или *A*4.

Задание 2.1. Длина волны лазерного излучения. Используя дифракционную решетку с периодом 0,01 мм из школьного набора, определите длину волны вашего лазера (рис. 3.1).

Задание 2.2. Поворот дифракционной решетки. Нарушим симметрию. Повернем решетку вокруг оси, параллельной штрихам, и дифракционная картина становится асимметричной относительно

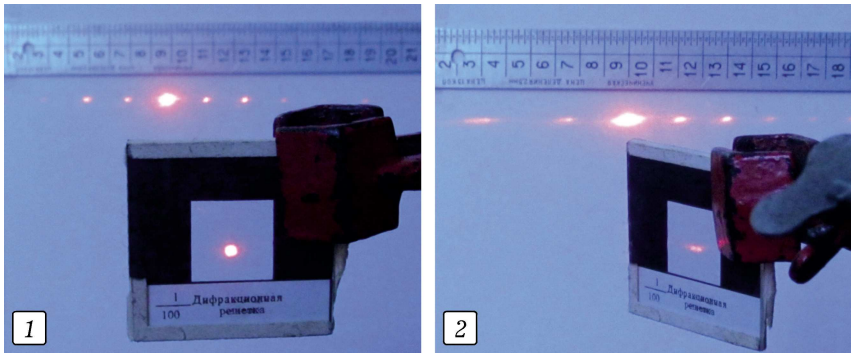


Рис. 3. Демонстрация дифракции света на дифракционной решетке: *1* — определение длины волны лазерного излучения; *2* — искажение дифракционной картины при повороте решетки

вертикальной продольной плоскости, как показано на рис. 3.2. Объясните наблюдаемый эффект (рис. 3.2) и выведите формулы зависимости расстояния между максимумами слева и справа от угла поворота решетки. Может ли этот эффект быть связан с преломлением света в стеклянных пластинках, покрывающих решетку? Проверьте это экспериментально.

Задание 2.3. Наклон дифракционной решетки. Если повернуть решетку вокруг оси, перпендикулярной штрихам, то дифракционная картина искривляется, как показано на рис. 4.1. Теперь нарушена симметрия относительно продольной горизонтальной плоскости. Объясните наблюдаемый эффект и выведите формулы зависимости смещения максимумов разных порядков от угла поворота решетки.

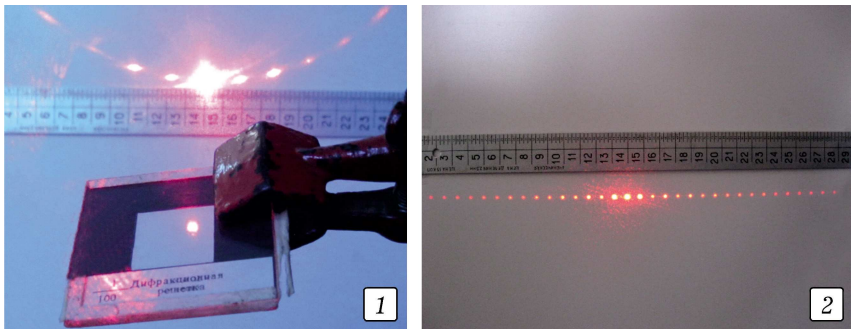


Рис. 4. Исследование дифракции света на дифракционной решетке: *1* — искажение дифракционной картины при наклоне решетки; *2* — применение дифракционный решетки с другим периодом

Задание 2.4. Угол поворота дифракционной решетки. Поверните решетку еще и вокруг вертикальной оси. Объясните наблюдаемый эффект и выведите формулы зависимости смещения максимумов разных порядков от углов поворота решетки. Можно ли было заранее предвидеть результат?

Задание 2.5. Количество наблюдаемых максимумов. Мы видим дифракционную картину от решетки с большим чем у школьной решетки периодом (рис. 4.2). Почему так сильно различаются количества видимых максимумов при простой замене одной решетки на другую? Рассчитайте период этой решетки, если расстояние от решеток до экрана такое же, как в задании 2.1 (рис. 3.1).

Задание 2.6. Наложение двух дифракционных решеток. Предскажите эффект от наложения друг на друга двух одинаковых решеток с параллельными штрихами. На фотографии (рис. 5.1) показаны картины дифракции от наложенных друг на друга двух одинаковых решеток. Объясните эффект теоретически и проверьте опытом.

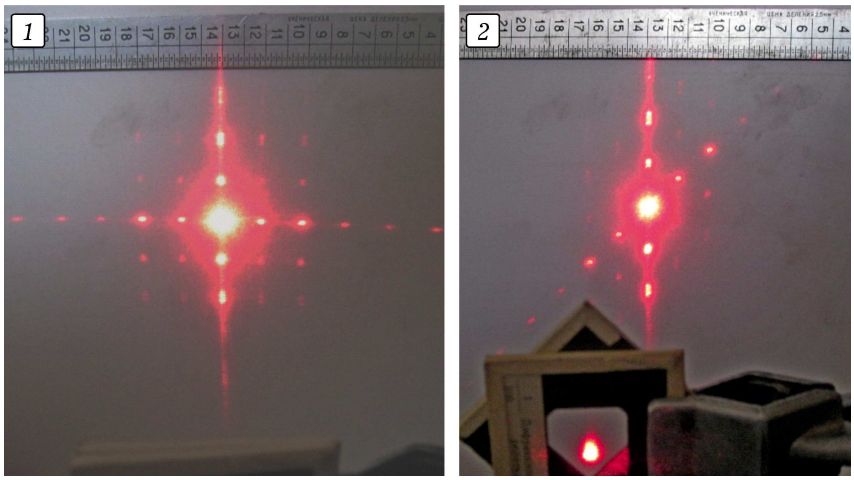


Рис. 5. Исследование дифракции света на двух дифракционных решетках: *1* — щели одной решетки перпендикулярны щелям второй; *2* — произвольный угол между щелями решеток

Задание 2.7. Изменение угла между двумя дифракционными решетками. Предскажите эффект от поворота наложенных таким способом друг на друга двух одинаковых решеток вокруг разных осей (как в заданиях 2.2, 2.3, 2.4) и проверьте опытом.

Задание 2.8. Вращение одной из дифракционных решеток. Предскажите эффект от наложения друг на друга нескольких решеток, повернутых под разными углами (рис. 5.2). Какой будет дифракционная картина от системы равноудаленных концентрических колец

при попадании луча лазера в их центр и где–то сбоку? Такую кольцевую решетку можете сделать сами описанным выше способом и поэкспериментировать с ней. Проверьте, совпадает ли ваша теория с практикой.

Серия 3

Дифракция на периодических структурах в отраженном свете

Для работы с отражательными периодическими структурами надо просверлить отверстие в белом экране и направить через него луч лазера на исследуемый объект. Дифракционные картины наблюдаются на экране вокруг отверстия, откуда выходит луч лазера.

Задание 3.1. Дифракция от дифракционных решеток в отраженном свете. Предскажите картину дифракции от решеток в отраженном свете как в заданиях предыдущего пункта и проверьте опытом.

Задание 3.2. CD–диск как отражательная дифракционная решетка. CD–диски почти непрозрачны, и их можно считать идеальными отражательными решетками в пределах пятна лазерного излучения на малых расстояниях от выходного окна лазера. Направим луч света перпендикулярно компакт диску. При этом на экране появляется классическая картина дифракции (рис. 6.1). Зная расстояние от диска до экрана и расстояние между максимумами наблюдаемой на экране дифракционной картины, определите расстояние между спиральными дорожками записи.

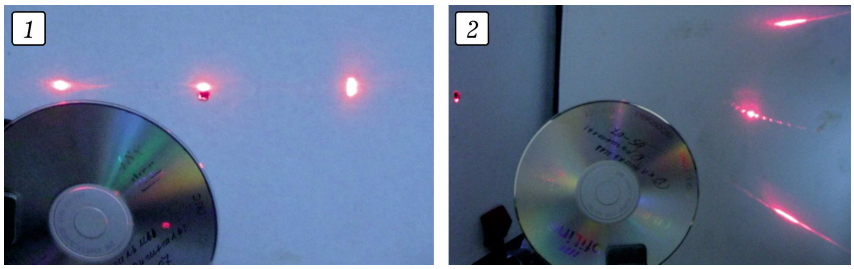


Рис. 6. Исследование дифракции света на отражательной дифракционной решетке: *1* — дифракция на CD–диске; *2* — применение дифракционный решетки с другим периодом

Задание 3.3. Ширина дорожек CD–диска. Измерьте ширину всех дорожек и оцените их суммарную длину на диске. Проверьте, одинакова ли ширина дорожек у центра и на краю диска.

Задание 3.4. Расстояние между питами на CD–диске. Если повернуть диск относительно оси, перпендикулярной дорожкам записи, то появится картина дифракции на отдельных питах — символах битов (рис. 6.2). Зная угол падения лучей, оцените расстояние между отдельными питами вдоль спирали и оцените емкость диска в байтах.

Задание 3.5. Расстояние между питами на краю и в центре CD–диска. Проверьте, одинаково ли расстояние между питами у центра и на краю диска. Как это может быть связано со скоростью вращения диска и со скоростью считывания информации с диска?

Задание 3.6. Дифракция на *DVD*–диске. Попробуйте проделать все то же самое с *DVD*–диском. Можно ли таким способом исследовать диски с еще большей плотностью записи информации?

Задание 3.7. Дифракция на грамофонной пластинке. Определите длину звуковой дорожки обычной граммофонной пластинки. Сколько байт информации можно было бы записать на ней механическим способом?

Задание 3.8. Интерференционные покрытия. В последнее время с развитием техники изготовления светоотражающих материалов (катафотов на дорожных знаках, на одежде) и их удешевления, широкое распространение получили упаковочные пленки с интерференционными покрытиями и голографические картинки. На рис. 7.1–7.3 представлены примеры торговых бирок с радужным отблеском без всяких красителей. В отраженном свете этот материал работает как двойная дифракционная решетка с различными периодами по взаимно перпендикулярным направлениям (рис. 7.4). Попробуйте разгадать секрет изготовления таких покрытий и измерить параметры необычных отражательных решеток. Какую технологию их изготовления предложили бы Вы?

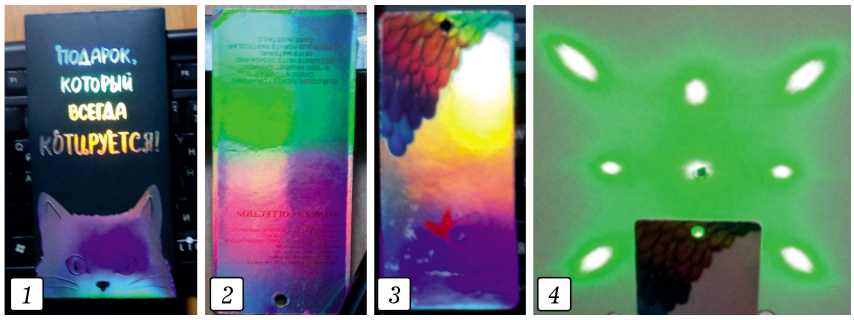


Рис. 7. Исследование дифракции на светоотражающих декоративных покрытиях: *1, 2, 3* — примеры интерференционных покрытий; *4* — получаемая дифракционная картина

Опыты по наблюдению интерференции света от двух точечных когерентных источников вдоль оси симметрии описаны в книге Р. В. Поля [4] в § 47 и § 56. В первом случае можно было наблюдать систему концентрических колец на экране в большой аудитории, но для выполнения условия когерентности использовались тонкие слюдяные пластинки, от поверхностей которых отражался свет ртутной лампы малых размеров. В современных условиях даже полупровод-

никовые лазеры имеют достаточную длину когерентности, чтобы наблюдать на экране интерференционные кольца при отражении света лазера от толстых зеркал с запыленной поверхностью. Р. В. Поль предлагает посыпать порошок на поверхность зеркала или натереть его пластилином, но гораздо эффектнее использовать конденсат от дыхания на поверхности зеркала и тогда на экране с маленьким отверстием для луча лазера на месте еле видимых колец возникает яркая интерференционная картина, которая через несколько секунд исчезает с испарением капелек влаги (рис. 8.1). Если зеркало слегка отклонить от перпендикуляра к лучу лазера, то центр колец смещается (рис. 8.2).

Задание 3.9. Число колец в интерференционной картине. Исследуйте, от чего зависит количество видимых колец.

Задание 3.10. Способы запыления зеркал. Исследуйте эффективность различных методов «запыления» зеркал.

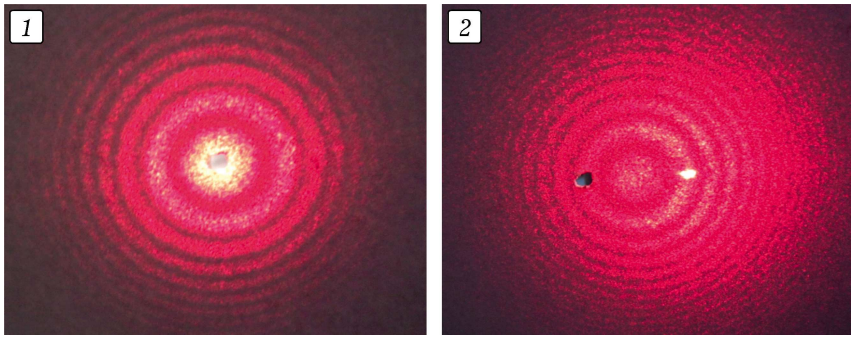


Рис. 8. Интеференция на запыленном зеркале: *1* — интерференция на слое капель жидкости; *2* — зеркало слегка повернуто от источника

Задание 3.11. Диаметр интерференционных колец. Мы наблюдаем в данном случае интерференционную картину волн, рассеянных за счет дифракции частицами на поверхности стекла при пути вперед и назад после отражения от зеркального слоя [5]. Разность хода лучей составляет в данном эксперименте не менее $2dn$, где d — толщина, а n — коэффициент преломления стекла. Попробуйте рассчитать зависимость диаметров интерференционных колец от параметров установки. Выведите соответствующие формулы сами или воспользуйтесь теорией Р. В. Поля. Можете ли Вы представить пространственную трехмерную картину поверхностей равной разности фаз от двух точечных когерентных источников монохроматического света?

Задание 3.12. Условия наблюдения интерференционной картины. Исследуйте, почему эту интерференционную картину от толстого зеркала нельзя получить на малых расстояниях от выходного зрачка лазера?

Задание 3.13. Стеклянная пластинка вместо зеркала. Исследуйте, что изменится при замене зеркала на обычную стеклянную пластинку. С какой стороны на нее стоит дышать? Объясните картину, наблюдаемую при этом в проходящем свете.

Задание 3.14. Дифракция на стандартных лазерных насадках. Лазерные указки–брелоки иногда продаются в наборе с насадками, дающими яркие контурные картинки с углом расходимости около 5–6 градусов (рис. 9.1–9.3). В некоторых вариантах таких насадок даже видны дополнительные изображения (рис. 9.4), похожие на дополнительные дифракционные максимумы как у скрещенных решеток. Исследуйте природу происхождения этих картинок: голограммы или что–то иное?

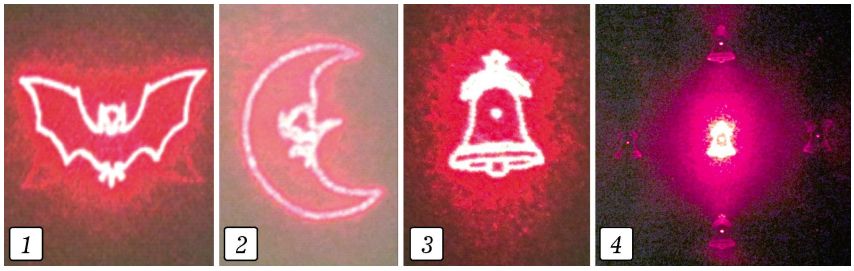


Рис. 9. Дифракция на стандартных лазерных насадках: *1, 2, 3* — примеры дифракционных картин в виде контурных картинок; *4* — дифракция на двумерной дифракционной решетке

Серия 4
Опыты с расходящимся пучком света

Поставим на выходе луча света из лазера собирающую линзу с фокусным расстоянием 5–10 см. Поверхность линзы должна быть чистой, чтобы уменьшить эффекты искажения волнового фронта от следов отпечатков пальцев и другой грязи. Кроме того, требуется установка всех приборов на оптической оси луча и подбор расстояний лазер–мишень–экран (лучше порядка 2–3 метров) для получения наиболее «красивой» картины.

Задание 4.1. Дифракция Френеля. На рис. 10.1 показана картина дифракции на краю экрана, на рис. 10.2 — от широкой щели и на рис. 10.3 — от проволоки. Предскажите теоретически наблюдаемые дифракционные картины и проверьте выводы экспериментом.

Задание 4.2. Дифракция Френеля на разных объектах. На рис. 11 показаны картины дифракции на отверстиях разной формы: круглой (рис. 11.1), треугольной (рис. 11.2), квадратной (рис. 11.3). Размеры отверстий чуть меньше диаметра расходящегося пучка света. Объясните происхождение наблюдаемых дифракционных картин. Предскажите вид рисунков на отверстиях другой формы — ромб, эллипс ... и проверьте на опыте.

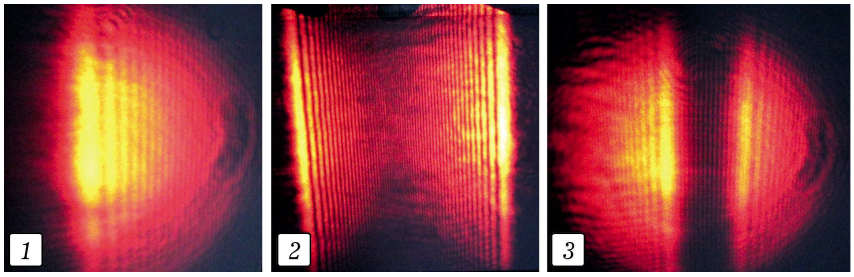


Рис. 10. Дифракция Френеля: *1* — на краю экрана; *2* — на толстой щели; *3* — на проволоке

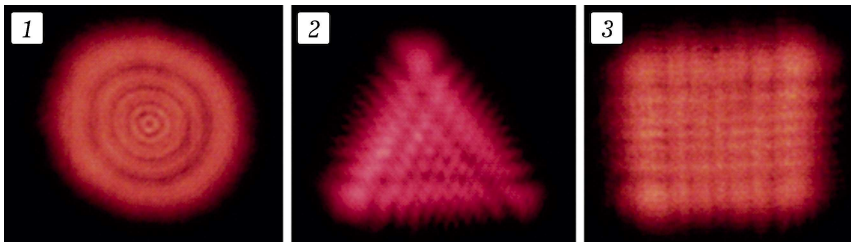


Рис. 11. Дифракция на отверстиях: *1* — круглое отверстие; *2* — треугольное отверстие; *3* — квадратное отверстие

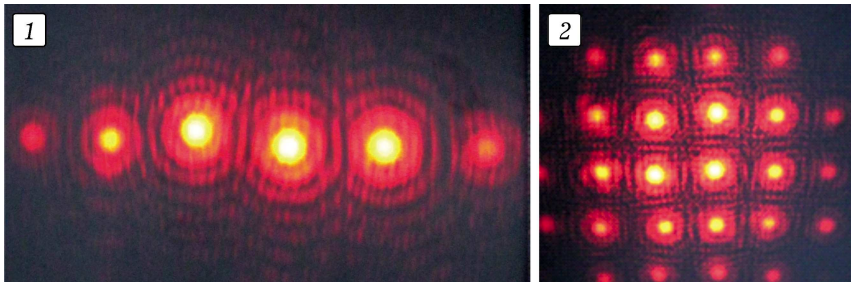


Рис. 12. Дифракция на малых отверстиях: *1* — отверстия расположены в ряд; *2* — отверстия расположены в виде решетки

Задание 4.3. Дифракция на малых отверстиях. На рис. 12.1 и рис. 12.2 показаны картины дифракции на круглых отверстиях, размером значительно меньше диаметра расходящегося пучка света, падающего на линейку или квадратную решетку этих отверстий. Объясните наблюдаемые картины. Можно ли предсказать вид дифракционных картин от других регулярных структур отверстий?

Задание 4.4. Бипризма Френеля и стеклянная пластинка. На рис. 13.1 показана картина дифракции после прохождения света через бипризму, а на рис. 13.2 показана картина интерференционных полос (равной толщины) при отражении широкого пучка от пластинки обычного оконного стекла. Определите по данным эксперимента величину двугранного угла бипризмы и сравните с результатами его измерения другими способами.

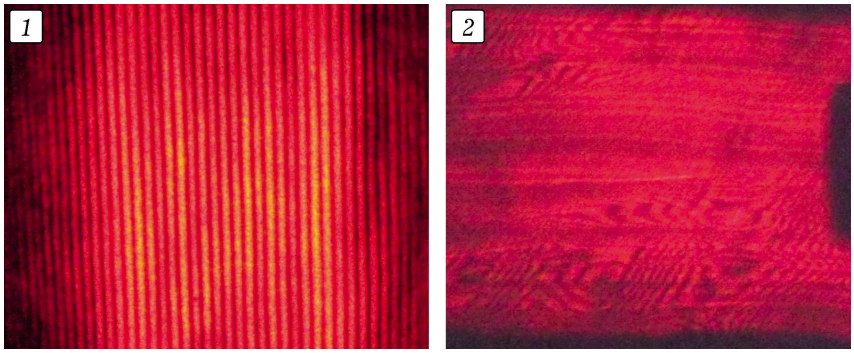


Рис. 13. Интерференционные картины: *1* — от бипризмы Френеля; *2* — от стеклянной пластинки

Задание 4.5. Качество оконного стекла. Оцените качество изготовления оконного стекла и степень параллельности его поверхностей. Почему мы не замечаем этих дефектов, когда смотрим через оконное стекло на улицу?

Задание 4.6. Применение интерференции. Приведите примеры применения интерференционных методов в системах технического контроля различных производств и в научных исследованиях.

Заключение

Тема «Волновая оптика» традиционно является одной из трудных для восприятия и понимания. Предложенные в статье серии экспериментальных заданий позволяют обучающимся (старшеклассникам, студентам) погрузиться в суть наблюдаемых явлений, повлиять на условия их наблюдения, строить и проверять свои гипотезы на практике. Серии заданий выстроены таким образом, чтобы в управляемой учителем деятельности обучающиеся могли «заметить» необходимое явление, получить указания для настройки установки для его изучения, а затем при обсуждении вопросов применить знания, углубить понимание, расширить свой кругозор. Для более глубокого изучения теоретических основ описанных явлений и ознакомления с фундаментальными положениями волновой оптики мы рекомендуется обратиться к дополнительной литературе, например, [6–9].

Апробация предложенных методических решений показала, что такой формат работы нравится обучающимся, они вовлекаются в активную исследовательскую деятельность, что способствует не только углублению знаний, но и развитию их интеллектуальных качеств и экспериментальных умений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакулин В. Н., Толмачева М. И. Формирование исследовательских умений учащихся при изучении темы «Волновая оптика» // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2017. — № *V*12. — С. 28–34.
2. ГОСТ Р МЭК 60825-1-2009. Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования требования и руководство для потребителей. — М.: Стандартинформ, 2010. — 100 с.
3. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров: СанПиН 5804–91: утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 21.06.1991. — М.: Минздрав СССР, 1991. — 78 с.
4. Поль Р. В. Оптика. — М.: Наука, 1966. — 552 с.
5. Амстиславский Я. Е. Интерференционная картина от запыленного зеркала в домашней лаборатории // Учебная физика. — 2000. — № 1. — С. 34–40.
6. Миннарт М. Свет и цвет в природе. — М.: Физматгиз, 1958. — 312 с.
7. Жевандров Н. Д. Поляризация света. — М.: Наука, 1969. — 190 с.
8. Паненко Д. Дифракция в лазерном свете // Квант. — 1990. — № 12. — С. 36–39.
9. Ландсберг Г. С. Оптика. Учебное пособие: Для вузов. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с.

Вятский государственный университет

Поступила в редакцию 06.03.26.

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853:378.147

О. В. Сергеева, Е. Л. Казакова

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ

Для реализации интегрированного учебного процесса и формирования индивидуальных траекторий обучения рассмотрен пример комплексного использования возможностей лабораторной работы по молекулярной физике. Приведены задания и задачи разного уровня сложности по теме данной лабораторной работы. Новизна работы состоит в реализации идеи создания комплекса разноуровневых теоретических и практических заданий на основе одной лабораторной установки для изучения газовых законов в молекулярной физике; проектировании аудиторной и самостоятельной внеаудиторной экспериментальной деятельности студентов. Результаты эксперимента применяются в последующем при решении физических задач. Даны примеры результатов эксперимента и их интерпретация.

Ключевые слова: обучение физике, физический практикум, индивидуальные траектории обучения, физическая задача, экспериментальная проверка, молекулярная физика, газовые законы.

O. V. Sergeeva, E. L. Kazakova

ABOUT THE POSSIBILITIES OF LABORATORY WORK IN MOLECULAR PHYSICS TO CREATE INDIVIDUAL LEARNING PATHS

An example of integrated use of laboratory work in molecular physics for the implementation of integrated educational process and the formation of individual learning trajectories is considered. The set of tasks of different levels of complexity on the topic of this laboratory work are given. The novelty of the work lies in implementing set of multi–level theoretical and practical tasks based on a single laboratory setup for studying gas laws in molecular physics. The design of both classroom–based and independent extracurricular experimental activities for students has been realized. The results of the experiment are subsequently applied to solving physics problems. Examples of the experiments and their interpretation are provided.

Keywords: teaching physics, physical practice, individual learning paths, physical problem, experimental verification, molecular physics, gas laws.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-38-48

© Сергеева О. В., Казакова Е. Л., 2026

Введение

При подготовке инженерных кадров физический практикум играет ключевую роль. Это не просто набор лабораторных работ, а фундаментальный элемент, формирующий у студентов практические навыки, необходимые для успешной профессиональной деятельности, и дополняющий теоретические знания. Например, для будущих инженеров, обучающихся по различным программам бакалавриата, общепрофессиональные компетенции в категориях информационной культуры и фундаментальной подготовки, формируемые в результате освоения дисциплины «Физика», сформулированы в образовательных стандартах следующим образом:

«— способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;

— способен применять соответствующий физико–математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач;

— способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности» [1, 2].

На занятиях физического практикума можно реализовать решение следующих задач.

Закрепление теоретических знаний. Практикум позволяет студентам увидеть, как физические законы и принципы работают в реальном мире. Они могут экспериментировать, наблюдать, анализировать и, таким образом, глубже понимать теоретический материал.

Развитие практических навыков. Работа с измерительными приборами, подготовка установки к работе, сборка электрических схем, проведение экспериментов, анализ и обработка экспериментальных данных — все это дает студентам первый опыт работы с реальным оборудованием и технологиями и формирует основу для будущей профессиональной деятельности.

Формирование инженерного мышления. В процессе выполнения лабораторных работ студенты учатся планировать эксперимент, интерпретировать и анализировать результаты, выдвигать гипотезы и делать выводы. Это развивает критическое мышление и умение искать решения инженерных задач [3, 4, 5].

Уровень подготовки студентов разный, многие не сдавали ЕГЭ по физике. Поэтому особое внимание следует уделить персонализированному обучению. Каждый студент имеет свои индивидуальные особенности, и темп обучения будет разный. Поэтому, важно, чтобы в рамках физического практикума предлагались задания и задачи разных уровней сложности, чтобы обеспечить каждому студенту его индивидуальный оптимальный путь к освоению материала. Преподаватель это реализует, формируя индивидуальные образовательные траектории обучения [6].

Обучение физике в современных условиях требует перехода от пассивного восприятия информации к активному обучению, базирующемуся на триединстве *модель — эксперимент — задача* [7, 8, 9]. Этот подход предполагает, что понимание физических явлений формируется в результате последовательного взаимодействия с тремя ключевыми элементами.

1. Модель дает упрощенное представление о физическом явлении, позволяющее выделить его основные характеристики и закономерности. Это может быть математическая формула, графическое изображение, компьютерная симуляция.

2. Эксперимент позволяет наблюдать явление в контролируемых условиях и собирать данные для проверки модели.

3. Решение задач требует применения модели для объяснения наблюдаемых явлений, прогнозирования результатов экспериментов и анализа данных [7, 8, 9].

Физический эксперимент играет центральную роль в этом триединстве. Он позволяет обучающимся: 1) визуализировать абстрактные понятия, воспроизвести физические явления, увидеть их своими глазами и связать с теоретическими знаниями; 2) развивать навыки наблюдения и анализа, замечать детали, собирать данные, выявлять закономерности и делать выводы; 3) формировать критическое мышление, оценивать достоверность данных, анализировать погрешности и причины их появления; 4) повышать мотивацию к обучению [3, 6, 7, 8, 9]. Высказанные общие идеи нуждаются в обосновании конкретными примерами из образовательной деятельности. Рассмотрим возможности лабораторной работы «Изучение экспериментальных газовых законов» для реализации интегрированного учебного процесса и формирования индивидуальных траекторий обучения.

Лабораторная работа «Изучение экспериментальных газовых законов»

Типовая экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой стеклянный корпус, в котором находится шприц с подвижным поршнем. Под поршнем находится исследуемый газ — воздух. Стеклянный корпус заполнен водой, что позволяет поддерживать температуру воздуха в шприце (рис. 2). Датчики давления и температуры, подключенные к блоку сопряжения, позволяют автоматически производить измерения во внутренней воздушной камере шприца. На дисплей компьютера результаты выводятся в виде таблиц и графиков.

С помощью данной установки можно получить данные по зависимостям $p(V)$, $V(T)$, $p(T)$, изучая соответственно изотермический, изобарный, изохорный процессы. Осуществить изотермический процесс можно при фиксированной температуре, изменяя объ-

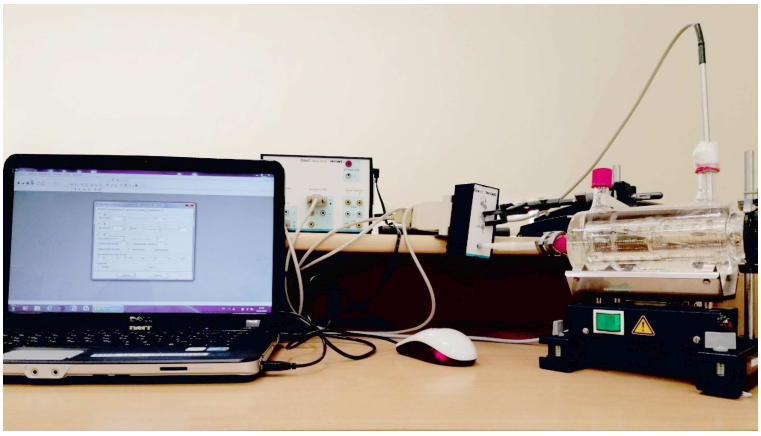


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки для изучения газовых законов. Установка реализована на базе оборудования фирмы PHYWE (Геттинген, Германия) https://www.phywe.com/ru/fizika/

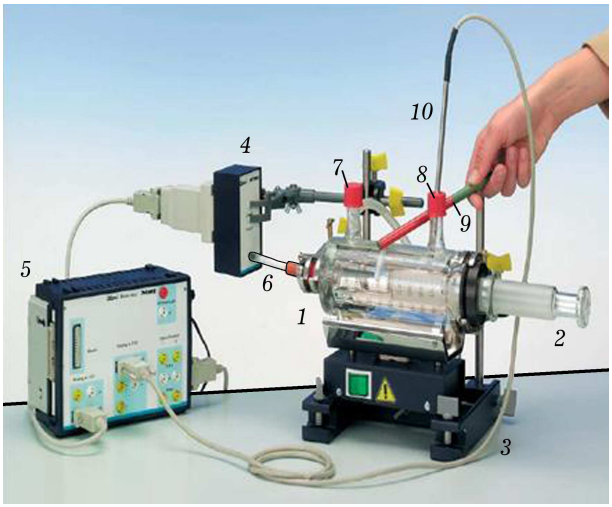
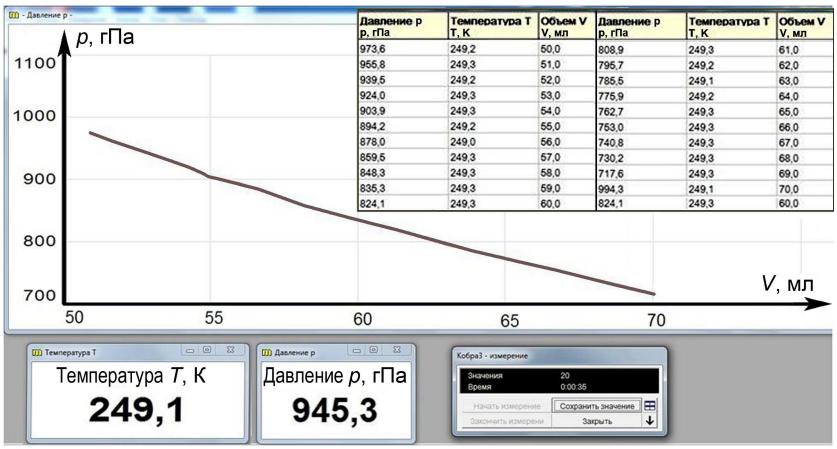


Рис. 2. Лабораторная установка для изучения экспериментальных газовых законов: *1* — стеклянный корпус; *2* — подвижный поршень (шприц находится внутри стеклянного корпуса); *3* — плитка; *4* — датчик давления; *5* — блок *Cobra*, который сопрягается с компьютером и датчиками; *6* — резиновая трубка–переходник; *7*, *8* — отверстия в стеклянном корпусе; *9* — магнит; *10* — термодатчик

ем воздуха в шприце при перемещении поршня вручную. Значения давления и температуры автоматически зафиксируют датчики (рис. 3).



Давление p p, гПа	Температура T T, K	Объем V V, мл	Давление p p, гПа	Температура T T, K	Объем V V, мл
973,6	249,2	50,0	808,9	249,3	61,0
955,8	249,3	51,0	795,7	249,2	62,0
939,5	249,2	52,0	785,5	249,1	63,0
924,0	249,3	53,0	775,9	249,2	64,0
903,9	249,3	54,0	762,7	249,3	65,0
894,2	249,2	55,0	753,0	249,3	66,0
878,0	249,0	56,0	740,8	249,3	67,0
859,5	249,3	57,0	730,2	249,3	68,0
848,3	249,3	58,0	717,6	249,3	69,0
835,3	249,3	59,0	994,3	249,1	70,0
824,1	249,3	60,0	824,1	249,3	60,0

Рис. 3. Пример представления на экране компьютера экспериментальных данных по изучению изотермического расширения воздуха

Температуру воздуха в шприце можно увеличить при нагревании воды, находящейся в стеклянном корпусе. Для этого используют плитку. Нагревание воздуха в шприце приведет к его расширению, поршень будет перемещаться. Фиксируя вручную изменение объема воздуха и соответствующую температуру по показаниям термодатчика, можно получить данные о зависимости $V(T)$ для изобарного процесса. Важно при этом обратить внимание на значения показаний датчика давления, сравнив эти значения с атмосферным давлением. Можно получить данные о зависимости $p(T)$ для изохорного процесса, возвращая поршень в исходное положение (к начальному объему, поддерживая $V = \text{const}$) после повышения температуры на определенную величину ΔT.

В качестве модели берется модель идеального газа. Экспериментально получают зависимости законов Бойля–Мариотта, Шарля, Гей–Люссака. На лабораторном занятии студент выполняет эксперимент по проверке одного или двух законов. Количество заданий определяет преподаватель, ориентируясь на возможности студента. Анализ результатов, полученных при выполнении данной работы, открывает широкие возможности для обсуждения со студентами: анализ и обработка экспериментальных данных, сравнение теории и эксперимента, границы применимости модели идеального газа.

На выполнение лабораторной работы отводится два занятия, то есть 4 академических часа. На первом занятии студент выполняет эксперимент и проводит предварительные расчеты. В рамках самостоятельной работы студент завершает обработку данных эксперимента, оформляет отчет, выполняет индивидуальные задания.

Второе занятие отводится защите отчетов и индивидуальных заданий.

После выполнения лабораторной работы обучающимся предлагаются индивидуальные задания–задачи, направленные на проверку экспериментальных газовых законов, законов термодинамики, позволяющие учесть детали проведения эксперимента. Уровень сложности задач для самостоятельной работы по теме лабораторной работы может быть различным, позволяя создавать индивидуальные траектории обучения. Приведем примеры предлагаемых заданий.

1. Проведите расчеты pV/T для исследуемых процессов и сделайте вывод о выполнении уравнения Клапейрона.

2. Постройте график зависимости pV/T от V или от T для изобарного или изохорного процессов соответственно. Сделайте вывод о характере зависимости.

3. Постройте графики зависимости $p = p(V)$ при различных температурах для изотермического процесса и проанализируйте результат.

4. Предложите способ расчета числа молей воздуха в объеме шприца.

5. Возможно ли при условиях проведения эксперимента считать воздух идеальным газом?

Представленные выше задания можно условно определить как задания базового уровня сложности. Следующий набор заданий потребует умения анализировать различные физические процессы, выбирать способы решения, иметь навык работы с графической информацией, ее анализом и обработкой этих данных. Выбор заданий осуществляет преподаватель исходя из возможностей и уровня знаний студента. Приведем примеры таких заданий повышенного уровня сложности.

1. При изучении процесса изобарного расширения газа был получен набор значений объема V и температуры T для известного количества воздуха ν. Сравните атмосферное давление, зафиксированное при выполнении опыта, и давление, зафиксированное датчиком давления при протекании изобарного расширения. Что можно сказать о действии силы трения? Рассчитайте ее значение.

Выполнение задания позволит экспериментально проверить, какими были процессы нагревания газа. Сразу ли начался изобарный процесс расширения газа? Или возможен и другой вариант протекания эксперимента? Сначала был изохорный процесс нагревания, пока сила давления газа под поршнем не превысила суммарную силу давления атмосферного воздуха снаружи на поршень и силу трения поршня о стенки сосуда.

Аналогичную ситуацию можно проанализировать и на практическом занятии, решая, например, такаю задачу. В горизонтальном

цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится одноатомный идеальный газ при известном давлении, равном давлению окружающего воздуха. Трение между стенками сосуда и поршнем пренебрежимо мало. В процессе медленного охлаждения от газа отведено какое–то количество теплоты, поршень при этом передвинулся на определенное расстояние. Чему, например, равна площадь поперечного сечения поршня? [10, 11]. Решая эту задачу, следует обратить внимание на то, что медленное охлаждение системы позволяет считать процесс равновесным. Именно отсутствие силы трения приводит к тому, что в данном случае изобарное расширение будет происходить при атмосферном давлении. Можно рассмотреть ситуации, когда наличие силы трения приводит к тому, что сначала идет изохорный процесс, пока, например, сила, с которой газ давит изнутри на пробку или поршень, не превысит суммарную силу давления атмосферного воздуха снаружи на пробку и силу трения пробки/поршня о стенки сосуда [10, 11, 12].

2. При изучении **изотермического расширения идеального газа** был получен набор значений давления и объема при фиксированной температуре T и известном количестве вещества ν. Необходимо подтвердить, что график зависимости $p(V)$ является гиперболой, проведя процедуру линеаризации зависимости, и определить универсальную газовую постоянную по экспериментальным данным.

Для ответа на вопрос требуется учесть, что линеаризовать зависимость $p(V)$ можно в координатах p от $1/V$. Тангенс угла наклона можно определить по графику функции $p(1/V)$ как

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\Delta p}{\Delta(1/V)}. \tag{1}$$

В итоге

$$R = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\nu T}. \tag{2}$$

При устной беседе со студентами обращаем внимание на необходимость перевода величин, представленных на графиках, в систему СИ.

3. При изучении **изобарного расширения идеального газа** был получен набор значений объема и температуры для известного количества вещества ν. Предложите способ определения универсальной газовой постоянной по этим данным, считая, что известно давление в изобарном процессе p_1.

В соответствии с уравнением Менделеева–Клапейрона, тангенс угла наклона β прямой, построенной в координатах V, T, равен

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\nu R}{p_1}, \tag{3}$$

где ν — число молей, p_1 — давление в изобарном процессе. Поэтому, рассчитав тангенс угла наклона β для графика функции $V(T)$,

можно определить и значение универсальной газовой постоянной R при данном постоянном количестве воздуха как

$$R = \frac{p_1 \operatorname{tg}\beta}{\nu}. \quad (4)$$

4. При изучении **изохорного расширения идеального газа** получен набор значений для зависимости давления газа от температуры для известного количества вещества ν. Предложите способ определения универсальной газовой постоянной по этим данным. Считаем, что исходный объем воздуха V_1 известен.

В соответствии с уравнением Менделеева–Клапейрона тангенс угла наклона φ прямой, построенной в координатах p, T, равен

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\nu R}{V_1}, \quad (5)$$

Рассчитав $\operatorname{tg}\varphi$ для графика функции $p(T)$, можно определить также и значение универсальной газовой постоянной R при данном постоянном количестве воздуха, занимающего объем V_1 как

$$R = \frac{V_1 \operatorname{tg}\varphi}{\nu}. \quad (6)$$

5. При изучении процесса **изобарного расширения газа** был получен набор значений зависимости давления газа от температуры для известного количества вещества ν.

● Рассчитайте теоретическое значение термического коэффициента объемного расширения по формуле

$$\alpha_p = \alpha_V = \alpha = \frac{1}{273,15} \ (\mathrm{K}^{-1}).$$

● Рассчитайте объем воздуха V_0, соответствующий температуре $0\,^{\circ}\mathrm{C}$ по формуле $V_0 = \nu V_m$.

● Рассчитайте термический коэффициент объемного расширения.

При изобарном изменении состояния воздуха в шприце коэффициент $(dV/dT)_{p,\nu}$ соответствует тангенсу угла наклона β функции $V = V(T)$: $\operatorname{tg}\beta = (dV/dT)_{p,\nu}$. Поэтому, вычислив $\operatorname{tg}\beta$, можно рассчитать термический коэффициент объемного расширения как $\alpha_p = \operatorname{tg}\beta/V_0$, используя рассчитанное значение $\operatorname{tg}\beta$ для графика зависимости $V(T)$.

● Сравните полученный результат с теоретическим значением.

Аналогичные расчеты можно делать и для изохорного процесса.

6. При изучении **изотермического расширения газа** был получен набор значений давления и объема при фиксированной температуре T известного количества вещества ν. Необходимо проверить, как меняется энтропия в случае изотермического расширения газа, и определить универсальную газовую постоянную. Изменение энтропии ΔS для идеального газа, как известно, можно рассчитать

по формуле

$$\Delta S = \frac{m}{M} C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (7)$$

Для ν молей идеального газа изменение энтропии в изотермическом процессе перехода из исходного состояния с объемом V_0 в состоянии с объемом V согласно (7) описывается выражением

$$S(V) - S(V_0) = R \frac{m}{M} \ln \frac{V}{V_0}. \quad (8)$$

График зависимости в координатах ΔS от $\ln(V/V_0)$, представляет собой прямую, тангенс угла наклона которой равен $R\nu$. При изотермическом процессе изменение энтропии идеального газа при расширении от начального объема V_0 до объема V согласно первому началу термодинамики связано только с работой газа:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T_0} \int_{V_0}^{V} p dV, \quad (9)$$

где T_0 — температура проведения изотермического процесса [12]. Поэтому, рассчитав работу газа, можно найти изменение энтропии. Построив график зависимости $p(V)$ и, используя специальные возможности программного обеспечения, можно определить работу как площадь криволинейной трапеции под графиком в координатах $p - V$ (рис. 4). По экспериментальным результатам обучающийся должен рассчитать ΔS_i для каждого изменения объема, построить график ΔS_i от $\ln(V_i/V_0)$ и проанализировать результат в соответствии с формулой (8).

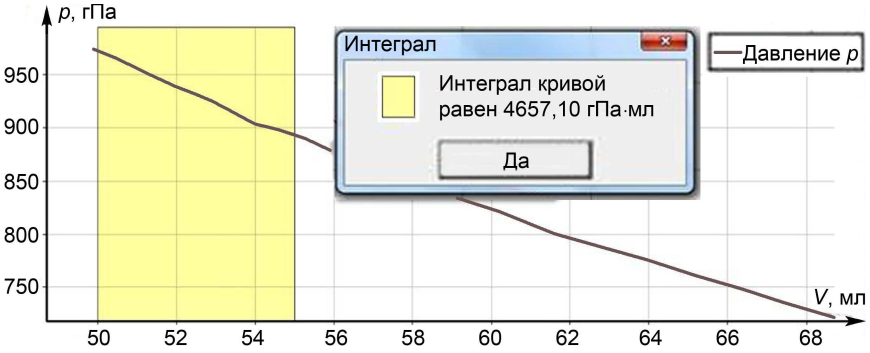


Рис. 4. Пример вычисления работы при изотермическом расширении газа с помощью возможностей программного обеспечения. В рабочем окне программы отображается значение совершенной газом работы (4657 гПа·мл = $4657 \cdot 10^{-4}$ Дж) при изменении объема от 50 до 55 мл

Полученная линейная зависимость ΔS_i от $\ln(V_i/V_0)$, не только подтвердит выполнение формулы (8), но и позволит рассчитать универсальную газовую постоянную или число молей газа. Можно обсуждать законы термодинамики, свойства энтропии, характер изменения энтропии, выводить формулу для расчета изменения энтропии идеального газа, границы применимости модели идеального газа.

Обработку экспериментальных зависимостей для всех заданий, требующих графического подхода, можно предложить выполнить разными способами: расчет коэффициента корреляции, применение метода наименьших квадратов, метода парных точек, определение тангенса угла наклона по линии тренда с использованием специальных программных средств.

Заключение

Комплексный подход к использованию возможностей лабораторной работы по молекулярной физике для реализации интегрированного учебного процесса является эффективным инструментом при преподавании физики. Индивидуализация процесса обучения позволяет сделать этот подход еще более эффективным, раскрывая потенциал обучающихся, показывая, как сочетается теория и эксперимент, развивая критическое мышление и исследовательские навыки, необходимые для формирования требуемых стандартом компетенций и будущей профессиональной деятельности. При формировании индивидуальных траекторий обучения реализуются возможности выбора разноуровневых экспериментальных заданий и задач, что позволяет обучающимся работать в собственном темпе, развивая навыки самостоятельной работы и самообразования.

Представленный материал демонстрирует одно из возможных направлений совершенствования лабораторного практикума. Дальнейшую работу в этом направлении предполагается сфокусировать на совершенствовании системы оценивания знаний студентов и расширении банка индивидуальных заданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. ФГОС ВО, утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 19.09.2017, № 926 (с изменениями 27.02.2023 г. № 208, от 19.07.2022 № 662, от 08.02.2021 № 83, от 26.11.2020 № 1456).
2. ФГОС ВО, утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28.02.2018 № 144 (с изменениями от 27.02.2023 г. № 208, от 19.07.2022 № 662, от 08.02.2021 № 83, от 26.11.2020 № 1456).
3. Кожевников Н. М. Демонстрационные эксперименты по общей физике: Учебное пособие. — СПб.: Лань, 2017. — 248 с.

4. Костарев С. В., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Формирование в физическом практикуме умений конструктивного использования методологического ресурса моделирования // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 40. — М.: ИСРО РАО, 2024. — С. 22–24.
5. Смирнова Н. Н., Славинскайте А. А., Трусилин И. А. Физический лабораторный практикум с профессиональной направленностью // Наукосфера. — 2022. — № 7–2. — С. 31–35.
6. Казакова Е. Л., Сергеева О. В. Опыт организации занятий по физике в вузе на младших курсах // Инженерное образование. — 2024. — № 36. — С. 5–9.
7. Гребенев И. В., Казарин П. В., Чупрунов Е. В. Эксперимент при решении физической задачи // Учебная физика. — 2025. — № 1. — С. 56–65.
8. Майер В. В., Данилов И. Н. Экспериментальная проверка решения физической задачи // Учебная физика. — 2021. — № 3. — С. 11–19.
9. Гребенев И. В. Методическое значение экспериментирующего мышления // Учебная физика. — 2023. — № 1. — С. 45–54.
10. Демидова М. Ю., Грибов В. А., Гиголо А. И. Физика. Механика. Молекулярная физика. — М.: Экзамен, 2021. — 239 с.
11. Демидова М. Ю., Грибов В. А., Гиголо А. И. Физика. Электродинамика. Квантовая физика. Качественные задачи. — М.: Экзамен, 2021. — 350 с.
12. Кикоин А. К. Молекулярная физика / А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. — СПб.: Лань, 2007. — 480 с.

Петрозаводский государственный университет

Поступила в редакцию 23.10.25.

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

И. Ю. Зворыкин, М. Р. Каткова

УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ ПО СОЗДАНИЮ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА

Описаны этапы и результаты выполнения учебного проекта по созданию установки для демонстрации магнитного поля соленоида. Экспериментальная установка содержит датчик магнитного поля из учебной цифровой лаборатории и сканер для перемещения датчика. Рассмотрен учебный процесс, ориентированный на проектную деятельность, который позволяет выполнить на уроке физики экспериментальное подтверждение решения задачи определения магнитного поля на краю достаточно длинного соленоида.

Ключевые слова: магнитное поле соленоида, учебная цифровая лаборатория, сканер, учебный физический эксперимент, учебный проект по физике.

I. Y. Zvorykin, M. R. Katkova

A STUDY PROJECT ON CREATING A SETUP TO DEMONSTRATE THE SOLENOID MAGNETIC FIELD

The stages and results of an educational project to create a setup for demonstrating the magnetic field of a solenoid are described. The experimental setup includes a magnetic field sensor from an educational digital lab and a scanner for moving the sensor. A project–based learning process is discussed, enabling experimental verification of the solution to the problem of determining the magnetic field at the edge of a sufficiently long solenoid in a physics lesson.

Keywords: magnetic field of a solenoid, educational digital laboratory, scanner, educational physics experiment, educational physics project.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-49-54

1. Введение

На уроке по физике решение задачи может сопровождаться экспериментальным подтверждением правильности полученного ответа. Таким образом, эксперимент и решение задачи объединены в едином учебном процессе. Современные исследования показывают актуальность такого подхода [1, 2, 3].

Однако экспериментальная проверка не всегда осуществима на уроке, если в физическом кабинете отсутствует необходимая для этого экспериментальная установка. Создание такой установки может

© Зворыкин И. Ю., Каткова М. Р., 2026

стать целью индивидуального проекта по физике. При этом остается проблема получения учащимися, выполняющими этот проект, необходимых для его выполнения дополнительных знаний и экспериментальных умений. Эту проблему решает ориентированный на выполнение проектов физический практикум.

Одной из задач, позволяющих осуществить экспериментальное подтверждение полученного ответа, является задача по определению магнитного поля на краю достаточно длинного соленоида. Качественное решение деления бесконечного соленоида пополам позволяет получить ответ, состоящий в том, что поле на краю соленоида будет в два раза меньше, чем в середине.

На рис. 1 изображен соленоид и результаты расчета магнитного поля на оси этого соленоида, описанные в учебнике для вузов [4]. Длина соленоида в 4 раза превышает его диаметр. По горизонтальной оси отложено расстояние от центра соленоида вдоль его оси, выраженное в единицах диаметра соленоида. Для понимания рисунка приведем пояснения: «по оси ординат отложено отношение величины поля B_z к величине поля в катушке бесконечно большой длины с тем же количеством витков на единицу длины и с той же силой тока в каждом витке» [4, с. 200].

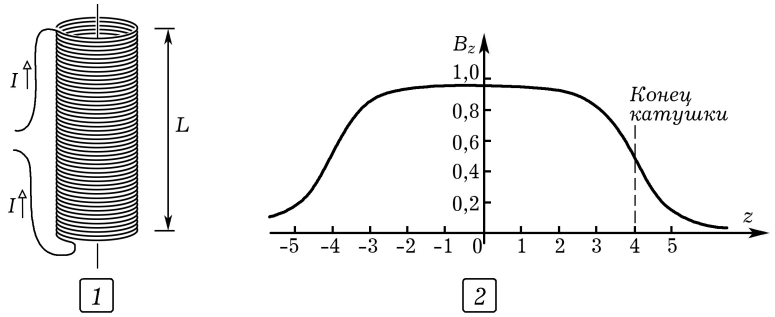


Рис. 1. Соленоид (*1*) и магнитное поле на оси соленоида (*2*). Иллюстрация из учебника [4, с. 200]

Для определения величины магнитного поля учителем может быть использован элемент учебной цифровой лаборатории (УЦЛ) — датчик магнитного поля. Однако обеспечить вручную четкое и равномерное движение датчика магнитного поля вдоль требуемой линии внутри соленоида не просто. Также не просто в ходе короткого фронтального демонстрационного эксперимента определить положение датчика относительно соленоида в произвольных точках траектории.

Это привело к необходимости создания позиционирующего датчик устройства (линейного сканера) и проведения с его помощью полноценного изучения поля в соленоиде конечной длины. При этом необходимо, чтобы учащиеся понимали то, как следует правильно использовать имеющийся в УЦЛ датчик, а еще лучше, чтобы сами научились им пользоваться.

2. Проектно–ориентированный физический практикум

В качестве работы проектно–ориентированного физического практикума было выполнено практическое изучение магнитного поля различных катушек (включая соленоид) с помощью датчика магнитного поля, входящего в состав УЦЛ.

Описание подобной работы можно найти в сопровождающих УЦЛ материалах [5] и в современной книге, посвященной физическому практикуму [6].

Возникшая на уроке проблема имеет техническую, исследовательскую и учебную составляющие. Точное позиционирование представляет техническую проблему, изучение датчика магнитного поля — учебную, а подтверждение полученного на уроке результата — исследовательскую.

В ходе выполнения работы практикума учащиеся, прежде всего, должны были разобраться с устройством и возможностями датчика магнитного поля. Для понимания работы датчика магнитного поля учащимся потребовалось познакомиться с эффектом Холла. В нашей практике мы используем два датчика от двух разных УЦЛ, изображенных на рис. 2. Они отличаются расположением чувствительного элемента (на основе эффекта Холла) на конце зонда датчика (ориентацией относительно оси зонда). По этой причине один из датчиков оказывается непригодным для работы с соленоидом.



Рис. 2. Датчики магнитного поля различных УЦЛ (датчик «4050» УЦЛ «Телематика», датчик «К301» УЦЛ «Научные развлечения»)

На уроке учащиеся сообщают об успешном подтверждении результата, полученного в ходе решения задачи. Однако у учителя все еще нет существенного улучшения возможностей проведения эксперимента на уроке.

3. Проектная деятельность

В ходе выполнения работы практикума учащиеся убедились в том, что для позиционирования датчика вдоль оси катушки требуется специальное устройство. Это позволяет сформировать проектную задачу

по созданию линейного сканера и сборке экспериментальной установки на его основе.

Линейный сканер может быть выполнен в виде устройства, осуществляющего равномерное прямолинейное движение площадки, к которой прикреплен датчик. Использование широко доступных деталей для самостоятельной сборки 3*D* принтера позволяет легко осуществить равномерное прямолинейное движение датчика. Положение датчика определяется по показаниям блока, контролирующего мотор сканера. Полученный нами в результате выполнения проекта линейный сканер представляет собой устройство, приводимое в движение сервомотором *LegoMindstormsEV*3. Учащимся потребовалось сформулировать алгоритм работы управляющего мотором сканера программируемого блока *EV*3, исходя из плана эксперимента. Программирование работы сканера не требует изучения какого–то определенного языка программирования.

На рис. 3 изображен внешний вид сканера с закрепленным датчиком. Типичная скорость движения датчика для этого сканера составляет несколько миллиметров в секунду.

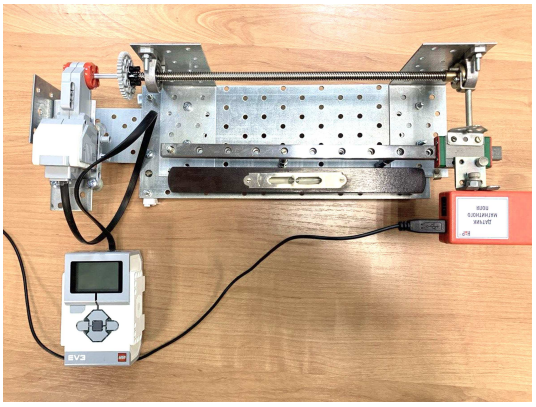


Рис. 3. Линейный сканер

В итоге на экране компьютера демонстрируется с помощью программного обеспечения (ПО) УЦЛ зависимость магнитного поля от времени. Однако, с учетом известной и постоянной скорости движения датчика, фактически демонстрируется зависимость магнитного поля от положения датчика на оси соленоида.

На рис. 4 изображен внешний вид экспериментальной установки, собранной на базе созданного линейного сканера, а на рис. 5 — результаты проведенного учащимися эксперимента с этой установкой.

Полученная в ходе выполнения проекта экспериментальная установка полностью удовлетворяет требованиям учителя для демонстрации магнитного поля соленоида на уроке.

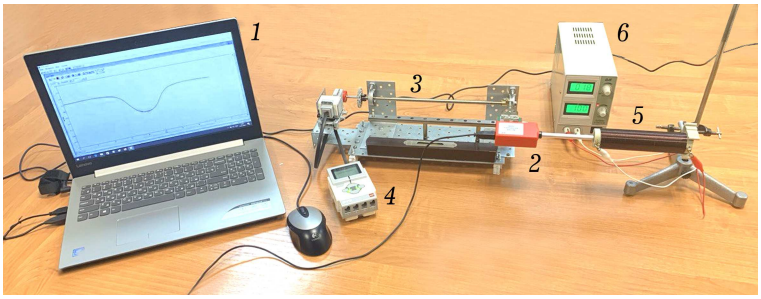


Рис. 4. Экспериментальная установка для исследования и демонстрации магнитного поля соленоида: *1* — компьютер с ПО УЦЛ «НР»; *2* — датчик магнитного поля (УЦЛ «НР»); *3* — сканер; *4* — программируемый блок Lego Mindstorms; *5* — соленоид; *6* — источник тока

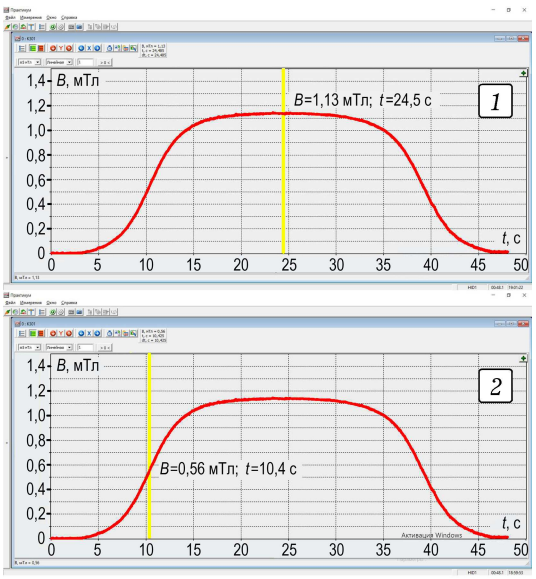


Рис. 5. Результаты эксперимента по определению магнитного поля в середине (*1*) и на краю (*2*) соленоида (соленоид: диаметр — 32 мм, длина — 130 мм, 125 витков; датчик: К301 «Научные развлечения» с погрешностью не более 5%; сетка по вертикали: 1 деление соответствует 0,1 мТл)

Если в школьном физическом кабинете отсутствует УЦЛ, или в ней отсутствует датчик магнитного поля, то темой проекта по физике может стать создание магнитометра. Подходящим вариантом является магнитометр — неотъемлемая часть действующей модели левитатора, проект по созданию которого описан в нашей публикации [7].

4. Линейный сканер в проектах учащихся

Созданный в результате выполнения проекта линейный сканер следует рационально использовать с другими датчиками из состава УЦЛ, отображающими зависимость измеряемой физической величины от времени. Это позволяет предложить учащимся ряд новых тем проектных работ с использованием сканера. Среди уже выполненных нами работ можно отметить проекты по созданию компьютеризованных экспериментальных установок: для изучения поглощения света в жидкости [8] и изучения распределения энергии в дисперсионном спектре ламп накаливания [9].

5. Выводы

Нами предлагается вариант организации учебного процесса, ориентированного на проектную деятельность, который позволяет выполнить на уроке физики экспериментальное подтверждение решения задачи определения магнитного поля на краю длинного соленоида. Этот процесс включает в себя выполнение работы физического практикума и индивидуального проекта учащегося по физике. Для выполнения работы практикума и в проекте использовались учебные цифровые лаборатории (УЦЛ). Полученный в результате выполнения проекта сканер может применяться в других проектах по физике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенев И. В., Казарин П. В., Чупрунов Е. В. Эксперимент при решении физической задачи // Учебная физика. — 2025. — № 1. — С. 56–65.
2. Лебедева О. В., Белова О. В., Еремичева Н. И. Практикум по физике: взаимосвязь решения задач и экспериментальной деятельности // Школа будущего. — 2023. — № 1. — С. 60–70.
3. Майер В. В., Данилов И. Н. Экспериментальная проверка решения физической задачи // Учебная физика. — 2021. — № 3. — С. 11–19.
4. Парселл Э. Электричество и магнетизм — 3-е изд., испр. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — (Берклеевский курс физики). — 416 с.
5. Поваляев О. А., Ханнанов Н. К., Хоменко С. В. Цифровая лаборатория ТР по физике (ученическая). Методические рекомендации. — М.: Де'Либри, 2023. — 188 с.
6. Тарчевский А. Е. Практикум по физике. Профильный уровень обучения. 7–11 классы. — М.: МЦНМО, 2021. — 408 с.
7. Zvorykin I. Yu., Katkova M. R., Maslennikova Yu. V. Magnetic levitator fitted with the Hall sensor readings // Physics Education. — 2022. — № 4. V. 57. — P. 045003.
8. Зворыкин И. Ю., Каткова М. Р. Учебный проект по созданию компьютеризованной экспериментальной установки для изучения поглощения света в жидкости // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 38. — М.: ИСРО РАО, 2023. — С. 95–98.
9. Зворыкин И. Ю., Каткова М. Р., Смирнова Е. А., Зворыкин А. И. Компьютеризация учебного эксперимента по изучению распределения энергии в дисперсионном спектре ламп накаливания // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 35. — М.: ИСРО РАО, 2022. — С. 79–81.

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

Поступила в редакцию 13.03.26.

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

А. П. Горлов, И. А. Горлов, Е. А. Самойлов

МЕЖПРЕДМЕТНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПРОЕКТ: ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОСТИ АРТЕРИЙ

В рамках учебного проекта по физике исследуются возможности для оценки эластичности (упругости) артерий как механической характеристики сосудов, которая определяет гемодинамические показатели периферического кровообращения. Сконструирован оригинальный прибор (аппаратно–программный комплекс) для анализа упругих свойств артерий человека на основе измерения скорости пульсовой волны. Прибор предназначен для учебного исследования методов медицинской диагностики сердечно–сосудистых заболеваний. Проведены измерения эластичности (упругости) артерий у пациентов трех возрастных категорий (16, 35 и 48 лет) с использованием созданного прибора. Полученные результаты могут быть полезны в качестве дидактического ресурса проектной деятельности как старшеклассников, так и студентов факультетов физико–математического профиля в системе среднего и высшего профессионального образования.

Ключевые слова: проектная деятельность школьников, учебный физико–биологический проект, межпредметные связи, учебный физический эксперимент, сердечно–сосудистая система, эластичность артерий человека.

A. P. Gorlov, I. A. Gorlov, E. A. Samoilov

INTERDISCIPLINARY EDUCATIONAL PROJECT: A DEVICE FOR MEASURING ARTERIAL ELASTICITY

As part of a physics academic project, the possibilities for assessing arterial elasticity as a mechanical characteristic of blood vessels, which determines the hemodynamic parameters of peripheral circulation, are being explored. An original device (hardware and software system) for analyzing the elastic properties of human arteries based on pulse wave velocity measurements has been designed. The device is intended for a study of the medical diagnosis methods of cardiovascular diseases. Arterial elasticity measurements were conducted in patients of three age groups (16, 35, and 48 years) using the developed device. The obtained results can be useful as a didactic resource for project–based activities for both high school students and undergraduate students majoring in physics and mathematics in secondary and higher vocational education.

Keywords: school project activities, educational physics and biology project, interdisciplinary connections, educational physics experiment, cardiovascular system, elasticity of human arteries.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-55-69

© Горлов А. П., Горлов И. А., Самойлов Е. А., 2026

1. Введение

Проектная деятельность является значимым ресурсом в системе управления интеллектуальным развитием школьников при обучении физике [1]. Высокую ценность представляют проекты междисциплинарного характера, которые создают обучающимся особые возможности для становления таких востребованных сегодня личностных качеств, как коммуникационная и информационная компетенции, новаторство, взаимодействие, гибкость мышления [2, 3]. И хотя тематика междисциплинарных проектов и отдельные методические разработки представлены в частнодидактической литературе [4, 5, 6, 7], учителя физики, преподаватели и обучающиеся испытывают дефицит идей, направлений учебной проектной деятельности, конкретных дидактических средств и рекомендаций. Указанное противоречие обусловливает актуальность темы данного исследования.

В работе рассматриваются возможности интеграции знаний из области биологии, физики, цифровой техники и программирования для решения проблемы учебного исследования методов диагностики артерий человека с целью профилактики распространенных заболеваний сердечно–сосудистой системы. Физиологический и физический анализ особенностей сердечно–сосудистой системы человека позволяет заключить, что эластичность (упругость) артерий является ключевым параметром, определяющим эффективность кровотока. Физические закономерности, описывающие динамику движения крови по сосудам, детерминируют метод измерения (оценки) эластичности артерий, который, в свою очередь, обусловливает принцип действия прибора для измерения указанного параметра. Знания и умения в области электроники и цифровой техники определяют особенности конструкции этого прибора (элементный состав, принципиальную схему). Наконец, владение основами программирования и компьютерной техники обеспечивает разработку аппаратно–программного обеспечения, соответствующего поставленной задаче.

В финале проведенного исследования сконструирован оригинальный прибор (аппаратно–программный комплекс) и проведена его апробация в учебном эксперименте, демонстрирующем измерение упругости артерий у трех пациентов разных возрастных категорий.

Перейдем к детальному описанию этапов решения поставленной проблемы.

2. Теоретические основы измерения упругости артерий человека

Рассмотрим учебную биологическую и физическую теорию, лежащую в основе выполняемого межпредметного проекта.

2.1. Физиология сердечно–сосудистой системы человека

Как известно, сердечно–сосудистая система человека включает сердце и сосуды — крупные артерии, периферические артерии, капилляры, венулы, вены, крупные вены. Основная функция сердечно–сосудистой системы — транспортная — состоит в обеспечении тока физиологических жидкостей (крови, лимфы). Кровь, перемещаясь по сосудам, поставляет кислород и питательные вещества органам и тканям, выводит углекислый газ и продукты жизнедеятельности, способствует переносу гормонов, иммунных тел, участвует в процессах терморегуляции организма [8].

Кровь проталкивается по сосудам благодаря давлению, которое создается пульсирующим сокращением стенок сердца (рис. 1). Пульсация давления уменьшается при прохождении крови от крупных артерий к капиллярам и венам. На рис. 2 показан график изменения давления крови в сосудах [9].

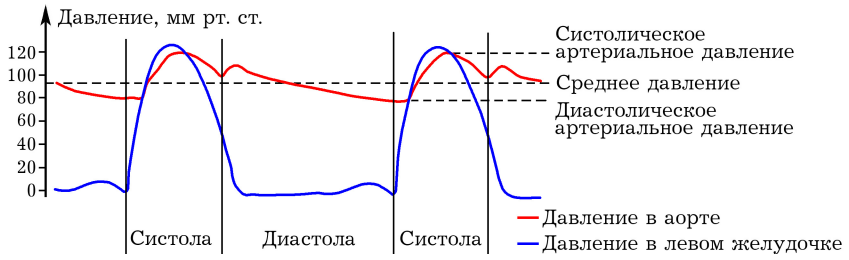


Рис. 1. Пульсирующее давление крови в аорте [8, с. 48]

Проталкивая кровь от крупных артерий до вен, сердце совершает работу. С ростом физической нагрузки потребность органов и тканей человека в кислороде и питательных веществах увеличивается, поэтому частота сердечных сокращений и кровяное давление повышаются, кровоток возрастает, что, в свою очередь, приводит к росту нагрузки на сердце [10]. Для уменьшения давления крови и, соответственно, для уменьшения нагрузки на сердце организм использует упругие (эластичные) свойства артерий, их способность растягиваться, увеличивая пропускаемый объем крови, и затем возвращаться в исходное состояние (рис. 3).

Таким образом, воздействие пульсации сердца на кровоток частично уменьшается артериями и благодаря их упругости передается дальше по сосуду. Чем эластичнее артерии, тем больше энергии сердца поглощается артериальными сосудами, что приводит к падению стартового давления, к уменьшению входного сопротивления сердечному выбросу и степени угасания колебаний давления. Такой механизм облегчает проталкивание крови по сосудам [11].

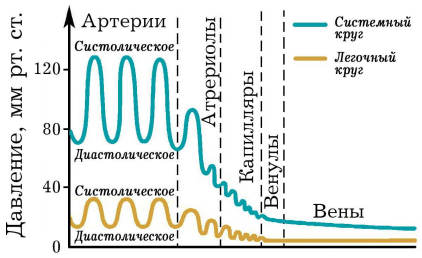


Рис. 2. Изменение давления крови в сосудах [9, с. 21]

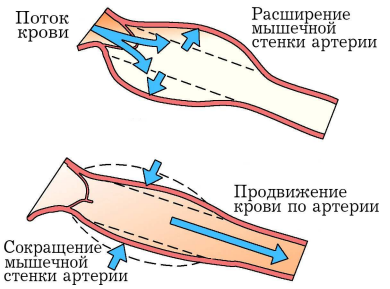


Рис. 3. Образование пульсовой волны

Возрастные и атеросклеротические изменения увеличивают жесткость артерий, что приводит к дополнительной нагрузке на сердце и провоцирует сердечно–сосудистые заболевания. Вот почему эластичность (упругость) является важным механическим и физиологическим параметром артерий.

2.2. Факторы, определяющие эластичность артерий

Эластичность артерий характеризует их способность растягиваться под воздействием кровяного давления и возвращаться в исходное состояние. Эластичные свойства артерий определяются трехоболочечной структурой их стенок и соотношением в стенках эластина, коллагена и гладкомышечных клеток.

Эластин — белок, обеспечивающий сосудам гибкость. По своим механическим свойствам он близок к резине, модуль Юнга эластических волокон примерно равен $3 \cdot 10^5$ Н/м^2. Коллаген — белок, придающий стенкам сосудов жесткость. Он формирует волокна с модулем Юнга порядка 10^8 Н/м^2. Гладкомышечные клетки при расслаблении или сокращении изменяют диаметр сосудов. Модуль Юнга гладкомышечных клеток в расслабленном состоянии примерно такой же, что у эластических волокон, но в состоянии сокращения увеличивается в 20 раз [12].

Соотношение эластина и коллагена в грудной аорте лежит в пределах от 2 до 1,5, а в периферических артериях этот показатель равен примерно 0,5. В грудной аорте доля гладких мышц составляет около 25 %, а в мельчайших артериях и артериолах она достигает 60 % [12]. По этим причинам эластичность различных артерий человека неодинакова: жесткость артериальных стенок увеличивается от аорты к периферии.

2.3. Методы измерения (оценки) эластичности артерий

В настоящее время выделяют три основных метода оценки эластичности артерий [9].

2.3.1. Метод определения модуля упругости. По закону Гука [13]:

$$F = k \cdot |\Delta L|. \tag{1}$$

Здесь F — модуль силы упругости, k — коэффициент упругости (жесткость) тела; ΔL — удлинение (изменение линейного размера тела). Закон Гука справедлив для линейных деформаций. Коэффициент упругости можно рассчитать так:

$$k = \frac{F}{\Delta L}. \tag{2}$$

Кроме того, $k = E \cdot S/L_0$, где L_0 — начальная длина образца, S — площадь поперечного сечения образца, E — модуль Юнга.

В случае объемной деформации выполняется соотношение:

$$-p = K \cdot \frac{\Delta V}{V_0}, \tag{3}$$

где K — коэффициент объемной упругости, p — давление, V_0 — начальный объем тела, ΔV — изменение объема тела [14, с. 427].

Коэффициент податливости (эластичности) E — величина, обратная коэффициенту K. Податливость понимается как изменение объема в ответ на изменение давления [9]. Для артерии с учетом пульсирующего характера движения крови по сосудам коэффициент податливости (эластичности) E можно рассчитать по формуле:

$$E = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p}, \tag{4}$$

где V_0 — начальный объем артерии; ΔV — изменение объема артерии; Δp — изменение трансмурального давления. Трансмуральное давление — это разница давлений между внутренней и внешней стенкой артерии. Согласно формуле (4), для оценки эластичности артерии необходимо определить зависимость объема артерии от давления. Сложность данного метода заключается в измерении изменения объема артерии ΔV.

2.3.2. Метод ультразвукового исследования. Данный метод наиболее наглядный. Он позволяет достаточно точно определить изменение объема артерии совместно с пульсацией артериального давления. Однако для использования этого метода необходимы сложное медицинское оборудование и специализированные медицинские учреждения (клиники) [9].

2.3.3. Метод измерения скорости распространения пульсовой волны. Этот метод предполагает измерение времени запаздывания систолического подъема на периферической артерии относительно аорты или близкой к ней артерии (сонной, плечевой). Эластичность сосудов можно оценивать как коэффициент, обратный скорости распространения пульсовой волны [9]:

$$E = E_0 \cdot \frac{\Delta t}{L}, \tag{5}$$

где E_0 — передаточный коэффициент; Δt — время запаздывания рас-

пространения пульсовой волны; L — путь, который проходит пульсовая волна.

Чем эластичней сосуды, тем больше время запаздывания распространения пульсовой волны и меньше скорость распространения пульсовой волны.

В нашей работе предложено учебное исследование метода оценки эластичности артерий по скорости распространения пульсовой волны.

Для регистрации пульсовой волны можно использовать манжету для измерения артериального давления. Она позволяет изменять трансмуральное давление, то есть формировать равновесие внешнего давления (давления в манжете) и давления в артериальном сосуде на уровнях минимального динамического, среднего и конечного систолического (максимального динамического) давлений.

Пульсовая волна регистрируется в двух точках — на плече и на голени, как показано на рис. 4. Эластичность артерии зависит от артериального давления [15]. Форма и амплитуда пульсовой волны изменяется в зависимости от давления в манжете (рис. 5).

Наиболее достоверная методика оценки параметра эластичности артерий включает определение механических свойств сосуда при условии нулевого трансмурального давления, то есть, когда давление внутри стенки и снаружи скомпенсировано. В этом слу-

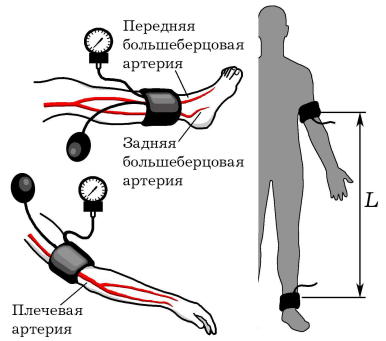


Рис. 4. Точки регистрации пульсовой волны

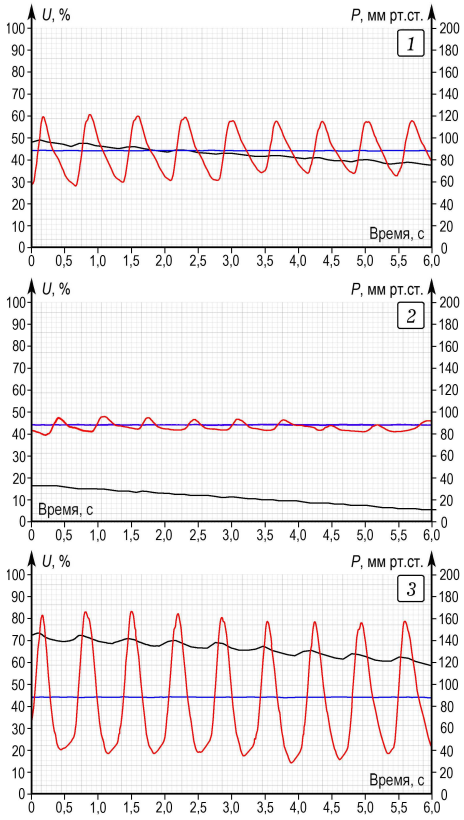


Рис. 5. Форма пульсовой волны при разных величинах давления в манжете: *1* — 98÷75 мм рт. ст.; *2* — 33÷11 мм рт. ст.; *3* — 147÷170 мм рт. ст.

чае эластичность ненагруженной артериальной стенки обусловлена упругими свойствами сосуда. Нулевое трансмуральное давление в каждой точке определяется по максимальной амплитуде пульсаций путем нагнетания давления в каждую из манжет.

Суть эксперимента заключается в фиксировании давления на плече и на голени, в определении момента систолического подъема на каждом графике и вычислении по формуле (5) времени запаздывания Δt пульсовой волны в голени относительно плеча при фиксированном расстоянии L между манжетами.

3. Конструирование прибора для измерения упругости артерий человека

Используя изложенный подход, перейдем к описанию оригинального аппаратно–программного комплекса для оценки эластичности артерий человека.

3.1. Модель прибора и принцип его построения

Основные задачи разработанного аппаратно–программного комплекса таковы: 1) детектирование двух независимых каналов датчиков давления в манжете; 2) аналого–цифровое преобразование сигналов датчиков давления; 3) передача оцифрованных данных в вычислительное устройство (компьютер) для дальнейшей визуализации сигналов; 4) программная обработка, регистрация, визуализация и анализ полученных сфигмограмм (пульсовых волн). Структурная схема разработанного аппаратно–программного комплекса представлена на рис. 6.

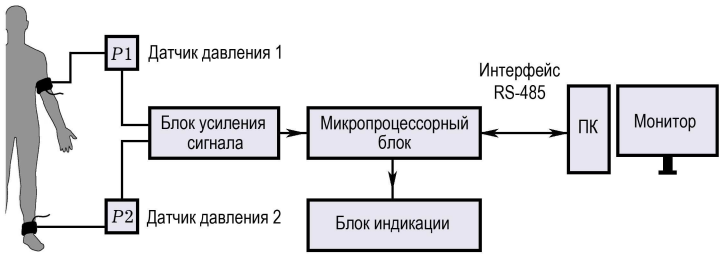


Рис. 6. Структурная схема прибора

Здесь $P1$, $P2$ — датчики дифференциального давления воздуха в манжетах. Давление в манжету нагнетается ручным способом с помощью компрессионной груши. Далее электрический сигнал с датчиков поступает на блок усиления аналоговых сигналов, где производится фильтрация, выделение постоянной составляющей сигналов и пульсовой части, усиление пульсовой части сигналов. В итоге получаем четыре канала аналоговых сигналов: постоянное давление

канала *1*, пульсовое давление канала *1*, постоянное давление канала *2*, пульсовое давление канала *2*. Эти сигналы поступают на микропроцессорный блок, где производится их аналого–цифровое преобразование, калибровка, цифровая обработка и реализация протокола передачи данных посредством интерфейса *RS* – 485. Разработанное программное обеспечение (верхнего уровня — для персонального компьютера) посредством интерфейса получает цифровые данные каналов, затем производится визуализация, регистрация графиков и анализ диагностических параметров. Блок индикации служит для отладки и отображения промежуточной информации (этапов обработки) микропроцессорного блока.

3.2. Этапы сборки прибора

В приборе используется датчик давления *MPX*5050*GP* производства *Frescale Semiconductor* с диапазоном измерения 0÷50 кПа (рис. 7). Блок усиления сигнала [16] собран согласно разработанной схеме, показанной на рис. 8.



Рис. 7. Датчик давления

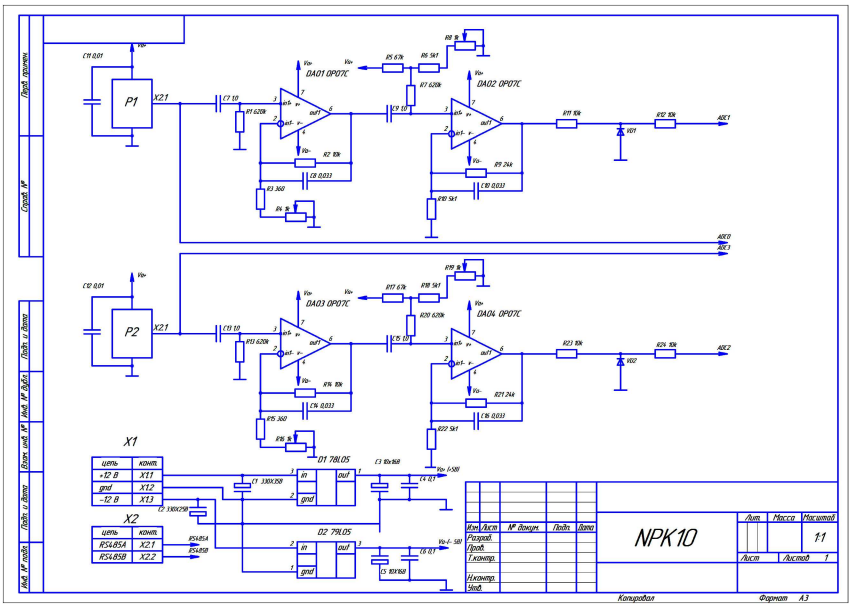


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема блока усиления сигнала

Здесь используются два канала усиления сигнала на базе операционных усилителей *OP*07*C*. На выходе схемы получены четыре аналоговых канала: *ADC*0 — постоянное давление канала *1*, *ADC*1 — пульсовое давление канала *1*, *ADC*2 — пульсовое давление канала *2*,

*ADC*3 — постоянное давление канала *2*. Коэффициент усиления канала равен 53 (определен опытным путем, исходя из измерений пульсовых колебаний). Диапазон изменения сигнала 0÷5 В.

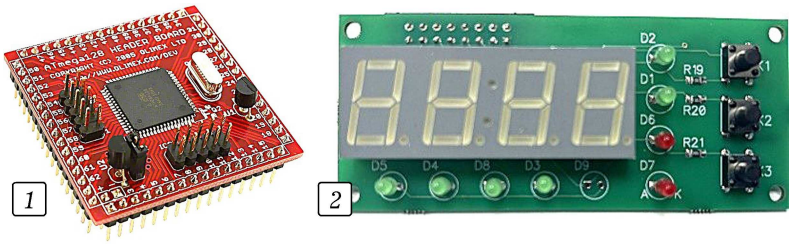


Рис. 9. Стандартные (готовые) элементы экспериментальной установки: *1* — микропроцессорный блок; *2* — индикаторный блок

В качестве микропроцессорного блока использована готовая (заводская) сборка отладочного модуля *ATmega*128 *HEADER BOARD* на базе микроконтроллера фирмы *Atmel ATmega*128*A* (рис. 9.1) [17]. В ней имеются встроенные каналы аналого–цифрового преобразователя (АЦП), каналы интерфейса, дискретные каналы ввода/вывода. Встроенная архитектура микроконтроллера позволяет программировать алгоритмы обработки вычисления и передачи сигналов посредством стандартных протоколов.

Блок индикации представляет из себя стандартную индикаторную плату (рис. 9.2) *UMD_LED* производства фирмы *Intelprog*. На борту данной платы имеются четыре индикатора, светодиоды и три кнопки, используемые для отладки прибора. На финальном этапе отображается значение давления в манжете. Составляющие блоки размещены и спаяны на макетной плате. Процесс сборки прибора показан на рис. 10.1, а конечный результат сборки представлен на рис. 10.2.

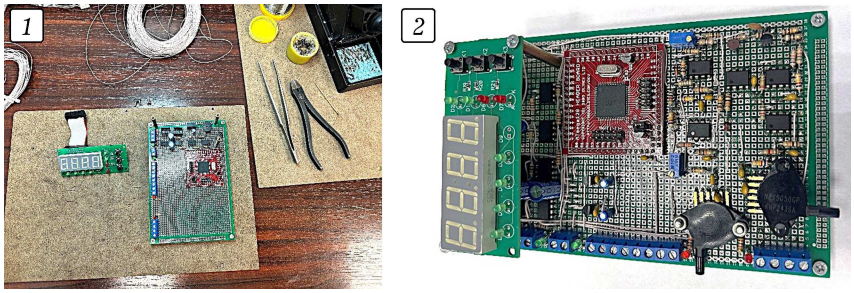


Рис. 10. Изготовление прибора: *1* — один из этапов сборки электронной части прибора; *2* — макетная плата прибора

Программное обеспечение для микропроцессорного блока написано на языке программирования *Assembler* в среде разработки *AVR–Studio* 6.2. В качестве источника питания используется лабораторный блок питания (постоянное напряжение 12 В). Алгоритм программы заключается в параллельном аналого–цифровом преобразовании четырех каналов сфигмограммы (частота дискретизации 1000 Гц, разрядность АЦП 10, диапазон изменения кода 0÷1024), калибровка сигналов постоянного давления, накопление массивов данных каждого канала с предварительным сдвигом массива, размер массива 100 слов для каждого канала), формирование массивов данных для передачи по интерфейсу *RS*–485 (стандартный протокол *MODBUS RTU*), частота передачи данных 10 Гц, формируется программой верхнего уровня (на компьютере). Данные передаются на последовательный *COM*–порт компьютера с помощью преобразователя интерфейса *USB* (*RS*–485).

Соединение воздушной магистрали с датчиком давления осуществляется посредством набора для измерения давления (продается в аптеках), состоящего из манжеты, нагнетательной груши и сфигмоманометра (рис. 11.1). На рис. 11.2 показана итоговая конструкция аппаратной части устройства.

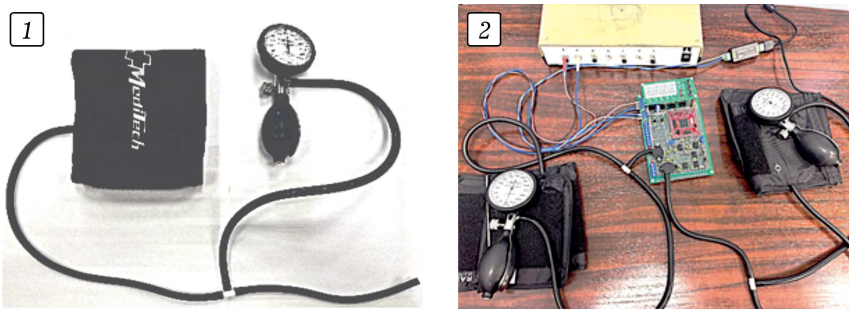


Рис. 11. Сборка экспериментальной установки: *1* — воздушная магистраль датчика давления; *2* — аппаратная часть устройства

3.3. Программная часть прибора

Для визуализации регистрации и обработки данных сфигмограмм разработано программное приложение (программа верхнего уровня): среда разработки *Visual Studio* 2022, приложение на базе платформы *Windows*, язык разработки *C#*. Внешний вид программы представлен на рис. 12.

В центральной части экрана расположена область отображения текущего экрана, прорисовываются графики сфигмограмм в реальном масштабе времени. Сфигмограмма синего цвета — пульсовая волна канала *1*, значение постоянного давления этого канала — гра-

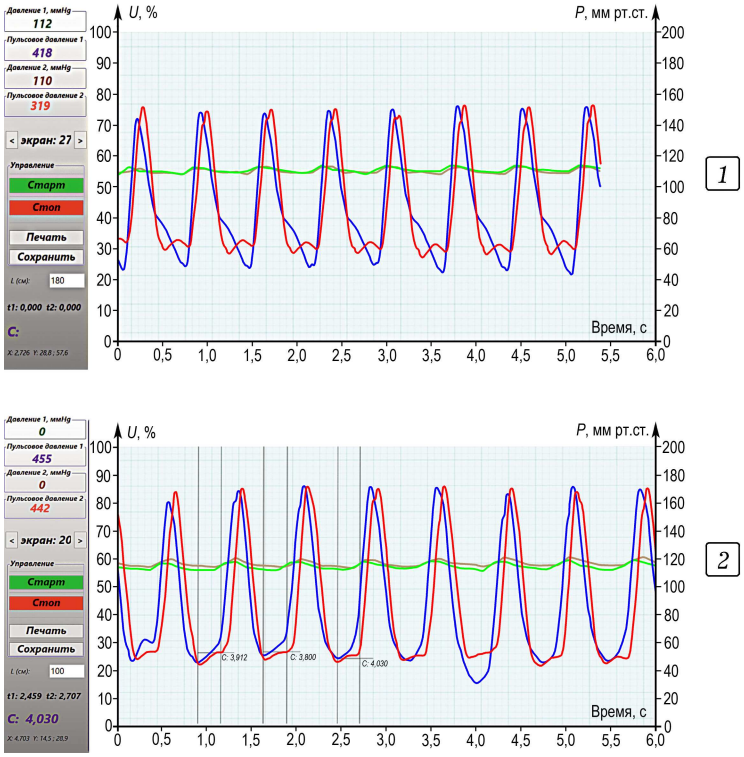


Рис. 12. Программное обеспечение эксперимента: *1* — внешний вид программы; *2* — процесс обработки данных

фик зеленого цвета. Красным цветом отображается пульсовая волна канала *2*, значение постоянного давления отображается коричневым цветом. По оси абсцисс расположена временная шкала, проградуированная в секундах; справа вертикально расположена шкала постоянного давления, проградуированная в мм рт. ст.; слева вертикально расположена шкала напряжения пульсовых колебаний в относительных единицах (% кода АЦП), так как здесь важна сама форма сигнала, вне зависимости от амплитуды.

В левой верхней части экрана отображены числовые значения каналов (в соответствии с цветом сфигмограммы), значения пульсовых колебаний соответствуют коду АЦП. В левой средней части расположены кнопки управления, старта и останова процесса регистрации, пролистывание экранов (уже записанных сигналов), а также печать и сохранение в файл текущего экрана. В левой нижней части экрана

отображаются служебные параметры для расчета показателя скорости распространения пульсовой волны.

Процесс измерения заключается в следующем. После включения блока питания запускается программа. Надеваются манжеты. В нашем случае канал *1* (синий) плечевой сигнал, канал *2* (красный) сигнал с голени. Нагнетается давление в манжеты до уровня при котором пульсации максимальны по амплитуде. Нажимается «Старт» процесса регистрации. При стабилизации сигнала регистрируется несколько экранов (разверток) для дальнейшего анализа. После останова процесса регистрации (кнопка «Стоп») можно приступить к просмотру, анализу и вычислению скорости распространения пульсовой волны. Выбираем экран с помощью прокрутки фиксированных экранов и переходим к измерению (рис. 12.2).

На графике визуально фиксируется запаздывание пульсовой волны в голени относительно пульсовой волны с плеча. Для определения скорости распространения пульсовой волны вводим значение L (в нижней части экрана) и определяем время запаздывания. Для этого с помощью указателя мыши ставим две риски, соответствующие моменту начала систолы (началу подъема пульсовой волны). Первая риска соответствует началу систолы канала *1*, вторая — началу систолы канала *2*. Автоматически рассчитывается временной интервал между рисками и определяется параметр скорости. Делаем три измерения и вычисляем среднее значение. Согласно выше приведенной формуле эластичности: $E = E_0 \cdot \Delta t/L$. Заменив $\Delta t/L = 1/C$, получим: $E = E_0 \cdot 1/C$. Здесь C — рассчитанная скорость распространения пульсовой волны. Поскольку в практике измерений нет унифицированного значения эластичности артерий, для более удобного определения количественной оценки эластичности артерий введем значение коэффициента $E_0 = 1000$. Тогда, согласно расчетам, в нашем примере получаем значение эластичности $E = 255$ (условных единиц).

3.4. Измерения и оценка эластичности артерий человека

На основе используемого метода оценки эластичности артерий и сконструированного аппаратно–программного комплекса (прибора) проведем учебный эксперимент по измерению эластичности артерий для различных возрастных категорий испытуемых (рис. 13).

Эксперимент 1. «Пациент» № 1, возраст 16 лет. Среднее значение скорости распространения пульсовой волны: $C = 2,83$ м/с. По результатам расчетов получено: $E = 353,35$ (условных единиц).

Эксперимент 2. «Пациент» № 2, возраст 48 лет. Среднее значение скорости распространения пульсовой волны: $C = 7,30$ м/с. По результатам расчетов получено: $E = 136,98$ (условных единиц).

Эксперимент 3. «Пациент» № 3, возраст 35 лет. Среднее значение скорости распространение волны: $C = 6,42$ м/с. По результатам расчетов получено: $E = 155,76$ (условных единиц).

На основании полученных экспериментальных данных построен график зависимости эластичности артерий от возраста человека

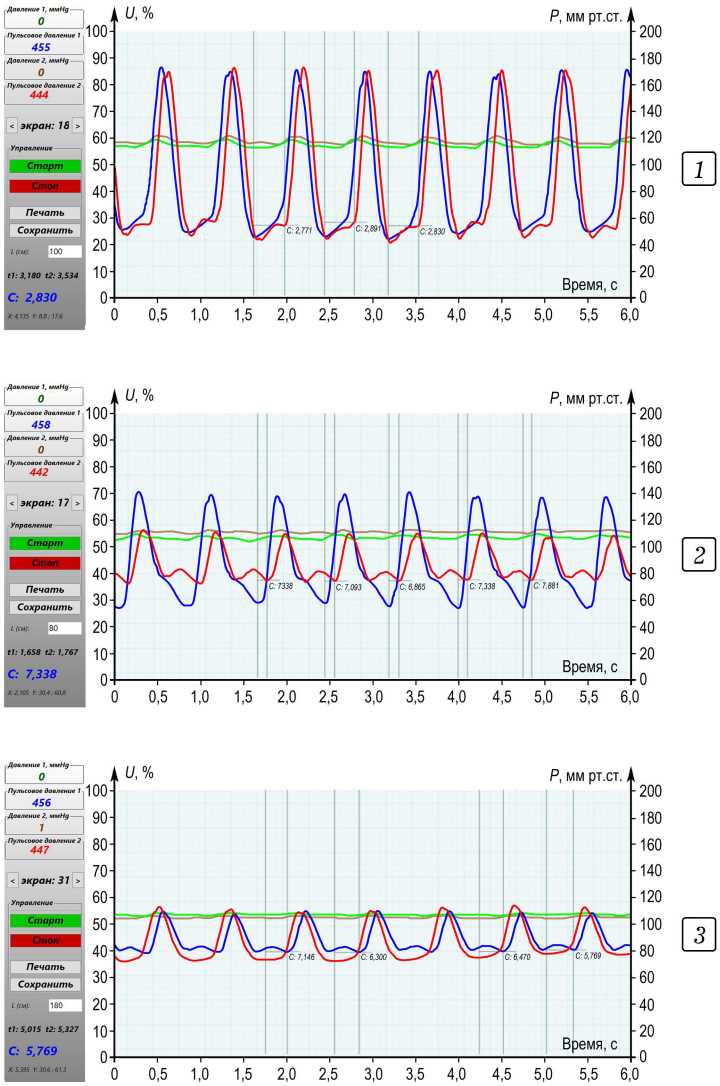


Рис. 13. Результаты учебных экспериментов по изучению метода измерения эластичности артерий: *1* — «пациент» № 1, возраст 16 лет; *2* — «пациент» № 2, возраст 48 лет; *3* — «пациент» № 3, возраст 35 лет

(рис. 14), который показывает, что с возрастом эластичность артерий человека снижается.

Так как сосуды человека являются сложно–структурированными образованиями, на данном этапе работы возможна только количе-

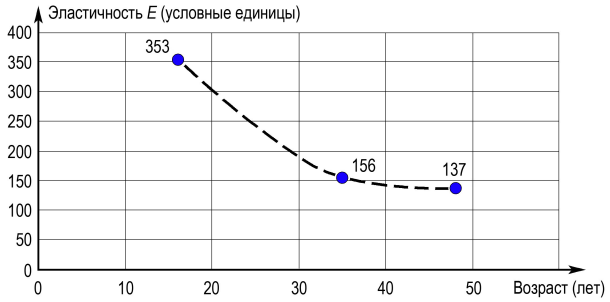


Рис. 14. Результаты учебного исследования зависимости эластичности артерий от возраста человека

ственная оценка параметров эластичности артерий человека, так как в настоящие время нет унифицированных (стандартизированных) параметров определения эластичности артерий человека.

4. Заключение

Эластичность артерий — механическая характеристика артериальных сосудов, которая является важным параметром работы сердечно–сосудистой системы, так как определяет основные гемодинамические показатели периферического кровообращения. Величина эластичности артериальных сосудов изменяется с возрастом, а также вследствие сосудистых заболеваний. Измерение (оценка) данного показателя позволяет своевременно проводить профилактику и лечение сердечно–сосудистых заболеваний. Интеграция физиологических и физических знаний позволяет установить, что наиболее доступным для учебного исследования методом оценки эластичности артерий вне специализированных клиник является измерение скорости распространения пульсовой волны сфигмографическим методом.

На основе этого метода и знаний в области электроники, цифровой техники, программирования сконструирован и собран оригинальный учебный прибор (аппаратно–программный комплекс), который использован для демонстрации метода оценки эластичности артерий по скорости распространения пульсовой волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов Е. А. Управление интеллектуальным развитием школьников при обучении физике в классах физико–математического профиля. Монография. — Самара: Изд–во ПГСГА, 2013. — 452 с.
2. Власова А. А., Водяненко Г. Р. *STEAM*–проекты на занятиях компьютерной графикой // Вестник ПГГПУ. Выпуск 19. — 2023. — С. 42–50.
3. Гурьев А. И. Методологические основы построения и реализации дидактической системы межпредметных связей в курсе физики средней школы: дис. ... д–ра пед. наук. — Челябинск, 2022. — 372 с.

4. Майер В. В., Вараксина Е. И., Долженко А. В. Натурная физическая модель сердечно–сосудистой системы для физико–биологического проекта // Учебная физика. — 2025. — № 4. — С. 4–19.
5. Горлов А. П., Горлов И. А., Самойлов Е. А. Конструирование школьного прибора для измерения массы тел на основе тензометрии // Проблемы учебного физического эксперимента: Сборник научных трудов. Выпуск 43. — М.: ИСРО РАО, 2026. — С. 56–58.
6. Семенкова Т. А., Федосов А. Ю. Формирование инженерного мышления школьников средствами 3*D*–моделирования в контексте реализации технологий *STEAM*–образования // International Journal of Open Information Technologies. — 2024. — Vol. 12, № 12. — С. 102–117.
7. Санчаа Т. О., Никитина Т. В. Реализация междисциплинарного подхода в предвузовской подготовке учащихся по физике // Мир науки, культуры, образования. — 2024. — № 4 (107). — С. 292–294.
8. Горькавая А. Ю. и др. Анатомия и физиология системы кровообращения. Учебное пособие / А. Ю. Горькавая, Е. О. Алексеева, А. А. Дей, Т. Н. Климкина. — Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2021. — 83 с. [Электронный ресурс]: www.dvfu.ru/upload/medialibrary.pdf (Дата обращения 21.06.2026).
9. Ультразвуковая диагностика сосудистых заболеваний / Под ред. В. П. Куликова. — М.: ООО Фирма «СТРОМ», 2007. — 512 с.
10. Воронин И. М., Баженова Е. А. Артериальное давление у здоровых людей и факторы, влияющие на его уровень // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В. И. Вернадского. — 2006. — № 4 (6). — С. 9–16. [Электронный ресурс]: http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2006/04/01.pdf (Дата обращения 21.06.2026).
11. Котовская Ю. В. Центральная пульсовая волна: патофизиология и клиническое значение // Кардиология: новости, мнения, обучение. — 2013. — № 1. — С. 34–41. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/tsentralnaya-pulsovaya-volna-patofiziologiya-i-klinicheskoe-znachenie (Дата обращения 21.06.2026).
12. Терегулов Ю. Э., Маянская С. Д., Терегулова Е. Т. Изменения эластических свойств артерий и гемодинамические процессы // Практическая медицина. — 2017. — № 2 (103). — С. 14–20.
13. Физика: Механика. 10 класс: Учебник для углубленного изучения физики / Под ред. Г. Я. Мякишева. — М.: Дрофа, 2001. — 496 с.
14. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия, 1984. — 944 с.
15. Горлов А. П., Каликутский Л. И. Компьютерная система оценки эластичности артериальных сосудов // Вестник СГАУ. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Выпуск 3. — 2000. — С. 13–17. [Электронный ресурс]: https://repo.ssau.ru/bitstream/Vestnik-SGAU-Aktualnye-problemy-radioelektroniki /Komputernaya-sistema-ocenki-elastichnosti-arterialnyh-sosudov-65248/1/apr_2000_3.pdf (Дата обращения 21.06.2026).
16. Операционные усилители. [Электронный ресурс]: https://habr.com/ru/ articles/508530/ (Дата обращения 21.06.2026).
17. Проектирование аналоговых, цифровых устройств и микроконтроллеров [Электронный ресурс]: https://www.olimex.com/Products/AVR/Header/AVR-H128-C/. (Дата обращения 21.06.2026).

Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева;
Лицей авиационного профиля № 135
городского округа Самара;
Самарский государственный
социально–педагогический университет

Поступила в редакцию 03.07.26.

Научная статья
ББК 74.262.23
УДК 372.853

И. Г. Кирин

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ФИЗИКИ БУДУЩИМ ЮРИСТАМ В ЮРИДИЧЕСКОМ КОЛЛЕДЖЕ

В статье представлен опыт преподавания физики будущим юристам в юридическом колледже. В преподавании физики реализовано смешанное обучение — сочетание онлайн– и оффлайн–обучения, с балльно–рейтинговой системой обучения. Онлайн обучение осуществлялось в MAX, оффлайн — в аудитории. Воспитание в процессе обучения на занятиях по физике в колледже осуществляется в соответствии с Национальной доктриной образования в Российской Федерации. Особое внимание на занятиях физики уделялось патриотическому воспитанию: формированию активной жизненной позиции, позиции гражданина и патриота своей страны, понимания роли науки в развитии общества, роли отечественных ученых–физиков в развитии научно–технического прогресса. В статье обсуждаются проблемы учебного физического эксперимента для решения воспитательных задач.

Ключевые слова: опыт преподавания физики, юридический колледж, гибкая система обучения, сочетание онлайн– и офлайн–обучения с балльно–рейтинговой системой, патриотическое воспитание, роль отечественных ученых–физиков в развитии научно–технического прогресса.

I. G. Kirin

THE EXPERIENCE OF TEACHING PHYSICS TO FUTURE LAWYERS AT A LAW COLLEGE

This article presents the experience of teaching physics to future lawyers at a law college. Physics was taught at the college using the proposed teaching method, which combines flexible learning with blended learning–a combination of online and offline learning–using a point–rating system. Online learning took place at MAX, and offline learning took place in the classroom. Educational processes in physics classes at the college are carried out in accordance with the National Doctrine of Education in the Russian Federation. Particular attention was paid to patriotic education in physics classes. The main goal and objectives of the patriotic education conducted in physics classes were to develop in each college student an active life position, a sense of citizenship and patriotism for their country, to demonstrate the role of science in the development of society, and to highlight the role of Russian physicists in the advancement of scientific and technological progress. The article discusses the problems of educational physical experiments for addressing educational objectives.

Keywords: physics teaching experience, law school, flexible learning system, combination of online and offline learning with a point–rating system, patriotic education, the role of Russian physicists in the advancement of scientific and technological progress.

DOI: 10.62957/2307-5457-2026-3-70-75

© Кирин И. Г., 2026

Актуальность

Преподавание физики в системе профессионального образования — достаточно актуальная задача с точки зрения методических и дидактических аспектов, сложившихся в настоящее время в области преподавания физики как общеобразовательной дисциплины [1–8]. В значительной мере это связано с тем, что относительно физики у студентов сформировано противоречивое мнение: с одной стороны, они воспринимают физику как одну из дисциплин, обеспечивающих научно–технологическое развитие современной цивилизации, а с другой — оценивают данный предмет как трудный для понимания и изучения. Соответственно, возникают сложности у преподавателей, так как внутренняя мотивация к изучению дисциплины, которая подразумевает личную заинтересованность в изучении конкретного предмета, остается низкой, а внешняя мотивация, опирающаяся на балльно–рейтинговую систему оценки знаний, недостаточна для полноценного формирования общекультурных и профессиональных компетенций, основанных на знаниях физики [3].

Анализ последних исследований и публикаций

В последнее время проблеме преподавания физики в системе профессионального образования посвящено значительное количество работ [1–10]. В [4] отмечено, что уровень подготовки по физике абитуриентов СПО не позволяет им осознать связь профессии с этой дисциплиной вследствие нехватки специалистов в общеобразовательных учреждениях. В [1] обоснована необходимость личностно–ориентированного подхода в обучении студентов СПО. В [2] исследовано модульное обучение в системе СПО. В [10] обсуждены возможности проблемного обучения в среднем профессиональном образовании. Исследование [2] предлагает методику обучения физике в СПО с применением средств образно–знаковой наглядности. Работа [5] рассматривает дидактические материалы по физике для практической подготовки студентов к будущей профессиональной деятельности. В [6] отмечается специфика обучения физике в СПО.

Цель и методы

Цель описываемой в настоящей статье работы заключается в поиске методики обучения студентов–юристов юридического колледжа курсу «Физика», обеспечивающей стабильные положительные результаты освоения обучающимися образовательной программы по этой дисциплине, ее теоретическом обосновании, экспериментальной проверке и внедрении в учебный процесс. В исследовательской части работы проводилось тестирование.

Результаты исследования

Решение задачи совершенствования методики обучения физике студентов–юристов юридического колледжа, обеспечивающей стабильные положительные результаты освоения обучающимися образовательной программы по этой дисциплине, достигалось в два этапа. *Первый этап* — этап исследований. *Второй этап* — практическое внедрение результатов исследования в учебный процесс преподавания физики студентам–юристам в Оренбургском экономико–юридическом колледже.

Первый этап — этап исследования (сентябрь–декабрь 2024 г.). На этом этапе определены основные позиции исследования, обоснована его проблема, поставлены цели и задачи, выработана стратегия экспериментальной работы, разработаны основные теоретические положения, сформулированы теоретические основы проектирования содержания курса «Физика», спроектировано содержание и разработан учебно–методический комплекс. Осуществлен отбор форм и методов проведения занятий, проведена экспериментальная проверка эффективности спроектированного курса.

Исследование проводилось в АНОО «Оренбургский экономико–юридический колледж». Общий охват студентов, участвующих в эксперименте, составил 180 человек: 6 групп по 30 студентов в каждой из числа обучающихся на 1 курсе по специальности «40.02.04 Юриспруденция». Путем анкетирования было установлено, что предпочтительной формой занятий является комбинация офлайн– и онлайн–занятий; причем оптимальным вариантом 95% студентов посчитали гибридное (смешанное) обучение, которое сочетает преимущества обоих форматов: например, теория и лекции — онлайн, а практические занятия — очно, в аудитории. Исследования проводились методом тестирования.

Особое значение в результате исследований было уделено вопросу: 1–й вариант — опрос в традиционной форме или 2–й вариант — в виде тестов, которые студенты получают в начале практического занятия и которые преподаватель проверяет в конце занятия в присутствии студентов с выставлением оценок по четким критериям. В результате все студенты по окончании практических занятий знают свои оценки за занятие, и эти оценки преподавателем выставлены в журнал. Все студенты (100%) указали в опросе, что второй вариант им наиболее удобен и понятен.

Таким образом, наиболее приемлемой технологией преподавания физики в колледже оказалась технология, сочетающая гибкое (смешанное) обучение (онлайн– и офлайн–форматы) с балльно–рейтинговой системой.

Второй этап (вторая половина 2024–2025 учебного года, 2025–2026 учебный год) — практическое внедрение результатов исследования в учебный процесс преподавания физики студентам–юристам в Оренбургском экономико–юридическом колледже. На этом этапе для практической реализации разработанной методики, выработанной в ходе первого этапа работы, еженедельно проводились поточные лекции одновременно всем группам с использованием MAX, а через день после лекции в каждой группе проводились практические занятия. В результате внедрения предложенной методики преподавания физики в СПО достигнут 100%–й уровень успеваемости по предмету.

Воспитание в процессе обучения на занятиях по физике в колледже осуществляется в соответствии с Национальной доктриной образования в Российской Федерации, которая ставит среди основных целей и задач задачу разностороннего и своевременного развития молодежи и их творческих способностей, предполагающую: формирование навыков самоконтроля, целостного миропонимания и современного мировоззрения, трудовой мотивации, активной жизненной и профессиональной позиции, воспитание культуры здорового образа жизни, а также противодействие негативным социальным процессам. Это означает, что глав-

ной задачей профессионального образования становится формирование личности обучающихся [11].

На занятиях по физике поставленная задача достигается путем целеустремленного, планируемого, контролируемого и оцениваемого воспитания отдельных качеств личности через содержание обучения. Этот путь означает выдвижение на первый план методологических основ, методов и идей физики как науки, а усвоение программного материала (понятий, законов, формул и т. д.) рассматривается как их конкретизация. Тем самым запланированным результатом преподавания становятся не только конкретные знания курса физики, но и знания общефилософских и методологических основ. Это способствует формированию у студента научных представлений о физической картине мира [11, 12].

Известно, что формирование личности происходит лишь в собственной деятельности, поэтому студенты колледжа принимают активное участие в организации и проведении учебного процесса по физике. А учитывая, что целый ряд свойств личности формируется только в коллективной (кооперативной) деятельности, на занятиях по физике постоянно проводятся обсуждения изучаемого материала с учетом результатов работы каждого студента [11, 12].

На уроках физики в колледже реализовалась программа патриотического воспитания студентов, направленная на воспитание личности обучающихся. Основная цель и задача проводимого на уроках физики патриотического воспитания — выработать у каждого студента активную жизненную позицию, позицию гражданина и патриота своей страны. Уроки физики — благоприятное поле для такой деятельности, где можно показать роль науки в развитии общества (рис. 1), роль ученых–физиков в развитии научно–технического прогресса [13].

Практическая реализация формирования у студентов колледжа чувства патриотизма на уроках физики проводится через их знакомство с историей открытий и изобретений, с жизнью и достижениями ученых, внесших большой вклад в развитие российской и мировой науки [13]. Использовались следующие формы работы по патриотическому воспитанию на занятиях по физике: 1) акцентирование на лекционных и практических занятиях на именах отечественных ученых, внесших вклад в развитие изучаемой области физики; 2) подготовка студентами колледжа рефератов и докладов; 3) выступление с докладами об отечественных ученых, внесших вклад в развитие изучаемой области физики, на практических занятиях; 4) проведение конкурса докладов об отечественных ученых, внесших вклад в развитие изучаемой области физики, с присуждением 1, 2, 3–го мест.

Заключение

Опыт внедрения предложенной технологии обучения, представляющей собой сочетание гибкого обучения (смешанного — онлайн– и офлайн–форматов) с балльно–рейтинговой системой при преподавании физики будущим юристам в юридическом колледже, показал стабильные положительные результаты освоения обучающимися образовательных программ. Кроме того, практическое использование предложенной технологии обучения подтвердило возможность органического сочетания ее с патриотическим воспитанием студентов, направленным на то, чтобы выработать у каждого студента колледжа активную жизненную

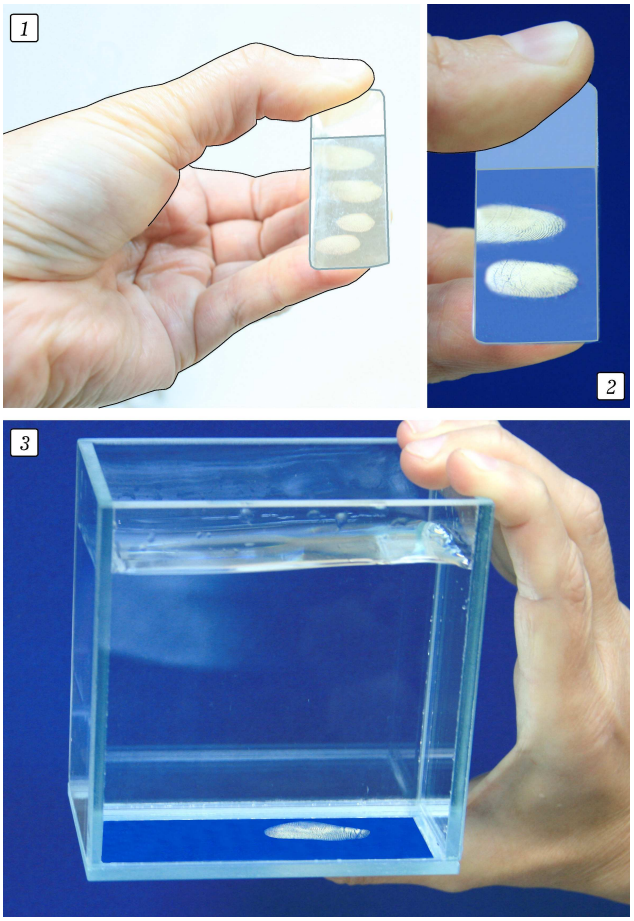


Рис. 1. Будущим юристам интересно и полезно узнать, как применить полное внутреннее отражение света в криминалистике. На фотографии показан опыт, описанный В. В. Майером в книге [14, с. 94–95] и демонстрирующий возможность использования полного внутреннего отражения света при проведении дактилоскопии. На кадрах *1* и *2* представлен вариант опыта с равнобедренной прямоугольной призмой из оргстекла. Длина каждой ее катетной грани составляет 45 мм, толщина призмы 17 мм. Фотография *1* показывает, как держать призму в руке: снизу находится гипотенузная грань, в которой наблюдается полное внутреннее отражение света. В местах, где пальцы плотно прижаты к оргстеклу, полное отражение света не происходит. На фотографии *2* за призмой расположили темный фон. Доступность опыта можно повысить, если вместо призмы использовать стеклянный сосуд с плоским ровным дном, наполненный чистой водой (в опыте на фотографии *3* применяется стеклянная кювета, но подойдет обычный плоскодонный химический стакан)

позицию, позицию гражданина и патриота своей страны, раскрыть роль науки в развитии общества, подчеркнуть вклад отечественных ученых–физиков в научно–технический прогресс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалева Т. В. Формирование профессиональной компетентности студентов на уроках физики с использованием традиционных методов обучения // Международный научный журнал «Вектор научной мысли». — 2024. — № 4 (9). — Сайт: www.vektornm.ru, E-mail: info@vektornm.ru.
2. Быбина Н. Н. Обучение физике студентов колледжа на основе поэтапного использования средств образно–знаковой наглядности // Вестник ЧГПУ. — 2011. — № 7. — С. 50–57.
3. Гордеева И. В. Проблемы преподавания физики в системе среднего профессионального образования на примере колледжа экономического университета // Международный научно–исследовательский журнал. — 2021. — № 12 (114), часть 3. — С. 39–42.
4. Тумасьян К. А. Проблемы преподавания физики и общетехнических дисциплин в рамках среднего профессионального образования // Universum: психология и образование: электрон. науч. журн. — 2025. — № 8 (134). — URL: https://7universum.com /ru/psy/archive/item/20593 (дата обращения: 14.06.2026).
5. Зубенко В. И., Шайдуллина Р. Р. Профессиональная направленность преподавания физики в СПО // Научное образование. — 2024. — URL: www.no-obr.ru.
6. Романюк С. А. Особенности преподавания физики в железнодорожном техникуме // Техник транспорта: образование и практика. — 2025. — Т. 6, № 1. — С. 33–38.
7. Борисова А. С. Исследование особенностей преподавания физики в техническом колледже // НАУКА ONLINE. — 2022. — № 1 (18). — С. 42–65.
8. Белоусова С. В. Современные методы обучения физике в среднем профессиональном образовании.
9. Марушко И. А. Инновационные педагогические технологии преподавания физики в колледжах. — Режим доступа: https://infourok.ru/statya-innovacionnie-pedagogicheskie-tehnologii-prepodavaniya-fiziki-v-kolledzhe-3224260.html?ysclid=mqdjxcg5ua938844385.
10. Дабежа А. М., Гречушкина В. П., Колесникова Т. Ф. Проблемное обучение физике в среднем профессиональном образовании //Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology. — 2018. — Т. 7. № 2 (23). — С. 86–88.
11. Постановление Правительства РФ от 04.10.2000 № 751 «О национальной доктрине образования в Российской Федерации».
12. Шевченко Е. В., Хлопоненко Н. А., Коржуев А. В. Воспитание в процессе обучения физики // Байкальский медицинский журнал. — 2001. — № 1 — С. 86–87.
13. Никулина Т. В. Патриотическое воспитание на уроках физики // Молодой ученый. — 2017. — № 24 (158). — С. 366–369. — URL: https://moluch.ru/ archive/158/44657.
14. Майер В. В. Полное внутреннее отражение света: учебные исследования. — М.: Физматлит, 2007. — 160 с.

Оренбургский государственный университет

Поступила в редакцию 17.06.26.

АВТОРЫ ЖУРНАЛА

1. БАКУЛИН ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры физики и методики обучения физике Вятского государственного университета (Киров).
2. ГОРЛОВ АНДРЕЙ ПЕТРОВИЧ соискатель ученой степени кандидата наук Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева.
3. ГОРЛОВ ИВАН АНДРЕЕВИЧ ученик 10 класса Лицея авиационного профиля № 135 (Базовая школа РАН) городского округа Самара.
4. ЗВОРЫКИН ИЛЬЯ ЮРЬЕВИЧ заведующий лабораторией школьного физического эксперимента при кафедре кристаллографии и экспериментальной физики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
5. ЗУЕВ ПЕТР ВЛАДИМИРОВИЧ доктор педагогических наук, профессор; профессор кафедры физики, технологии и методики обучения физике и технологии Института математики, физики, информатики и технологий Уральского государственного педагогического университета (Екатеринбург).
6. КАЗАКОВА ЕЛЕНА ЛИОНОВНА кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры общей физики Петрозаводского государственного университета.
7. КАТКОВА МАРИЯ РИДОВНА кандидат физико–математических наук, доцент кафедры кристаллографии и экспериментальной физики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.
8. КИРИН ИГОРЬ ГРИГОРЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, академик МАНЭБ; профессор кафедры физики и методики преподавания физики Оренбургского государственного университета.
9. 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.
10. САМОЙЛОВ ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ доктор педагогических наук, доцент; профессор кафедры физики, математики и методики обучения Самарского государственного социально–педагогического университета.
11. СЕРГЕЕВА ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА кандидат физико–математических наук, доцент; доцент кафедры общей физики Петрозаводского государственного университета.
12. ТОЛМАЧЕВА МАРИНА ИВАНОВНА старший преподаватель кафедры физики и методики обучения физике Вятского государственного университета (Киров).
13. УВАРОВА МАРИНА ПАВЛОВНА кандидат педагогических наук, доцент; доцент кафедры физики и методики обучения физике Вятского государственного университета (Киров).
14. 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.
15. ШАМАЛО ТАМАРА НИКОЛАЕВНА доктор педагогических наук, профессор (Екатеринбург).

ISSN 2307-5457