

2021, № 7 (июль)

Раздел 5.8. Педагогика (13.00.00 Педагогические науки)

ART 211048

DOI 10.24412/2304-120X-2021-11048

УДК 378.147:004.9

## Методика проведения лабораторных и творческих работ с применением мобильных гаджетов

## The potential of mobile gadgets as tools for measuring and recording physical quantities

### Автор статьи

**Потапова Марина Васильевна**, старший преподаватель кафедры физико-математических дисциплин Института управления и агробизнеса ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», г. Москва, Россия  
ORCID: 0000-0003-2190-0422  
potapovamv@mgupp.ru

### Author of the article

**Marina V. Potapova**, Senior Lecturer, Department of Physical and Mathematical Disciplines, Institute of Management and Agribusiness, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
ORCID: 0000-0003-2190-0422  
potapovamv@mgupp.ru

### Конфликт интересов

Конфликт интересов не указан

### Conflict of interest statement

Conflict of interest is not declared

### Для цитирования

Потапова М. В. Методика проведения лабораторных и творческих работ с применением мобильных гаджетов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2021. № 07. С. 13–30. URL: <http://e-koncept.ru/2021/211048.htm>. DOI: 10.24412/2304-120X-2021-11048

### For citation

M. V. Potapova. The potential of mobile gadgets as tools for measuring and recording physical quantities // Scientific-methodological electronic journal "Concept". 2021. No. 07. P. 13–30. URL: <http://e-koncept.ru/2021/211048.htm>. DOI: 10.24412/2304-120X-2021-11048

Поступила в редакцию <i>Received</i>	04.05.21	Получена положительная рецензия <i>Received a positive review</i>	28.06.21
Принята к публикации <i>Accepted for publication</i>	28.06.21	Опубликована <i>Published</i>	31.07.21



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

© Концепт, научно-методический электронный журнал, 2021

© Потапова М. В., 2021

## Аннотация

Исследование вызвано наличием противоречия между современными задачами, стоящими перед образованием, связанными с компетентным подходом, и сложившейся практикой обучения физике. Изменения в жизни, возникшие в связи с ограничениями в общении и передвижении, с одной стороны, и развитием и распространением мобильных технологий – с другой, привели к появлению новых методов преподавания. Поэтому проблемой исследования является поиск ответа на вопрос: как сделать усвоение физических законов более эффективным, доступным и интересным для студентов, используя мобильные устройства? Результаты обучения зависят как от правильного определения целей и содержания образования, так и от способов достижения целей, т. е. методов. Но методы обучения есть категория социальная, так как зависят от социального заказа общества образовательному учреждению. Переход высшего профессионального образования на федеральные государственные стандарты третьего поколения и замена традиционных основных образовательных программ на компетентностные ставит новые задачи. В рамках ФГОС ВПО компетенция понимается как способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области. Из всей совокупности методов обучения: словесных, наглядных и практических – рассмотрим последние как наиболее важные для компетентного подхода. Практические методы обучения – это решение задач, лабораторные работы и домашние эксперименты. При этом у студентов формируются умения применять теоретические знания, навыки измерений и математической обработки данных. Поэтому целью данного исследования является разработка методики проведения творческой лабораторной работы по физике с использованием смартфона в качестве измерительного прибора. Именно познавательная деятельность студентов в процессе проведения лабораторных работ является объектом настоящего исследования, а проведение лабораторной работы по физике, где в качестве измерительного комплекса применяются такие гаджеты, как смартфон, – предметом исследования. С этой целью рассмотрим приложение для смартфона Physics Toolbox Sensor Suite (Набор инструментов для применения сенсоров смартфонов в физике). Подробно разберем проведение конкретной лабораторной работы, осуществляемой с помощью смартфона, получение и обработку результатов опыта, подтверждающего известный закон волновой оптики – закон Малюса. Эта лабораторная работа является лишь одним из многочисленных примеров физических экспериментов, осуществляемых с помощью смартфона без специального оборудования, но с использованием бытовых предметов и смартфона в качестве измерительного устройства. Большинство близких по тематике работ рассматривают механические процессы, а в данной – смартфон применяется для оптических измерений. Настоящим исследованием мы постараемся подтвердить гипотезу о том, что проведение таких экспериментов позволит обеспечить трансформацию отношения студентов к электронным девайсам – от рассмотрения гаджетов как средств связи и устройств для потребления игрового и музыкального контента и общения в социальных сетях – к фактору онлайн-образования и далее – к осознанию наличия в руках мощного инструмента исследований, измерений, фиксации данных. Использование портативных устройств рассматривается как средство повышения качества образования, сближения процесса обучения и повседневной

## Abstract

This study is caused by the presence of a contradiction between the modern tasks facing education related to the competence approach and the established practice of teaching physics. Changes in life that have arisen due to restrictions in communication and mobility, on the one hand, and the development and spread of mobile technologies on the other hand, have led to the emergence of new teaching methods. Therefore, the aim of the research is to find an answer to the question: how to make the learning of physical laws more effective, understandable and interesting for students using mobile devices? Learning outcomes depend both on the correct setting of goals and selecting the content of education, and on the ways to achieve goals, i.e. methods. But teaching methods are a social category, since they depend on the social order of society to an educational institution. The transition of higher professional education to the federal state standards of the third generation and the replacement of traditional basic educational programs with competence-based ones issues new challenges. Within the framework of the Federal State Educational Standard for Higher Education, competence is understood as the ability to apply knowledge, skills and personal qualities for successful activity in a certain area. From the whole set of teaching methods: verbal, visual and practical, we will consider the latter as the most important for the competence approach. Practical training methods are problem solving, laboratory work and home experiments. At the same time, students develop the ability to apply theoretical knowledge, measurement skills and mathematical data processing. Therefore, the purpose of this study is to develop a methodology for conducting creative laboratory work in physics using a smartphone as a measuring device. It is the cognitive activity of students in the process of conducting laboratory work that is the object of this study, and the conduct of laboratory work in physics, where such gadgets as a smartphone are used as a measuring complex, is the subject of research. For this purpose, let us examine the Physics Toolbox Sensor Suite smartphone application (a set of tools for using smartphone sensors in physics). We will analyze in detail the conduct of a specific laboratory work carried out with the help of a smartphone, obtaining and processing the results of experience confirming the well-known law of wave optics – the Malus law. This laboratory work is just one of many examples of physical experiments carried out using a smartphone without special equipment, but with the use of household items and a smartphone as a measuring device. But most of the works related to the topic consider mechanical processes, but in this one, a smartphone is used for optical measurements. With this study, we will try to confirm the hypothesis that conducting such experiments will ensure the transformation of students' attitude to electronic devices – from considering gadgets as means of communication and devices for consuming game and music content and communication in social networks – to the factor of on-line education, and further – to the knowledge of having a powerful tool for research, measurement, data fixation in their hands. The use of portable devices is considered as a means of improving the quality of education, bringing the learning process closer to the daily life of students, expanding skills and competences, forming methods of independent creative activity that can be transferred to professional activity. The significance of this study is in the fact that it demonstrated the practical possibility and expediency of conducting laboratory work using a smartphone without special laboratory equipment. This work provides an example of the introduction of laboratory and creative

жизни студентов, расширения навыков и компетенций, формирования приемов самостоятельной творческой деятельности, которые могут быть перенесены в профессиональную деятельность. Значимость этого исследования в том, что оно продемонстрировало практическую возможность и целесообразность проведения лабораторной работы с помощью смартфона без специального лабораторного оборудования. Данная статья представляет пример внедрения в педагогическую практику лабораторных и творческих работ с элементами научных исследований с помощью современных девайсов, применение которых приобретает новый практический смысл.

works with elements of scientific research into pedagogical practice with the help of modern devices, the use of which acquires a new practical meaning.

#### Ключевые слова

применение мобильных устройств, гаджеты, учебный процесс, навыки, методы обучения, студенты, творческие работы, компетенции, практические занятия по общей физике, датчики мобильных устройств

#### Key words

application of mobile devices, gadgets, educational process, skills, teaching methods, students, creative work, competences, practical exercises in general physics, sensors of mobile devices

### Введение / Introduction

В связи с появлением в жизни человека нового элемента или инструмента, в данном случае смартфона, происходит процесс перестройки его деятельности. Так, Л. С. Выготский писал о том, что включение инструмента в процесс поведения человека вызывает к жизни целый ряд новых функций, связанных с использованием данного инструмента и управлением им, делает ненужным целый ряд естественных процессов, работу которых теперь выполняет инструмент, видоизменяет протекание психических процессов и их интенсивность, длительность, последовательность, замещает одни функции другими, т. е. перестраивает всю структуру поведения [1, 2].

Эти положения полностью относятся к таким инструментам, как гаджеты. Слово гаджет – от англ. *Gadget* – *штуковина, приспособление, устройство, безделушка*: небольшое устройство, предназначенное для облегчения и усовершенствования жизни человека. Следует подчеркнуть, что нередко гаджеты называют девайсами – от англ. *Device* – *прибор, устройство*: это самостоятельное устройство, не требующее дополнительных подключений к другим устройствам, которое используется во многих областях и предназначено для выполнения частной, специальной задачи. В русскоязычной традиции так сложилось, что эти понятия тесно переплетаются, но это нельзя сказать об их использовании в английском языке. На английском языке термин «девайс» имеет более широкое распространение, и те устройства, которые мы будем рассматривать, а именно смартфоны, в английском варианте, скорее всего, назывались бы девайсами. Но в русскоязычной практике чаще применяется понятие «гаджет», которое широко вошло в наш лексический оборот.

Из всего огромного мира современных гаджетов, имеющих множество полезных назначений, целесообразно рассмотреть отдельно применение смартфонов и их использование непосредственно в учебном процессе. Для этого есть немало оснований, начиная от их широкой распространенности в студенческой среде, мобильности, компактности, универсальности их функций и заканчивая широчайшим спектром программного обеспечения для этих устройств.

В технических вузах курс общей физики, как правило, включает в себя как практические занятия, так и лабораторные работы. В силу явной политехнической направленности курса физики приобретение практических навыков выполнения эксперимента, измерений, фиксации и обработки результатов имеет принципиальное значение для будущей профессиональной деятельности инженеров и вследствие

компетентного подхода к образованию – развития кругозора и компетенций студентов других специальностей. Лабораторные работы играют важнейшую учебно-познавательную роль в образовательном процессе, развивают навыки самостоятельной работы, индуктивного мышления, доказательной защиты полученных результатов, навыки математической, в том числе графической, интерпретации результатов и, главное, дают синергетический эффект, то есть умножение знаний, умений, навыков при включении их в учебный курс [3]. К тому же, что немаловажно, они имеют серьезное психоэмоциональное воздействие на студентов, вызывая у них прилив энтузиазма и желание самостоятельного познания в процессе выполнения эксперимента.

Лабораторные практикумы составляются опытными профессионалами и сами по себе являются научной работой, ведущей студентов по стезе познания. Вместе с тем в силу ряда обстоятельств база лабораторных работ в вузах страны в последние годы слабо развивается, оборудование устаревает морально и физически, выходит из строя. Независимо от этих негативных факторов было бы методически верно и полезно предложить студентам провести самостоятельное исследование при помощи гаджетов, используя их как средства измерения и фиксации результатов, ведь само содержание политехнической подготовки должно отражать состояние современной техники и информационных технологий, вызывать у студентов желание расширить пределы применения любимых девайсов во всех сферах жизнедеятельности. Так как преподаватель больше не единственный источник информации, его роль изменяется. Современный преподаватель обязан использовать такие методические и информационно-коммуникационные технологии, которые бы способствовали развитию у студентов учебно-познавательной активности, а также формированию и развитию ключевых компетенций.

Одна из таких технологий – технология мобильного обучения с использованием принципа BYOD в процессе обучения. BYOD (*Bring Your Own Devices* – «возьми свое собственное устройство») – это принцип активного использования для учебных занятий смартфонов, ноутбуков, планшетов и других цифровых устройств. Он активно применяется во многих учреждениях высшего образования, в том числе и в ФГБОУ МГУПП. В настоящее время преподаватели вузов создают учебный контент на сайтах образовательных учреждений, таким образом реализуется принцип гуманизации образования и создается единая информационная образовательная среда [4]. И действительно, на сайте ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» (далее – ФГБОУ ВО МГУПП) располагается аналогичный контент – e-learning, широко применяемый преподавателями и студентами.

Исходя из вышесказанного, целью настоящей работы является рассмотрение методики проведения лабораторных работ по физике для студентов вузов с использованием мобильных гаджетов в качестве измерительных комплексов на примере лабораторной работы «Проверка закона Малюса».

Эта работа позволит раскрыть потенциальные свойства мобильных гаджетов с точки зрения возможности их применения в качестве мощного инструмента для измерения и фиксации различных физических величин и использования результатов этих измерений в лабораторных и творческих работах студентов, что, в свою очередь, должно способствовать формированию самостоятельных высококвалифицированных специалистов различных направлений подготовки, способных применять полученные знания и навыки в своей профессиональной деятельности.

Среди основных задач данного исследования следует указать:

- изучение данных об оснащении смартфонов датчиками и применении различных датчиков для измерения физических величин;



- изучение материалов о применении различных программных продуктов – мобильных приложений – для измерения физических величин;
- ознакомление с опытом применения смартфонов как измерительных комплексов для физических измерений;
- поиски программных продуктов для обработки результатов экспериментов;
- проверка на опыте применения смартфона для физических измерений в лабораторных и творческих работах студентов.

### Обзор литературы / Literature review

В отечественной академической среде продолжается обсуждение применения мобильных устройств в образовательных целях несмотря на то, что использование различных электронных сервисов и гаджетов уже давно стало реальностью.

Как и любое другое социальное явление, применение гаджетов, по словам И. Н. Голицыной, Н. Л. Половниковой, имеет и положительные, и отрицательные стороны. Возможность активного взаимодействия и работы в группе, наличие сенсорного экрана, компактность, использование беспроводной сети, отсутствие привязки к конкретному месту, возможность дистанционного обучения, быстрый поиск необходимой информации – положительные аспекты использования смартфонов, а небольшой экран, ограниченность возможностей, необходимость подзарядки – отрицательные [5].

В то же время очевидно, что кому, как не студентам, являющимся наиболее продвинутыми пользователями, активно применять различные девайсы?! В статье А. М. Таунсенд «Жизнь в городе реального времени: мобильные телефоны и городской метаболизм» высказывается мнение о том, что пользователи смартфонов и сети Интернет должны быть достаточно образованны, чтобы иметь возможность максимально эффективно использовать возможности новых технологий [6]. Именно эффективность применения данных девайсов и их рациональное использование делают эти устройства столь полезными в образовательных целях.

Если базироваться на положении полезности применения мобильных устройств в образовательных целях, тогда наибольший интерес представляет вопрос методики и практики применения гаджетов для учебных целей. В данное время большое количество преподавателей высшей школы делится своим опытом применения гаджетов и приложений к ним. Так, в статье И. Р. Кожевникова рассматривается применение смартфона с использованием мессенджера WhatsApp для создания обстановки оперативного интерактивного общения при освоении такого непростого предмета, как китайский язык и литература, а также осуществления кураторских функций с максимальной степенью контроля (следить за доставкой и прочтением сообщений) [7].

Весьма интересный пример использования гаджетов рассмотрен в статье «Положительный опыт использования смартфонов в учебном процессе в системе высшего образования» Д. С. Закревского [8]. По дисциплине «Транспортная экология» проводится лабораторная работа по теме «Шум и вибрация. Контроль и методика измерений». Эта публикация полностью в русле проблематики нашей работы. Рассматривается и классическая методика измерения и инновационная – с помощью записи одной группой студентов видео транспортного потока смартфоном и параллельной фиксации шумов, замеряемых с помощью приложения «Шумомер» в смартфоне другой группой студентов. Действия этих групп также координируются с помощью мессенджера Viber. Авторы рассматривают с физической точки зрения правомерность

применения смартфона и его датчиков и устройств для измерения уровня шума, доказательно показывают состоятельность этих измерений. При этом коллеги из Белорусского национального технического университета предлагают и другие практические примеры использования смартфонов в учебных целях, подчеркивая резкое повышение интереса студентов во время проведения таких лабораторных работ.

Если рассматривать зарубежный опыт с точки зрения эффективности методики преподавания, то интересен пример сравнения эффективности трех наиболее распространенных подходов к преподаванию физики в Сербии: обучение с проведением проблемно-лабораторных занятий, обучение с применением интерактивного компьютерного моделирования и традиционный метод обучения, рассмотренный в статье Б. Радлович, М. Стоянович [9]. Вывод авторов однозначен: наибольшая эффективность и вовлеченность в учебный процесс достигается при сочетании проблемно-лабораторных занятий и интерактивного компьютерного моделирования. Информация, полученная различными путями, способствует усвоению знаний благодаря большей степени сосредоточенности и стимулированию вовлеченности в учебный процесс. При этом проверка усвоения знаний по физике производится с помощью тестирования и выбора ответов из предложенных. Авторы также делают вывод, что это приводит к снижению когнитивной нагрузки на учащихся. Эта работа особенно интересна тем, что помимо широкого обзора международного опыта с большим числом испытуемых, например в Китае [10], авторы провели собственное исследование с тремя контрольными группами.

Другие исследователи, например И. Кун и П. Фогт, отмечают важную роль практических экспериментов и мобильных гаджетов, в частности смартфонов, которые могут использоваться для экспериментальных задач в сочетании с применением компьютеров [11]. Когнитивный и мотивационный успех обучения учащихся в отношении экспериментов на уроках физики выше, если они исследуют физическое явление с помощью экспериментальных инструментов – смартфонов, которые они используют каждый день, но для других целей. Авторы подробно рассматривают конкретные эксперименты по измерению ускорения свободного падения, не забыв описать принципиальное устройство акселерометра и его устройство в смартфоне. Это, без сомнения, должно расширить технический потенциал субъектов обучения. Также предлагается для определения ускорения применить акустический метод с записью звука отскакивающего шара с помощью приложения «Осциллограф» для получения временных маркеров, что является весьма оригинальным способом. Подробно разбираются два различных метода определения фундаментального параметра  $g$ , которые оба доступны для студентов, но имеют разный уровень трудности и поэтому ориентированы на разные группы учащихся. Для изучения влияния этого подхода на обучение и мотивацию проводились исследования с целью сравнения результатов тестовой и контрольной групп по теме «Колебания и волны» на уроках физики. В исследовании принимали участие около 100 учащихся четырех немецких классов “Realschule” (средняя школа). Преподавание велось одними и теми же преподавателями. Содержание обучения и учебные материалы полностью идентичны во всех группах, единственное различие заключалось в материалах, используемых для экспериментов. В то время как акустические ритмы исследовались в контрольной группе с помощью акустических генераторов и микрофона, поставляемого производителем учебных материалов, учащиеся в контрольной группе исследовали то же явление со смартфоном. Данная статья – хороший образец конкретного применения смартфона как измерительного инструмента, тем более что была произведена оценка когнитивных последствий по Кронбаху.

В статье Н. В. Кочергиной и А. А. Машиньяна «Комплексные средства обучения физике как основа когнитивных педагогических технологий» проблема использования современных электронных технологий рассматривается на более общем методическом уровне [12]. Авторы совершенно справедливо сразу ставят вопрос: как традиционные средства обучения и современные средства информационных и компьютерных технологий должны объединяться в комплексные средства обучения физике? Какие технологические механизмы могут обеспечить эффективное применение комплексных средств обучения для освоения сложных понятий и явлений физики? На конкретных примерах физических процессов показываются особенности когнитивных барьеров, стоящих перед учащимися, и методы их преодоления с помощью несложного комплекса средств обучения, включающего презентацию для визуализации аналитических связей, приборы натурального воспроизведения опыта, видеоклип, компьютерное приложение для обработки результатов. Итогом такого комплексного подхода является большая эмерджентность, или эмергентность (англ. от emergent «возникающий, неожиданно появляющийся»), — появление у системы свойств, не присущих ее элементам в отдельности, — в данном случае более эффективное решение сложных образовательных задач.

Такой подход представляется наиболее правильным и комплексным. Нецелесообразно отказываться от традиционных методов и средств обучения, но применение в комплексе с ними современных технологических средств, таких как мобильные гаджеты, в частности смартфоны, позволит сформировать эффективную информационно-образовательную среду, обеспечивающую продвижение образовательного процесса за счет когнитивных педагогических технологий. В то же время субъекты образовательной деятельности получают новый мотивационный механизм — применение привычных излюбленных девайсов в непривычной для них роли.

Важно отметить еще один аспект проблемы: как же студенты обычно используют смартфоны? Анализ применения гаджетов студентами в образовательном процессе был проведен С. В. Протопоповой и Т. А. Макаренко путем анкетирования более пятидесяти студентов бакалавриата, проживающих в общежитиях Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова [13]. Результаты таковы: большинство студентов пользуются гаджетами в качестве шпаргалок, что нельзя считать позитивным. Только 37% студентов пользуются гаджетами во время занятий для учебных целей. Не используют гаджеты в учебном процессе только 2%. С помощью девайсов студенты получают информацию, готовятся к занятиям, записывают лекции, просматривают методические материалы и учебники — это положительные моменты их использования. Однако возможность подсмотреть ответ или решение во время контрольных и самостоятельных работ, пребывание в социальных сетях во время занятий являются отрицательными примерами использования смартфонов.

Анкетирование 48 студентов I курса ФГБОУ ВО МГУПП по вопросу их осведомленности об оснащении их девайсов датчиками для наблюдения и отслеживания различных процессов показало, что примерно 29% (14 человек) смогли назвать только датчик GPS, ещё 6% (3 человека) добавили к нему датчик отпечатка пальца плюс 10% (5 человек) вспомнили о датчике освещенности, 2% добавили датчик приближения. Некоторые ответы звучали как курьезы. Так, в качестве датчика был назван фонарик, датчик положения телефона, а не гироскоп, датчик автоблокировки, шагомер, лупа. Таким образом, просматривается недостаточная осведомленность, а также путаница в понятиях инструмента (датчика) и программного продукта.

Напрашивается вывод: с одной стороны, современный человек не может обходиться без гаджетов, в том числе в процессе обучения, а с другой стороны, использует лишь незначительную часть функций, предоставляемых этими устройствами и программными приложениями для них. Необходимость идти в ногу со временем, связанная с повышением конкурентоспособности и профессиональной компетентности специалистов, настоятельно требует и от преподавателей, и от студентов освоения новых технологий профессиональной деятельности [14]. Последнее обстоятельство приобрело особое значение в период дистанционного обучения [15].

### **Материалы и методы исследования / Materials and research methods**

Следует отметить, что применение гаджетов, в основном смартфонов, при выполнении измерений для проверки физических законов в корне может поменять отношение студентов к этим устройствам. Оно может претерпеть кардинальную трансформацию: от интернет-серфинга к фактору онлайн-образования и далее – к осознанию наличия в руках мощного инструмента исследований, измерений, фиксации данных.

При этом следует учитывать, что для овладения инструментарием различных девайсов сначала необходимо подчинить свои действия логике, запрограммированной в этих устройствах, а затем уже применить их для решения целей и задач своей деятельности. Такой подход обеспечит новые возможности в достижении результатов деятельности.

Следовательно, на первом этапе средство или ресурс выступают предметом учебной деятельности, в ходе которой приобретаются знания о работе средства, изучаются приемы взаимодействия с ним, усваиваются навыки работы [16]. На втором этапе данный ресурс превращается в средство решения учебных или профессиональных задач. Это превращение предмета учебной деятельности в средство определяет развитие мышления человека, перестройку привычных действий, форм и способов деятельности.

Следовательно, можно высказать гипотезу о том, что переосмысление функции смартфона и его превращение из средства связи и развлечений в исследовательский инструмент приведет студентов к пониманию необходимости глубокого изучения этого мощного инструмента с целью его применения в профессиональной деятельности [17].

Использование смартфонов в качестве цифровых измерительных комплексов формирует ценностное отношение к ним как к инструментам различных исследований [18]. Современные смартфоны и планшеты – это мощные и сложные устройства с большим количеством датчиков, использование которых позволяет провести многочисленные исследования. Можно не просто измерять различные физические параметры, но и проводить анализ и статистическую обработку результатов исследований с помощью специальных программ [19]. Для того чтобы превратить смартфон в настоящую измерительную лабораторию, нужно установить специальное программное обеспечение, которое предоставило бы доступ пользователю к использованию датчиков. Смартфон при установке соответствующего программного обеспечения может быть использован для замены таких физических приборов, как секундомер, метроном, стробоскоп, генератор звука, барометр, акселерометр и многие другие [20, 21].

Смартфоны оснащены изрядным количеством датчиков, которые обеспечивают разнообразие их функций, а именно: акселерометр, или G-сенсор, служит для измерения ускорения устройства по трем осям, совместно с ним применяется гироскоп. В отличие от акселерометра, гироскоп может определять положение в пространстве (угол наклона по трем осям) даже неподвижного девайса. Погрешность откалиброванного



гироскопа в современных смартфонах, как правило, не превышает 1–2 градусов. Практически в каждом смартфоне имеется магнитометр. Этот датчик реагирует на магнитное поле Земли и позволяет таким образом определять стороны света. Магнитометр – чувствительный сенсор, а потому смартфоном, оснащенным магнитометром, можно, например, искать проводку в стене, если она замурована неглубоко – достаточно скачать приложение, которое будет считывать показания датчика. Смартфоны также не обходятся без датчика приближения. Сенсор представляет собой инфракрасный излучатель с приемником, спрятанным под фронтальным стеклом устройства. Он может определять наличие предмета перед собой на расстоянии около пяти сантиметров. Достаточно поднести смартфон к уху во время звонка, и благодаря этому датчику дисплей автоматически отключится или включится. Оснащают смартфоны и датчиками освещенности. В более продвинутых гаджетах можно встретить и другие сенсоры. Один из них – барометр. Скачав одно из многих бесплатных приложений, можно использовать барометр и по его прямому назначению – узнавать атмосферное давление в паскалях или миллиметрах ртутного столба. Также возможно использование барометра в качестве альтиметра – прибора, измеряющего высоту над уровнем моря. В некоторых смартфонах можно также найти термометр, гигрометр и даже дозиметр. Практически любой современный смартфон оснащен минимум пятью разными датчиками, а в топ-версиях их количество достигает двенадцати.

Для реализации возможностей датчиков смартфонов и проведения с ними различных экспериментов рассмотрим два наиболее значимых из многочисленных приложений для смартфонов, уникальных тем, что они написаны специально для целей проведения физических измерений [22]. Это Phyphox, приложение для проведения физических экспериментов с телефоном от Университета RWTH Aachen (Рейнско-Вестфальский технический университет Ахена). На основе сырых данных Phyphox позволяет ставить различные, порой весьма нетривиальные, эксперименты и эмулировать работу продвинутых физических приборов. Оно позволяет в специальном разделе посмотреть в деталях, что именно за датчики у вас стоят, выбрать готовые к проведению эксперименты, экспортировать имеющиеся данные в различных форматах, удаленно проконтролировать эксперимент через веб-интерфейс с любого ПК в той же сети, что и телефон, создать собственные эксперименты методом выбора входных данных датчиков, определить этапы анализа и отображения с помощью веб-редактора (<http://phyphox.org/editor>). Приложение предлагает целый набор аналитических функций: от добавления двух значений до использования преобразования Фурье и корреляционных процессов. С его помощью можно проводить широкий ряд домашних экспериментов по различным разделам физики [23].

Второе приложение – Physics Toolbox Sensor Suite (Набор инструментов для применения сенсоров смартфонов в физике) [24]. Оно обладает меньшим набором инструментария для обработки результатов экспериментов, но, возможно, именно этим и особенно полезно, так как требует применения и освоения методов анализа и графического представления. Идея создания данного приложения принадлежит супружеской паре – Кристиану и Ребекке Виера (Chrystian Vieyra, Rebecca Vieyra), выпускникам Иллинойского университета [25, 26].

### Результаты исследования / Research results

Приложение Physics Toolbox Sensor Suite дает возможность проводить измерения одновременно несколькими сенсорами – опция Multi report (мультиотчет). Это

огромное преимущество, так как позволяет осуществлять большое разнообразие экспериментов. Данные измерений собираются и записываются в этом приложении после выбора одного-двух датчиков и нажатия кнопки «+» – запись (см. рис. 4). Потом результаты измерений сохраняются в файле формата CSV (от англ. Comma-Separated Values – значения, разделенные запятыми – текстовом формате, предназначенном для представления табличных данных), который можно скачать на компьютер и планшет (переслать с телефона на почту), и далее файл может быть проанализирован с помощью подходящего программного обеспечения.

В последние годы было предложено множество физических экспериментов, осуществляемых с помощью смартфонов. Примечательно, что экспериментам, фокусирующимся на свете и оптике, а особенно тем, которые используют сенсор освещенности, было уделено незначительное внимание по сравнению с экспериментами, фокусирующимися на механике, колебаниях или магнетизме. В иностранных источниках имеется описание подобных экспериментов [27].

Одновременное использование двух сенсоров, таких как гироскоп и акселерометр, было предложено, чтобы установить связь между угловой скоростью, центростремительным и тангенциальным ускорением. В другом эксперименте датчик давления и GPS были использованы синхронно, чтобы найти связь между атмосферным давлением и высотой над уровнем моря.

Одно из интереснейших применений смартфонов с одновременным использованием сразу двух датчиков можно видеть на примере проверки закона Малюса [28, 29]. Идея этого эксперимента принадлежит группе ученых из Университета Республики Уругвай: Мартину Монтеро, Сесилии Стари, Сесилии Кабеза и Артуро Марти. Однако необходимо привести более серьезное теоретическое обоснование, а для получения достоверного результата – усовершенствовать методику проведения измерений.

Следуя классической схеме составления лабораторных практикумов по физике, рассмотрим: цель работы, теоретическое введение, описание оборудования и методики измерений, порядок выполнения работы, обработку результатов.

**Целью лабораторной работы является проверка закона Малюса.**

С помощью поляризатора из естественного света получают плоскополяризованный свет. Анализ же характера поляризации может быть произведен с помощью поляризатора, называемого в этом случае анализатором. Поляризатор свободно пропускает колебания светового вектора, параллельные плоскости поляризатора и полностью задерживает колебания, перпендикулярные к этой плоскости.

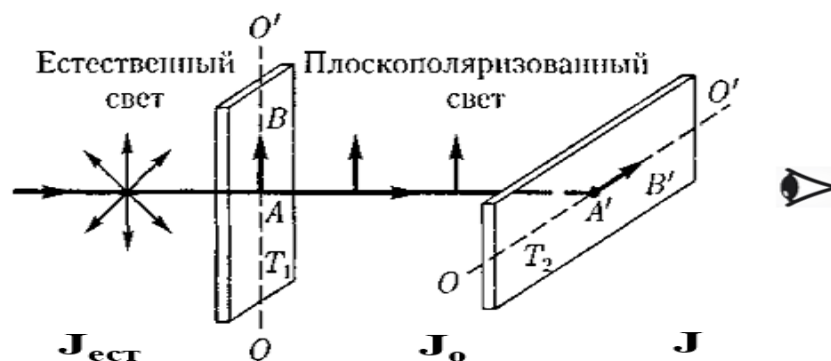


Рис. 1. Пропуск поляризационного света через анализатор

Если пропустить плоскополяризованный свет через анализатор, то при вращении анализатора вокруг направления луча интенсивность проходящего света будет

изменяться от максимального значения до нуля, причем переход от одного из этих значений к другому будет совершаться при повороте на угол  $\alpha = \pi/2$  (за один полный оборот два раза будет достигаться максимальное и два раза – минимальное значение интенсивности).

Интенсивность прошедшего через анализатор света  $J$  связана с интенсивностью падающего плоскополяризованного света  $J_0$  по закону Малюса:  $J = J_0 \cos^2 \alpha$  (1), где  $\alpha$  – угол между плоскостью поляризации падающего света и плоскостью анализатора.

Если эти плоскости взаимно перпендикулярны, то интенсивность прошедшего света будет равна нулю, т. е. будет наблюдаться полное затемнение.

В курсе общей физики в ФГБОУ ВО МГУПП проводится лабораторная работа по изучению поляризации света с проверкой закона Малюса и построением в полярных координатах графика измеренных значений силы фототока (интенсивности света) в относительных величинах  $J/J_0$  в зависимости от угла  $\alpha$ , и на этой же координатной сетке строят график функции  $\cos^2 \alpha$  ( $\alpha$ ), где  $\alpha$  – угол между плоскостями поляроидов. Далее сравнивают этот график с графиком, построенным по экспериментальным данным.

Проверка данной закономерности с помощью смартфона с последующим построением графиков может стать прекрасным творческим заданием для студентов. Будучи знакомыми с закономерностью, они получают возможность проделать самостоятельную творческую работу с помощью простейших средств, не требующих специальной экспериментальной базы.

### Оборудование и процедура исследования

Для эксперимента необходимы: источник поляризованного света, поляризатор, фотометр и способ измерения углов. Источник линейного поляризованного света – это плоский компьютерный монитор (или LCD-телевизор), излучающий белый свет. Сенсор освещенности любого Android-смартфона, расположенный рядом с фронтальной камерой (см. рис. 2), используется как фотометр, а датчик наклона смартфона – для измерения углов.

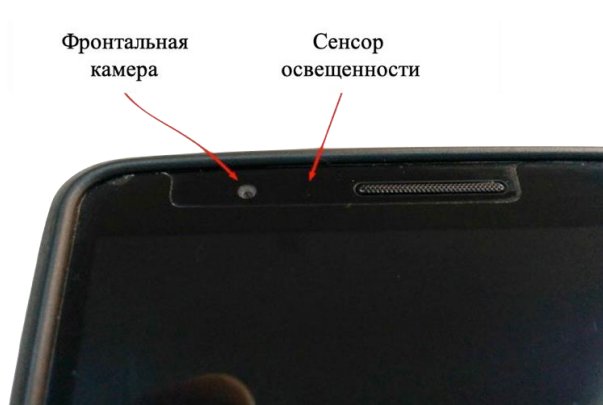


Рис. 2. Сенсор освещенности любого Android-смартфона, расположенный рядом с фронтальной камерой

Небольшой фрагмент поляризатора (квадрат 1x1 см), в качестве которого можно применить поляризационную пленку для экрана смартфона (имеется в свободной продаже по символической цене), был расположен поверх сенсора освещенности (см. рис. 3).

Датчик освещенности работает как линейный фотометр и измеряет освещенность, то есть поток света, падающий на единицу поверхности, в то время как в законе Малюса релевантная переменная – интенсивность излучения, то есть сила света.

Освещенность в определенной точке на поверхности, перпендикулярной к направлению распространения света, определяется как отношение силы света к квадрату расстояния от этой точки до источника света. Если данное расстояние мы примем за  $d$ , то это отношение можно выразить следующей формулой:  $E = \frac{I}{d^2}$  (2).



Рис. 3. Фрагмент поляризатора

Это отношение называется «закон обратных квадратов» и позволяет считать интенсивность света пропорциональной освещенности поверхности при условии неизменного расстояния от этой поверхности [30].

Именно поэтому интенсивность плоскополяризованного света от монитора компьютера измеряется посредством датчика освещенности смартфона с крошечным поляризатором – анализатором, прикрепленным к нему, в то время как угол между плоскостью поляризации света монитора и плоскостью поляризации поляризационного преобразователя, прикрепленного к смартфону, измеряется посредством датчика наклона. Одновременное использование этих двух сенсоров позволяет упростить дизайн (техническое устройство) эксперимента и выполнить ряд измерений всего за несколько минут. Экспериментальные результаты измерения интенсивности света как функции от угла показывают отличное соответствие закону Малюса [31].

В процессе проведения данного эксперимента с участием студентов I курса ФГБОУ ВО МГУПП выяснилось, что приложение Physics Toolbox Sensor Suite для различных смартфонов имеет разные конфигурации. В частности, для iPhone отсутствует возможность одновременного использования двух сенсоров, что явно приводило к изменению и усложнению дизайна всего эксперимента. Но постановка нестандартного, хоть и не сложного эксперимента вызвала к жизни творческую энергию студентов, и они практически немедленно предложили решение: скрепить вместе два гаджета, которые таким образом будут производить измерения, каждый с помощью одного датчика, – или только освещенности, или только угла наклона, но синхронно. Таким образом, эксперимент был поставлен двумя способами, давшими аналогичные результаты.

Процедура исследования следующая: так как приложение Physics Toolbox Sensor Suite для Android дает возможность одновременно измерить освещенность и угол, мы воспользовались опцией Multi report (мультиотчет), в которой выбрали используемые сенсоры. В нашем случае – сенсор освещенности и датчик наклона (см. рис. 4).

После запуска приложения смартфон с закрепленным на нем поляризатором располагают прямо перед монитором, как показано на рис. 5. Следует обращать внимание, чтобы расстояние до монитора не изменялось и интенсивность света была постоянна.



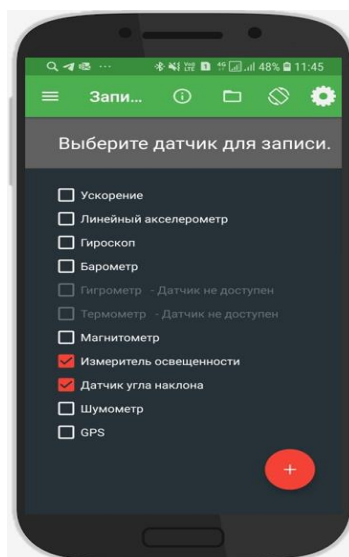


Рис. 4. Сенсор освещенности и датчик наклона

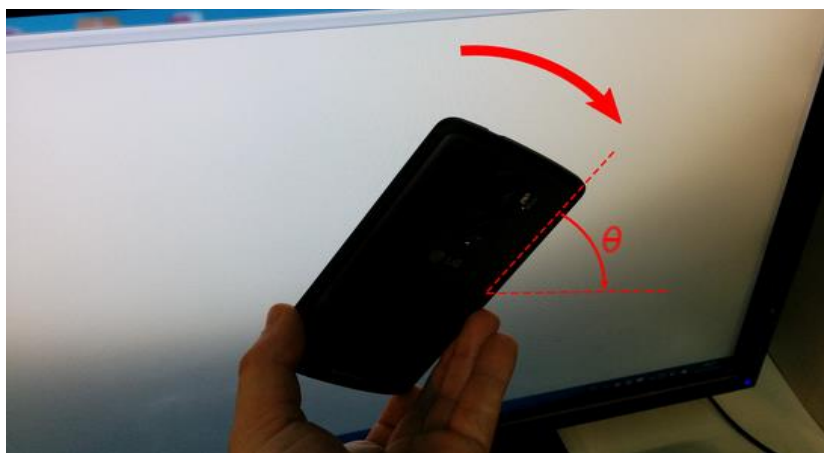


Рис. 5. Расположение смартфона с закрепленным на нем поляризатором

Важным моментом дизайна эксперимента является то, что угол наклона смартфона по величине должен совпадать с углом между осью поляризации света от экрана и осью анализатора, как показано на рис. 6.

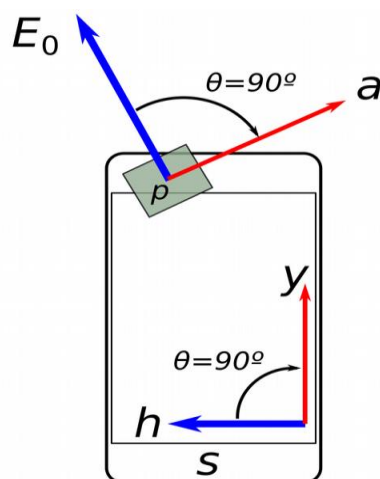


Рис. 6. Совпадение угла наклона смартфона по величине с углом между осью поляризации света от экрана и осью анализатора

Чтобы это сделать, необходимо начать эксперимент с ориентации смартфона. Для этого будем вращать поляризатор-анализатор (держа его в руках) в поисках минимальной интенсивности света, проходящего от экрана через поляризатор. В этой позиции поляризатор-анализатор прикрепляется небольшим кусочком скотча поверх сенсора освещенности смартфона, расположенного вертикально. В результате ось анализатора перпендикулярна оси поляризации света от экрана монитора, как показано на рис. 5. Далее мы нажимаем на кнопку «+» и записываем данные с помощью приложения, аккуратно вращая смартфон перед экраном монитора как минимум четверть полного круга. Из-за симметрии закона Малюса сбор данных из более широкого диапазона приведет к дублированию данных. Как только данные собраны и записаны, приложение Physics Toolbox сохранит их в файле формата csv. Файлы csv, собранные из нескольких столбцов (показывающих переменные от выбранных сенсоров), разделенные запятой или другим знаком, не представляют сложности в обращении с ними. В этом эксперименте мы использовали только столбцы, соответствующие углу наклона и освещенности. Ниже в таблице приведен csv-файл, сделанный при наименьшей скорости записи.

**Данные с csv-файла, сделанного при наименьшей скорости записи**

<i>Time, c</i>	<i>I</i>	<i>Pitch</i>	<i>Угол, о</i>	<i>cos 2θo</i>
0,794	3	-86,052	86,052	0,00474
0,966	3	-87,067	87,067	0,002618
1,808	4	-68,522	68,522	0,134061
1,967	5	-64,227	64,227	0,189057
2,796	38	-44,028	44,028	0,516961
2,976	42	-40,599	40,599	0,57651
3,795	71	-29,984	29,984	0,750242
3,969	69	-26,159	26,159	0,805639
4,796	75	-14,582	14,582	0,936614
4,969	79	-13,665	13,665	0,944188
5,796	86	-1,861	1,861	0,998945
5,969	79	-2,361	2,361	0,998303
6,796	83	-2,248	2,248	0,998461

А график, приведенный ниже, построен по данным csv-файла, сделанного на максимальной скорости записи данных и содержащего 490 строк. Этот график, построенный с помощью инструментов Excel (см. рис. 7), хорошо согласуется с законом Малюса.

### **Результаты эксперимента**

Экспериментальные данные, полученные с помощью измерений смартфоном, приведены на рис. 7. График зависимости функции  $\cos 2\theta$  от угла между плоскостью поляризации падающего света и плоскостью анализатора и график отношения  $I/I_0$  как функции от угла хорошо совпадают.

Показатели, полученные в результате эксперимента, полностью согласуются с ожидаемыми. Благодаря одновременному использованию двух наименее часто используемых сенсоров в смартфоне возможно доказать закон Малюса максимально доступным для студентов способом, который позволяет им проявить самостоятельность и вовлеченность в творческий процесс [32].

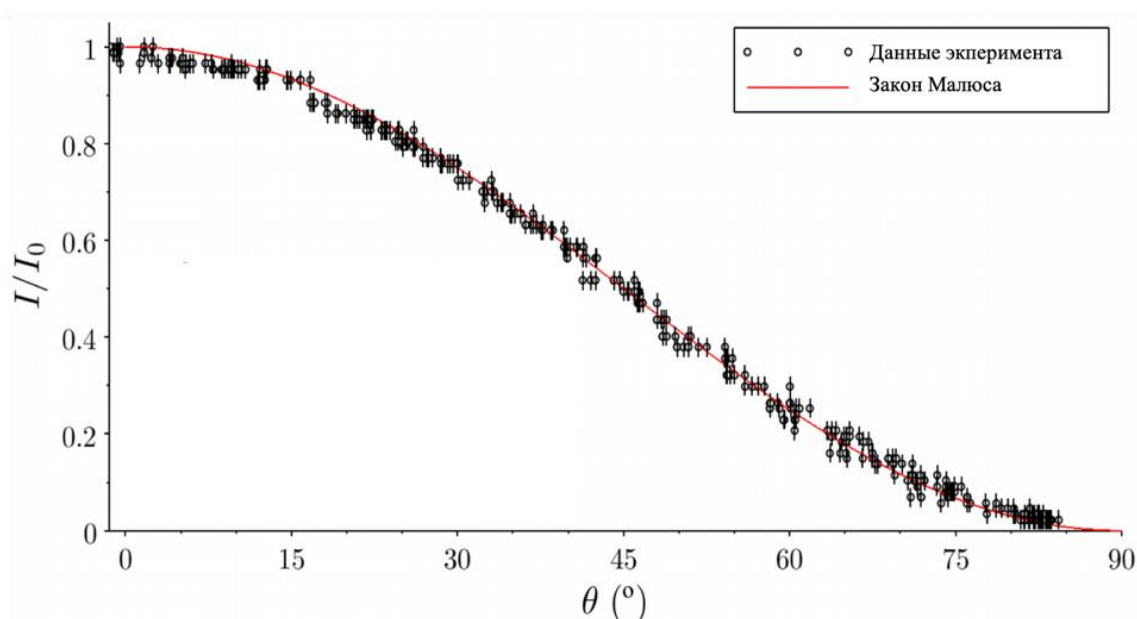


Рис. 7. Графическое представление по данным csv-файла, сделанного на максимальной скорости записи данных и содержащего 490 строк

### Заключение / Conclusion

В результате проведения такой лабораторной работы происходит развитие навыков самостоятельной творческой работы, пополняется арсенал знаний в различных областях науки и техники. Так, студенты познакомятся с различными углами наклона, применяемыми для ориентации смартфона: азимут, тангаж, крен. Изучат теоретический материал по светотехническим величинам, выявят связь освещенности и интенсивности света, познакомятся с «законом обратных квадратов», связывающим освещенность и интенсивность света, с методами обработки и графической интерпретации результатов, подробнее вникнут в такой широко применяемый инструмент, как Excel, и научатся обрабатывать с его помощью результаты и строить графики.

Данная работа еще не закончена и требует поисков наиболее оптимальной реализации. Именно на нахождение наиболее технологичного автоматизированного способа обработки результатов и будут направлены дальнейшие исследования, так же как и на углубление теоретического обоснования эксперимента. К тому же следует продумать возможность оценки погрешности эксперимента, что является важной частью любого опыта. Просматривается и еще один аспект исследования – возможность применения смартфонов для измерения физических величин с применением специального лабораторного оборудования. Однако можно заключить, что главная цель достигнута: подробно рассмотрена методика проведения лабораторной работы по общей физике с помощью смартфона, раскрыт потенциал смартфона как измерительного инструмента, сформированы навыки самостоятельной творческой деятельности студентов, получены знания и навыки, которые могут быть перенесены в профессиональную деятельность.

Задача высшего образования – формирование самостоятельных высококвалифицированных специалистов по различным направлениям подготовки, способных перенести на другие виды деятельности навыки логического и научного мышления, которые приобрели при выполнении творческих работ. Усвоение навыка переноса произойдет с большим эффектом, если студент получит интеллектуальное удовольствие от научного подхода, творческой деятельности, осознает ценность полученного

опыта для дальнейшего обучения в университете, в будущей профессиональной деятельности. Одним из самых действенных методов для достижения поставленной цели, на взгляд автора, являются творческие работы с элементами научных исследований, особенно если они осуществляются с помощью современных девайсов, применение которых приобретает новый практический смысл.

### Ссылки на источники / References

1. Казачихина М. В., Стариков Д. А. Мультимедийные технологии в инновационном образовательном процессе: психологический аспект // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2009. – № 7. – С. 88–95.
2. Протопопова С. В., Макаренко Т. А. Анализ применения гаджетов студентами в образовательном процессе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 32. – С. 264–267. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/771077.htm>.
3. Теории и методика обучения физике в школе: общие вопросы: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. завед. / С. Е. Каменецкий, Н. С. Пурешева, Н. Е. Важеевская и др.; под ред. С. Е. Каменецкого, Н. С. Пурешевой. – М.: Изд. центр «Академия», 2000. – 368 с.
4. Головашкина М. А. Педагогический потенциал гаджетов в образовательной среде университета // Педагогика. Вопросы теории и практики. – Тамбов: Грамота, 2018. – № 1(09). – С. 33–36. – URL: [www.gramota.net/materials/4/2018/1/6.html](http://www.gramota.net/materials/4/2018/1/6.html).
5. Голицына И. Н., Половникова Н. Л. Мобильное обучение как новая технология в образовании // Образовательные технологии и общество. – 2011. – Т. 14. – № 1. – С. 241–252.
6. Townsend A. M. Life in the Real-Time City: Mobile Telephones and Urban Metabolism // Journal of Urban Technology. – 2000. – Vol. 7. – № 2. – P. 85–104.
7. Кожевников И. Р. Использование смартфона в учебном процессе (из опыта работы) // Использование информационно-коммуникационных технологий в современной системе образования: сб. науч. ст. и докл., Владивосток, 30 марта – 01 2017 года. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2017. – С. 57–59.
8. Закревский Д. С., Семченков С. С., Рынкевич С. А. Положительный опыт использования смартфонов в учебном процессе в системе высшего образования // Перспективы развития высшей школы: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 25 сентября 2020 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 190–195.
9. Радулович Б., Стоянович М. Эффективность преподавания физики через призму субъективной оценки умственных усилий учащихся // Вопросы образования. – 2019. – № 3. – С. 152–175.
10. Wang J., Jou M. Qualitative Investigation on the Views of Inquiry Teaching Based upon the Cloud Learning Environment of High School Physics Teachers from Beijing, Taipei, and Chicago // Computers in Human Behavior. – 2016. – Vol. 60, July. – P. 212–222. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.003>.
11. Кун Й., Фогт П. Смартфоны как экспериментальные инструменты: различные методы определения ускорения гравитации в классной физике с использованием повседневных устройств // Европейский журнал физического образования. [S. l.]. – 2017. – Т. 4. – № 1. – С. 47–58. – URL: <http://eu-journal.org/index.php/EJPE/article/view/81>.
12. Кочергина Н. В., Машиньян А. А. Комплексные средства обучения физике как основа когнитивных педагогических технологий // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 6 (12). – С. 79–90.
13. Протопопова С. В., Макаренко Т. А. Анализ применения гаджетов студентами в образовательном процессе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 32. – С. 264–267. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/771077.htm>.
14. Томиленко В. А. Опыт использования смартфонов, планшетов, ноутбуков и компьютеров студентов в учебном процессе // Современное образование: развитие технологий и содержания высшего профессионального образования как условие повышения качества подготовки выпускников: материалы междунар. науч.-метод. конф. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – С. 157–158.
15. Дуркин Н. В. Смартфон в физическом эксперименте как прием активизации познавательной деятельности учащихся // Проблемы учебного физического эксперимента: сб. науч. тр.: материалы XXIV Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием, Глазов, 25–26 января 2019 года / отв. ред. В. В. Майер. – Глазов: Институт стратегии развития образования РАО, 2019. – С. 74–78.
16. Казачихина М. В. Указ. соч.
17. Евтихов О. В., Адольф В. А. Современные представления об образовательной среде вуза как педагогическом феномене // Вестник КГПУ им. В. П. Астафьева. – 2014. – № 1. – С. 30–34.



18. Ряхова А. Г., Тулькибаева Н. Н. К вопросу совершенствования методики проведения лабораторных занятий по курсу общей физики в техническом вузе // Вестник ТГПУ. – 2016. – № 4. – С. 59–63.
  19. Попцов А. Н., Суровкина С. А. Использование информационно-коммуникационных технологий в процессе учебной адаптации студентов первого курса при обучении физике // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – Вып. 5. – URL: <http://www.science-education.ru/105-7327>.
  20. Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor // European Journal of Physics. – 2013. – 34(6). – P. 1349.
  21. Monteiro M., Cabeza C., Marti A. C. et al. Angular velocity and centripetal acceleration relationship // The Physics Teacher. – 2014. – 52(5). – P. 312–313.
  22. Vieyra R., Vieyra C., Marti A. et al. Turn your smartphone into a science laboratory // The Science Teacher. – 2015. – 82(9). – P. 32–40.
  23. Делябр У. Смартфоника: научные эксперименты со смартфоном / пер. с фр. П. Ю. Сергеевой; ред. В. И. Петровичев. – М.: ДМК-Пресс, 2021. – 186 с.
  24. Physics Toolbox. – URL: <http://www.vieyrasoftware.net/>
  25. Monteiro M., Cabeza C., Marti A. C. Acceleration Measurements Using Smartphone Sensors: Dealing with the Equivalence Principle // Revista Brasileira Ensino de Fisica. – 2015. – 37(1). – P. 1303.
  26. Wenning C., Vieyra R. Using technology effectively // Teaching High School Physics. – March/April 2015, September 2020. – 1st and 2nd Ed.
  27. Делябр У. Указ. соч.
  28. Fakhruddin H. Some Activities with Polarized Light from a Laptop LCD Screen // The Physics Teacher. – 2008. – 46(4). – P. 229–231.
  29. Vertchenko L., Vertchenko L. Verification of Malus's Law using a LCD monitor and Digital Photography // Revista Brasileira de Ensino de Fisica. – 2016. – 38(3). – e3311.
  30. Dias Tavares Jr. M. A., Sosman L. P., M. da Fonseca R. J. et al. Using a photo-resistor to verify irradiance inverse square and Malus' laws // AIP Conference Proceedings. – 2008. – 992. – P. 193–198.
  31. Sans J. A., Manjyn F. J., Pereira A. L. J. et al. An Experiment on Malus' Law for the Elementary Laboratory // American Journal of Physics. – 1950. – 18(6). – P. 395.
  32. Бухвостов А. И., Ларченкова Л. А. Использование датчиков смартфона для проведения измерений в учебном физическом эксперименте // Физика в школе и вузе: междунар. сб. науч. ст. / Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена. – СПб.: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2020. – С. 121–131.
- 
1. Kazachihina, M. V. & Starikov, D. A. (2009). "Mul'timedijnye tekhnologii v innovacionnom obrazovatel'nom processe: psihologicheskij aspekt", *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, № 7, pp. 88–95 (in Russian).
  2. Protopopova, S. V. & Makarenko, T. A. (2017). "Analiz primeneniya gadzhetov studentami v obrazovatel'nom processe", *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal "Koncept"*, t. 32, pp. 264–267. Available at: <http://e-koncept.ru/2017/771077.htm> (in Russian).
  3. Kameneckij, S. E., Purysheva, N. S., Vazheevskaya, N. E. et al. (2000). *Teorii i metodika obucheniya fizike v shkole: obshchie voprosy: ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ped. ucheb. zaved.*, Moscow, 368 p. (in Russian).
  4. Golovyashkina, M. A. (2018). "Pedagogicheskij potencial gadzhetov v obrazovatel'noj srede universiteta", *Pedagogika. Voprosy teorii i praktiki*, Tambov, № 1(09), pp. 33–36. Available at: [www.gramota.net/materials/4/2018/1/6.html](http://www.gramota.net/materials/4/2018/1/6.html) (in Russian).
  5. Golicyna, I. N. & Polovnikova, N. L. (2011). "Mobil'noe obuchenie kak novaya tekhnologiya v obrazovanii", *Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo*, t. 14, № 1, pp. 241–252 (in Russian).
  6. Townsend, A. M. (2000). "Life in the Real-Time City: Mobile Telephones and Urban Metabolism", *Journal of Urban Technology*, vol. 7, № 2, pp. 85–104 (in English).
  7. Kozhevnikov, I. R. (2017). "Ispol'zovanie smartfona v uchebnom processe (iz opyta raboty)", *Ispol'zovanie informacionno-kommunikacionnyh tekhnologij v sovremennoj sisteme obrazovaniya: sb. nauch. st. i dokl.*, Vladivostok, 30 marta – 01 2017 goda, Dal'nevostochnyj federal'nyj universitet, Vladivostok, pp. 57–59 (in Russian).
  8. Zakrevskij, D. S., Semchenkov, S. S. & Rynkevich, S. A. (2020). "Polozhitel'nyj opyt ispol'zovaniya smartfonov v ucheb-nom processe v sisteme vysshego obrazovaniya", *Perspektivy razvitiya vysshej shkoly: materialy I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Tyumen', 25 sentyabrya 2020 goda*, Tyumenskij industrial'nyj universitet, Tyumen', pp. 190–195 (in Russian).
  9. Radulovich, B. & Stoyanovich, M. (2019). "Effektivnost' prepodavaniya fiziki cherez prizmu sub'ektivnoj ocenki umstvennyh usilij uchashchihsya", *Voprosy obrazovaniya*, № 3, pp. 152–175 (in Russian).
  10. Wang, J. & Jou, M. (2016). "Qualitative Investigation on the Views of Inquiry Teaching Based upon the Cloud Learning Environment of High School Physics Teachers from Beijing, Taipei, and Chicago", *Computers in Human Behavior*, vol. 60, July, pp. 212–222. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.003> (in English).

11. Kun, J. & Fogt, P. (2017). "Smartfony kak eksperimental'nye instrumenty: razlichnye metody opredeleniya uskore-niya gravitacii v klassnoj fizike s ispol'zovaniem povsednevnyh ustrojstv", *Evropejskij zhurnal fizicheskogo obrazovaniya*. [S. l.], t. 4, № 1, pp. 47–58. Available at: <http://eu-journal.org/index.php/EJPE/article/view/81> (in Russian).
12. Kochergina, N. V. & Mashin'yan, A. A. (2014). "Kompleksnye sredstva obucheniya fizike kak osnova kognitivnyh pedagogicheskikh tekhnologij", *Perspektivy nauki i obrazovaniya*, № 6 (12), pp. 79–90 (in Russian).
13. Protopopova, S. V. & Makarenko, T. A. (2017). "Analiz primeneniya gadzhetov studentami v obrazovatel'nom processe", *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal "Koncept"*, t. 32, pp. 264–267. Available at: <http://e-koncept.ru/2017/771077.htm> (in Russian).
14. Tomilenko, V. A. (2017). "Opyt ispol'zovaniya smartfonov, planshetov, noutbukov i komp'yuterv studentov v uchebnom processe", *Sovremennoe obrazovanie: razvitie tekhnologij i soderzhaniya vysshego professional'nogo obrazovaniya kak uslovie povysheniya kachestva podgotovki vypusknikov: materialy mezhdunar. nauch.-metod. konf.*, Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, Tomsk, pp. 157–158 (in Russian).
15. Durkin, N. V. (2019). "Smartfon v fizicheskom eksperimente kak priem aktivizacii poznavatel'noj deyatel'nosti uchashchihsya", *Problemy uchebnogo fizicheskogo eksperimenta: Sbornik nauchnyh trudov: materialy XXIV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarodnym uchastiem, Glazov, 25–26 yanvarya 2019 goda*, Institut strategii razvitiya obrazovaniya RAO, Glazov, pp. 74–78 (in Russian).
16. Kazachihina, M. V. & Starikov, D. A. (2009). Op. cit.
17. Evtihov, O. V. & Adol'f, V. A. (2014). "Sovremennye predstavleniya ob obrazovatel'noj srede vuza kak pedagogicheskom fenomene", *Vestnik KGPU im. V. P. Astaf'eva*, № 1, pp. 30–34 (in Russian).
18. Ryahova, A. G. & Tul'kibaeva, N. N. (2016). "K voprosu sovershenstvovaniya metodiki provedeniya laboratornyh zanyatij po kursu obshchej fiziki v tekhnicheskome vuze", *Vestnik TGPU*, № 4, pp. 59–63 (in Russian).
19. Popcov, A. N. & Surovkina, S. A. (2012). "Isol'zovanie informacionno-kommunikacionnyh tekhnologij v processe uchebnoj adaptacii studentov pervogo kursa pri obuchenii fizike", *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, vyp. 5. Available at: <http://www.science-education.ru/105-7327> (in Russian).
20. (2013). "Oscillations studied with the smartphone ambient light sensor", *European Journal of Physics*, 34(6), p. 1349 (in English).
21. Monteiro, M., Cabeza, C., Marti, A. C. et al. (2014). "Angular velocity and centripetal acceleration relationship", *The Physics Teacher*, 52(5), pp. 312–313 (in Russian).
22. Vieyra, R., Vieyra, C., Marti, A. et al. (2015). "Turn your smartphone into a science laboratory", *The Science Teacher*, 82(9), pp. 32–40 (in English).
23. Delyabr, U. (2021). *Smartfonika: nauchnye eksperimenty so smartfonom*, DMK-Press, Moscow, 186 p. (in Russian).
24. *Physics Toolbox*. Available at: <http://www.vieyrasoftware.net/> (in English).
25. Monteiro, M., Cabeza, C., Martn, A. C. (2015). "Acceleration Measurements Using Smartphone Sensors: Dealing with the Equivalence Principle", *Revista Brasileira Ensino de Fisica*, 37(1), p. 1303 (in English).
26. Wenning, S. & Vieyra, R. (March/April 2015, September 2020). "Using technology effectively", *Teaching High School Physics*, 1st and 2nd Ed. (in English).
27. Delyabr, U. (2021). Op. cit.
28. Fakhrudin, H. (2008). "Some Activities with Polarized Light from a Laptop LCD Screen", *The Physics Teacher*, 46(4), pp. 229–231 (in English).
29. Vertchenko, L. & Vertchenko, L. (2016). "Verification of Malus's Law using a LCD monitor and Digital Photography", *Revista Brasileira de Ensino de Fisica*, 38(3), e3311 (in English).
30. Dias Tavares, M. A. Jr., Sosman, L. P., M. da Fonseca, R. J. et al. (2008). "Using a photo-resistor to verify irradiance inverse square and Malus' laws", *AIP Conference Proceedings*, 992, pp. 193–198 (in English).
31. Sans, J. A., Manjun, F. J., Pereira, A. L. J. et al. (1950). "An Experiment on Malus' Law for the Elementary Laboratory", *American Journal of Physics*, 1950, 18(6), p. 395 (in English).
32. Buhvostov, A. I. & Larchenkova, L. A. (2020). "Isol'zovanie datchikov smartfona dlya provedeniya izmerenij v uchebnom fizicheskom eksperimente", *Fizika v shkole i vuze: mezhdunar. sb. nauch. st.*, Rossijskij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. A. I. Gercena, St. Petersburg, pp. 121–131 (in Russian).