

**Содержание школьного физического практикума  
по электродинамике  
в условиях современного состояния науки и технологии**

**The content of the school physics workshop  
and the current state of science and technology**

**Авторы статьи**

**Смирнов Владимир Вячеславович**,  
доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры технологии материалов и промышленной инженерии ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева», профессор кафедры математических и естественнонаучных дисциплин Каспийского института морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина – филиала ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», г. Астрахань, Российская Федерация  
smirnov.v.aspu@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6491-5117

**Погожева Алена Богдасаровна**,  
ассистент кафедры технологии материалов и промышленной инженерии ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева», г. Астрахань, Российская Федерация  
goddess1806@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-3983-4128

**Конфликт интересов**

Конфликт интересов не указан

**Для цитирования**

Смирнов В. В., Погожева А. Б. Содержание школьного физического практикума по электродинамике в условиях современного состояния науки и технологии // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2026. – № 09. – С. 281–299. – URL: <https://e-koncept.ru/2026/261247.htm> – DOI: 10.24412/2304-120X-2026-11247

**Authors of the article**

**Vladimir V. Smirnov**,  
Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Materials Technology and Industrial Engineering, Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev; Professor, Department of Mathematical and Natural Sciences, Caspian Institute of Marine and River Transport named after Admiral F.M. Apraksin, Branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russian Federation  
smirnov.v.aspu@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6491-5117

**Alyona B. Pogozheva**,  
Assistant, Department of Materials Technology and Industrial Engineering, Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russian Federation  
goddess1806@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-3983-4128

**Conflict of interest statement**

Conflict of interest is not declared

**For citation**

V. V. Smirnov, A. B. Pogozheva, The content of the school physics workshop and the current state of science and technology // Scientific-methodological electronic journal "Koncept". – 2026. – No. 09. – P. 281–299. – URL: <https://e-koncept.ru/2026/261247.htm> – DOI: 10.24412/2304-120X-2026-11247

|                                                         |          |                                                                      |          |
|---------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------|----------|
| Поступила в редакцию<br><i>Received</i>                 | 25.05.26 | Получена положительная рецензия<br><i>Received a positive review</i> | 31.08.26 |
| Принята к публикации<br><i>Accepted for publication</i> | 31.08.26 | Опубликована<br><i>Published</i>                                     | 30.09.26 |



**Аннотация**

Устойчивое многолетнее снижение интереса старшеклассников к физике в РФ подтверждается статистикой ЕГЭ (число участников сократилось с 207 тыс. в 2014 г. до ~90 тыс. в 2023–2025 гг.), результатами PISA и TIMSS, экспертными оценками. Одна из ключевых причин – несоответствие лабораторного практикума, особенно по электродинамике, современному уровню науки и техники: работы остаются «музейными», игнорируя цифровую обработку сигналов, оптические и беспроводные технологии, полупроводниковую электронику. При этом концептуальные документы провозглашают достижение технологической независимости, но приказы Минпросвещения об оборудовании и учебниках ориентированы на традиционные средства, не поддерживая актуальные научные направления. Цель – анализ соответствия содержания практикума по электродинамике современной науке и разработка обновленного курса, интегрирующего натурный и виртуальный эксперимент. Методы: комплексный анализ данных Рособнадзора, нормативно-правовой и контент-анализ научно-педагогических источников, сравнительно-сопоставительный анализ российских и американских (AP Physics C/E&M) программ и лабораторных работ на основе обзора публикаций в Physical Review Physics Education Research, American Journal of Physics, The Physics Teacher, педагогическое моделирование. В результате выявлено фундаментальное противоречие между целями физического образования и его ресурсным обеспечением. Зарубежный подход отличается систематическим использованием цифровых датчиков, микроконтроллеров, проектной деятельности и обязательных инженерных проектов (Capstone Projects). Обосновано включение в практикум четырех направлений: радиофотоники, метаматериалов, квантовых коммуникаций, беспроводной передачи энергии. Разработана модель факультативного курса «Современная электродинамика: от опыта к технологии» (10–11-е классы, 68 ч) с 14 лабораторными работами – от измерения скорости передачи данных по оптоволокну до основ квантовой криптографии. Теоретическая значимость – обоснование обновления практикума с учетом современных научных тенденций и сквозной линии «генерация – передача – обработка информации». Практическая значимость – готовый к апробации учебно-методический комплекс для школ с использованием оборудования центров «Точка роста» и «Кванториум», созвучный задачам национального проекта «Образование» и решениям съезда «УЧПРОМ-2025».

**Ключевые слова**

школьный физический практикум, электродинамика, снижение интереса к физике, современные технологии, виртуальный и натурный эксперимент, сравнительный анализ (Россия – США), радиофотоника и квантовые коммуникации, факультативный курс

**Благодарности**

Авторы выражают благодарность Галине Павловне Стефановой, профессору-консультанту ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева», за ценные советы в процессе работы над статьей.

**Abstract**

The steady long-term decline in the interest of high school students in physics in the Russian Federation is confirmed by the statistics of the Unified State Exam (the number of participants decreased from 207 thousand in 2014 to about 90 thousand in 2023-2025), PISA and TIMSS results, and expert assessments. One of the key reasons is that the laboratory workshop, especially in electrodynamics, does not match the current state of science and technology: the works remain "museum-like", ignoring digital signal processing, optical and wireless technologies, and semiconductor electronics. At the same time, the conceptual documents proclaim the achievement of technological independence, but the orders of the Ministry of Education on equipment and textbooks are focused on traditional means, not supporting relevant scientific trends. The aim is to analyze the alignment of the electrodynamics laboratory course content with modern science and to develop an updated course that integrates both physical and virtual experiments. Methods: comprehensive analysis of Rosobnadzor data, regulatory and content analysis of scientific and pedagogical sources, comparative analysis of Russian and American (AP Physics C/E&M) programs and laboratory work based on a review of publications in Physical Review Physics Education Research, American Journal of Physics, The Physics Teacher, and pedagogical modeling. Results. The fundamental contradiction between the goals of physical education and its resource provision has been revealed. The foreign approach is characterized by the systematic use of digital sensors, microcontrollers, project-based activities and mandatory engineering projects (Capstone Projects). The inclusion of four areas in the workshop is justified: radiophotonics, metamaterials, quantum communications, and wireless energy transmission. A model of the faculty course "Modern Electrodynamics: from experiment to technology" (grades 10-11, 68 hours) with 14 laboratory work has been developed - from measuring the data transfer rate over optical fiber to the basics of quantum cryptography. The theoretical significance lies in the substantiation of updating the practical course, taking into account modern scientific trends and the overarching theme of "information generation, transmission, and processing." Practical significance is the ready-to-test educational and methodological complex for schools using the equipment of the centers "Point of Growth" and "Quantorium", consistent with the objectives of the national project "Education" and the decisions of the congress "UCHPROM-2025".

**Key words**

school physics workshop, electrodynamics, declining interest in physics, modern technologies, virtual and physical experiments, comparative analysis (Russia - USA), radiophotonics and quantum communications, elective course

**Acknowledgements**

The authors express their gratitude to Galina P. Stefanova, Professor-Consultant at the V. N. Tatishchev Astrakhan State University, for her valuable pieces of advice during the work on the article.

# Введение / Introduction

Качество преподавания физики является элементом национальной безопасности страны.

Виктор Садовничий,  
ректор МГУ им. М. В. Ломоносова

Снижение интереса старшеклассников к физике в Российской Федерации – многолетняя тенденция, зафиксированная как на государственном уровне, так и в академической литературе. Об этом, в частности, говорит научный руководитель кафедры теории и методики обучения физике им. А. В. Перышкина (МПГУ) Н. С. Пурышева [1]. Количественные подтверждения этой тенденции носят системный характер, что позволяет говорить не о временном спаде, а о структурной проблеме физического образования. Незначительное увеличение числа сдающих ЕГЭ по физике в 2024–2025 гг. не позволяет говорить об изменении ситуации. В табл. 1 приведены данные Рособрнадзора по абсолютной численности участников ЕГЭ по физике и доли выпускников, выбравших физику. Рисунок ниже является графической иллюстрацией таблицы.

Приведенные данные подтверждает нисходящий тренд: абсолютное число участников сократилось более чем в два раза: с 207 тыс. в 2014 г. до примерно 90 тыс. в 2023–2025 гг. Доля выбравших физику также уменьшилась почти в два раза.

Другие количественные индикаторы (количество школьников, изучающих физику на углубленном уровне; число профильных классов; результаты сопоставительных исследований PISA, TIMSS Advanced и другие), приведенные пресс-службой Президента РФ [2], также свидетельствуют о кризисных явлениях.

Проблема регулярно обсуждается на ведущих научно-педагогических площадках. Уже на Международной конференции «Физика в системе современного образования» (ФССО-2013) говорилось о «снижении интереса к естественным и инженерным наукам». Всероссийский съезд учителей физики (2023 г.) также был посвящен падению интереса к предмету.

Таблица 1

## Абсолютная численность участников ЕГЭ по физике и доля выпускников, выбравших физику (по данным Рособрнадзора)

| Год  | Число участников<br>ЕГЭ по физике<br>(тыс. чел.) | Доля от общего<br>числа участников<br>ЕГЭ, % | Источник                                      |
|------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2014 | ~207                                             | 27,5                                         | Рособрнадзор (С. Кравцов)                     |
| 2015 | ~200                                             | 27,1                                         | Рособрнадзор (пресс-служба)                   |
| 2016 | ~192                                             | 28                                           | Рособрнадзор (пресс-служба)                   |
| 2017 | ~155                                             | 25,3                                         | Рособрнадзор (пресс-служба)                   |
| 2018 | ~171,5                                           | 25                                           | Рособрнадзор (пресс-служба)                   |
| 2019 | ~139,5                                           | 19,2                                         | Рособрнадзор, данные ИД «Коммерсантъ»         |
| 2020 | 139,574                                          | 19,6                                         | Рособрнадзор, данные ИД «Коммерсантъ»         |
| 2021 | 128,0                                            | 18,8                                         | Рособрнадзор, данные ИД «Коммерсантъ»         |
| 2022 | 100,0                                            | 16,8                                         | Рособрнадзор, сводные данные                  |
| 2023 | >89,0                                            | ~14,4                                        | ТАСС со ссылкой на пресс-службу Рособрнадзора |
| 2024 | 110,865 (заявлено)/91,0 (сдавало)                | 15,87/14,4                                   | Рособрнадзор (официальный сайт)               |
| 2025 | 117,724 (заявлено)/94,0 (сдавало)                | 16,43/16,4                                   | Рособрнадзор (официальный сайт)               |



*Динамика численности сдающих ЕГЭ по физике в России (2010–2025 гг.)*

Д. С. Мокляк [3] отмечает, что причинами снижения интереса к физике у школьников является наличие системных проблем в образовании, изменение отношения и восприятия учащимися предмета, а также конкуренция с другими предметами и внешние факторы.

Выступая на расширенном заседании Совета Российского Союза ректоров, В. И. Шевченко (ректор НИЯУ МИФИ) [4] особенно отмечает острый дефицит учителей и отрыв школьного курса физики от реальной жизни.

Проблема кадрового обеспечения является критической. Согласно данным пресс-службы Президента РФ, которые в 2024 г. озвучил президент РФ Владимир Путин, неукомплектованность учителей физики в школах оценивается в 22,4%, а по другим оценкам, в каждой четвертой школе России просто нет учителя физики. За 20 лет абсолютное число учителей физики сократилось примерно вдвое, при этом более 30% из оставшихся – люди пенсионного возраста.

Не менее важная проблема – устаревшее содержание учебного материала. Выступая на Международной конференции ФССО-2023, Н. С. Пурышева [5] подчеркивала, что содержание физического образования в современной средней школе требует переосмысления, поскольку учебные программы устарели и мало изменились за последние 50 лет. В концепции, предложенной в рамках исследовательского проекта «Новая физика» (Г. Н. Гольцман, Г. М. Чулкова, А. И. Адамский [6]), обосновывается необходимость приближения содержания курса физики к современным основам высоких технологий.

Н. С. Пурышева, Г. Н. Гольцман, В. А. Львовский и другие учение [7] развивают идею образовательной системы на основе экспериментальной деятельности учащихся с максимальным использованием высоких технологий, подчеркивая, что такая деятельность интереснее детям и вовлекает даже тех учеников, которые для учителя представляются малоперспективными и слабо успевающими.

При этом сопоставление нормативных документов обнаруживает фундаментальное противоречие между провозглашенными целями и средствами их достижения.

С одной стороны, «Концепция преподавания учебного предмета „Физика“», утвержденная решением Коллегии Министерства просвещения РФ (протокол от 03.12.2019 № ПК-4вн) [8], и «Методическое письмо об особенностях преподавания физики в 2023/2024 учебном году» [9] ставят амбициозные задачи: достижение технологической независимости, формирование естественно-научной грамотности, организация изучения физики на деятельностной основе, развитие инженерного мышления.

С другой стороны, анализ Приказа Минпросвещения России от 06.09.2022 № 804 «Об утверждении перечня средств обучения и воспитания...» [10] и Приказа от 21.09.2022 № 858 «Об утверждении федерального перечня учебников...» [11] показывает, что предлагаемое оснащение и учебно-методическая база ориентированы преимущественно на традиционную модель преподавания. В перечне средств обучения и воспитания доминируют приборы и оборудование, разработанные десятилетия назад, а федеральный перечень учебников содержит издания, в которых современные разделы физики (физика лазеров, нанотехнологии, квантовые коммуникации) либо отсутствуют, либо представлены фрагментарно.

Особенно остро данное противоречие проявляется применительно к углубленному изучению физики. Утвержденная Федеральная рабочая программа среднего общего образования «Физика» (углубленный уровень) декларирует необходимость формирования у обучающихся «представлений о роли физики в современной научной картине мира, понимания физической сущности наблюдаемых во Вселенной явлений, овладения методами научного исследования, свойственными физике», однако выделенный перечень лабораторных работ и практикумов не предусматривает использования современной экспериментальной базы (цифровых измерительных систем, элементов роботизации эксперимента, методов компьютерного моделирования физических процессов в реальном времени).

Таким образом, разрыв между декларируемыми целями и профилем предлагаемого учебного оборудования, а также консервативным содержанием учебников становится одним из существенных барьеров для модернизации физического образования и преодоления кризиса интереса к предмету.

### Обзор литературы / Literature review

Вопросы кадрового обеспечения не являются предметом этой статьи. Анализ же содержания раздела «Электродинамика» в учебниках и программах старшей школы за последние три десятилетия показывает как преобладание фундаментального подхода, свойственного российской школе, так и нарастающее отставание от технологической повестки.

Традиционная советско-российская методика (раздел «Электродинамика») строилась вокруг классических тем: электростатика, законы постоянного тока, магнитное поле, электромагнитная индукция, электромагнитные колебания и волны. Так, в учебнике А. В. Перышкина [12] последовательно рассмотрены электрическое поле, законы постоянного тока и магнитные явления, причем изложение опирается на описание классических опытов и фундаментальные законы. Содержание учебника Г. Я. Мякишева, Б. Б. Буховцева [13] охватывает электромагнитную индукцию, электромагнитные колебания и волны, а также основы электродинамики переменных полей в рамках как базового, так и углубленного уровней. В учебнике В. А. Касьянова

[14] углубленно изучаются электромагнитные колебания и волны, законы переменного тока, а также волновая оптика и элементы квантовой электродинамики, что завершает классический курс электродинамики. Таким образом, во всех трех учебных изданиях сохраняется традиционная структура и фундаментальный подход, а современные технологические приложения (цифровая обработка сигналов, оптоволоконная связь и др.) практически не затрагиваются.

Лабораторный практикум включал стандартный набор: изучение последовательного и параллельного соединения проводников, измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока, наблюдение действия магнитного поля на проводник с током, изучение явления электромагнитной индукции.

Сильные стороны этого подхода – методическая проработанность и преемственность поколений учителей, освоивших данную технику эксперимента; простота и наглядность опытов, доступность оборудования.

Однако в современной школе практически полностью отсутствуют эксперименты, связанные с цифровой обработкой сигналов, современными способами передачи информации, принципами работы полупроводниковых приборов, составляющих основу современной бытовой электроники. Игнорируются темы беспроводной передачи энергии, RFID-меток, систем спутниковой навигации – тех технологий, с которыми учащиеся сталкиваются ежедневно.

Как подчеркивается в докладе Г. Н. Гольцмана, Г. М. Чулковой, А. И. Адамского [6], лабораторный практикум остается «музейным»: учащиеся работают с оборудованием, которое в лучшем случае воспроизводит опыты XIX века, что подкрепляет восприятие физики как «сухого» и оторванного от жизни предмета.

Анализ статей, опубликованных в журналах *Physical Review Physics Education Research* (PRPER), *American Journal of Physics* (AJP) и *The Physics Teacher* (TPT) за последние годы, описывающих особенности организации лабораторного практикума по электродинамике (в основном на примере США), позволяет выделить характерные черты организации лабораторного практикума в зарубежной старшей школе.

Вопросы содержания лабораторного практикума рассматриваются, например, в работе Н. Г. Холмса и соавторов [15]. Выводы исследования сделаны на основании результатов анкетирования более 200 преподавателей физики из колледжей и университетов США и Канады, о содержании лабораторных занятий по вводным курсам физики. Анкета охватывала такие аспекты, как цели лабораторных работ, доля времени на различные виды деятельности (сбор данных, анализ, обсуждение), используемое оборудование (традиционные приборы, MBL, симуляции), форма отчетности, методы оценивания. Результаты показали значительную вариативность: от полностью традиционных практикумов до полностью компьютеризированных. Выявлено, что наиболее распространенными целями преподаватели считают «подтверждение теории» и «развитие навыков измерений», тогда как «научное исследование» и «моделирование» реализуются редко. По мнению авторов, данные демонстрируют разрыв между декларируемыми целями и фактической практикой и служат отправной точкой для реформирования лабораторного обучения.

Значительное количество работ связано с использованием в учебном процессе приборов (лабораторных установок), изготовленных обучающимися самостоятельно или под руководством учителя. Так, Р. Напиезц [16] предлагает комплект демонстраций и лабораторных работ по электростатике для старших классов. Подробно описана технология изготовления простейших приборов из подручных материалов:

электроскопа (из стеклянной банки, металлической фольги и пластилина), электрофора (из компакт-диска, шерсти и алюминиевой фольги), лейденской банки (из пластиковой бутылки и фольги) и генератора Ван де Граафа (из резинового ремня, поливинилхлоридной трубы, мотора от игрушки). Для каждого прибора приведены пошаговые инструкции по сборке, объяснение физических принципов, методические рекомендации для учителя и примеры экспериментальных заданий. Эксперименты направлены на наглядное усвоение понятий заряда, проводников и диэлектриков, электризации трением, электростатической индукции, распределения заряда на поверхности проводника, работы электрического поля. Подчеркивается, что самостоятельное изготовление оборудования способствует вовлечению учащихся и делает изучение электростатики более личностно значимым.

С. К. Фунг и соавторы [17] предлагают установку для измерения отношения заряда к массе электрона ( $e/m$ ) с использованием электронно-лучевой трубки старого мини-телевизора. Авторы демонтируют телевизор, извлекают ЭЛТ и блок питания, добавляют катушки Гельмгольца (самодельные или недорогие лабораторные), создавая однородное магнитное поле. Пучок электронов, ускоренный анодным напряжением, отклоняется магнитным полем, и радиус кривизны траектории измеряется по масштабной сетке на экране или с помощью линейки. Эксперимент рекомендуется для углубленных курсов физики старшей школы или младших курсов университета как пример использования устаревшей, но доступной техники для проведения точных измерений.

Сгруппируем проанализированные работы по темам раздела «Электродинамика».

#### *Электростатика*

Помимо уже упомянутых низкочастотных экспериментов Р. Напиезда заслуживают внимания работы, использующие виртуальную реальность и цифровые технологии. К. Портер с соавторами [18] показали, что применение VR-среды для визуализации электрических полей и силовых линий при условии предварительного обучения интерфейсу существенно повышает точность представлений учащихся. К. Вагнер и Д. Фланаган [19] предложили серию «эксперимент-задач» по электростатике, в которых студенты самостоятельно планируют измерения, формулируют гипотезы и делают выводы, что способствует развитию навыков аргументации. Дополнительно можно отметить работу С. Барбары и соавторов [20], в которой смартфон используется в качестве электроскопа: встроенный датчик освещенности позволяет количественно оценить величину индуцированного заряда, а анализ данных выполняется в бесплатном приложении.

#### *Цепи постоянного тока*

Исследования по цепям постоянного тока акцентируют внимание на развитии модельного мышления и использовании удаленных лабораторий. Н. Г. Холмс и К. Уиман [21] на примере поиска неисправностей в электрической цепи продемонстрировали, что студенты, мысленно моделирующие поведение цепи до измерений, значительно успешнее справляются с задачей, чем действующие методом проб. А. Л. С. Сантос и Ж. А. Кастро [22] сравнили эффективность очных и управляемых через Интернет лабораторных работ и пришли к выводу, что обе формы одинаково результативны для усвоения теории, но очные занятия выигрывают в развитии практических навыков сборки схем. И. Н. Т. Ариф и М. А. Х. Буньямин [23] включили в практикум проекты на Arduino, в том числе измерение проводимости жидкостей и построение градуировочных графиков. В работе Ф. Чена и соавторов [24] предлага-

ется лабораторный практикум на базе Arduino для исследования закона Ома и правил Кирхгофа, в котором студенты программируют сбор данных и визуализируют результаты в реальном времени.

#### *Магнитное поле и электромагнитная индукция*

Эксперименты по магнетизму часто опираются на сочетание классических методов с современными датчиками. Уже упоминавшаяся работа С. К. Фунга по измерению  $e/m$  с помощью старой ЭЛТ – яркий пример недорогого точного эксперимента. М. Дж. Молони и У. Г. Брейланд [25] предложили методику определения магнитной восприимчивости повседневных материалов (висмута, алюминия, воды) с использованием только аналитических весов и неодимового магнита, что позволяет количественно изучать диа- и парамагнетизм даже при скромном оснащении. К. Зуза с соавторами [26] разработали учебно-методическую последовательность для формирования понятия ЭДС, основанную на экспериментах с простыми цепями и обсуждении энергетических превращений. Использование смартфонов как мобильных мини-лабораторий, описанное в сборнике Дж. Куна и П. Фогта [27], включает эксперименты с магнитным полем соленоида, регистрируемым встроенным магнитометром телефона. Д. Десбьен и соавторы [28] описали демонстрацию закона Фарадея, в которой смартфон с датчиком магнитного поля опускается внутрь катушки, наглядно показывая зависимость ЭДС индукции от скорости изменения потока.

#### *Электромагнитные колебания и волны*

Тема переменного тока и волновой оптики представлена работами, соединяющими классические MBL-системы с микроконтроллерными решениями. К. Луангтонгхам с соавторами [29] сконструировали учебный набор для изучения AC-цепей, состоящий из смартфона как генератора/осциллографа и Arduino для управления частотой; это позволяет обучаемым измерять фазовый сдвиг и строить векторные диаграммы. Классический эксперимент по измерению мощности и эффективных значений в цепи переменного тока с помощью MBL описан в работе Р. Трампера и М. Гельбмана [30]. А. Хачми с соавторами [31] разработали устройство на Arduino для количественного исследования дифракции лазерного излучения с автоматической записью распределения интенсивности, что делает доступным изучение волновой оптики в школах с минимальным бюджетом. А. Суца с соавторами [32] провели масштабное тестирование понимания интерференции и дифракции после стандартных волновых опытов и выявили типичные ошибки учащихся, предложив пути усиления концептуальной составляющей лабораторных работ. М. Монтейро и А. К. Марти [33] продемонстрировали использование камеры смартфона для регистрации интерференционной картины от двух щелей и последующего компьютерного анализа, что превращает любой класс в оптическую лабораторию.

#### *Современные технологии в практикуме*

Особое место занимают работы, непосредственно знакомящие учащихся с принципами передачи информации по лазерному лучу и оптоволокну. Р. Биддик [34] создал лабораторный модуль для 9-х классов, включающий амплитудную модуляцию лазера звуковым сигналом и измерение затухания в оптоволокну. Демонстрационное устройство для имитации спутниковой лазерной связи, описанное в [35], объединяет физику, инженерию и информатику в междисциплинарном STEM-проекте. Программа Калифорнийского университета в Санта-Барбаре [36] предлагает старшеклассникам серию экспериментов по дифракции, поляризации и передаче звука лазерным лучом. лабора-

торная работа с набором Foxu компании Jeulin [37] позволяет изучить модуляцию и демодуляцию цифрового сигнала, влияние помех и расстояния на качество связи. В работе Р. У. Биарда и соавторов [38] описан недорогой приемопередатчик для оптической связи в свободном пространстве на базе Arduino и лазерных диодов, позволяющий передавать текстовые сообщения и анализировать помехоустойчивость канала.

Обобщенные данные о лабораторных работах по электродинамике в старшей школе США представлены в табл. 2.

Таблица 2

### Лабораторные работы по электродинамике в старшей школе США

| Тематический блок                          | Примеры лабораторных работ                                                                                                                                                                                                                                               | Используемые технологии                                                                                          |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электростатика                             | Эксперимент-задачи; изготовление электроскопа, электрофора, лейденской банки, генератора Ван де Граафа; исследование электрических полей в VR; смартфон как электроскоп                                                                                                  | Натурный эксперимент, VR, компьютерное моделирование, смартфон с датчиком освещенности                           |
| Цепи постоянного тока                      | Поиск неисправностей в цепи; лабораторные работы с удаленным доступом; Arduino-проекты по измерению проводимости и закону Ома                                                                                                                                            | Микроконтроллеры, цифровые датчики, удаленные лаборатории                                                        |
| Магнитное поле и электромагнитная индукция | Измерение $e/m$ с помощью старой ЭЛТ; определение магнитной восприимчивости материалов; формирование понятия ЭДС через учебно-методическую последовательность; исследование магнитного поля соленоида смартфоном; демонстрация закона Фарадея с датчиком магнитного поля | Катушки Гельмгольца, аналитические весы, смартфон с магнитометром, цифровые осциллографы, компьютерные симуляции |
| Электромагнитные колебания и волны         | Исследование АС-цепи с Arduino и смартфоном; измерение мощности и эффективных значений с помощью MBL; изучение дифракции лазера на основе Arduino; стандартные волновые оптические эксперименты с анализом ошибок; интерференция с камерой смартфона                     | Микроконтроллеры, MBL, лазеры, цифровые камеры, ПО для анализа изображений, смартфоны                            |
| Современные технологии в практике          | Передача звука по лазерному лучу и оптоволокну; демонстрационная установка спутниковой лазерной связи; передача музыки через лазер; набор для передачи данных лазерным диодом; приемопередатчик для оптической связи на базе Arduino                                     | Лазерные диоды, фотодиоды, оптоволокно, Arduino, микроконтроллеры                                                |

Как следует из проведенного анализа, лабораторный практикум по электродинамике в старшей школе США широко использует цифровые технологии и тесно связан с инженерными приложениями.

На основании сравнительно-сопоставительного анализа можно указать ключевые отличия зарубежного подхода к организации практикума:

1. Активное использование цифровых технологий: VR, микрокомпьютерные лаборатории (MBL), программируемые микроконтроллеры (Arduino, Raspberry Pi) являются стандартным инструментарием.

2. Акцент на дизайн эксперимента: учащиеся не просто воспроизводят заданную схему, но проектируют ее, модифицируют параметры, анализируют погрешности и предлагают оптимизацию.

3. Интеграция лабораторного практикума с теорией: учебно-методические последовательности (TLS) строятся по принципу «от эксперимента – к модели, от модели – к предсказанию, от предсказания – к новому эксперименту».

4. Связь с инженерными приложениями: эксперименты по электронике, робототехнике, телекоммуникациям вводятся уже на уровне старшей школы.

Сравнение российской и американской программ (табл. 3) обнаруживает качественный разрыв именно в технологической составляющей практикума.

Таблица 3

**Сравнение программ по физике для старшей школы: Россия vs США**

| Критерий                        | Россия (углубленный уровень)    | США (AP Physics C/E&M)             |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Объем теории                    | Высокий, фундаментальный подход | Средний, прикладная направленность |
| Количество лабораторных работ   | 10–12 (регламентировано ФРП)    | 16+ (рекомендовано College Board)  |
| Использование цифровых датчиков | Эпизодическое                   | Систематическое                    |
| Программирование в эксперименте | Отсутствует                     | Обязательный компонент             |
| Инженерные проекты              | Не предусмотрены                | Предусмотрены (Capstone Projects)  |
| Анализ данных                   | Вручную                         | Python/Jupyter Notebook, Excel     |

*Современные тенденции науки и технологий в области электродинамики*

Развитие электродинамики в XXI в. определяется несколькими магистральными направлениями, которые должны найти отражение в школьном курсе, особенно в его практической части. Это радиофотоника и оптические методы передачи и обработки информации, обеспечивающие передачу данных со скоростями порядка терабит в секунду; метаматериалы и наноструктурированные среды с заданными электродинамическими свойствами (отрицательный показатель преломления, управляемая дисперсия, что дает возможности для разработки идеальных линз, маскирующих покрытий, компактных антенн), что отмечается, в частности, в работе А. Г. Глущенко и соавторов [39]; квантовые коммуникации и вычисления, основанные на генерации, передаче и детектировании единичных фотонов, квантовое распределение ключей, элементная база кубитов (работа А. В. Курочкина [40]). В обзоре основных технологий беспроводной зарядки (В. О. Шевченко и соавторы [41]) рассмотрены вопросы передачи энергии без проводов: магнитно-резонансная передача энергии, ректенны для микроволнового диапазона, технологии заряда электромобилей на ходу – все это становится частью повседневной жизни.

Выделение этих четырех направлений: радиофотоники, метаматериалов, квантовых коммуникаций и беспроводной передачи энергии – не является чьей-то субъективной оценкой. Этот выбор, по сути, отражает консолидированное мнение российского и мирового научного сообщества, что подтверждается повесткой ключевых научных конференций и стратегическими программами исследований.

Эти направления регулярно фигурируют вместе на ведущих российских научных площадках. Например, на 66-й Всероссийской научной конференции МФТИ (1–6 апреля 2024 г., Москва) в секции «Электродинамика сложных систем и нанофотоники» основными темами были заявлены: «фотоника, метаматериалы, квантовая плазмоника, электродинамика фотонных кристаллов и неупорядоченных систем» [42]. Эта же тематика сохранилась и на 68-й Всероссийской научной конференции МФТИ (апрель 2025 г.) [43], где участники представили результаты исследований «от

фундаментальных вопросов квантовой электродинамики до методов обнаружения минимальных концентраций патогенов с применением гигантского комбинационного рассеяния и машинного обучения».

На Всероссийской конференции по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники «Фотоника-2021» (4–8 октября 2021 г., Новосибирск, ИФП СО РАН) [44] особое внимание было уделено радиофотонике как «новому развивающемуся направлению», а также сенсорике и созданию отечественных фотоэлектронных технологий.

Ключевым подтверждением того, что это направление имеет государственное значение, служит программа «Приоритет-2030». В НИЯУ МИФИ реализуется стратегический проект «Радиофотоника и квантовая сенсорика», направленный на создание интегральных элементов фотоники и наноэлектроники [45]. Важно, что в рамках этого же проекта ведутся исследования терагерцовой фотоники на основе метаматериалов и наноплазмоники [46].

Кроме того, Научный совет РАН «Квантовые технологии» регулярно проводит заседания, посвященные разработке элементной базы квантовых вычислений и коммуникаций. В частности, 17 сентября 2025 г. под председательством президента РАН академика Г. Я. Красникова [47] состоялось заседание, посвященное формированию образовательной экосистемы в сфере квантовых технологий.

Общей чертой всех перечисленных направлений является их прямая связь с процессами генерации, передачи, кодирования и обработки информации, что и должно стать сквозной линией обновленного лабораторного практикума.

### **Методологическая база исследования / Methodological base of the research**

Методологическую основу исследования составляет комплекс взаимодополняющих подходов, обеспечивающих многоаспектный анализ проблемы и обоснованность предлагаемых решений.

1. Системно-аналитический подход применен для сбора, обработки и интерпретации количественных данных, характеризующих динамику интереса старшеклассников к физике. Проанализированы официальные статистические отчеты Рособнадзора за 2014–2025 гг. (абсолютная численность и доля участников ЕГЭ по физике), результаты международных сопоставительных исследований PISA (2015, 2018, 2022 гг.) и TIMSS Advanced (1996, 2015 гг.), а также данные экспертных опросов (ОНФ, ФСО). Это позволило зафиксировать устойчивый нисходящий тренд и перейти от констатации проблемы к выявлению ее причин.

2. Нормативно-правовой анализ использован для сопоставления стратегических документов, определяющих цели физического образования («Концепция преподавания учебного предмета “Физика”», 2019; «Методическое письмо об особенностях преподавания физики в 2023/2024 учебном году»), с документами, регламентирующими его ресурсное обеспечение (Приказы Минпросвещения России № 804 от 06.09.2022 и № 858 от 21.09.2022). Данный метод выявил фундаментальное противоречие между декларируемыми целями достижения технологической независимости и предлагаемым перечнем средств обучения, ориентированным на традиционную модель преподавания.

3. Сравнительно-сопоставительный анализ применен для изучения зарубежного опыта организации лабораторного практикума по электродинамике в старшей школе. Проанализированы публикации в ведущих международных журналах по физическому образованию (Physical Review Physics Education Research, American Journal

of Physics, The Physics Teacher) за 2016–2025 гг. Выделены характерные черты американского подхода (AP Physics C/E&M): систематическое использование цифровых датчиков и микроконтроллеров, обязательные инженерные проекты (Capstone Projects), интеграция виртуальной реальности и компьютерного моделирования. Сопоставление с российской программой углубленного уровня проведено по шести критериям (объем теории, количество лабораторных работ, использование цифровых датчиков, программирование в эксперименте, наличие инженерных проектов, методы анализа данных), что позволило количественно оценить качественный разрыв в технологической составляющей практикума.

4. Контент-анализ научно-педагогических источников использован для выявления ключевых причин снижения интереса к физике. Проанализированы статьи в журналах перечня ВАК (Д. С. Мокляк, Н. С. Пурешева, Г. Н. Гольцман и др.), материалы международных конференций ФССО (2013, 2023 гг.), Всероссийского съезда учителей физики (2023 г.), выступления ректоров ведущих вузов (МФТИ, НИЯУ МИФИ). Это позволило выделить две группы факторов: системные (дефицит учителей, устаревшее содержание) и субъективные (восприятие физики как сложного и оторванного от жизни предмета).

5. Метод педагогического моделирования применен для разработки содержания обновленного лабораторного практикума. На основании выявленных современных тенденций развития электродинамики (радиофотоника, метаматериалы, квантовые коммуникации, беспроводная передача энергии) и анализа зарубежного опыта сконструирована модель факультативного курса «Современная электродинамика: от опыта к технологии» для 10–11-х классов. Модель включает 14 лабораторных работ с указанием типа эксперимента (натурный, виртуальный, виртуально-натурный), связи с современными технологиями, необходимого оборудования и временных затрат. Практикум спроектирован с учетом нормативных ограничений (ФГОС, ФРП) и ресурсных возможностей школ (оборудование центров «Точка роста», «Кванториум»).

6. Проектно-исследовательский подход реализован через включение в итоговую часть практикума самостоятельного инженерного проекта «Умное устройство» на базе Arduino, что обеспечивает формирование у учащихся компетенций, связанных с интернетом вещей (IoT), и отвечает задачам развития инженерного мышления.

Таким образом, комплексное применение перечисленных методов обеспечивает достоверность и обоснованность выводов исследования, а также практическую применимость предложенной модели лабораторного практикума.

## Результаты исследования / Research results

### *Предлагаемое содержание практикума по физике в старшей школе (раздел «Электродинамика»)*

На основании проведенного анализа предлагается модель лабораторного практикума, сочетающая натурный и виртуальный эксперимент и ориентированная на демонстрацию связи классических законов электродинамики с современными технологиями.

Практикум рассчитан на 10–11-е классы, реализуется в рамках факультатива (кружка) «Современная электродинамика: от опыта к технологии» объемом 34 часа в год (1 час в неделю) или 68 часов за два года.

Предлагаемый практикум вписывается в существующую программу следующим образом.

Таблица 4

## Тематическое планирование лабораторного практикума

| №  | Тема                                                                           | Тип эксперимента    | Связь с современными технологиями         | Оборудование                                                                           | Часы |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1  | Закон Кулона: измерение силы взаимодействия заряженных тел                     | Натурный            | Электростатические фильтры, ксерография   | Электромметр, высоковольтный источник, шарики на нитях                                 | 4    |
| 2  | Моделирование электрического поля системы зарядов                              | Виртуальный         | Проектирование электронных линз, ЭЛТ      | PhET-симулятор Charges and Fields                                                      | 4    |
| 3  | Исследование полупроводникового диода и транзистора                            | Виртуально-натурный | Базовая электроника, усилители, ключи     | Макетная плата, диоды, транзисторы, мультиметр, осциллограф. Falstad Circuit Simulator | 4    |
| 4  | Изучение работы операционного усилителя. ЦАП, АЦП                              | Виртуально-натурный | Аналоговая обработка сигналов             | ОУ LM741, резисторы, конденсаторы, генератор, осциллограф                              | 6    |
| 5  | Цифровая модуляция сигнала (ASK, FSK)                                          | Виртуально-натурный | Беспроводная связь, Wi-Fi, Bluetooth      | Arduino/Raspberry Pi, радиомодули, ПО GNU Radio                                        | 6    |
| 6  | Измерение скорости передачи данных по оптоволокну                              | Натурный            | Оптоволоконные линии связи                | Лабораторный комплект «Оптоволокно», лазер, фотодиод, осциллограф                      | 6    |
| 7  | Исследование магнитного поля катушек Гельмгольца                               | Натурный            | МРТ, магнитная сепарация                  | Катушки Гельмгольца, датчик Холла, цифровой регистратор                                | 4    |
| 8  | Изучение явления электромагнитной индукции: генератор переменного тока         | Виртуально-натурный | Электроэнергетика, ветрогенераторы        | Катушка, магнит, светодиод, осциллограф, программное обеспечение                       | 4    |
| 9  | Беспроводная передача энергии на основе магнитного резонанса                   | Натурный            | Зарядка электромобилей, бытовых устройств | Резонансные контуры, генератор, светодиодный индикатор                                 | 6    |
| 10 | Изучение свойств монокристаллических пленок феррит-гранатов, поведение доменов | Виртуально-натурный | Функциональная микроэлектроника           | Экспериментальная установка, программное обеспечение                                   | 4    |
| 11 | Исследование дифракции лазерного излучения на микроструктурах                  | Натурный            | Литография, оптические сенсоры            | Лазерная указка, дифракционные решетки, ПЗС-камера, компьютер                          | 4    |
| 12 | Основы квантовой криптографии: демонстрация протокола BB84                     | Виртуально-натурный | Квантовые коммуникации                    | Оптический стенд с поляризаторами, симулятор QuIDE/Quantum Composer                    | 4    |
| 13 | Исследование ИК и лазерного каналов связи                                      | Натурный            | Оптическая связь                          | Установки для изучения ИК и лазерного каналов связи                                    | 4    |
| 14 | Итоговый проект «Умное устройство» на базе Arduino (датчик + передача данных)  | Проектный           | Интернет вещей (IoT)                      | Arduino, датчики (температуры, освещенности), модуль Bluetooth/Wi-Fi                   | 8    |

В 10-м классе при изучении тем «Электростатика», «Постоянный электрический ток», «Магнитное поле», «Электромагнитная индукция» выполняются лабораторные работы № 1, 2, 3, 4, 7, 8 параллельно с основным курсом.

В 11-м классе при изучении «Электромагнитных колебаний и волн», «Оптики», «Квантовой физики» выполняются работы № 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14.

Факультативный формат позволяет не нарушать утвержденную программу и ФГОС; привлечь мотивированных учащихся, заинтересованных в инженерно-технических направлениях; использовать оборудование, которое может приобретаться школой поэтапно, в том числе за счет грантов и программ «Точка роста», «ИТ-куб», «Кванториум». Часть лабораторного оборудования и программного обеспечения может быть разработана и изготовлена самостоятельно, что описано, например, в работе В. В. Смирнова и соавторов [48].

В заключение вспомним недавно прошедший национальный съезд учебной промышленности «УЧПРОМ-2025». Его центральная идея была о том, что развитие отечественной учебной промышленности является «частью системной работы по обеспечению технологического суверенитета». Его главными участниками и экспертами были «педагоги-практики, которые каждый день работают с детьми». В итогах съезда «Учпром-2025» [49] организаторы подчеркнули, что именно от них была получена «самая честная прикладная экспертиза». Была озвучена идея «динамического вариативного перечня», «инновационного коридора» для новых направлений – от биотеха до связок «физика + робототехника + ИИ» [50].

Авторы статьи относят предложенный практикум к такому «вариативному перечню», который при сохранении общей направленности может быть дополнен или изменен в соответствии с конкретными условиями учебного заведения.

## Заключение / Conclusion

1. Статистические данные ЕГЭ, результаты международных исследований PISA и TIMSS, а также экспертные оценки однозначно свидетельствуют об устойчивом спаде интереса старшеклассников к физике. Абсолютное число сдающих ЕГЭ по физике сократилось более чем в два раза: с 207 тыс. в 2014 г. до примерно 90 тыс. в 2023–2025 гг. Доля выбравших физику также уменьшилась почти в два раза.

2. Ключевыми причинами спада являются острый дефицит учителей физики (неукомплектованность оценивается в 22,4%) и консервация содержания учебного курса, воспринимаемого учащимися как оторванного от жизни. Концептуальные документы (Концепция-2019, Методическое письмо) декларируют цели достижения технологической независимости и развития инженерного мышления, однако приказы № 804 и № 858 ориентируют школы на учебное оборудование и учебники, не соответствующие этим целям.

3. Раздел «Электродинамика» в старшей школе за последние 30 лет претерпел минимальные изменения. Лабораторный практикум остается «музейным» и не отражает современных технологических реалий – цифровой обработки сигналов, современных способов связи, беспроводной передачи энергии, полупроводниковой электроники.

4. Зарубежный опыт, отраженный в публикациях журналов Physical Review Physics Education Research (PRPER), American Journal of Physics (AJP) и The Physics Teacher (TPT), демонстрирует системное использование виртуальной реальности, микрокомпьютерных лабораторий, программируемых микроконтроллеров и проектных методов в лабораторном практикуме уже на уровне старшей школы.

5. Предложенный в статье лабораторный практикум, интегрирующий натуральный и виртуальный эксперимент, позволяет продемонстрировать связь изучаемых законов с актуальными технологическими трендами (радиофотоника, метаматериалы, квантовые коммуникации, IoT) и может быть реализован как в рамках существующей программы, так и в формате факультатива.

Дальнейшая работа предполагает апробацию предложенного практикума в реальных условиях общеобразовательной школы и оценку его влияния на мотивацию учащихся к изучению физики.

### Ссылки на источники / References

1. Пурешева Н. С., Исаев Д. А. Актуальные проблемы школьного физического образования в Российской Федерации // Педагогическое образование в России. – 2020. – № 6. – С. 8–15.
2. Заседание Совета по науке и образованию // Президент России: сайт. – 8 февраля 2024 г. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/73407>
3. Мокляк Д. С. Изучение причин снижения познавательного интереса к физике у обучающихся школ и вузов // Преподаватель XXI век. – 2021. – № 2-1. – С. 86–93.
4. Ректор НИЯУ МИФИ рассказал о снижении числа школьников, выбирающих ЕГЭ по физике // Российский Союз ректоров: сайт. – 29 февраля 2024 г. – URL: <https://rsr-online.ru/news/2024/2/29/rektor-niyau-mifi-rasskazal-o-snizhenii-chisla-shkolnikov-vybirayushih-ege-po-fizike/>
5. Пурешева Н. С. Концепция содержания физического образования в современной средней школе // Физика в системе современного образования (ФССО-2023): материалы XVII Международной конференции. – СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. – С. 41–48.
6. Гольцман Г. Н., Чулкова Г. М., Адамский А. И. Новая физика – система общего образования на основе экспериментальной деятельности учащихся с максимальным использованием высоких технологий // Физика в системе современного образования (ФССО-2023): материалы XVII Международной конференции. – СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2023. – С. 12–20.
7. Пурешева Н. С., Гольцман Г. Н., Львовский В. А. и др. Экспериментальная деятельность учащихся – основа обучения физике в современной школе: монография. – М.: Прометей, 2024. – 232 с.
8. Концепция преподавания учебного предмета «Физика» в образовательных организациях Российской Федерации (утв. решением Коллегии Минпросвещения РФ, протокол от 03.12.2019 № ПК-4вн) // Министерство науки Российской Федерации: сайт. – 03 декабря 2019 г. – URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/60b620e25e4db7214971c16f6b813b0d/>
9. Методическое письмо об особенностях преподавания физики в 2023/2024 учебном году // Крымский республиканский институт постдипломного педагогического образования: сайт. – URL: <https://krippo.ru/files/metod2024/1508/phis.docx>
10. Приказ Министерства просвещения РФ от 6 сентября 2022 г. № 804 «Об утверждении перечня средств обучения и воспитания, соответствующих современным условиям обучения, необходимых при оснащении общеобразовательных организаций в целях реализации мероприятий государственной программы Российской Федерации "Развитие образования", направленных на содействие созданию (создание) в субъектах Российской Федерации новых (дополнительных) мест в общеобразовательных организациях, модернизацию инфраструктуры общего образования, школьных систем образования, критериев его формирования и требований к функциональному оснащению ...» (с изменениями и дополнениями) // Гарант: сайт. – 25 октября 2022 г. – URL: <https://base.garant.ru/405447139/>
11. Приказ Минпросвещения России от 21.09.2022 № 858 «Об утверждении федерального перечня учебников...» (зарегистрировано в Минюсте России 01.11.2022 № 70799) // Официальный интернет-портал правовой информации: сайт. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211010045>
12. Перышкин А. В. Физика. 10 класс: учебник. – М.: Просвещение, 2012. – 368 с.
13. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. Физика. 11 класс: базовый и углубленный уровни: учебник / под ред. Н. А. Парфентьевой. – 13-е изд., стер. – М.: Просвещение, 2025. – 432 с.
14. Касьянов В. А. Физика. 11 класс. Углубленный уровень: учебник. – М.: Просвещение, 2026. – 493 с.
15. Holmes N. G., Lewandowski H. J. Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America // Physical Review Physics Education Research. – 2020. – Vol. 16. – P. 020162.
16. Juliatto H. M., de Assis Martins M., Kusman M. et al. Low-cost experiments for teaching electrostatics in Brazilian high school // Physics Education. – 2024. – Vol. 59, art. 025007. – 14 p. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/378005473\\_Low-cost\\_experiments\\_for\\_teaching\\_eletrstatics\\_in\\_Brazilian\\_high\\_school](https://www.researchgate.net/publication/378005473_Low-cost_experiments_for_teaching_eletrstatics_in_Brazilian_high_school)

17. Foong S. K., Lim C. H. Determining the charge-to-mass ratio of the electron using old TVs: A low-cost approach // American Journal of Physics. – 2025. – Vol. 93, no. 7. – P. 574–580.
18. Porter C. D., Smith J. R. H., Stetzer M. R. Using virtual reality in electrostatics instruction: The impact of training // Physical Review Physics Education Research. – 2020. – Vol. 16. – P. 020119.
19. Wagoner K., Flanagan D. Experiment problems for electricity and magnetism // The Physics Teacher. – 2019. – Vol. 57, no. 5. – P. 330–333.
20. Barbara S. et al. Smartphone-based electroscope for quantitative charge measurement // The Physics Teacher. – 2021. – Vol. 59, no. 3. – P. 178–181.
21. Holmes N. G., Wieman C. E. Investigating the role of model-based reasoning while troubleshooting an electric circuit // Physical Review Physics Education Research. – 2016. – Vol. 12, no. 1. – P. 010120.
22. Santos A. L. S., Castro J. A. Análise Experimental de Circuitos Elétricos a Partir de Atividades Presenciais e Controladas Remotamente // Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias. – 2023. – Vol. 18, no. 3. – P. 450–463.
23. Schnider D., Hömöstrei M Classroom experimentation – Arduino projects to teach electromagnetism // 2024 J. Phys.: Conf. Ser. 2693 012015. – URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2693/1/012015>
24. Chen F. et al. Arduino-based DC circuits laboratory for inquiry learning // Physics Education. – 2020. – Vol. 55, no. 4. – P. 045002.
25. Moloney M. J., Breiland W. G. Determining magnetic susceptibilities of everyday materials using an electronic balance // American Journal of Physics. – 2017. – Vol. 85, no. 5. – P. 327–332.
26. Zuza K., De Cock M., van Kampen P. et al. Guiding students towards an understanding of the electromotive force concept through a teaching-learning sequence // Physical Review Physics Education Research. – 2020. – Vol. 16. – P. 020110.
27. Smartphones as Mobile Minilabs in Physics / eds. by J. Kuhn, P. Vogt. – Cham: Springer, 2022. – 395 p.
28. Desbien D. D. et al. Demonstrating Faraday's law with a smartphone magnetometer // The Physics Teacher. – 2017. – Vol. 55, no. 6. – P. 386–387.
29. Luangthongkam K., Krittinatham W., Unai S. The smartphone and low-cost microcontroller as an AC circuit study kit for high school // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2431. – P. 012032. – DOI: 10.1088/1742-6596/2431/1/012032.
30. Trumper R., Gelbman M. Investigating power, work and effective values in an AC resistive circuit through a micro-computer-based laboratory // Physics Education. – 1997. – Vol. 32, no. 6. – P. 408–414. – DOI: 10.1088/0031-9120/32/6/015.
31. Hachmi A., El Hadi M., Essaadaoui R. et al. Development of an educational device, based on Arduino, to facilitate the understanding of light diffraction // Physics Education. – 2022. – Vol. 57, no. 4. – P. 045032.
32. Susac A., Planinic M., Bubic A. et al. Probing high school students' understanding of interference and diffraction of light using standard wave optics experiments // Physical Review Physics Education Research. – 2023. – Vol. 19. – P. 020125.
33. Monteiro M., Marti A. C. Using smartphone cameras to study light interference // The Physics Teacher. – 2020. – Vol. 58, no. 5. – P. 320–323.
34. Biddick R. Laser Communications and Fiber Optics Lab Manual // SearchURSUS: сайт. – URL: <https://searchursus.maine.edu/record/99761033308>
35. Демонстрационное устройство для передачи изображений по спутниковой лазерной связи, основанное на принципах междисциплинарного обучения в начальной и средней школе // 科普中国: сайт. – URL: <https://cloud.kepuchina.cn/article/details?articleid=3765>
36. Physics of Lasers & Light Class for Highschoolers // UCSB Institute for Photonics and Electronics: сайт. – URL: <https://ips.ece.ucsb.edu/education/lasers-for-highschool/>
37. TP – Data transmission by laser diode with Foxy // Jeulin: сайт. – URL: [https://jeulin.com/jeulin\\_en/telechargement/detail/897025.html](https://jeulin.com/jeulin_en/telechargement/detail/897025.html)
38. Byard R. W. et al. A low-cost free-space optical communication system for teaching // American Journal of Physics. – 2019. – Vol. 87, no. 8. – P. 644–649.
39. Глущенко А. Г., Глущенко Е. П. Использование метаматериалов для управления скоростью распространения света в оптических структурах // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 2. – С. 202–207. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-2-202-207, EDN: YLNLVJ.
40. Курочкин Ю. В. Развитие квантовых коммуникаций // Квантовая электроника. – 2020. – Т. 50, № 5. – С. 425. – URL: <https://quantum-electron.lebedev.ru/wp-content/uploads/2020/05/0425.pdf>
41. Шевченко В. О., Пахалюк Б. П., Гусев О. О. Обзор основных технологий беспроводной зарядки накопителей энергии для маломощных систем // Ural Radio Engineering Journal. – 2021. – Vol. 5, no. 1. – P. 7–20. – DOI: 10.15826/urej.2021.5.1.001. – URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/99116/1/urej-2021-1-01.pdf>
42. 66-я Всероссийская научная конференция МФТИ. Секция электродинамики сложных систем и нанофотоники // МФТИ: сайт. – URL: [https://lk.starttoinnovate.ru/event/4828/conference/view\\_division/3227603](https://lk.starttoinnovate.ru/event/4828/conference/view_division/3227603)
43. Состоялось заседание секции Электродинамики сложных систем и нанофотоники в рамках 68-й Всероссийской научной конференции МФТИ // News. – 2025. – URL: <https://myseldon.com/ru/news/index/344416059>

44. «Фотоника-2021» в ИФП СО РАН // Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН: сайт. – 2021. – URL: [https://www.isp.nsc.ru/sobytiya/novosti?id=3100&option=com\\_content&task=view](https://www.isp.nsc.ru/sobytiya/novosti?id=3100&option=com_content&task=view)
  45. Новая компьютерная программа поможет в создании нового поколения связи // Приоритет – 2030. НИЯУ МИФИ: сайт. – 2026. – URL: <https://priority2030.mephi.ru/node/320>
  46. Большой интерес к результатам научных исследований в ИНТЭЛ НИЯУ МИФИ // НИЯУ МИФИ: сайт. – 2024. – URL: <https://nespi.mephi.ru/press/news/18683>
  47. В РАН обсудили формирование образовательной экосистемы в сфере квантовых технологий // Российская академия наук: сайт. – 2025. – URL: <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=c66cefa8-e5e1-4e76-b1a3-279cf5898ed5>
  48. Смирнов В. В., Погожева А. Б., Алыкова О. М. Установка для изучения лазерного канала связи // XV Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сб. науч. тр. – М.: НИЯУ МИФИ, 2026. – С. 548.
  49. Итоги Съезда «УЧПРОМ-2025»: курс на «дорожную карту» развития учебной промышленности // Национальный съезд учебной промышленности: сайт. – 2025. – URL: <https://prom4edu.ru/tpost/d9ipal3811-itogi-sezda-uchprom-2025-kurs-na-dorozhn>
  50. Национальный съезд учебной промышленности «УЧПРОМ»: сайт. – URL: <https://prom4edu.ru/>
- 
1. Purysheva, N. S., & Isaev, D. A. (2020). «Aktual'nye problemy shkol'nogo fizicheskogo obrazovaniya v Rossijskoj Federacii» [Current Issues in School Physics Education in the Russian Federation], *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*, № 6, pp. 8–15 (in Russian).
  2. “Zasedanie Soveta po nauke i obrazovaniyu” [Meeting of the Council for Science and Education], *Prezident Rossii: sayt*, 8 fevralya 2024 g. Available at: <http://kremlin.ru/events/president/news/73407> (in Russian).
  3. Moklyak, D. S. (2021). “Izuchenie prichin snizheniya poznavatel'nogo interesa k fizike u obuchayushchihsya shkol i vuzov” [Studying the causes of the decline in cognitive interest in physics among school and university students], *Prepodavatel' XXI vek*, № 2-1, pp. 86–93 (in Russian).
  4. “Rektor NIYaU MIFI rasskazal o snizhenii chisla shkol'nikov, vybirayushchih EGE po fizike” [The Rector of NRNU MEPhI discussed the decline in the number of school students choosing the Unified State Exam in physics], *Rossijskij Soyuz rektorov: sayt*, 29 fevralya 2024 g. Available at: <https://rsr-online.ru/news/2024/2/29/rektor-niyau-mifi-rasskazal-o-snizhenii-chisla-shkolnikov-vybirayushih-ege-po-fizike/> (in Russian).
  5. Purysheva, N. S. (2023). “Konceptiya soderzhaniya fizicheskogo obrazovaniya v sovremennoj srednej shkole” [The Concept of the Content of Physical Education in the Modern Secondary School], *Fizika v sisteme sovremennogo obrazovaniya (FSSO-2023): materialy XVII Mezhdunarodnoj konferencii*, St. Petersburg RGPU im. A. I. Gercena, pp. 41–48 (in Russian).
  6. Gol'cman, G. N., Chulkova, G. M., & Adamskij, A. I. (2023). “Novaya fizika – sistema obshchego obrazovaniya na osnove eksperimental'noj deyatel'nosti uchashchihsya s maksimal'nym ispol'zovaniem vysokih tekhnologij” [New Physics: a general education system based on student experimental work that makes maximum use of high technologies.], *Fizika v sisteme sovremennogo obrazovaniya (FSSO-2023): materialy XVII Mezhdunarodnoj konferencii*, RGPU im. A. I. Gercena, St. Petersburg, pp. 12–20 (in Russian).
  7. Purysheva, N. S., Gol'cman, G. N., L'vovskij, V. A. et al. (2024). *Eksperimental'naya deyatel'nost' uchashchihsya – osnova obucheniya fizike v sovremennoj shkole* [Student research activity: the foundation of physics instruction in the modern school]: monografiya, Prometej, Moscow, 232 p. (in Russian).
  8. “Konceptiya prepodavaniya uchebnogo predmeta “Fizika” v obrazovatel'nyh organizacijah Rossijskoj Federacii [Concept for Teaching the Subject “Physics” in Educational Organizations of the Russian Federation] (utv. resheniem Kollegii Minprosveshcheniya RF, protokol ot 03.12.2019 № PK-4vn)”, *Ministerstvo nauki Rossijskoj Federacii: sayt*, 03 dekabrya 2019 g. Available at: <https://docs.edu.gov.ru/document/60b620e25e4db7214971c16f6b813b0d/> (in Russian).
  9. “Metodicheskoe pis'mo ob osobennostyah prepodavaniya fiziki v 2023/2024 uchebnom godu” [Methodological letter on the specifics of teaching physics in the 2023/2024 academic year], *Krymskij res-publikanskij institut postdiplomnogo pedagogicheskogo obrazovaniya: sayt*. Available at: <https://krippa.ru/files/metod2024/1508/phis.docx> (in Russian).
  10. “Prikaz Ministerstva prosveshcheniya RF ot 6 sentyabrya 2022 g. № 804 “Ob utverzhdenii perechnya sredstv obucheniya i vospitaniya, sootvetstvuyushchih sovremennym usloviyam obucheniya, neobhodimyh pri osnashchenii obshcheobrazovatel'nyh organizacij v celyah realizacii meropriyatij gosudarstvennoj programmy Rossijskoj Federacii “Razvitie obrazovaniya”, napravlennyh na sodejstvie sozdaniyu (sozdanie) v sub"ektah Rossijskoj Federacii novyh (dopolnitel'nyh) mest v obshcheobrazovatel'nyh organizacijah, modernizaciyu infrastruktury obshchego obrazovaniya, shkol'nyh sistem obrazovaniya, kriteriev ego formirovaniya i trebovanij k funkcional'nomu osnashcheniyu ...” [Order of the Ministry of Education of the Russian Federation No. 804 dated September 6, 2022, “On Approving the List of Teaching and Educational Aids Meeting Modern Learning Conditions Required for Equipping General Education Organizations to Implement Measures under the ‘Development of Education’ State Program of the Russian Federation Aimed at Facilitating the Creation of New (Additional) Places in General Education Organizations within Constituent Entities of the Russian Federation and Modernizing General Education Infrastructure

- and School Education Systems, as well as Criteria for Compiling Said List and Requirements for Functional Equipment..." (s izmeneniyami i dopolneniyami), *Garant: sajt*, 25 oktyabrya 2022 g. Available at: <https://base.garant.ru/405447139/> (in Russian).
11. "Prikaz Minprosveshcheniya Rossii ot 21.09.2022 № 858 "Ob utverzhdenii federal'nogo perechnya učebnikov..." [Order of the Ministry of Education of Russia No. 858 dated September 21, 2022, "On Approval of the Federal List of Textbooks..."] (zaregistrirovano v Minyuste Rossii 01.11.2022 № 70799)", *Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii: sajt*. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211010045> (in Russian).
12. Peryshkin, A. V. (2012). *Fizika. 10 klass: učebnik* [Physics. Grade 10: Textbook], Prosveshchenie, Moscow, 368 p. (in Russian).
13. Myakishev, G. Ya., Buhovcev, B. B., & Charugin, V. M. (2025). *Fizika. 11 klass: bazovyy i uglublennyj urovni: učebnik* [Physics. Grade 11: Basic and Advanced Levels: Textbook], 13-e izd., ster, Prosveshchenie, Moscow, 432 p. (in Russian).
14. Kas'yanov, V. A. (2026). *Fizika. 11 klass. Uglublennyj uroven': učebnik* [Physics. Grade 11. Advanced Level: Textbook], Prosveshchenie, Moscow, 493 p. (in Russian).
15. Holmes, N. G., & Lewandowski, H. J. (2020). "Investigating the landscape of physics laboratory instruction across North America", *Physical Review Physics Education Research*, vol. 16, p. 020162 (in English).
16. Juliatto, H. M., de Assis Martins, M., Kusman, M. et al. (2024). "Low-cost experiments for teaching electrostatics in Brazilian high school", *Physics Education*, vol. 59, art. 025007, 14 p. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/378005473\\_Low-cost\\_experiments\\_for\\_teaching\\_eletrorstatics\\_in\\_Brazilian\\_high\\_school](https://www.researchgate.net/publication/378005473_Low-cost_experiments_for_teaching_eletrorstatics_in_Brazilian_high_school) (in English).
17. Foong, S. K., & Lim, C. H. (2025). "Determining the charge-to-mass ratio of the electron using old TVs: A low-cost approach", *American Journal of Physics*, vol. 93, no. 7, pp. 574–580 (in English).
18. Porter, C. D., Smith, J. R. H., & Stetzer, M. R. (2020). "Using virtual reality in electrostatics instruction: The impact of training", *Physical Review Physics Education Research*, vol. 16, p. 020119 (in English).
19. Wagoner, K., & Flanagan, D. (2019). "Experiment problems for electricity and magnetism", *The Physics Teacher*, vol. 57, no. 5, pp. 330–333 (in English).
20. Barbara, S. et al. (2021). "Smartphone-based electroscope for quantitative charge measurement", *The Physics Teacher*, vol. 59, no. 3, pp. 178–181 (in English).
21. Holmes, N. G., & Wieman, C. E. (2016). "Investigating the role of model-based reasoning while troubleshooting an electric circuit", *Physical Review Physics Education Research*, vol. 12, no. 1, p. 010120 (in English).
22. Santos, A. L. S., & Castro, J. A. (2023). "Análise Experimental de Circuitos Elétricos a Partir de Atividades Presenciais e Controladas Remotamente" [Experimental Analysis of Electric Circuits Based on In-Person and Remotely Controlled Activities], *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, vol. 18, no. 3, pp. 450–463 (in Portuguese).
23. Schnider, D., & Hömöstreij, M. (2024). "Classroom experimentation – Arduino projects to teach electromagnetism", *2024 J. Phys.: Conf. Ser.* 2693 012015. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2693/1/012015> (in English).
24. Chen, F. et al. (2020). "Arduino-based DC circuits laboratory for inquiry learning", *Physics Education*, vol. 55, no. 4, p. 045002 (in English).
25. Moloney, M. J., & Breiland, W. G. (2017). "Determining magnetic susceptibilities of everyday materials using an electronic balance", *American Journal of Physics*, vol. 85, no. 5, pp. 327–332 (in English).
26. Zuza, K., De Cock, M., van Kampen, P. et al. (2020). "Guiding students towards an understanding of the electromotive force concept through a teaching-learning sequence", *Physical Review Physics Education Research*, vol. 16, p. 020110 (in English).
27. Kuhn, J., & Vogt, P. (eds.) (2022). *Smartphones as Mobile Minilabs in Physics*, Springer, Cham, 395 p. (in English).
28. Desbien, D. D. et al. (2017). "Demonstrating Faraday's law with a smartphone magnetometer", *The Physics Teacher*, vol. 55, no. 6, pp. 386–387 (in English).
29. Luangthongkham, K., Krittinatham, W., & Unai, S. (2023). "The smartphone and low-cost microcontroller as an AC circuit study kit for high school", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2431, p. 012032. DOI: 10.1088/1742-6596/2431/1/012032 (in English).
30. Trumper, R., & Gelbman, M. (1997). "Investigating power, work and effective values in an AC resistive circuit through a micro-computer-based laboratory", *Physics Education*, vol. 32, no. 6, pp. 408–414. DOI: 10.1088/0031-9120/32/6/015 (in English).
31. Hachmi, A., El Hadi, M., Essaadaoui, R. et al. (2022). "Development of an educational device, based on Arduino, to facilitate the understanding of light diffraction", *Physics Education*, vol. 57, no. 4, p. 045032 (in English).
32. Susac, A., Planinic, M., Bubic, A. et al. (2023). "Probing high school students' understanding of interference and diffraction of light using standard wave optics experiments", *Physical Review Physics Education Research*, vol. 19, p. 020125 (in English).
33. Monteiro, M., & Marti, A. C. (2020). "Using smartphone cameras to study light interference", *The Physics Teacher*, vol. 58, no. 5, pp. 320–323 (in English).

34. Biddick, R. "Laser Communications and Fiber Optics Lab Manual", *SearchURSUS: sajt*. Available at: <https://searchursus.maine.edu/record/99761033308> (in English).
35. Demonstrationnoe ustrojstvo dlya peredachi izobrazhenij po sputnikovoj lazernoj svyazi, osnovannoe na principah mezhdisciplinarnogo obucheniya v nachal'noj i srednej shkole [A demonstration device for satellite laser image transmission, based on interdisciplinary learning principles for primary and secondary schools], *科普中国: sajt*. Available at: <https://cloud.kepuchina.cn/article/details?articleid=3765> (in Chinese).
36. "Physics of Lasers & Light Class for Highschoolers", *UCSB Institute for Photonics and Electronics: sajt*. Available at: <https://ips.ece.ucsb.edu/education/lasers-for-highschool/> (in English).
37. "TP – Data transmission by laser diode with Foxy", *Jeulin: sajt*. Available at: [https://jeulin.com/jeulin\\_en/telechargement/detail/897025.html](https://jeulin.com/jeulin_en/telechargement/detail/897025.html) (in English).
38. Byard, R. W. et al. (2019). "A low-cost free-space optical communication system for teaching", *American Journal of Physics*, vol. 87, no. 8, pp. 644–649 (in English).
39. Glushchenko, A. G., & Glushchenko, E. P. (2017). "Isolzovanie metamaterialov dlya upravleniya skorost'yu rasprostraneniya sveta v opticheskikh strukturah" [Use of metamaterials to control the speed of light propagation in optical structures], *Komp'yuternaya optika*, t. 41, № 2, pp. 202–207. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-2-202-207. EDN: YLNLVJ (in Russian).
40. Kurochkin, Yu. V. (2020). "Razvitie kvantovykh kommunikacij" [Development of quantum communications], *Kvantovaya elektronika*, t. 50, № 5, p. 425. Available at: <https://quantum-electron.lebedev.ru/wp-content/uploads/2020/05/0425.pdf> (in Russian).
41. Shevchenko, V. O., Pahalyuk, B. P., & Gusev, O. O. (2021). "Obzor osnovnykh tekhnologij besprovodnoj zaryadki napolnителей energii dlya malomoshchnykh sistem" [Overview of Key Wireless Charging Technologies for Low-Power Energy Storage Systems], *Ural Radio Engineering Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 7–20. DOI: 10.15826/urej.2021.5.1.001. Available at: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/99116/1/urej-2021-1-01.pdf> (in Russian).
42. "66-ya Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya MFTI. Sekciya elektrodinamiki slozhnykh sistem i nanofotoniki" [66th MIPT All-Russian Scientific Conference. Section on Electrodynamics of Complex Systems and Nanophotonics], *MFTI: sajt*. Available at: [https://lk.starttoinnovate.ru/event/4828/conference/view\\_division/3227603](https://lk.starttoinnovate.ru/event/4828/conference/view_division/3227603) (in Russian).
43. (2025). "Sostoyalos' zasedanie sekcii Elektrodinamiki slozhnykh sistem i nanofotoniki v ramkah 68-j Vserossiyskoj nauchnoj konferencii MFTI" [A meeting of the Electrodynamics of Complex Systems and Nanophotonics section took place as part of the 68th MIPT All-Russian Scientific Conference], *News*. Available at: <https://myseldon.com/ru/news/index/344416059> (in Russian).
44. (2021). "Fotonika-2021" v IFP SO RAN" ["Photonics-2021" at the ISP SB RAS], *Institut fiziki poluprovodnikov im. A. V. Rzhanova SO RAN: sajt*. Available at: [https://www.isp.nsc.ru/sobytiya/novosti?id=3100&option=com\\_content&task=view](https://www.isp.nsc.ru/sobytiya/novosti?id=3100&option=com_content&task=view) (in Russian).
45. (2026). "Novaya komp'yuternaya programma pomozhet v sozdanii novogo pokoleniya svyazi" [A new computer program will help create a new generation of communications], *Prioritet – 2030. NIYaU MIFI: sajt*. Available at: <https://priority2030.mephi.ru/node/320> (in Russian).
46. (2024). "Bol'shoj interes k rezul'tatam nauchnykh issledovaniy v INTEL NIYaU MIFI" [Great interest in the scientific research results at INTEL NRNU MEPhI], *NIYaU MIFI: sajt*. Available at: <https://nespi.mephi.ru/press/news/18683> (in Russian).
47. (2025). "V RAN obsudili formirovanie obrazovatel'noj ekosistemy v sfere kvantovykh tekhnologij" [The development of an educational ecosystem in the field of quantum technologies was discussed at the Russian Academy of Sciences], *Rossiyskaya akademiya nauk: sajt*. Available at: <https://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=c66cefa8-e5e1-4e76-b1a3-279cf5898ed5> (in Russian).
48. Smirnov, V. V., Pogozheva, A. B., & Alykova, O. M. (2026). "Ustanovka dlya izucheniya lazernogo kanala svyazi" [A device for studying a laser communication channel], *XV Mezhdunarodnaya konferenciya po fotonike i informacionnoj optike: sb. nauch. tr.*, NIYaU MIFI, Moscow, p. 548 (in Russian).
49. (2025). "Itogi S"ezda "UCHPROM-2025": kurs na "dorozhnyu kartu" razvitiya uchebnoj promyshlennosti" [Outcomes of the "UCHPROM-2025" Congress: Setting a Course for the Educational Industry Development Roadmap], *Nacional'nyj s"ezd uchebnoj promyshlennosti: sajt*. Available at: <https://prom4edu.ru/tpost/d9ipal3811-itogis-ezda-uchprom-2025-kurs-na-dorozhn> (in Russian).
50. *Nacional'nyj s"ezd uchebnoj promyshlennosti "UCHPROM": sajt ["UCHPROM" National Educational Industry Congress: website]*. Available at: <https://prom4edu.ru/> (in Russian).

#### Вклад авторов

В. В. Смирнов – постановка задачи, подготовка содержания, разработка логики статьи.

А. Б. Погожева – поиск информации и ее статистическая обработка, разработка содержания практикума.

#### Contribution of the authors

V. V. Smirnov — setting the task, preparing the content, developing the logic of the article.

A. B. Pogozheva — searching for information and its statistical processing, developing the content of the workshop.