

Обзорная статья
УДК 378.147.88
DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1299

Inna Mikhailovna Zentsova
 Candidate of Pedagogy,
 Associate Professor of the Department of General Scientific Disciplines,
 Bereznikovsky Branch
 of Perm National Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 imzencova@mail.ru

Galina Raskatovna Chaynikova
 Candidate of Pedagogy,
 Associate Professor of the Department of General Scientific Disciplines,
 Bereznikovsky Branch
 of Perm National Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 galinatsch@mail.ru

Aleksei Albertovich Mamaev
 2nd-year student, field of training 09.03.01 —
 Computer science and engineering,
 Berezniki Branch
 of Perm National Research Polytechnic University
 Berezniki, Russian Federation
 aleksejmamaev849@gmail.com

Инна Михайловна Зенцова
 канд. пед. наук,
 доцент кафедры общенаучных дисциплин,
 Березниковский филиал Пермского национального
 исследовательского политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 imzencova@mail.ru

Галина Раскатовна Чайникова
 канд. пед. наук,
 доцент кафедры общенаучных дисциплин,
 Березниковский филиал Пермского национального
 исследовательского политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 galinatsch@mail.ru

Алексей Альбертович Мамаев
 студент II курса, направление подготовки 09.03.01 —
 Информатика и вычислительная техника,
 Березниковский филиал Пермского национального
 исследовательского политехнического университета
 Березники, Российская Федерация
 aleksejmamaev849@gmail.com

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ВЫСШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

5.8.2 — Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования)

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проведения лабораторных работ при изучении интерференции в высших технических учебных заведениях. Применение новых информационных технологий, в частности компьютерных моделей, при проведении лабораторных работ по физике в высшей школе является одним из значимых направлений в области методики обучения физике. Анализ отечественных и зарубежных исследований показал, что сочетание натурального и виртуального проведения лабораторных работ по оптике является важным, но недостаточно разработанным направлением. Актуальность исследования обусловлена противоречием между потребностью оптимального внедрения новых информационных технологий в проведение лабораторных работ по интерференции в высших технических учебных заведениях и необходимостью выявления способов сочетания виртуальных лабораторных работ с традиционным проведением лабораторных работ на натуральных установках.

В статье определена методика проведения лабораторных работ при изучении интерференции в высшем техническом учебном заведении, включающая в себя три этапа: подгото-

вительный, основной и заключительный. Исследуются варианты применения компьютерных моделей на лабораторных работах при изучении интерференции. Увеличение количества компьютерных моделей для лабораторных работ по интерференции возможно благодаря привлечению к разработке и созданию данных моделей студентов высшей школы, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника».

В статье определены перспективные направления в области оптимального сочетания натуральных и виртуальных экспериментальных исследований. Методика проведения лабораторных работ при изучении интерференции в высших технических учебных заведениях может быть интересна преподавателям физики вузов, а также учителям физики в школе для осуществления преемственности между школой и техническим вузом.

Ключевые слова: общая физика, методика обучения физике, лабораторная работа, лабораторная установка, физический эксперимент, web-лаборатория, виртуальный аналог лабораторной работы, компьютерная модель, интерференция, кольца Ньютона

Для цитирования: Зенцова И. М., Чайникова Г. Р., Мамаев А. А. Методика проведения лабораторных работ при изучении интерференции в высших технических учебных заведениях // Бизнес. Образование. Право. 2025. № 2(71). С. 413—418. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1299.

Review article

METHODOLOGY OF LABORATORY WORKS IN THE STUDY OF INTERFERENCE AT TECHNICAL UNIVERSITIES

5.8.2 — Theory and methodology of training and education (by areas and levels of education)

Abstract. The article discusses the specifics of conducting laboratory works in the study of interference at technical universities. The use of new information technologies, in particu-

lar, computer models, in conducting laboratory works on physics in higher education is one of the significant directions in the field of teaching methods of physics. An analysis of domestic

and foreign studies has shown that the combination of full-scale and virtual laboratory works in optics is an important area, but insufficiently developed. The relevance of the research is due to the contradiction between the need for optimal implementation of new information technologies in conducting interference laboratory works at technical universities and the need to identify ways to combine virtual laboratory works with traditional laboratory works on full-scale setups.

The article defines the methodology of laboratory works in the study of interference at a technical university, which includes three stages: preparatory, basic and final. The options for using computer models in laboratory works in the study of interference are investigated. An increase in the number of computer models for

laboratory works on interference is possible due to the involvement of university students studying in the field of Computer Science and Engineering in the development and creation of these models.

The article identifies promising areas in the field of optimal combination of full-scale and virtual experimental research. The methodology of laboratory works in the study of interference at technical universities may be of interest to university physics teachers, as well as physics teachers at school, to ensure continuity between the school and the technical university.

Keywords: general physics, methods of teaching physics, laboratory work, laboratory setup, physical experiment, web laboratory, virtual analog of laboratory work, computer model, interference, Newton's rings

For citation: Zentsova I. M., Chaynikova G. R., Mamaev A. A. Methodology of laboratory works in the study of interference at technical universities. *Biznes. Obrazovanie. Pravo* = *Business. Education. Law*. 2025;2(71):413—418. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1299.

Введение

Актуальность. Проведение лабораторных работ по физике позволит обеспечить получения студентами качественного высшего образования в технических вузах. В связи с постоянным развитием информационных технологий необходим их учет при проведении лабораторных работ по физике. В связи с этим следует использовать уже имеющиеся оборудование, комбинировать его с беспроводными и классическими датчиками, а также находить готовые виртуальные модели и разрабатывать новые варианты компьютерных моделей. Раздел «Оптика» является одним из значимых в курсе физики, поэтому целесообразно рассмотреть способы сочетания работы с лабораторными установками и с компьютерными моделями. Среди всех тем, освещаемых в разделе «Оптика», по теме «Интерференция световых волн» практически всегда проводятся лабораторные работы.

Изученность проблемы. Проблеме организации лабораторных работ по интерференции посвящено достаточно много исследований. Среди данных публикаций следует выделить труды М. С. Ивановой и Д. И. Михайлина [1], Е. И. Вараксиной, В. В. Майера, Е. С. Мамаевой [2], А. Н. Максимовой с соавторами [3], В. К. Мухина [4], В. П. Шамоты и В. Е. Казаковой [5], И. А. Зинина [6], В. В. Довгаленко [7], О. Ю. Пикуль и И. А. Альбертовской [8], Н. Л. и В. Г. Урванцевых, В. Б. Федюшина, Ю. В. Шарихиной [9], А. В. Пауткиной [10] и др.

Ученые затрагивают традиционное проведение лабораторных работ по интерференции на натуральных установках.

М. С. Иванова и Д. И. Михайлин считают, что целесообразно изучение явления интерференции света проводить комплексно, на основе демонстрационного и лабораторного эксперимента [1]. В. К. Мухин предлагает уровневую организацию заданий при проведении лабораторных работ «Определение радиуса кривизны линзы с помощью колец Ньютона» [4]. Задания представлены в четырех уровнях от стандартных до творческих.

Е. И. Вараксина, В. В. Майер, Е. С. Мамаева описывают учебное исследование интерференции света на мыльной пленке [2]. И. А. Зинин рассматривает изменение интерференционной картины в опыте Юнга для трех источников в зависимости от частоты излучателей [6].

В. В. Довгаленко представил методику проведения лабораторной работы по определению показателя преломления стеклянной пластины интерференционным методом [7]. О. Ю. Пикуль и И. А. Альбертовская описывают изучение интерференции поляризованного света в гиротроп-

ных оптических кристаллах с использованием лазерного излучения на основе коноскопического метода [8]. Н. Л. и В. Г. Урванцев, В. Б. Федюшин, Ю. В. Шарихина предлагают использовать лабораторный стенд «Волновая оптика» ООО «Зарница» при выполнении лабораторных работ по теме «Интерференция» [9]. А. В. Пауткина разработала лабораторную работу по измерению толщины тонких пленок с помощью оптоволоконного спектрофотометра. В основе данной лабораторной работы лежит измерение параметров интерференции света [10].

Также исследователей интересует и проведение виртуальных лабораторных работ по физике.

А. П. Кудря с соавторами отмечают важную роль виртуального физического эксперимента в образовательном процессе и определяют методические особенности его создания для фантологической и репрезентативной форм [11].

В своем исследовании А. А. Машиныан, Н. В. Кочергина, О. В. Бирюкова, Д. Д. Бабаев разработали методические рекомендации по проведению виртуальных лабораторных работ по физике в техническом вузе и выявили, что самым эффективным видом среди данных работ являются анимации с интерактивной составляющей [12].

А. Н. Максимова с соавторами предлагают виртуальные аналоги лабораторных работ по оптике, среди которых имеется экспериментальная работа «Зеркало Ллойда». Авторы отмечают, что реализация виртуального аналога позволит студентам через сравнение результатов модели и эксперимента лучше усвоить теоретические положения [3].

В. П. Шамота и В. Е. Казакова составили перечень сайтов, при помощи которых можно провести виртуальные лабораторные работы по физике, в т. ч. по оптике (лабораторная работа по интерференции «Определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля») [5].

В зарубежных исследованиях также затрагивается проблема использования виртуальных моделей и web-лабораторий при изучении оптики.

S. Z. Lahme с соавторами отмечают значимость виртуальных лабораторных занятий по физике для повышения студентами уровня компетенций в области новых информационных технологий [13].

T. Brixner с соавторами рассматривают особенности использования интерактивного обучающего симулятора ультрабыстрого лазерного лабораторного оборудования в виртуальной реальности *FemtoPro*. Данный симулятор в реальном времени позволяет производить настройку и имитацию измерений различных типичных оптических схем

и методов спектроскопии, в т. ч. интерферометров [14]. В. Bousquet с соавторами разработали универсальную оптическую установку дополненной реальности для реальных экспериментов по оптике [15].

B. R. La Cour с соавторами предлагают использование *web*-лаборатории для проведения виртуальных экспериментов по оптике, включая интерференционные методы [16]. J. Gamo дает оценку виртуальной лаборатории по оптике как дополнения к обучению студентов-инженеров [17].

D. Egenso разработал виртуальные лабораторные работы, которые воспроизводят реальные экспериментальные исследования. Созданные виртуальные лабораторные работы сопровождаются указанием целей и пошаговыми процедурами описаны таким образом, чтобы студенты могли выполнять лабораторные работы самостоятельно [18].

Следует отметить, что исследователи ведут разработку различных направлений использования виртуальных лабораторий в учебном процессе. Например, А. Н. Филанович и А. А. Повзнер предлагают использование виртуальных лабораторий в трех направлениях: очные занятия в лаборатории, проведение в удаленном режиме и интеграция в онлайн-курс [19].

Анализ научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей показал, что авторами в настоящее время ведется поиск путей совершенствования методики проведения лабораторных работ по интерференции.

Целесообразность разработки темы. На основе анализа отечественных и зарубежных исследований можно сделать вывод, что сочетание натурального и виртуального проведения лабораторной работы по оптике рассматривается только в работах А. Н. Максимовой с соавторами [3] и J. Gamo [17].

Полученные данные показывают, что в оптимальное использование работ натурального и виртуального эксперимента по оптике (в частности, по интерференции) недостаточно представлено, что подчеркивает целесообразность разработки темы «Методика проведения лабораторных работ при изучении интерференции в высших технических учебных заведениях».

Цель исследования заключается в уточнении методики проведения лабораторных работ при изучении интерференции.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать современное состояние методики проведения лабораторных работ при изучении интерференции.

2. Показать методику проведения лабораторных работ при изучении интерференции на примере лабораторной работы «Определение радиуса кривизны линзы с помощью явления интерференции».

Научная новизна заключается в определении направлений комбинаций натурального и виртуального проведения лабораторных работ по интерференции.

Теоретическая значимость исследования связана с вкладом в методику обучения физике в области проведения лабораторных работ. **Практическая значимость** исследования состоит в разработке методики проведения лабораторной работы «Определение радиуса кривизны линзы с помощью явления интерференции».

Основная часть

Методология исследования. Исследование опирается на общенаучные методы — анализ и обобщение информации из отечественных и зарубежных научно-методических источников в области методики проведения лабораторных

работ по интерференции. В качестве дополнительного метода использовался перевод зарубежной литературы.

Результаты исследования. В методике проведения лабораторных работ при изучении интерференции можно выделить следующие этапы:

- 1) подготовительный;
- 2) основной;
- 3) заключительный.

Рассмотрим методику проведения лабораторных работ по интерференции на примере работы «Определение радиуса кривизны линзы с помощью явления интерференции».

В Березниковском филиале Пермского национального исследовательского политехнического университета используется установка, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Лабораторная установка для наблюдения колец Ньютона

Для более эффективной подготовки обучающихся к проведению лабораторной работы следует комбинировать как традиционное проведение лабораторных работ по интерференции на натуральных установках, так и элементы виртуальных лабораторных работ по физике.

Целесообразно подключать студентов для разработки компьютерных моделей. Например, А. А. Мамаев, студент II курса Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета, разработал компьютерную модель для наблюдения колец Ньютона (см. рис. 2). Для его определения радиуса колец Ньютона были использованы формулы, приведенные в методических указаниях М. Е. Белобородовой и Б. Д. Юдина [20].

На подготовительном этапе студенты знакомятся заранее с планом проведения лабораторной работы и изучают параметры компьютерной модели. Обучающиеся обращают внимание на блок ввода данных и анализируют возмож-

ности управления моделью. Произвольно изменяя параметры модели, студенты оценивают количество колец Ньютона и их расположение.

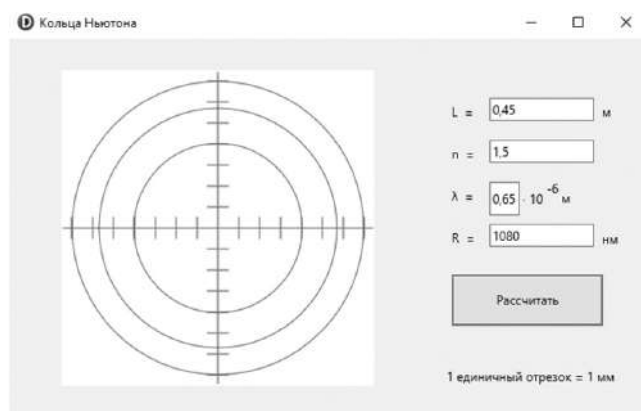


Рис. 2. Компьютерная модель для наблюдения колец Ньютона (разработка А. А. Мамаева)

На основном этапе при помощи лабораторной установки студенты определяют радиус колец Ньютона (см. рис. 3). План проведения и бланк отчетности по лабораторной работе приведен в методических указаниях, разработанных М. Е. Белобородовой и Б. Д. Юдиным, преподавателями Березниковского филиала Пермского национального исследовательского политехнического университета [20].

На заключительном этапе студенты сравнивают данные, полученные на лабораторной установке, с результатами работы компьютерной модели. Также необходимо определить цели дальнейшего исследования натурной установки и направления работы с моделью.

Компьютерную модель для наблюдения колец Ньютона в сочетании с инструкциями, разработанными М. Е. Белобородовой и Б. Д. Юдиным [20], можно рассматривать как

виртуальный аналог лабораторной работы «Определение радиуса кривизны линзы с помощью явления интерференции».



Рис. 3. Наблюдение колец Ньютона

Заключение, выводы

В статье определена методика проведения лабораторных работ при изучении интерференции в высшем техническом учебном заведении, включающая в себя три этапа: подготовительный, основной и заключительный. На подготовительном этапе студенты повторяют теоретические сведения по интерференции и проводят работу с компьютерной моделью. На основном этапе обучающиеся выполняют лабораторную работу по интерференции на натурной установке. На заключительном этапе определяются направления для дальнейшего экспериментального исследования как при работе с лабораторным оборудованием, так и с компьютерной моделью.

В качестве перспективных направлений для дальнейших исследований следует обратить внимание на подбор готовых компьютерных моделей по интерференции и разработку новых моделей силами студентов под руководством преподавателя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванова М. С., Михайлин Д. И. Экспериментальное изучение интерференции света в вузе // Проблемы учебного физического эксперимента : сб. науч. тр. XXIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Глазов : Ин-т стратегии развития образования РАО, 2019. Вып. 29. С. 51—53.
2. Вараксина Е. И., Майер В. В., Мамаева Е. С. Изучение интерференции света на тонком слое в практикуме бакалавриата педагогического вуза // Физическое образование в вузах. 2021. Т. 27. № 2. С. 172—180.
3. Виртуальные аналоги лабораторных работ курса Общей физики (колебания и волны, оптика) / А. Н. Максимова, Н. А. Клячин, Н. М. Комаров и др. // Физическое образование в вузах. 2022. Т. 28. № 4. С. 101—113. DOI: 10.54965/16093143_2022_28_4_101.
4. Мухин В. К. Лабораторные работы по оптике (волновая и геометрическая оптика) с уровневой дифференциацией заданий // Математика и информатика, астрономия, физика и технология и совершенствование их преподавания : материалы науч.-практ. конф. Ярославль : Ярослав. гос. пед. ун-т им. К. Д. Ушинского, 2023. С. 98—104.
5. Шамота В. П., Казакова В. Е. Виртуальные лабораторные работы по физике // Современные проблемы математики, физики и физико-математического образования : материалы XIII междунар. науч.-практ. конф. Орехово-Зуево : Гос. гуманитар.-технол. ун-т, 2024. С. 223—226.
6. Зинин И. А. Изменение интерференционной картины в опыте Юнга для трех источников в зависимости от частоты излучателей // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инноватика в современном мире : сб. науч. ст. по материалам X Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч. Уфа : Вестник науки, 2023. Ч. 1. С. 13—17.
7. Довгаленко В. В. Определение показателя преломления стеклянной пластины интерференционным методом // Энергетические установки и технологии. 2024. Т. 10. № 1. С. 93—98.
8. Пикуль О. Ю., Альбертовская И. А. Интерференция поляризованного света в гиротропных кристаллах // Наука. Исследования. Практика : сб. ст. СПб. : Нацразвитие, 2024. С. 39—40.
9. Урванцева Н. Л., Урванцев В. Г., Федюшин В. Б., Шарихина Ю. В. Об использовании лабораторного стенда «Волновая оптика» при выполнении лабораторных работ по темам «Интерференция» и «Дифракция» // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024) : материалы XIII Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. : в 4 т. СПб. : С.-Петербург. гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2024. Т. 3. С. 622—628.

10. Пауткина А. В. Лабораторная работа «Измерение толщины наноразмерных объектов» // Проблемы учебного физического эксперимента : материалы XXX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М. : ИСПО РАО, 2025. С. 77—79.
11. Роль виртуального эксперимента в формировании физического образования / А. П. Кудря, Т. П. Жданова, Г. Ф. Лемешко и др. // Физическое образование в вузах. 2023. Т. 29. № 1. С. 55—59. DOI: 10.54965/16093143_2023_29_S1_55.
12. Машинян А. А., Кочергина Н. В., Бирюкова О. В., Бабаев Д. Д. Виртуальные лабораторные работы по физике в техническом вузе // Перспективы науки и образования. 2022. № 4(58). С. 209—224. DOI: 10.32744/pse.2022.4.13.
13. Physics lab courses under digital transformation: A trinational survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives / S. Z. Lahme, P. Klein, A. Lehtinen et al. // Physical Review Physics Education Research. 2023. Vol. 19. Art. 020159. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020159.
14. FemtoPro: Virtual-reality interactive training simulator of an ultrafast laser laboratory / T. Brixner, S. Müller, A. Müller et al. // Applied Physics B. 2023. Vol. 129. Art. 78. DOI: 10.1007/s00340-023-08018-7.
15. Reconfigurable and versatile augmented reality optical setup for tangible experimentations / B. Bousquet, M. Hachet, V. Casamayou et al. // Discover Education. 2024. Vol. 3. Art. 113. DOI: 10.1007/s44217-024-00192-w.
16. The Virtual Quantum Optics Laboratory / B. R. La Cour, M. Maynard, P. Shroff et al. // 2022 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE). IEEE, 2022. Pp. 677—687. DOI: 10.1109/QCE53715.2022.00091.
17. Gamo J. Assessing a virtual laboratory in optics as a complement to On-Site teaching // IEEE Transactions on Education. 2019. Vol. 62. Iss. 2. Pp. 119—126. DOI: 10.1109/TE.2018.2871617.
18. Belsley M. Virtual and real labs for introductory physics II: optics, modern physics, and electromagnetism: by Daniel Erenso, Bristol, UK, IOP Science, 2021, 380 pp., 90€ (hardback), ISBN 9780750337137. Scope: textbook. Level: pre-university, undergraduate // Contemporary Physics. 2022. Vol. 63. Iss. 2. Pp. 156—157. DOI: 10.1080/00107514.2022.2128882.
19. Filanovich A. Povzner A. Virtual Laboratories in Physics Education // The Physics Teacher. 2021. Vol. 59. Iss. 8. Pp. 582—584. DOI: 10.1119/5.0038803.
20. Белобородова М. Е., Юдин Б. Д. Физика: механика, термодинамика и молекулярная физика. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. 104 с.

REFERENCES

1. Ivanova M. S., Mikhailin D. I. Experimental study of light interference in higher education. *Problemy uchebnogo fizicheskogo eksperimenta = Problems of educational physical experiment. Collection of scientific papers of XXIV All-Russia Scientific and Practical conference with international participation*. Glazov, Institute of Educational Development Strategy of the Russian Academy of Education publ., 2019;29:51—53. (In Russ.)
2. Varaksina E. I., Mayer V. V., Mamaeva E. S. Study of light interference on a thin layer in a bachelor's degree workshop at a pedagogical university. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh = Physics in higher education*. 2021;27(2):172—180. (In Russ.)
3. Maksimova A. N., Klyachin N. A., Komarov N. M. et al. Virtual analogues of laboratory works of the general physics course (oscillations and waves, optics). *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh = Physics in higher education*. 2022;28(4):101—113. (In Russ.) DOI: 10.54965/16093143_2022_28_4_101.
4. Mukhin V. K. Laboratory work on optics (wave and geometric optics) with level differentiation of tasks. *Matematika i informatika, astronomiya, fizika i tekhnologiya i sovershenstvovanie ikh prepodavaniya = Mathematics and computer science, astronomy, physics and technology and improvement of their teaching. Proceedings of the scientific and practical conference*. Yaroslavl, Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky publ., 2023:98—104. (In Russ.)
5. Shamota V. P., Kazakova V. E. Virtual laboratory work in physics. *Sovremennye problemy matematiki, fiziki i fiziko-matematicheskogo obrazovaniya = Modern problems of mathematics, physics and physico-mathematical education. Proceedings of XIII International scientific and practical conference*. Orekhovo-Zuyevo, State University of Humanities and Technology publ., 2024:223—226. (In Russ.)
6. Zinin I. A. Changing the interference pattern in Jung's experience for three sources depending on the frequency of the emitters. *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: innovatika v sovremennom mire = Fundamental and applied scientific research: innovation in the modern world. Collection of scientific articles based on the materials of X International Scientific and Practical Conference*. Ufa, Vestnik nauki, 2023;1:13—17. (In Russ.)
7. Dovgalenko V. V. Determination of the refractive index of a glass plate by the interference method. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii = Power plants and technologies*. 2024;10(1):93—98. (In Russ.)
8. Pikoul O. Yu., Albertovskaya I. A. Interference of polarised light in gyrotropic crystals. *Nauka. Issledovaniya. Praktika = Science. Research. Practice. LXXV International scientific conference*. Saint Petersburg, Natsrazvitie, 2024:39—40. (In Russ.)
9. Urvantseva N., Urvantsev V., Fedyushin V., Sharikhina Yu. About the use of the laboratory stand “Wave optics” when performing laboratory work on the topics “interference” and “Diffraction”. *Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsii v nauke i obrazovanii (APINO 2024) = Actual problems of infotelec communications in science and education (APINO 2024). Proceedings of XIII International Scientific, Technical and Scientific Methodological Conference*. Saint Petersburg, St. Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M. A. Bonch-Bruевич publ., 2024;3:622—628. (In Russ.)
10. Pautkina A. V. Laboratory work “Measuring the thickness of nanoscale objects”. *Problemy uchebnogo fizicheskogo eksperimenta = Problems of educational physical experiment*. Proceedings of XXX All-Russia scientific and practical conference with international participation. Moscow, Institute of Educational Development Strategy of the Russian Academy of Education publ., 2025;77—79. (In Russ.)
11. Kudrya A. P., Zhdanova T. P., Lemeshko G. F. et al. The role of virtual experiment in the formation of physical education. *Fizicheskoe obrazovanie v vuzakh = Physics in higher education*. 2023;29(1):55—59. (In Russ.) DOI: 10.54965/16093143_2023_29_S1_55.

12. Mashinyan A. A., Kochergina N. V., Biryukova O. V., Babayev Ja. J. Virtual laboratory work in physics at a technical university. *Perspektivy nauki i obrazovaniya = Perspectives of science and education*. 2022;4(58):209—224. (In Russ.) DOI: 10.32744/pse.2022.4.13.
13. Lahme S. Z., Klein P., Lehtinen A. et al. Physics lab courses under digital transformation: A trinational survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives. *Physical Review Physics Education Research*. 2023;19:020159. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020159.
14. Brixner T., Müller S., Müller A. et al. FemtoPro: Virtual-reality interactive training simulator of an ultrafast laser laboratory. *Applied Physics B*. 2023;129:78. DOI: 10.1007/s00340-023-08018-7.
15. Bousquet B., Hachet M., Casamayou V. et al. Reconfigurable and versatile augmented reality optical setup for tangible experimentations. *Discover Education*. 2024;3:113. DOI: 10.1007/s44217-024-00192-w.
16. La Cour B. R., Maynard M., Shroff P. et al. The Virtual Quantum Optics Laboratory. *2022 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)*. IEEE, 2022:677—687. DOI: 10.1109/QCE53715.2022.00091.
17. Gamo J. Assessing a virtual laboratory in optics as a complement to On-Site teaching. *IEEE Transactions on Education*. 2019;62(2):119—126. DOI: 10.1109/TE.2018.2871617.
18. Belsley M. Virtual and real labs for introductory physics II: optics, modern physics, and electromagnetism: by Daniel Erenso, Bristol, UK, IOP Science, 2021, 380 pp., 90€ (hardback), ISBN 9780750337137. Scope: textbook. Level: pre-university, undergraduate. *Contemporary Physics*. 2022;63(2):156—157. DOI: 10.1080/00107514.2022.2128882.
19. Filanovich A. Povzner A. Virtual Laboratories in Physics Education. *The Physics Teacher*. 2021;59(8):582—584. DOI: 10.1119/5.0038803.
20. Beloborodova M. E., Yudin B. D. Physics: mechanics, thermodynamics and molecular physics. Perm, Perm National University Research Polytechnic University publ., 2019. 104 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 30.03.2025; одобрена после рецензирования 19.04.2025; принята к публикации 21.04.2025.
The article was submitted 30.03.2025; approved after reviewing 19.04.2025; accepted for publication 21.04.2025.