

УДК 378

DOI 10.25688/2072-9014.2018.46.4.01

**А.В. Баранов, А.С. Алексашин, И.С. Малахов,  
Е.А. Тябин, А.В. Шарашкина**

## **Проектная объектно-ориентированная разработка виртуальной лабораторной работы с 3D-визуализацией поляризованной световой волны в анизотропном кристалле**

В статье рассматривается виртуальная лабораторная работа «Поляризованный свет в анизотропном кристалле». В виртуальном эксперименте в 3D-стиле визуализируются виртуальная лабораторная установка и процесс трансформации светового вектора поляризованной волны.

*Ключевые слова:* виртуальная лабораторная работа; визуализация поляризованной световой волны в анизотропном кристалле; компьютерное моделирование; студент.

**В**ведение. В последние годы значительное внимание в образовательной практике университетов стало уделяться виртуальным лабораторным работам и виртуальным лабораториям. И те и другие находят свое применение в курсах химии [5; 20; 23], биологии [15; 19; 24], биоинформатики [28; 29] и т. п. Но, вероятно, наибольшее распространение они получили в практикуме курсов физики (см., например, зарубежные работы<sup>1</sup> и литературу [3; 8–10; 14; 17; 21; 22; 25; 27]). Виртуальные эксперименты удачно дополняют натуральный физический эксперимент, значительно расширяя дидактические возможности процесса обучения, и позволяют организовать удаленный доступ к компьютерным визуализированным аналогам компонентов лабораторного практикума. Как показывают проводимые педагогические исследования, учащиеся групп, в обучении которых используются комбинации виртуальных и реальных экспериментов, демонстрируют более глубокое понимание изучаемого предмета [21; 25].

<sup>1</sup> KET Virtual Physics Labs. URL: <https://virtuallabs.ket.org/physics/> (дата обращения: 28.01.2018); Virtual Science. URL: <http://www.virtual-science.co.uk/> (дата обращения: 28.01.2018).

В настоящее время профессиональные программные разработки виртуальных физических лабораторий все чаще ориентируются на объектный подход [6; 7; 12; 13; 16]. Математические принципы описания свойств материальных объектов в физике хорошо переносятся на концепции объектного моделирования в программировании. Последнее позволяет реализовать эффективные методики проектирования, обеспечивающие переносимость кода и возможности его повторного использования. Именно такой подход вызывает большой интерес у профессиональных разработчиков [7; 16].

Наряду с профессиональной разработкой виртуальных лабораторий в некоторых университетах стала проявляться тенденция привлечения студентов к компьютерному моделированию при изучении физики [1; 11]. Актуальным становится вопрос об участии студентов IT-направлений обучения в разработке программных средств учебного назначения [26]. Одной из перспективных форм организации такой деятельности является проектная форма.

На кафедре общей физики Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) организована *проектная деятельность компьютерного моделирования физических процессов* для студентов IT-специальностей при освоении курса физики [2; 4; 18]. Одним из направлений этой проектной деятельности является программная разработка виртуальных лабораторных работ. Бригады студентов разрабатывают виртуальные лабораторные работы с 3D-визуализацией моделируемых систем и процессов.

Студенты IT-направлений обучения, принимающие участие в проектной деятельности компьютерного моделирования, получают уникальный опыт командной разработки интерактивных программных продуктов. В процессе такой деятельности закладываются основы базовых составляющих профессиональных компетенций будущих IT-специалистов уже на ранней стадии обучения в техническом университете.

В данной статье рассматривается студенческая разработка виртуальной лабораторной работы «Поляризованный свет в анизотропном кристалле». В виртуальном эксперименте с использованием 3D-стиля визуализируются: 1) оптическая лабораторная установка, 2) динамическая трансформация структуры поляризованной электромагнитной волны путем изображения пространственного распределения *светового вектора* (вектор напряженности  $E$  электрической компоненты) волны в процессе ее распространения в вакууме и в анизотропном кристалле. Отличительной особенностью студенческой проектной разработки является использование концепций объектно-ориентированного подхода при создании программного продукта.

Над реализацией представляемого проекта трудилась бригада студентов (А.С. Алексашин, И.С. Малахов, Е.А. Тябин, А.В. Шарашкина) второго курса факультета прикладной математики и информатики НГТУ.

**Цель, поставленная перед участниками проектной деятельности:** разработать программный продукт — виртуальную лабораторную работу «Поляризованный свет в анизотропном кристалле» с динамической 3D-визуализацией изменения состояния поляризации электромагнитной волны в кристалле.

Выполнение учебных виртуальных экспериментов с использованием разработанного программного приложения должно позволять:

- проводить визуальное наблюдение за процессом изменения состояния поляризации электромагнитной волны в одноосном анизотропном кристалле простой геометрической формы (плоскопараллельная пластинка);
- интерактивно изменять параметры эксперимента и исследовать влияние исходной поляризации волны и характеристик кристалла на процесс изменения состояния поляризации электромагнитной волны.

**Задачи, решаемые разработчиками в процессе работы над проектом:**

- Формирование концептуальной физической модели процесса.
- Математическая формализация модели и выбор метода.
- Определение структуры графического интерфейса и дизайна 3D-изображения моделируемой системы.
- Определение структуры и содержания программного алгоритма в объектно-ориентированной концепции.
- Создание виртуальной 3D-модели оптической установки с помощью графического редактора.
- Разработка и отладка программы на языке C# программной платформы Microsoft.Net Framework 4.0.
- Проведение тестовых виртуальных экспериментов.
- Отчет и презентация разработки.

**Физическая концепция и математическая модель процесса.** Моделируется физическое явление — изменение состояния поляризации света при прохождении через оптически прозрачный кристалл, характеризующийся анизотропией показателя преломления. Анизотропия обусловлена зависимостью диэлектрической проницаемости вещества кристалла от направления. Для анализа и моделирования явления используется концепция волнового представления света в виде поперечной электромагнитной волны.

Рассматривается ситуация, когда поляризованная монохроматическая электромагнитная волна, выходящая из источника с определенным состоянием поляризации, падает на плоскопараллельную пластинку, вырезанную из одноосного анизотропного кристалла параллельно его оптической оси. Анализируется вариант ортогонального направления распространения волны по отношению к оптической оси кристалла.

Для моделирования процесса распространения волны используется принцип разложения поляризованной электромагнитной волны на две ортогональные составляющие. Вектор напряженности  $E$  раскладывается на два направления — направление оптической оси кристалла и ортогональное к нему направление. После выхода из источника электромагнитная волна в вакууме представляется как суперпозиция двух ортогональных волновых составляющих — двух монохроматических волн с произвольными значениями амплитуд и начальных фаз, но с одинаковым значением длины волны  $\lambda_0$ :

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kx),$$

$$E_z = E_{0z} \cos(\omega t - kx + \varphi_0),$$

где  $E_y, E_z$  — мгновенные значения проекций ортогональных составляющих вектора  $E$ ,  $E_{0y}, E_{0z}$  — амплитудные значения проекций ортогональных составляющих вектора  $E$  в вакууме,  $\omega$  — циклическая частота колебаний электромагнитного поля волны,  $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$  — значение волнового числа, одинаковое для двух составляющих вектора  $E$  в вакууме,  $x$  — координата, связанная с направлением распространения волны,  $\varphi_0$  — начальный фазовый сдвиг колебаний ортогональных составляющих.

Начальные значения амплитуд  $E_{0y}, E_{0z}$  и фазового сдвига  $\varphi_0$  определяют состояние поляризации электромагнитной волны на выходе из источника. В процессе распространения волны в вакууме ее состояние поляризации не изменяется, так как фазовый сдвиг  $\varphi_0$  и амплитуды  $E_{0y}, E_{0z}$  остаются неизменными.

В кристалле ортогональные составляющие электромагнитной волны изменяют свои фазовые скорости и амплитуды в соответствии с разными значениями показателя преломления кристалла для двух ортогональных направлений:

$$E_y = E_{0y}^* \cos(\omega t - k_y x),$$

$$E_z = E_{0z}^* \cos(\omega t - k_z x + \varphi_0),$$

где  $E_{0y}^*, E_{0z}^*$  — амплитудные значения проекций ортогональных составляющих вектора  $E$  в кристалле,  $k_y = \frac{2\pi n_y}{\lambda_0}$ ,  $k_z = \frac{2\pi n_z}{\lambda_0}$  — значения волнового числа, разные для двух ортогональных направлений электрической компоненты поля в кристалле.

По мере распространения волны в кристалле происходит увеличение фазового сдвига ортогональных составляющих. Последнее приводит к динамическому изменению состояния поляризации результирующей волны как в процессе ее распространения в кристалле, так и при выходе волны из кристалла в вакуум. В представляемой модели не учитывается эффект многократных отражений на границах вакуум – кристалл – вакуум, т. е. анализируется только однократное прохождение волны из одной среды в другую. Такой подход позволяет более наглядно визуализировать процесс изменения состояния поляризации электромагнитной волны в кристалле.

Прохождение поляризованной волны через кристалл визуализируется путем динамического изображения пространственного распределения вектора  $E$  электрической компоненты волны через равные промежутки

времени, составляющие определенную часть от периода колебаний светового вектора.

### Объектно-ориентированная реализация программного приложения.

С использованием объектно-ориентированного подхода программное приложение «Поляризация света в анизотропном кристалле» было самостоятельно разработано бригадой студентов на языке C# платформы .Net Framework 4.0.

На рисунке 1 представлена диаграмма классов разработанного программного приложения.

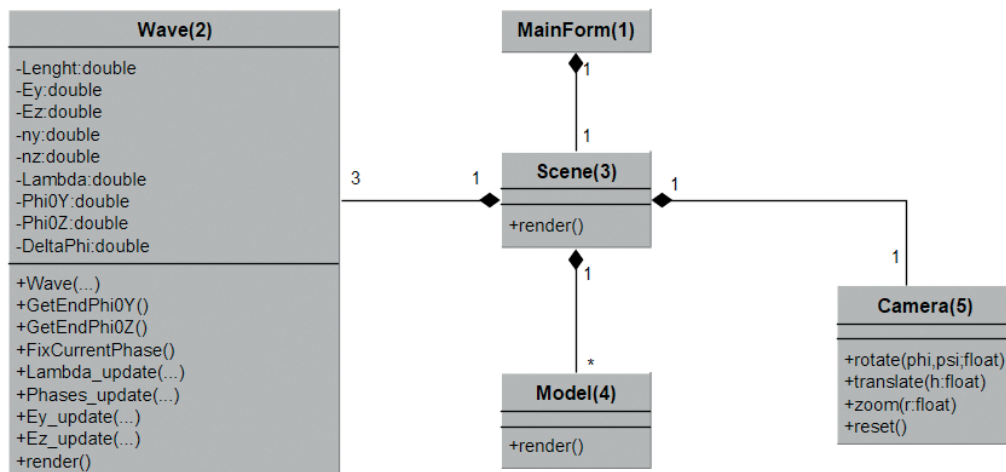


Рис. 1. Диаграмма классов разработанного программного приложения

**MainForm(1)** — класс, реализующий главную форму приложения, осуществляет управление основными элементами программы: областью визуализации эксперимента и пользовательским интерфейсом.

**Wave(2)** — класс, реализующий вычисление и хранение данных, непосредственно связанных с экспериментом. Содержит методы, вычисляющие значения атрибутов волны в зависимости от времени и характеристик волны. Вычисления осуществляются через определенные промежутки времени или при изменении характеристик.

**Scene(3)** — основной класс, реализующий визуализацию эксперимента. Агрегирует все элементы установки и параметры их внешнего вида («3D-модели» и «материалы»), а также содержит информацию о положении наблюдателя и направлении его взгляда («камера»). Кроме того, он обеспечивает взаимодействие всех вышеназванных объектов.

**Model (4)** — класс, реализующий понятие «3D-модель». Хранит геометрию модели, ее материал и текстуры.

**Camera (5)** — класс, реализующий понятие «камера», т. е. положение наблюдателя и направление его взгляда. Позволяет изменять соответствующие параметры (вращение, смещение относительно точки, в которую «смотрит» камера).

**Описание класса Wave разработанного приложения.** Класс **Wave** реализует вычисление и хранение данных, непосредственно связанных с виртуальным экспериментом.

<b>Wave(2)</b>
-Lenght:double -Ey:double -Ez:double -ny:double -nz:double -Lambda:double -Phi0Y:double -Phi0Z:double -DeltaPhi:double
+Wave(...) +GetEndPhi0Y() +GetEndPhi0Z() +FixCurrentPhase() +Lambda_update(...) +Phases_update(...) +nz_update(new_nz: double) +ny_update(new_ny: double) +Ey_update(new_Ey: float) +Ez_update(new_Ez: float) +render()

**Атрибуты:**

Length — толщина плоскопараллельной кристаллической пластинки;

Ey, Ez — амплитуды ортогональных составляющих волны;

ny, nz — показатели преломления среды для двух ортогональных направлений;

Lambda — длина волны;

Phi0Y, Phi0Z — начальные фазы ортогональных составляющих волны;

DeltaPhi — разность фаз ортогональных составляющих волны;

T — время.

**Методы:**

**Wave(WaveLen, DPhi, E\_y, E\_z, n\_y, n\_z, \_X0, \_Length, \_c)** — конструктор начального сегмента волны. Принимает на вход параметры эксперимента и в зависимости от них инициализирует атрибуты.

**Wave(W, n\_y, n\_z, \_Length)** — конструктор последующего сегмента волны. Принимает на вход предыдущий сегмент, новые значения ny, nz и толщину кристалла \_Length.

**render()** — метод, рассчитывающий координаты вершин и осуществляющий графическое представление волны.

**GetEndPhi0Y() GetEndPhi0Z()** — методы, возвращающие значение фазы на конце сегмента.

$\text{Lambda\_update}(\text{new\_Lambda})$ ,  $\text{Lambda\_update}(W)$  — методы, обновляющие длину волны. Аналогично действуют остальные методы  $\text{update}$ .

**Интерфейс виртуальной лабораторной работы.** На рисунке 2 представлен интерактивный графический интерфейс разработанной виртуальной лабораторной работы «Поляризованный свет в анизотропном кристалле». В главном окне визуализированы 3D-изображения оптического стола и расположенных на нем основных элементов экспериментальной установки: источника света, стоящей на подставке кристаллической плоскопараллельной пластины и экрана. Виртуальная 3D-модель экспериментальной установки создавалась с помощью графического редактора Blender.

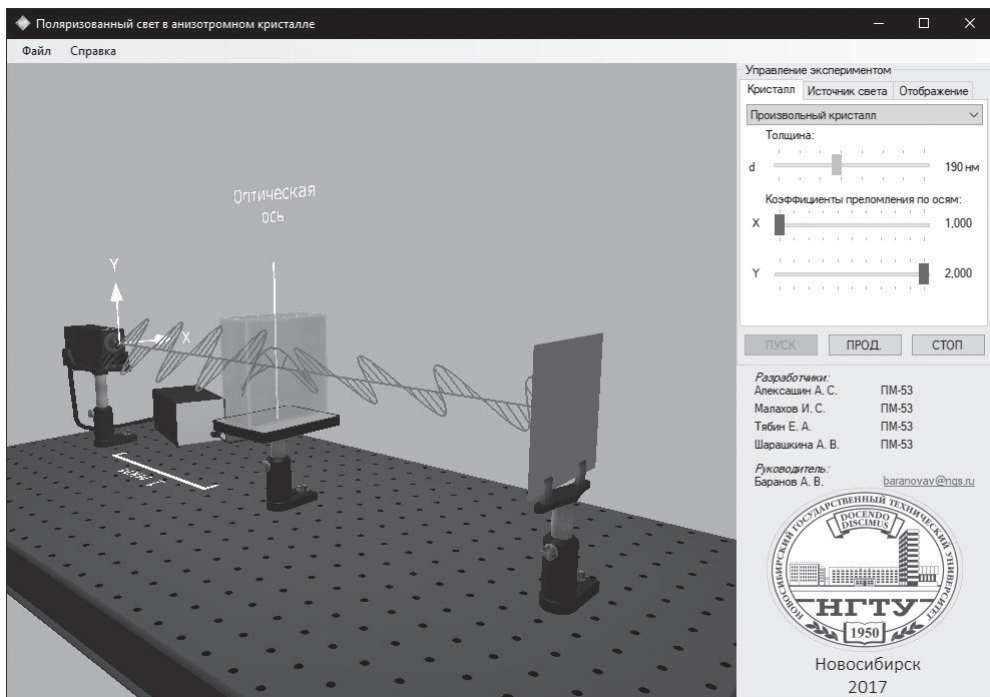


Рис. 2. Интерфейс виртуальной лабораторной работы

Структура поляризованной электромагнитной волны представлена 3D-изображением мгновенного распределения светового вектора в пространстве на оси системы и огибающей, соответствующей этому распределению. В интерфейсе предусмотрена возможность визуализации интересных ортогональных составляющих волны.

На вертикальной панели справа находятся элементы управления виртуальным экспериментом. С их помощью можно изменить:

- характеристики кристалла, т. е. можно осуществлять выбор определенного вещества из списка, «создавать» искусственный кристалл с заданными значениями показателя преломления для двух ортогональных направлений, задавать толщину кристалла;

- начальное состояние поляризации — можно задавать значения амплитуд и начальных фаз ортогональных составляющих световой волны;
- способ и варианты графической визуализации моделируемого волнового процесса.

Кнопки «Пуск», «Стоп», «Продолжить» позволяют начинать и останавливать очередной виртуальный эксперимент (остановка динамического изображения в режиме ожидания), продолжать эксперимент с текущего состояния после остановки.

Дополнительно к перечисленным возможностям с помощью кнопок компьютерной мыши можно осуществлять манипуляции, связанные с поворотами виртуальной установки и масштабированием 3D-изображения.

Изменения сорта вещества кристалла и частоты светового излучения сопровождаются изменениями цветовой гаммы в визуализированных изображениях кристалла и электромагнитной волны.

Пользователю, проводящему виртуальный эксперимент, предоставляется уникальная возможность наблюдать в 3D-исполнении динамику изменения состояния поляризации электромагнитной волны при ее прохождении через анизотропный кристалл.

**Заключение.** В результате организованной проектной деятельности в процессе изучения курса физики бригадой студентов второго курса факультета прикладной математики и информатики НГТУ разработана виртуальная лабораторная работа «Поляризованный свет в анизотропном кристалле». Отличительной особенностью технологии разработки является использование объектно-ориентированного подхода при создании программного продукта. Разработанное программное приложение может быть использовано как дополнительное дидактическое средство в физическом лабораторном практикуме совместно с реальным экспериментом и как виртуальная демонстрация на лекции при изложении раздела «Волновая оптика».

В результате участия в проектной деятельности студенты приобрели опыт:

- формирования концептуальной физической модели анализируемого процесса и ее математической формализации;
- выбора и реализации метода решения уравнений модели;
- определения структуры и дизайна графического интерфейса;
- определения структуры программного алгоритма в объектной концепции;
- создания 3D-модели экспериментальной установки с помощью графического редактора Blender;
- программной реализации алгоритма с графической 3D-визуализацией моделируемого процесса;
- проведения виртуальных экспериментов;
- оформления и представления результатов проектной деятельности компьютерного моделирования;
- работы в команде.



Опыт командной разработки интерактивного программного продукта закладывает основы профессиональных составляющих компетентности уже на ранней стадии обучения студентов IT-направлений обучения. Студенты становятся дизайнерами и разработчиками программных приложений учебного назначения.

### *Литература*

1. Баранов А.В. Компьютерное моделирование как средство мотивации при обучении физике в техническом вузе // Преподаватель высшей школы в XXI веке: труды 8-й научно-практической конференции. Ч. 1. Ростов-н/Д.: РГУПС, 2010. С. 201–205.
2. Баранов А.В. Проектная деятельность компьютерного моделирования в физическом практикуме технического университета: организация, требования, критерии оценки // Инновации в образовании. 2016. № 10. С. 158–170.
3. Баранов А.В., Боряняк Л.А., Заковряшина О.В. Виртуальные проекты студентов в физическом лабораторном практикуме профильного лица // Открытое и дистанционное образование. 2014. № 2 (54). С. 40–44.
4. Баранов А.В., Волохович Е.Н., Медведева К.А., Степин Д.В. Учебный компьютерный имитационный эксперимент «визуализация в реальном времени квантовой интерференции одиночных молекул» // Открытое образование. 2015. № 3. С. 110–114.
5. Гавронская Ю.Ю., Алексеев В.В. Виртуальные лабораторные работы в интерактивном обучении физической химии // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2014. № 168. С. 79–84.
6. Губский Д.С., Земляков В.В., Мамай И.В., Синявский Г.П. Компьютерное моделирование приборов и устройств для виртуальных лабораторных работ // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 3. С. 38–42.
7. Дайнеко Е.А., Ипалакова М.Т., Болатов Ж.Ж. Применение информационных технологий на базе фреймворка. NET XNA для разработки виртуальной физической лаборатории с элементами 3D компьютерного моделирования // Программирование. 2017. № 3. С. 54–68.
8. Данилов О.Е. Создание систем виртуальной реальности для обучения физике // Дистанционное и виртуальное обучение. 2015. № 4 (94). С. 20–27.
9. Девяткин Е.М., Хасанова С.Л., Чиганова Н.В. Комплекс электронных лабораторных установок по общей физике // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 161–168.
10. Кравченко Н.С., Ревинская О.Г., Стародубцев В.А. Комплекс компьютерных моделирующих лабораторных работ по физике: принципы разработки и опыт применения в учебном процессе // Физическое образование в вузах. 2006. Т. 12. № 2. С. 85–95.
11. Моклев В.В., Чирцов А.С. Вариант использования компьютерного моделирования физических систем для организации самостоятельной исследовательской работы студентов младших курсов // Современное образование: содержание, технологии, качество. 2014. Т. 1. С. 153–154.
12. Оспенникова Е.В., Оспенников А.А. Разработка компьютерных моделей по физике с применением технологии максимально реалистического интерфейса // Физика в системе современного образования (ФССО–2017): материалы XIV Международной научной конференции. Ростов-н/Д.: ДГТУ, 2017. С. 434–437.
13. Тихомиров Г., Сальдилов И., Маликова Е., Кученкова Л., Пилюгин В. Опыт НИЯУ МИФИ в разработке и использовании программных средств визуализации

в учебном процессе в области ядерных энергетических установок // Научная визуализация. 2012. № 2. С. 57–63.

14. *Третьякова О.Н.* Программный комплекс для дистанционного обучения физике и опыт его применения в техническом вузе // Материалы XIX Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015). 2015. С. 728.

15. *Хасанова С.Л., Симонова И.А.* Компьютерная модель виртуальной биологической лаборатории по разделу «цитология» // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9–1. С. 89–92.

16. *Чирцов А.С.* Новые подходы к созданию электронных конструкторов виртуальных физических моделей с простым удаленным доступом // Компьютерные инструменты в образовании. 2010. № 6. С. 42–56.

17. *Baranov A.V.* Virtual students' laboratories in the physics practicum of the technical university // 2016 13<sup>th</sup> International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE). Proceedings APEIE. Vol. 1. Part 1. Novosibirsk, 2016. Pp. 326–328.

18. *Baranov A.V.* Computer modelling in the physics course for IT students // Computer Modelling & New Technologies. 2017. Vol. 21. No 3. Pp. 45–49.

19. *Beltz D., Desharnais R., Narguizian P., Son J.* Comparing Physical, Virtual and Hybrid Flipped Labs for General Education Biology // Online Learning. 2016. Vol. 20 (3). Pp. 228–243.

20. *Dalgarno B., Bishop A., Adlong W., Bedgood D.* Effectiveness of a Virtual Laboratory as a preparatory resource for Distance Education chemistry students // Computers & Education. 2009. Vol.53. № 3. Pp. 853–865.

21. *De Jong T., Linn M., Zacharia Z. C.* Physical and virtual laboratories in science and engineering education // Science. 2013. № 340. Pp. 305–308.

22. *Dinescu L., Dinica M., Miron C., Barna E.S.* The approach of teaching and learning scanning electron microscope in high school using virtual experiments // Romanian Reports in Physics. 2013. Vol. 65. № 2. Pp. 578–590.

23. *Herga N.R., Čagran B., Dinevski D.* Virtual Laboratory in the Role of Dynamic Visualization for Better Understanding of Chemistry in Primary School // Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education. 2016. № 12 (3). Pp. 593–608.

24. *Mickell T. A., Danner B.D.* Virtual labs in the online biology course: student perceptions of effectiveness and usability // MERLOT Journal of Online Learning and Teaching. 2007. № 3 (2). Pp. 105–111.

25. *Pfefferova M.* Computer Simulations and their Influence on Students' Understanding of Oscillatory Motion // Informatics in Education. 2015. Vol. 14. № 2. Pp. 279–289.

26. *Prensky M.* Students as designers and creators of educational computer games: Who else? // British Journal of Educational Technology. 2008. Vol. 39. № 6. Pp. 1004–1019.

27. *Simon N.* Iconic Representation in Virtual Physics Labs // American Journal of Educational Research. 2015. Vol. 3. № 10A. Pp. 1–6.

28. *Tolvanen M., Vihinen M.* Virtual bioinformatics distance learning suite // Biochemistry and Molecular Biology Education. 2004. Vol. 32. № 3. Pp. 156–160.

29. *Weisman D.* Incorporating a collaborative web-based virtual laboratory in an undergraduate bioinformatics course // Biochemistry and Molecular Biology Education. 2010. Vol. 38. № 1. Pp. 4–9.

*Literatura*

1. *Baranov A.V.* Komp'yuternoe modelirovanie kak sredstvo motivacii pri obuchenii fizike v texnicheskom vuze // *Prepodavatel' vy'sshej shkoly' v XXI veke: trudy' 8-j nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ch. 1. Rostov-n/D.: RGUPS, 2010. S. 201–205.
2. *Baranov A.V.* Proektnaya deyatelnost' komp'yuternogo modelirovaniya v fizicheskom praktikume texnicheskogo universiteta: organizaciya, trebovaniya, kriterii ocenki // *Innovacii v obrazovanii*. 2016. № 10. S. 158–170.
3. *Baranov A.V., Bory'nyak L.A., Zakovryashina O.V.* Virtual'ny'e proekty' studentov v fizicheskom laboratornom praktikume profil'nogo liceya // *Otkry'toe i distancionnoe obrazovanie*. 2014. № 2 (54). S. 40–44.
4. *Baranov A.V., Voloxovich E.N., Medvedeva K.A., Stepin D.V.* Uchebny'j komp'yuterny'j imitacionny'j e'ksperiment «vizualizaciya v real'nom vremeni kvantovoj interferencii odinochny'x molekul» // *Otkry'toe obrazovanie*. 2015. № 3. S. 110–114.
5. *Gavronskaya Yu.Yu., Alekseev V.V.* Virtual'ny'e laboratorny'e raboty' v interaktivnom obuchenii fizicheskoy khimii // *Izvestiya RGPU im. A.I. Gercena*. 2014. № 168. S. 79–84.
6. *Gubskij D.S., Zemlyakov V.V., Mamaj I.V., Sinyavskij G.P.* Komp'yuternoe modelirovanie priborov i ustrojstv dlya virtual'ny'x laboratorny'x rabot // *Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tekhnologij*. 2014. № 3. S. 38–42.
7. *Dajneko E.A., Ipalakova M.T., Bolatov Zh.Zh.* Primenenie informacionny'x tekhnologij na baze frejmvorka. NET XNA dlya razrabotki virtual'noj fizicheskoy laboratorii s e'lementami 3D komp'yuternogo modelirovaniya // *Programmirovanie*. 2017. № 3. S. 54–68.
8. *Danilov O.E.* Sozdanie sistem virtual'noj real'nosti dlya obucheniya fizike // *Distancionnoe i virtual'noe obuchenie*. 2015. № 4 (94). S. 20–27.
9. *Devyatkin E.M., Xasanova S.L., Chiganova N.V.* Kompleks e'lektronny'x laboratorny'x ustanovok po obshhej fizike // *Sovremenny'e problemy' nauki i obrazovaniya*. 2016. № 4. S. 161–168.
10. *Kravchenko N.S., Revinskaya O.G., Starodubcev V.A.* Kompleks komp'yuterny'x modeliruyushhix laboratorny'x rabot po fizike: principy' razrabotki i opyt' primeneniya v uchebnom processe // *Fizicheskoe obrazovanie v vuzax*. 2006. T. 12. № 2. S. 85–95.
11. *Moklev V.V., Chirczov A.S.* Variant ispol'zovaniya komp'yuternogo modelirovaniya fizicheskix sistem dlya organizacii samostoyatel'noj issledovatel'skoj raboty' studentov mladshix kursov // *Sovremennoe obrazovanie: soderzhanie, tekhnologii, kachestvo*. 2014. T. 1. S. 153–154.
12. *Ospennikova E.V., Ospennikov A.A.* Razrabotka komp'yuterny'x modelej po fizike s primeneniem tekhnologii maksimal'no realisticheskogo interfejsa // *Fizika v sisteme sovremennogo obrazovaniya (FSSO-2017): materialy' XIV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. Rostov-n/D.: DGTU, 2017. C. 434–437.
13. *Tixomirov G., Sal'dikov I., Malikova E., Kuchenkova L., Pilyugin V.* Opyt' NIYAU MIFI v razrabotke i ispol'zovanii programmny'x sredstv vizualizacii v uchebnom processe v oblasti yaderny'x e'nergeticheskix ustanovok // *Nauchnaya vizualizaciya*. 2012. № 2. S. 57–63.
14. *Tret'yakova O.N.* Programmny'j kompleks dlya distancionnogo obucheniya fizike i opyt' ego primeneniya v texnicheskom vuze // *Materialy' XIX Mezhdunarodnoj*

konferencii po vy'chislitel'noj mexanike i sovremenny'm prikladny'm programmny'm sistemam (VMSPPS'2015). 2015. S. 728.

15. *Xasanova S.L., Simonova I.A.* Komp'yuternaya model' virtual'noj biologicheskoy laboratorii po razdelu «citologiya» // *Sovremenny'e naukoemkie texnologii*. 2016. № 9–1. S. 89–92.

16. *Chirczov A.S.* Novy'e podxody' k sozdaniyu e'lektronny'x konstruktorov virtual'ny'x fizicheskix modelej s prosty'm udalenny'm dostupom // *Komp'yuterny'e instrumenty' v obrazovanii*. 2010. № 6. S. 42–56.

17. *Baranov A.V.* Virtual students' laboratories in the physics practicum of the technical university // 2016 13<sup>th</sup> International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE). Proceedings APEIE. Vol. 1. Part 1. Novosibirsk, 2016. Pp. 326–328.

18. *Baranov A.V.* Computer modelling in the physics course for IT students // *Computer Modelling & New Technologies*. 2017. Vol. 21. No 3. Pp. 45–49.

19. *Beltz D., Desharnais R., Narguizian P., Son J.* Comparing Physical, Virtual and Hybrid Flipped Labs for General Education Biology // *Online Learning*. 2016. Vol. 20 (3). Pp. 228–243.

20. *Dalgarno B., Bishop A., Adlong W., Bedgood D.* Effectiveness of a Virtual Laboratory as a preparatory resource for Distance Education chemistry students // *Computers & Education*. 2009. Vol.53. № 3. Pp. 853–865.

21. *De Jong T., Linn M., Zacharia Z. C.* Physical and virtual laboratories in science and engineering education // *Science*. 2013. № 340. Pp. 305–308.

22. *Dinescu L., Dinica M., Miron C., Barna E.S.* The approach of teaching and learning scanning electron microscope in high school using virtual experiments // *Romanian Reports in Physics*. 2013. Vol. 65. № 2. Pp. 578–590.

23. *Herga N.R., Čagran B., Dinevski D.* Virtual Laboratory in the Role of Dynamic Visualization for Better Understanding of Chemistry in Primary School // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 2016. № 12 (3). Pp. 593–608.

24. *Mickell T. A., Danner B.D.* Virtual labs in the online biology course: student perceptions of effectiveness and usability // *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*. 2007. № 3 (2). Pp. 105–111.

25. *Pfefferova M.* Computer Simulations and their Influence on Students' Understanding of Oscillatory Motion // *Informatics in Education*. 2015. Vol. 14. № 2. Pp. 279–289.

26. *Prensky M.* Students as designers and creators of educational computer games: Who else? // *British Journal of Educational Technology*. 2008. Vol. 39. № 6. Pp. 1004–1019.

27. *Simon N.* Iconic Representation in Virtual Physics Labs // *American Journal of Educational Research*. 2015. Vol. 3. № 10A. Pp. 1–6.

28. *Tolvanen M., Vihinen M.* Virtual bioinformatics distance learning suite // *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2004. Vol. 32. № 3. Pp. 156–160.

29. *Weisman D.* Incorporating a collaborative web-based virtual laboratory in an undergraduate bioinformatics course // *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2010. Vol. 38. № 1. Pp. 4–9.

*A.V. Baranov, A.S. Aleksashin,  
I.S. Malakhov, E.A. Tyabin,  
A.V. Sharashkina*

**Project Object-Oriented Development of Virtual Laboratory Work  
with 3D Visualization of a Polarized Light Wave in Anisotropic Crystal**

The article considers the virtual laboratory work «Polarized light in an anisotropic crystal». In a virtual experiment in a 3D style, a virtual laboratory setup and the process of transformation of the light vector of a polarized wave are visualized.

*Keywords:* virtual laboratory work; visualization of a polarized light wave in an anisotropic crystal; computer modelling; a student.