

Реальный мир сквозь призму физики, математики и информатики

М. В. Шабанова¹, Л. А. Шестакова²

¹доктор педагогических наук, профессор, заместитель начальника отдела,
Московский центр качества образования. Россия, г. Москва;
профессор кафедры экспериментальной математики и информатизации образования,
Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова.
Россия, г. Архангельск. ORCID: 0000-0002-5043-0960. E-mail: shabanova.maria-pomorsu@yandex.ru
²ведущий специалист, Институт цифровой трансформации образования.
Россия, г. Мытищи. ORCID: 0000-0001-6148-369X. E-mail: la.shestakova@gmail.com

Аннотация. Учебный план современной школы включает в себя целый набор учебных предметов, освоение которых призвано подготовить ученика к продолжению образования на профессиональном уровне, к самостоятельному решению жизненных задач. При множестве достоинств предметный подход к организации обучения вызывает все больше нареканий. Они сводятся к признанию ограниченных возможностей предметного обучения в формировании у учащихся целостного представления о реальном мире, умений использовать весь комплекс полученных в школе знаний для решения жизненных проблем. Ограниченность предметного обучения позволяет преодолеть конвергентный подход к образованию, который уже внедрен в ряд национальных и региональных образовательных систем: событийное обучение (Event-Based Learning) в США, проблемно-центрированное обучение (Problem-centered learning) в Сингапуре, обучение на основе феноменов (Phenomenon-based learning) в Финляндии. Наибольшую популярность во всем мире приобрела STEAM технология, которая внедряется сегодня и в систему предпрофессионального образования в России (Москва). Конвергентный подход не отвергает предметного обучения. Он лишь открывает границы для переноса объектов изучения, знаний, умений и способов деятельности из одного учебного предмета в другой, для перехода от одного вида образовательной деятельности к другому. В статье эти возможности конвергентного подхода представлены на конкретном примере вовлечения учащихся основной и старшей школы в научный анализ эффектов, получаемых при фотосъемке сквозь призму.

Ключевые слова: конвергентный подход в образовании, геометрическая оптика, сечения многогранников плоскостью, геометрические преобразования, динамическое моделирование в среде GeoGebra, компьютерные эксперименты.

Термин «конвергентный» происходит от латинского слова *convergo*, что означает «сближаться», «сходиться в одной точке». Конвергенция рассматривается сегодня как одна из ведущих идей, обеспечивающих возможность решения сложных научно-технических проблем. Она определяется в международном сообществе как глубокая интеграция знаний, методов и опыта из различных дисциплин и формирование новых структур для стимулирования научных открытий и инноваций [12].

А. М. Кондаков и И. С. Сергеев [4] отмечают, что происходящая в настоящее время конвергенция наук и технологий является ведущим вызовом для системы образования, содержание которого традиционно строится на основе дидактического принципа научности. Они указывают, что «образование, адекватное целостному восприятию конвергентной реальности, требует отказа от традиционной «чересполосицы» слабо связанных между собой дидактических единиц и учебных предметов, изолированных друг от друга видов деятельности обучающегося, множества автономно функционирующих «учебных», «воспитательных», «развивающих», «поддерживающих» и иных процессов».

В зарубежной и российской педагогике конвергентный подход реализуется путем применения различных технологий обучения и форм организации познавательной деятельности учащихся на основе межпредметной и надпредметной интеграции.

В США получила распространение технология событийного обучения (Event-Based Learning) – за основу интеграции учебных предметов и образовательной деятельности, как учебной, так и внеучебной, принимаются события: исторические (относящиеся к истории школы, местности, в которой она расположена, стране, планете, миру в целом); новостные (происходящие в настоящее время и освещаемые средствами массовой информации, в том числе интернет-сайтами: научные открытия, происшествия, погодные явления, технические достижения, политические, культурные события); планируемые (предстоящие школьные, муниципальные мероприятия, национальные и международные праздники, олимпиады) [13]. Примером реализации данной технологии является сайт Event-Based Science, созданный в рамках одноименного проекта, финансируемого The National Science Foundation (NSF) США в период с 1995 по 2007 гг. для поддержки естественно-научного об-

разования. На сайте размещена не только стартовая информация о природных явлениях и научных открытиях, но и приведены задания, которые включают учащихся в деятельность поиска дополнительной информации об этих событиях, а также полезные ссылки на интервью, фотографии, веб-страницы и исследования для выполнения этих заданий.

В системе математического образования Сингапура широко распространено проблемно-центрированное обучение (Problem-centered learning) [15], достоинством которого является создание условий для формирования компетенций учащихся в области решения проблем. Обучение начинается не с традиционного изложения теории, а с постановки перед учащимися практически значимой проблемы. Выработка индивидуального или коллективного решения проблемы базируется на коллективном обсуждении, моделировании, опыте обмена знаниями, оценке и ликвидации дефицитов своих предметных знаний.

В Финляндии с 2016 г. реализуется обучение на основе феноменов (Phenomenon-based learning) [14]. Основу обучения составляет подготовка учащихся к жизни, к решению реальных задач. Феномены (Балтийское море, изменение климата, планета Земля) как объект изучения выбираются совместно с учениками и рассматриваются комплексно на основе установления межпредметных связей. Поощряется обсуждение, которое выстраивается вокруг вопросов и интересов учеников.

Наибольшую популярность во всем мире приобрела STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) технология, которая направлена на вовлечение учащихся в проектную деятельность, требующую комплексного применения методов естественных наук и математики для выработки творческих инженерно-конструкторских решений и их реализации средствами компьютерных технологий.

В России с 2012 г. по инициативе Департамента образования города Москвы и Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» в школах города реализуется проект «Курчатовский центр непрерывного междисциплинарного образования» (Курчатовский проект), цель которого, по мнению В. М. Ковальчука, сформировать на школьном уровне – на уровне «начальных знаний» – принципиально новый тип мышления – сформировать системные представления об окружающем мире. Для этого необходимо совершенствовать образовательную среду путем междисциплинарной интеграции не только на уровне урочных занятий, но и на уровне интеграции урочной и внеурочной деятельности, на уровне взаимодействия с профильными вузами [8].

В целях ранней профориентации и осмысленного выбора профессии с 2015 г. предпрофильное (8–9 классы) и профильное образование (10–11 классы) дополнено программами предпрофессионального образования, которые реализуются за счет установления партнерских связей общеобразовательных школ с вузами, учреждениями среднего профессионального образования и производственными предприятиями. Это открывает старшеклассникам возможность участия в мероприятиях, направленных на развитие исследовательских и предпрофессиональных компетенций (экскурсии на предприятия и в лаборатории вузов, исследовательские и проектные работы, профессиональные пробы).

На уровне урочных занятий точками конвергенции чаще всего выступают метапредметные понятия, которые, как правило, определяют тему конвергентных уроков/дней/событий. Проведение конвергентных образовательных мероприятий требует согласования предметных учебных программ и совместной разработки сценариев этих мероприятий.

Для демонстрации возможностей конвергентного подхода в образовании выберем в качестве точки конвергенции художественные эффекты, которые позволяет получить фотосъемка сквозь призму из оптического стекла (см. рис. 1).

Предъявление учащимся подобных эффектов призвано вызвать у них любопытство и стремление к поиску научных объяснений. Такую возможность в школьном курсе физики предоставляет изучение явления (феномена) преломления света на границе двух сред.

В 8 классе преломление света вводится как «изменение направления распространения света на границе раздела двух прозрачных сред при переходе света из одной среды в другую» [10, с. 207]. Теоретические знания учащихся о преломлении света формируются в рамках геометрической оптики. При этом направление распространения света определяется углом падения (α) и углом преломления (β), образованными падающим и преломленным световыми лучами соответственно и перпендикуляром, восстановленным в точке падения к границе раздела сред I и II.

Зависимость угла преломления от угла падения описывается законом, открытым в 1621 г. голландским физиком, математиком и астрономом Виллебрордом Снеллиусом. В учебнике физики 8 класса закон преломления описывается следующим образом: «Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред из точки падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для двух данных сред есть величина постоянная» [10, с. 208]. Обозначим ее *const*.



А. Использование призмы



Б. Эффект сближения



В. Эффект клонирования



Г. Эффект переворачивания

Рис. 1. Эффекты при фотосъемке сквозь призму

Начальных представлений учащихся о синусах острых углов прямоугольного треугольника, полученных в курсе геометрии 8 класса [3], достаточно для решения (с использованием таблиц Брадиса или инженерных калькуляторов) расчетных задач, позволяющих делать выводы о характере связи величин: «Для данного угла падения, чем больше относительный показатель преломления, тем меньше угол преломления, и наоборот» [10, с. 208]. Также в 8 классе с опорой на результаты экспериментов этой константе дается имя «относительный показатель», а также вводится определение оптически плотной среды: «Среду, в которой скорость распространения света меньше, называют оптически более плотной. Если свет идет из среды оптически менее плотной в среду оптически более плотную, то угол преломления меньше угла падения» [10, с. 208].

Потенциальная возможность объяснения художественных эффектов, представленных на рис. 1 путем построения хода световых лучей при различных взаимных положениях объекта, фотокамеры и призмы, практически реализуется в ограниченном числе случаев, в связи со значительной трудоемкостью проведения подобных построений с помощью транспортира, линейки, карандаша и бумаги. Решение этой задачи обуславливает потребность в создании динамической компьютерной модели средствами GeoGebra или любой другой системы динамической математики. Что может являться предметом междисциплинарного учебного проекта.

В рамках этого проекта учащиеся создают двумерную модель оптической призмы с моделями четырех лучей света (в случае треугольной призмы), для моделирования ситуаций всего многообразия взаимного расположения на плоскости двух лучей и призмы друг относительно друга (рис. 2). Выбор планиметрической модели обусловлен традиционным использованием двумерного изображения призмы при изучении элементов геометрической оптики в школе.

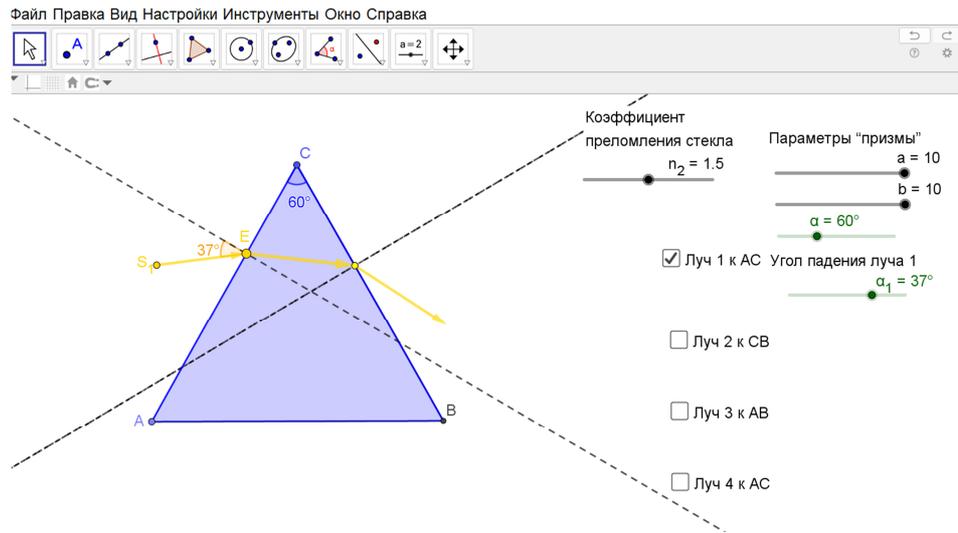


Рис. 2. Электронный ресурс «Двумерная модель прохождения лучей сквозь призму» с QR кодом для перехода к нему [1]

Одним из математико-технических решений, которое может быть реализовано учащимися в ходе проекта, является построение стационарной модели треугольника, задаваемой тремя параметрами (двумя сторонами и углом между ними). Относительно сторон треугольника перемещаются векторные цепи, изображающие направления хода четырех световых лучей. Положение каждого луча задается точкой падения светового луча на сторону треугольника и углом наклона этого луча к прямой, перпендикулярной стороне треугольника. Компьютерное моделирование хода луча в треугольной призме требует опережающего изучения понятия арксинус для острых углов прямоугольного треугольника.

В ходе моделирования учащиеся сталкиваются с проблемой «невывисимости», то есть отсутствия в некоторых случаях расчетного угла преломления при переходе светового луча в оптически менее плотную среду. Математическое объяснение требует опережающего развития знаний о содержании понятия относительного показателя преломления среды (отнесенного к курсу физики 9 класса). Учащиеся должны узнать, что относительный показатель преломления ($const$) – это отношение абсолютных показателей преломления сред II и I: $const = \frac{n_2}{n_1}$, где n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления сред [11].

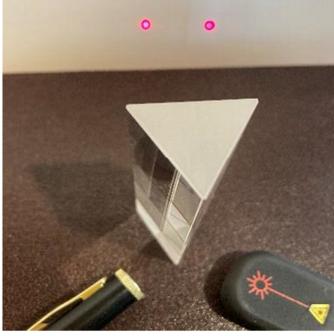
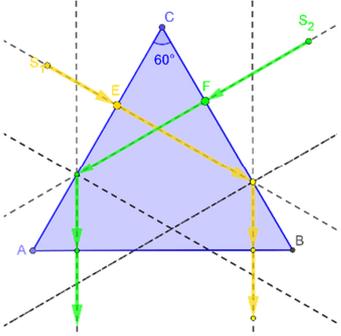
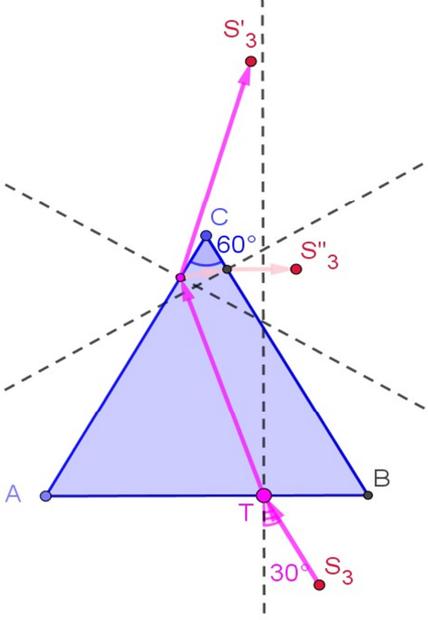
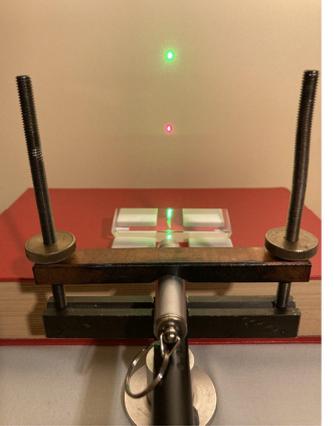
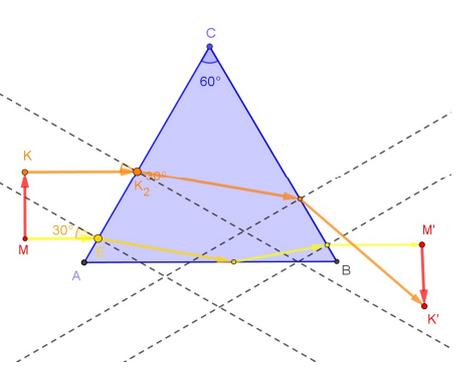
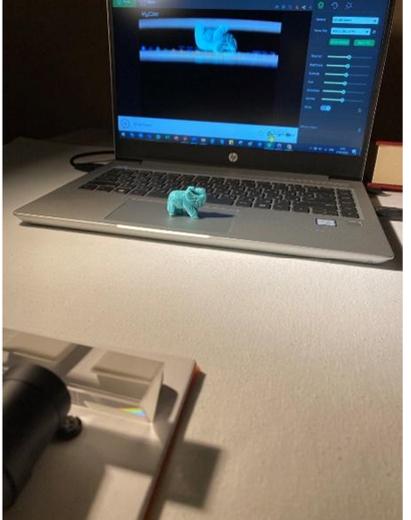
Пусть $n_1 = 1$ (коэффициент преломления воздуха в нормальных условиях с точностью до тысячных равен 1,000), $n_2 \in [1,4; 2,2]$ – показатели преломления промышленных оптических стекол для желто-зеленых лучей [5], следовательно, $\sin(\beta_2) = n_2 \cdot \sin(\alpha_2)$, где β_2 – угол преломления луча света, выходящего из линзы. Так как $-1 \leq \sin(\alpha_2) \leq 1$, $n_2 > 1$, то $-n_2 \leq n_2 \cdot \sin(\alpha_2) \leq n_2$. Значит, существуют такие значения углов α_2 , для которых $n_2 \cdot \sin(\alpha_2) > 1$ и для них не существует $\sin(\beta_2)$. Следовательно, построение выходящего из призмы луча невозможно.

Продолжение моделирования требует объяснения «исчезновения угла преломления», что приводит к необходимости введения понятия предельного угла преломления и изучения феномена полного внутреннего отражения.

В учебнике физики этот феномен описывается следующим образом: «Пусть внутри оптически более плотной среды находится точечный источник света, испускающий лучи во все стороны. При увеличении угла падения лучей на границу раздела сред угол преломления будет также увеличиваться и при некотором угле падения, который называют предельным углом, окажется равным 90° . В этом случае преломленный луч пойдет вдоль границы раздела двух сред. Если же угол падения взять еще большим, то есть $\alpha > \alpha_0$, то преломленного луча не будет, а останется только отраженный <...> описанное явление и называют полным внутренним отражением» [10, с. 209].

Созданная учащимися динамическая модель хода луча в треугольной призме в сочетании с классическими средствами проведения физического эксперимента (источник, призма из оптического стекла, экран, камера) и программным приложением MuSam позволили дать научное объяснение рассматриваемым художественным эффектам при фотосъемке сквозь призму. В таблице представлены этапы и результаты проведенной работы (см. табл.).

**Этапы поиска научного объяснения художественных эффектов фотографирования
сквозь оптическую призму**

I. Определение условий появления эффекта	II. Визуализация хода луча в призме посредством компьютерного эксперимента	III. Воспроизведение эффекта в контролируемых условиях
Эффект сближения		
		 <p data-bbox="999 734 1441 790"><i>Примечание:</i> объектив камеры направлен на боковую грань призмы</p>
Эффект клонирования		
		 <p data-bbox="999 1265 1441 1350"><i>Примечание:</i> объектив камеры направлен на боковое ребро призмы под углом в 45°</p>
Эффект переворачивания		
 <p data-bbox="165 1921 499 2007"><i>Примечание:</i> источник красного света находится над источником зеленого света</p>		 <p data-bbox="999 2011 1441 2067"><i>Примечание:</i> объектив камеры направлен на боковое ребро призмы</p>

Дальнейшее развитие знаний учащихся о преломлении света в курсе физики, переход к изучению стереометрии в старших классах общеобразовательной школы и изучение трехмерной графики и 3D моделирования в курсе информатики позволяют вернуться к вопросу о компьютерном моделировании хода луча сквозь оптическую призму в рамках второго междисциплинарного проекта (рис. 3).

Традиционно обучение 3D моделированию в курсе информатики осуществляется на базе профессиональных пакетов программ (*Cinema4D, AutoCAD, Blender* и др.). Они уже содержат набор готовых объектов (примитивов) и инструментов для их преобразования. При этом математические основы 3D моделирования целесообразно раскрыть в программе GeoGebra, используемой учащимися на уроках математики.

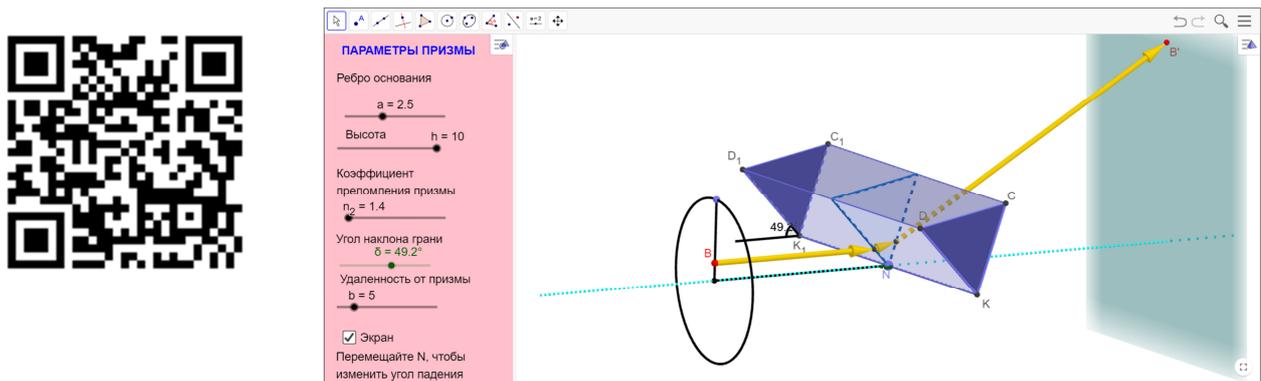


Рис. 3. Электронный ресурс «Трехмерная модель прохождения лучей сквозь призму» с QR кодом для перехода к нему [2]

Выполнение этого проекта дает новый импульс развитию знаний учащихся о феноменах преломления и отражения светового луча. Так, учащиеся по-новому осмысливают закон Снеллиуса, обращая внимание на ту его часть, в которой утверждается, что луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред из точки падения луча, лежат в одной плоскости. При использовании этого утверждения учащиеся обнаруживают, что планиметрическое описание хода луча сквозь призму возможно лишь при условии принадлежности угла падения главному сечению призмы, то есть сечению, перпендикулярному преломляющему (боковому) ребру [9]. В остальных случаях, как показывает рис. 4, процесс моделирования требует обращения к нескольким плоскостям, задаваемым прямой, содержащей падающий на грань луч, и перпендикуляром к этой грани, восстановленным в точку падения луча.

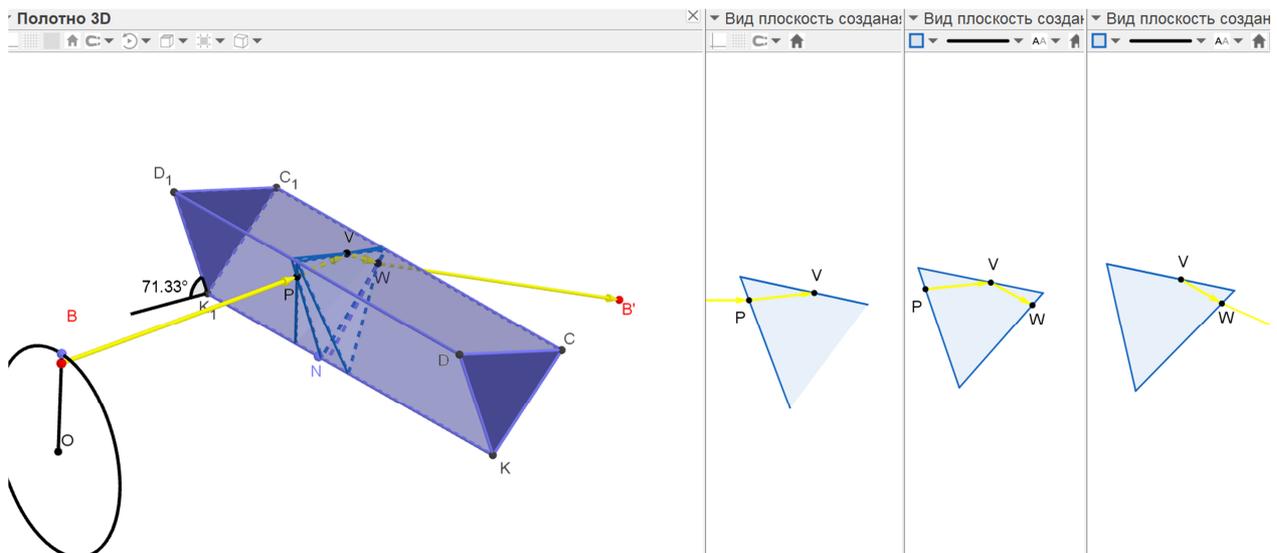


Рис. 4. Пространственный ход луча сквозь оптическую призму (3D-модель)

Следующий шаг в повышении наглядности компьютерной модели может быть сделан за счет привлечения эффекта дополненной реальности (рис. 5).

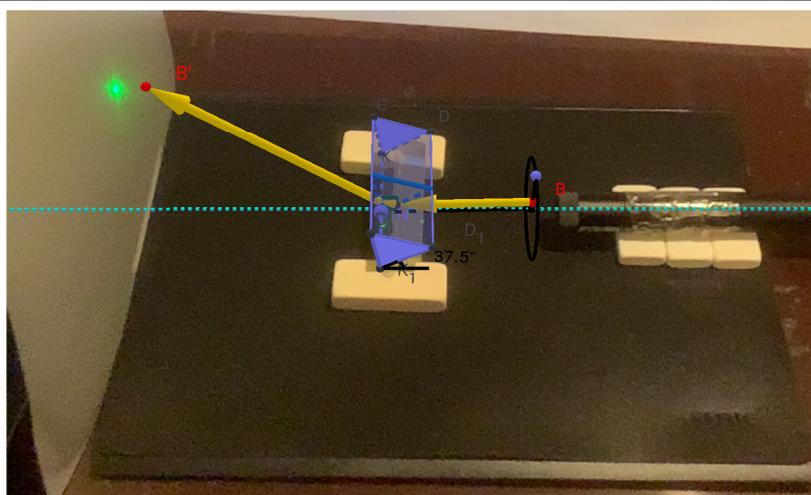


Рис. 5. Совмещение компьютерного и лабораторного эксперимента средствами технологии дополненной реальности

Трёхмерная динамическая модель, представленная в дополненной реальности, позволяет собрать в единое целое результаты теоретического и чувственного познания, так как «окружающий нас мир мы воспринимаем и познаем прежде всего благодаря свету и нашим зрительным ощущениям» [7, с. 366].

Задачу на 3D моделирование хода светового луча сквозь призму предпочтительнее ставить перед учащимися предпрофессиональных классов, так как эта работа носит проориентационный характер – она закладывает необходимую основу для изучения оптических систем с пространственным ходом светового луча, которые изучаются в вузовском курсе прикладной оптики [6].

Приведенный нами пример реализации конвергентного подхода показывает его непротиворечивость предметному подходу к организации обучения. Он лишь требует согласованности действий учителей разных предметов. Точек конвергенции не должно быть много, но они должны быть, и найти их несложно, достаточно посмотреть на реальный мир сквозь призму своей предметной области. В то же время присутствие точек конвергенции в системе общего образования дает возможность учащимся объединить методы и средства различных наук для решения практических задач, что по нашему опыту вызывает вовлеченность учащихся в учебный процесс и повышает их мотивацию.

Список литературы

1. Геометрическая оптика (планиметрия) // [Персональная страница М. В. Шабановой]: сайт GeoGebra. URL: <https://www.geogebra.org/m/kyesku8> (дата обращения: 02.07.2022).
2. Геометрическая оптика (стереометрия) // [Персональная страница М. В. Шабановой]: сайт GeoGebra. URL: <https://www.geogebra.org/m/q8quexnj> (дата обращения: 02.07.2022).
3. Геометрия: 7–9 классы : учебник / Л. С. Атанасян, В. Ф. Бутузов, С. Б. Кадомцев. М. : Просвещение, 2022. 383 с.
4. Кондаков А. М., Сергеев И. С. Образование в конвергентной среде: постановка проблем // Педагогика. 2020. № 12. С. 5–22.
5. Оптическое стекло // АО «Лыткаринский завод оптического стекла». URL: <http://lzos.ru/upload/iblock/818/818322c0e82195aba7b3c9b1441649b9.pdf> (дата обращения: 20.06.2022).
6. Прикладная оптика : учебное пособие / Е. М. Гоголева, Е. П. Фарафонтлова. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 184 с.
7. Теория и методика обучения физике в школе: Частные вопросы : учебное пособие для студ. пед. вузов / под ред. С. Е. Каменецкого. М. : Академия, 2000. 384 с.
8. Фещенко Т. С., Шестакова Л. А. Конвергентный подход в школьном образовании – новые возможности для будущего // МНИЖ. 2017. № 11–2 (65). URL: <https://research-journal.org/pedagogy/konvergentnyj-podход-v-shkolnom-obrazovanii-novye-vozmozhnosti-dlya-budushhego/> (дата обращения: 05.07.2022).
9. Федосов И. В. Геометрическая оптика : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Саратов : САТЕЛЛИТ, 2008. 92 с.
10. Физика: 8-й класс : учебник / И. М. Перышкин, А. И. Иванов. М. : Просвещение, 2021. 255 с.
11. Физика: 9 кл. : учебник / А. В. Перышкин, Е. М. Гутник. М. : Дрофа, 2018. 319 с.
12. Convergence Research at NSF. URL: <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence/index.jsp> (дата обращения: 29.06.2022).
13. Event-Based Learning: Educational and Technological Perspectives Sebastian de la Chica Computer Science Department, UCB 430 University of Colorado at Boulder Boulder, Colorado 80309-0430 USA. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/7927/af96698421c6881c3bd5c3e694a0956bc205.pdf> (дата обращения: 15.06.2022).

14. Halinen I. The new educational curriculum in Finland / M. Matthes, L. Pulkkinen, C. Clouder, B. Heys (Eds.) // Improving the Quality of Childhood in Europe. Brussels, Belgium : Alliance for Childhood European Network Foundation, 2018. Pp. 75–89.

15. Mathematical problem solving for everyone. URL: <http://math.nie.edu.sg/mprose> (дата обращения: 15.06.2022).

The real world through the prism of physics, mathematics and computer science

M. V. Shabanova¹, L. A. Shestakova²

¹Doctor of Pedagogical Sciences, professor, Deputy Head of the Department, Moscow Center for Education Quality. Russia, Moscow; Professor of the Department of Experimental Mathematics and Informatization of Education, M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University.

Russia, Arkhangelsk. ORCID: 0000-0002-5043-0960. E-mail: shabanova.maria-pomorsu@yandex.ru

²leading specialist, Institute of Digital Transformation of Education.

Russia, Mytishchi. ORCID: 0000-0001-6148-369X. E-mail: l.a.shestakova@gmail.com

Abstract. The curriculum of a modern school includes a whole set of academic subjects, the development of which is designed to prepare the student to continue education at a professional level, to independently solve life problems. With many advantages, the subject approach to the organization of training causes more and more complaints. They come down to the recognition of the limited possibilities of subject-based learning in the formation of students' holistic view of the real world, the ability to use the full range of knowledge acquired at school to solve life problems. The limitations of subject-based learning make it possible to overcome the convergent approach to education, which has already been implemented in a number of national and regional educational systems: Event-based learning in the USA, problem-centered learning in Singapore, phenomenon-based learning in Finland. STEAM technology has gained the greatest popularity all over the world, which is being introduced today into the system of pre-professional education in Russia (Moscow). The convergent approach does not reject subject-based learning. It only opens the boundaries for the transfer of objects of study, knowledge, skills and methods of activity from one academic subject to another, for the transition from one type of educational activity to another. In the article, these possibilities of the convergent approach are presented on a concrete example of involving primary and high school students in the scientific analysis of the effects obtained when photographing through a prism.

Keywords: convergent approach in education, geometric optics, sections of polyhedra by plane, geometric transformations, dynamic modeling in GeoGebra environment, computer experiments.

References

1. *Geometricheskaya optika (planimetriya)* – Geometric optics (planimetry) // [Personal page of M. V. Shabanova]: GeoGebra website. Available at: <https://www.geogebra.org/m/kyeskzu8> (date accessed: 02.07.2022).
2. *Geometricheskaya optika (stereometriya)* – Geometric optics (stereometry) // [Personal page of M. V. Shabanova]: GeoGebra website. Available at: <https://www.geogebra.org/m/q8qyexnj> (date accessed: 02.07.2022).
3. *Geometriya: 7–9 klassy : uchebnik* – Geometry: Grades 7–9th grades : textbook / L. S. Atanasyan, V. F. Butuzov, S. B. Kadomtsev. M. Prosveshchenie (Enlightenment). 2022. 383 p.
4. *Kondakov A. M., Sergeev I. S. Obrazovanie v konvergentnoj srede: postanovka problem* [Education in a convergent environment: problem statement] // *Pedagogika* – Pedagogy. 2020. No. 12. Pp. 5–22.
5. *Opticheskoe steklo* – Optical glass // JSC "Lytkarinsky Optical Glass Plant". Available at: <http://lzos.ru/upload/iblock/818/818322c0e82195aba7b3c9b1441649b9.pdf> (date accessed: 20.06.2022).
6. *Prikladnaya optika : uchebnoe posobie* – Applied optics : textbook / E. M. Gogoleva, E. P. Farafontova. Yekaterinburg. Ural University Publishing House. 2016. 184 p.
7. *Teoriya i metodika obucheniya fizike v shkole: Chastnye voprosy : uchebnoe posobie dlya stud. ped. vuzov* – Theory and methodology of teaching physics at school: Private issues : textbook for students of pedagogical universities / edited by S. E. Kamenetsky. M. Akademiya (Academy). 2000. 384 p.
8. *Feshchenko T. S., Shestakova L. A. Konvergentnyj podhod v shkol'nom obrazovanii – novye vozmozhnosti dlya budushchego* [Convergent approach in school education – new opportunities for the future] // *MNIZh*. 2017. No. 11–2 (65). Available at: <https://research-journal.org/pedagogy/konvergentnyj-podxod-v-shkolnom-obrazovanii-novye-vozmozhnosti-dlya-budushchego/> (date accessed: 05.07.2022).
9. *Fedosov I. V. Geometricheskaya optika : uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij* [Geometric optics : a textbook for students of higher educational institutions]. Saratov. SATELLITE. 2008. 92 p.
10. *Fizika: 8-j klass : uchebnik* – Physics: 8th grade : textbook / I. M. Peryshkin, A. I. Ivanov. M. Prosveshchenie (Enlightenment). 2021. 255 p.
11. *Fizika: 9 kl. : uchebnik* – Physics: 9th grade : textbook / A. V. Peryshkin, E. M. Gutnik. M. Drofa (Bustard). 2018. 319 p.
12. Convergence Research at NSF. Available at: <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence/index.jsp> (date accessed: 29.06.2022).

13. Event-Based Learning: Educational and Technological Perspectives Sebastian de la Chica Computer Science Department, UCB 430 University of Colorado at Boulder Boulder, Colorado 80309-0430 USA. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/7927/af96698421c6881c3bd5c3e694a0956bc205.pdf> (date accessed: 15.06.2022).

14. *Halinen I.* The new educational curriculum in Finland / M. Matthes, L. Pulkkinen, C. Clouder, B. Heys (Eds.) // Improving the Quality of Childhood in Europe. Brussels, Belgium : Alliance for Childhood European Network Foundation, 2018. Pp. 75–89.

15. Mathematical problem solving for everyone. Available at: <http://math.nie.edu.sg/mprose> (date accessed: 15.06.2022).