

оригинальная статья

<https://elibrary.ru/aufpjl>

Компьютерное моделирование в школьном курсе физики как инструмент научно-исследовательской деятельности обучающихся

Шмырева Наталья Александровна

Кемеровский государственный университет, Россия, Кемерово

eLibrary Author SPIN: 9397-5836

<https://orcid.org/0000-0002-0540-3293>

Гвоздикова Екатерина Викторовна

Кемеровский государственный университет, Россия, Кемерово

eLibrary Author SPIN: 8965-9451

Ekaterinagvozdikova3@yandex.ru

Аннотация: В статье актуализирован вопрос внедрения в современную образовательную практику школьного курса физики одного из направлений виртуальных технологий – *компьютерного моделирования*, представляющего инструмент научно-исследовательской деятельности обучающихся. Изучение выбранной тематики вызвано необходимостью решать проблему развития воображения, логического и критического мышления у обучающихся, формирования навыков и умений научного познания через углубленное изучение и понимание физических законов и явлений, а также применение их в конкретных физических задачах. Цель – разработать содержание программы научно-исследовательской деятельности обучающихся 8-х классов «Компьютерное моделирование физических свойств молекул и кристаллов». Основные теоретические результаты: систематизация научных смыслов рассматриваемых ведущих понятий (*научно-исследовательская деятельность, компьютерное моделирование*). Практические результаты нашли свое выражение в разработке и реализации программы, предусматривающей включение обучающихся в научно-исследовательскую деятельность. Научная новизна данного исследования заключается в том, что сформулирована суть компьютерного моделирования в школьном курсе физики как инструмента научно-исследовательской деятельности обучающихся, представляющего механизм расширения имеющегося объема знаний, развития творческого и критического мышления, стимулирования поиска и нахождения рациональных путей преодоления поставленных задач, а также доказана идея разработки содержания программы научно-исследовательской деятельности обучающихся в школьном курсе физики и предложены практические шаги ее реализации. В результате было разработано содержание программы научно-исследовательской деятельности обучающихся 8-х классов «Компьютерное моделирование физических свойств молекул и кристаллов».

Ключевые слова: научная деятельность, исследовательская деятельность, обучающиеся, принципы научно-исследовательской деятельности, методологическое основание исследования, компьютерное моделирование, программа, результативность научно-исследовательской деятельности

Цитирование: Шмырева Н. А., Гвоздикова Е. В. Компьютерное моделирование в школьном курсе физики как инструмент научно-исследовательской деятельности обучающихся. *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Гуманитарные и общественные науки*. 2025. Т. 9. № 4. С. 573–586. <https://doi.org/10.21603/2542-1840-2025-9-4-573-586>

Поступила в редакцию 30.04.2025. Принята после рецензирования 02.06.2025. Принята в печать 02.06.2025.

full article

Computer Modeling as a Tool for Research Activities in School Physics

Natalia A. Shmireva

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo

eLibrary Author SPIN: 9397-5836

<https://orcid.org/0000-0002-0540-3293>

Ekaterina V. Gvozdikova

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo

eLibrary Author SPIN: 8965-9451

Ekaterinagvozdikova3@yandex.ru

Abstract: Computer modeling can be introduced into the secondary school course of physics as a creative research tool. It develops imagination, logical thinking, and critical thinking. Students learn to apply their knowledge of physical laws and phenomena to specific physical problems. Upon investigating such concepts as research activities and computer modeling, the authors designed a research program for 8th grade students in computer modeling of the physical properties of molecules and crystals. The program was tested and proved to be an effective research

tool that allowed the students to expand their knowledge of physics, improve creativity, and develop critical thinking, as well as taught them to look for rational solutions to practical tasks.

Keywords: scientific activity, research activity, students, principles of research activity, methodological basis of research, computer modeling, program, effective research

Citation: Shmireva N. A., Gvozdikova E. V. Computer Modeling as a Tool for Research Activities in School Physics. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i obshchestvennye nauki*, 2025, 9(4): 573–586. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2542-1840-2025-9-4-573-586>

Received 30 Apr 2025. Accepted after review 2 Jun 2025. Accepted for publication 2 Jun 2025.

Введение

Современная парадигма организации учебного процесса на школьном уровне образования характеризуется выбором оптимальных путей формирования совокупности знаний, умений и навыков, необходимых для реализации замыслов различного уровня. В этой связи направление научно-исследовательской деятельности обучающихся (далее – НИД) выполняет важнейшую образовательную функцию, поскольку предполагает и освоение теоретического материала, влияющего на расширение информационного поля по различным учебным дисциплинам, и овладение практическими знаниями по усвоению механизмов использования современных информационных технологий и т.д. Совокупность приобретаемого опыта оказывает глубокое и разностороннее влияние на развитие у обучающихся ключевых компетенций научно-познавательной деятельности.

Изложенный тезис послужил основанием для научного поиска смыслов ведущих терминов исследования, таких как *научно-исследовательская деятельность, компьютерное моделирование*, определяющих понимание сути рассматриваемого феномена.

Изучение понятия *научно-исследовательская деятельность* уходит своими корнями в середину XIX в. [1]. Следует отметить, что эволюционные моменты развития разных направлений отечественной науки сказались и на содержательном аспекте ключевого понятия. В нашем исследовании коснемся характеристик дефиниций, которые и образуют, и уточняют представление о рассматриваемом явлении: *деятельность, научная и исследовательская деятельность, научно-исследовательская деятельность*.

На сегодняшний день толкование понятия *деятельность* представлено в различных научных областях достаточно многогранно. В философии деятельность трактуется как специфический вид когнитивной активности [2]. В психологии деятельность – это динамическая система взаимодействий субъекта с внешним миром. В ходе чего происходит осознанное и целенаправленное действие на объект. В. Д. Шадриков определяет деятельность как труд и занятие, а труд как «целесообразную деятельность

человека, направленную на создание материальных и духовных ценностей» [3, с. 26]. В педагогике деятельность означает активную форму взаимодействия человека с окружающей действительностью [4]. В физике деятельность трактуется как системно организованный процесс, который связан с решением обучающимися творческой исследовательской задачи, имеющей ранее неизвестное решение [5]. Для нашего исследования важны те акценты, которые будут нести смысловую нагрузку, адекватную целям и задачам исследования. К таковым относятся: *фокус когнитивности* через взаимосвязь осознанности, понимания и познания, *идея динамической системы взаимодействия* как установление сети взаимосвязи, *процесс решения многозначных задач* путем поиска и нахождения решений.

В образовательной практике научная деятельность напрямую связана с решением неоднозначной, не имеющей абсолютно правильного ответа творческой задачи. В этом случае можно говорить о том, что решение непростого вопроса происходит посредством выполнения разных по сложности заданий, преодоления сложностей исследовательского характера. Таким образом, научная деятельность представляется как деятельность, направленная на получение и применение новых знаний с учетом выполнения основных требований, включающих: постановку задач, исследование теоретического материала и обобщение результатов исследования, выдвижение гипотезы, подбор инструментария. В академических разработках представлены 3 формы научной деятельности: 1) фундаментальные научные исследования, 2) прикладные научные исследования, 3) поисковые научные исследования. Последняя форма представляет интерес для будущего материала.

Понятие *исследовательской деятельности* достаточно широко представлено в научных трудах. И. А. Зимняя и Е. А. Шашенкова выделяют направленность на удовлетворение познавательных потребностей личности, результатом чего является новое знание, отвечающее поставленной цели [6]. В. В. Блохин оценивает исследовательскую деятельность как вид творческой деятельности, приводящей

к внутреннему преобразованию познающего субъекта [7]. А. И. Савенков характеризует смысл исследовательской деятельности как особого вида интеллектуально-творческой деятельности, формирующейся в результате действия механизмов поисковой активности на базе исследовательского поведения [8].

Таким образом, исследовательская деятельность рассматривается как характерный вид познавательного учения, в ходе которого с помощью разнообразных методов выявляются новые, ранее не известные стороны, отношения, грани изучаемого объекта. Это часть научной деятельности, которая предполагает самостоятельное изучение вопроса, использование согласованных методов, оценку реального положения дел в рамках рассматриваемой темы или раздела, шаги предшественников по решению проблемы. Основу исследовательской работы составляют учебная, справочная и преимущественно научная литература. В этом случае стоит придерживаться опоры на объективность, доказательность и воспроизводимость. Ее цель заключается в том, чтобы развить исследовательские умения и навыки у обучающихся и научить их логическому мышлению. В этом и заключается суть исследования как вида познавательной деятельности, способствующей выработке новых научных знаний. Благодаря исследовательской деятельности можно получить новые факты и их доказательство.

Следует отметить, что подробные рассуждения представленных дефиниций необходимы для нашего исследования, поскольку понятие *научно-исследовательская деятельность*¹ совмещает в себе два вида деятельности, которые в результате решают конкретно поставленную задачу и позволяют достичь новых знаний. Научно-исследовательская деятельность включает фундаментальные, прикладные и поисковые исследования [9]. Для нашего исследования необходимы поисково-фундаментальные действия, которые помогут получить уникальные результаты с дальнейшим их использованием в практических целях.

С внедрением компьютерных технологий в отечественную образовательную практику довольно прочно вошло **компьютерное моделирование** [10].

Как научный феномен данное явление вызвано некоторыми вполне объяснимыми обстоятельствами: использование виртуальных программ способствует развитию интереса к изучаемым дисциплинам, необходимостью имитации реальных или гипотетических систем, процессов или явлений, что развивает логическое и критическое мышление. В. Г. Разумовский отмечает, что с введением

в учебный процесс компьютеров возрастают возможности многих методов научного познания, особенно метода моделирования, который позволяет резко повысить интенсивность обучения, поскольку при моделировании выделяется сама суть явлений и становится ясной их общность [11].

Изучение работ О. С. Маркович [12], Е. В. Оспенниковой и Д. А. Антоновой [13], М. А. Денисенко [14] повлияло на формулирование некоторых положений о том, что компьютерное моделирование и научно-исследовательская деятельность тесно связаны, т. к. компьютерное моделирование – один из методов научного исследования. В качестве доказательств приведем некоторые обобщения:

- компьютерное моделирование позволяет проводить вычислительные эксперименты, которые в реальной постановке могут быть затруднены или дать непредсказуемый результат;
- логичность и формализованность компьютерных моделей помогает выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемых объектов;
- компьютерное моделирование применяется в трудно формализуемых областях знания, требующих специальных методов;
- исследователь с помощью компьютерных технологий контролирует процесс на более высоком уровне: целевых установок, концепции познания, коррекции способов и методов получения адекватного знания об объекте;
- системы компьютерного моделирования подходят для достоверного подтверждения гипотезы исследования.

Таким образом, компьютерное моделирование – важный инструмент научно-исследовательской деятельности, который расширяет возможности изучения и познания различных систем и процессов.

В современной учебной практике компьютерное моделирование входит в реальный процесс научного исследования, проводимого школьниками. Именно этот феномен помогает обучающимся выходить на новый уровень погружения в незнакомое, постижения неизведанного и освоения различных методов получения результатов.

В рамках концепции деятельностного подхода, предложенной В. А. Львовским, А. Б. Воронцовым, В. М. Заславским, Е. В. Чудиновой и Б. Д. Элькониним, в качестве ключевого учебного действия для обучающихся выступает компьютерное моделирование. Оно представляет собой инструмент, благодаря которому легче понимать и анализировать сущность связей изучаемого предмета [15].

¹ Комнатная Ю. А. Научная деятельность. *Большая российская энциклопедия*. 08.07.2022. URL: <https://bigenc.ru/c/nauchnaia-deiatel-nost-d3b3c3> (дата обращения: 10.03.2025).

Методы и материалы

Методологическим основанием исследования послужила совокупность подходов, сопровождающих весь цикл научно-исследовательской деятельности обучающихся, к которым были отнесены системный, деятельностный и компетентностный подходы.

Системный подход [16] позволяет и обеспечивает выделение основополагающих аспектов организации рассматриваемого процесса: цель, задачи, формы, методы и др. В нашем случае реализация данного подхода позволила: а) рассмотреть весь процесс целно и комплексно; б) освоить процесс и объекты как неделимые структуры и получить знания о закономерностях образовательного процесса, его организации и функционировании; в) ключевое определение *научно-исследовательская деятельность* изучить с позиции выделения смыслов *исследование, научная область*, уточнить в совокупности общий смысл понятия *научно-исследовательская деятельность*.

Деятельностный подход [17] является в исследовании квинтэссенцией организации учебно-познавательной, научно-исследовательской деятельности обучающихся и выступает важным аспектом познания изучаемого физического явления, проникновения и погружения в постижение физических явлений. В целом реализация деятельностного подхода подразумевает системное новообразование:

- формирование знаний о природе важнейших физических явлений окружающего мира и понимание смысла физических законов;
- развитие умений пользоваться методами научного исследования явлений природы, проводить наблюдения, планировать и выполнять эксперименты, обрабатывать результаты измерений;
- у обучающихся происходит развитие научно-исследовательского мышления на основе формирования умений устанавливать факты, различать причины и следствия, строить модели и выдвигать гипотезы, отыскивать и формулировать доказательства выдвинутых гипотез, выводить из экспериментальных фактов и теоретических моделей физические законы.

Компетентностный подход [18] позволяет решать задачи практического, научно-исследовательского характера; распознавать проблемы,

которые можно решить при помощи физических методов; сформировать навыки действенного поиска научных сведений, постижения смысла научно-популярного характера в различных источниках разнообразных средств информации, умения критически ее оценивать.

Таким образом, рассмотрение подходов и учет особенностей каждого резюмируют следующее: все подходы и их компоненты рассматривались не раздельно, а во взаимосвязи с другими подходами, взаимодействиями и взаимообусловленности сущностного содержания каждого из них.

В работе использовались теоретические методы: анализ научных работ по рассматриваемой в статье проблеме, систематизация материалов, обобщение научных подходов и позиций. Кроме того, был применен эмпирический метод наблюдения, позволивший определить механизм изучения кристаллических твердых тел в ракурсе компьютерного моделирования, увидеть процесс измерения – вычисление сложных физических параметров, имеющих значимые результаты для научного исследования.

В обобщенном плане наблюдение и измерение позволяют смоделировать ситуацию, где обучающиеся могут измерять, исследовать и изучать сложные как органические, так и неорганические соединения. Свои результаты обучающиеся могут представлять на конференциях разного уровня. Наша задача определить, как научно-исследовательская деятельность влияет на развитие школьников в научно-образовательной среде.

Было проведено анкетирование на базе Гимназии № 21 им. А. М. Терехова г. Кемерово. В качестве респондентов были выбраны обучающиеся 8-х классов ($n = 30$). Им была предложена анкета на тему «Научно-исследовательская деятельность». Вопросы анкеты разрабатывались в рамках учебного предмета Физика (базовый уровень).

Работа выполнена с учетом документов:

- ФООП ООО. Приказ Минпросвещения России от 18.05.2023 № 370 «Об утверждении федеральной образовательной программы основного общего образования»².
- Федеральная рабочая программа основного общего образования учебного предмета Физика (базовый уровень) (для 7–9 классов образовательных организаций)³.

² Об утверждении федеральной образовательной программы основного общего образования. Приказ Минпросвещения России № 370 от 18.05.2023. СПС Кодекс.

³ Федеральная рабочая программа основного общего образования учебного предмета Физика (базовый уровень) (для 7–9 классов образовательных организаций). Институт стратегии развития образования. М., 2023. URL: https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/20_ФПП-Физика_7-9-классы_база.pdf (дата обращения: 10.03.2025).

Результаты

Исходя из ответов на вопрос *Что вы знаете про научно-исследовательскую деятельность?*, были получены следующие данные. 15 человек (50 %) ответили, что научно-исследовательская деятельность направлена на получение новых знаний, сбор, анализ и оценку полученных результатов: *деятельность, направленная на развитие науки, техники и технологий; занятие, которое позволяет получать новые знания и проверять существующие; деятельность, связанная с естественно-научными предметами; это участие в проектах, научных стартапах*⁴. 9 человек (30 %) утверждают, что делали и защищали школьные проекты на конференциях. 3 человека (10 %) считают, что НИД важна для развития современного общества, технологий и научно-технических идей, обосновывая это тем, что возможно постараться приблизиться к истине. 3 человека (10 %) обозначили НИД значимой деятельностью для себя, т. к. это интересно, увлекательно, полезно, но и одновременно сложно.

Проанализировав эту информацию, можно выявить несколько основных аспектов:

- знание про научно-исследовательскую деятельность свидетельствует о том, что обучающиеся 8-х классов на регулярной основе проводят мероприятия, посвященные науке. В ходе этих мероприятий они формулируют проблемную тему, занимаются поиском тематической литературы, проводят исследования, собирают данные, анализируют их и в заключение представляют свои результаты аудитории;
- из опроса доминирует прагматичное понимание НИД как процесса получения знания (50 % и 30 %);
- это связь с учебой, а именно как компонент учебной деятельности;
- из ответов респондентов следует отметить, что важна значимость учителя – как консультанта по исследовательской деятельности;
- преимущественно обучающиеся считают, что научно-исследовательская деятельность направлена на естественно-научные дисциплины: физика, химия, биология.

Второй вопрос – *Что такое научная деятельность?* – был необходим для того, чтобы выявить насколько точно обучающиеся средней школы различают понятие *научная деятельность* от понятия *исследовательская деятельность*. По итогам ответов респондентов можно сделать вывод о том, что 11 человек (37 %) ответили, что научная деятельность направлена на поиск и получение новых знаний об окружающих объектах. В процессе научной

деятельности важна классификация и систематизация, чтобы достоверно отнести исследуемый объект к тому или иному виду, классу. 6 человек (20 %) определили, что научная деятельность направлена на применение знания в конкретной области для решения конкретной задачи. 5 человек (17 %) ответили, что научная деятельность базируется на специальных этапах – это гипотеза, эксперимент и выводы. 4 человека (13 %) считают, что научная деятельность имеет сильную связь с междисциплинарными предметами. Например, взаимосвязь физики и химии, химии и биологии, физики и программирования. 2 человека (7 %) отметили, что участвовали в летней школе, где пробовали себя в научной деятельности. И лишь 2 человека (6 %) мало знают о научной деятельности или не занимались ей вовсе.

Ответы на второй вопрос продемонстрировали, что обучающиеся правильно разграничивают научную деятельность, ее основную цель и задачи. Многие школьники выделяют именно прикладной аспект научной деятельности: *написание научной работы и обсуждение с учителем или научным наставником; применение полученных знаний на практике; интеллектуальная деятельность, которая направлена на реализацию поставленных научных задач*. Установлено следующее:

- обучающиеся точно определяют последовательный ход научной деятельности, что свидетельствует о том, что есть те, кто занимается проектами, школьными конференциями;
- обучающиеся видят, как научная деятельность и ее развитие может повлиять на общество. Здесь упоминается развитие научно-технического процесса, развитие научно-исследовательских центров и поддержка школьников в области науки.

Вопрос *Что такое исследовательская деятельность?* определил, насколько обучающиеся понимают, что такое *исследовательская деятельность* и чем она отличается от *научной деятельности*. 19 респондентов (64 %) отмечают, что исследовательская деятельность – это область, где необходимо узнавать новые свойства об объектах: *исследовательская деятельность – изучение объектов и исследование его свойств, определенных параметров; это решение теоретических или практических задач, где результат заранее неизвестен; поиск решения по заданной научной теме с получением уникальных результатов*. 8 респондентов (26 %) считают, что исследовательская деятельность напрямую связана с наукой и имеет фиксированный алгоритм, которого следует

⁴ Здесь и далее в примерах сохранены авторские орфография и пунктуация.

придерживаться: определение тематики исследования, выбор метода исследования, проведение детального исследования – свойства объекта – обсуждение полученных результатов. 3 ученика (10 %) считают, что исследовательская деятельность имеет гипотезу исследования, научный подход к изучению объекта и должна иметь практическое применение.

Проведя анализ ответов на третий вопрос, можно выявить основные идеи респондентов:

- обучающиеся акцентируют внимание на значимости исследовательской деятельности и могут разграничить это понятие от научной деятельности. Они обосновывают это тем, что в исследовательской деятельности изучается определенная деталь, конкретный элемент определенной структуры, его свойства и параметры, которые присущи только этому объекту;
- многие из респондентов указали в ответе, что исследовательская деятельность – это зачастую неизвестный результат. Действительно, заранее ученый или исследователь не знает, какой получится результат: положительный или отрицательный. Он может его только предсказать, например, методом компьютерного моделирования;
- обучающиеся отмечают, что исследовательская деятельность, так же как и научная, преимущественно преобладает в таких областях, как физика, химия, биология, программирование. Это свидетельствует о том, что объекты (преимущественно) материальны, их можно классифицировать и систематизировать. В свою очередь, это позволяет выявить причинно-следственные связи, обозначить общую схему «поведения» и предсказать характер исследуемой модели. Детализация в исследовательской деятельности выступает как инструмент для поиска объективных закономерностей.

На рисунке 1 представлена диаграмма ответов респондентов на четвертый вопрос: *Что Вы можете отнести к научно-исследовательской деятельности?* Обучающимся предоставляется возможность выбрать виды деятельности, которые они могли бы отнести к научно-исследовательской.

Исходя из рисунка 1, 80 % респондентов ответили, что научно-исследовательская деятельность – это *поиск новых состояний вещества*. Рассматривая данный аспект со стороны физического материаловедения, изучая / моделируя объекты, исследователь получает / прогнозирует уникальные свойства, особенности и значимые параметры. Поиском новых состояний вещества помогают заниматься компьютерные технологии и прикладные математические специализированные пакеты, что, в свою очередь, обеспечивает гарантию точности выполненного эксперимента. 76,7 % респондентов считают, что научно-исследовательская деятельность – это *открытие новых физических явлений / свойств / объектов*. Полученные данные хорошо согласуются с предыдущим ответом респондентов, что поиск этих свойств является основным компонентом в поиске новых состояний вещества. Это характеризует особенность метода научной индукции.

Ответ *изучение основных законов и явлений физики* (43,3 %) практически сопоставим с ответом *применение физических законов и принципов для решения конкретных практических задач* (36,7 %) – эти компоненты являются симбиозом, т. е. дополнением друг друга. 73,3 % респондентов обозначили, что экспериментальная и теоретическая работа также важны для научно-исследовательской деятельности и являются фундаментальным компонентом.

При ответе на вопрос *Хотели бы Вы заниматься профессионально научно-исследовательской деятельностью в будущем?* было установлено, что большинство (57 %) обучающихся положительно относятся к научно-исследовательской деятельности, пробуют себя в школьных конференциях и заинтересованы в продолжении этой деятельности. 33 % обучающихся не видят себя в сфере науки, предпочтительно выбирают другие дисциплины для дальнейшей профессиональной деятельности. В основном это гуманитарные дисциплины: обществознание, история и иностранные языки. Лишь 10 % обучающихся находятся в поиске выбора дальнейшей профессиональной деятельности.

На основе опроса была разработана модель, которая служит образцом научно-исследовательской



Рис. 1. Ответы респондентов про виды научно-исследовательской деятельности
Fig. 1. Responses to the question about types of research activity

деятельности обучающихся по физике с компьютерным моделированием физических свойств кристаллов $A_2NO_3(OH)_3$ ($A = Sr, Ba$) с помощью программного пакета CRYSTAL [19] во внеурочной деятельности.

Педагогическая практика показывает, что изучение физики на базовом уровне предполагает формирование естественнонаучной грамотности [20], а именно: научное объяснение явления, оценка и понимание особенностей научного исследования, интерпретация данных и использование научных доказательств для получения выводов. Ценность учебной дисциплины Физика определяется не только приобретением интереса и стремлением обучающихся к научному изучению природы, развитию их интеллектуальных и творческих способностей, но и развитием представлений о научном методе познания и формированием исследовательского отношения к окружающим явлениям, что, в свою очередь, влияет на формирование научного мировоззрения как результата изучения основ строения материи и фундаментальных законов физики.

В предыдущем разделе был представлен аналитический материал проведенного опроса, на основе которого было разработано содержание научно-исследовательской деятельности обучающихся 8-х классов по физике на основе учебника А. В. Перышкина [21] во внеурочном формате с компьютерным моделированием физических свойств кристаллов $A_2NO_3(OH)_3$ ($A = Sr, Ba$) с помощью программного пакета CRYSTAL.

Моделирование – это физический эксперимент, который проводится с целью изучения объекта с его характерными свойствами. Моделирование применяется, когда естественные испытания невозможны из-за размеров или параметров объекта⁵.

Компьютерное моделирование по определению есть исследование, основанное на первых принципах физико-химических свойств кристаллических твердых тел, полимеров и молекул с помощью программного специализированного пакета CRYSTAL. Программный пакет используется для расчета кристаллической решетки, электронной структуры, упругих свойств, оптических и термодинамических параметров, что помогает полностью изучить свойства и особенность материала [19].

Данная тематика исследования согласуется с учебным тематическим планированием по предмету Физика в 8 классе по рекомендованной учебной литературе А. В. Перышкина. Содержание основных тем по физике направлено на формирование естественнонаучной грамотности обучающихся

и организацию изучения физики на деятельностной основе. В программе по физике учитываются возможности учебного предмета в реализации требований ФГОС ООО⁶ к планируемым личностным и метапредметным результатам обучения, а также межпредметные связи естественнонаучных учебных предметов на уровне основного общего образования.

На углубленном понимании тем: «Масса и размер атомов и молекул», «Модели твердого, жидкого и газообразного состояний вещества», «Кристаллические и аморфные тела», «Проводники и диэлектрики. Закон сохранения электрического заряда» и «Внутренняя энергия. Способы изменения внутренней энергии» – возможно понимание физики и основ химии для изучения предложенной темы. В качестве основной темы предлагается «Масса и размер атомов и молекул», на ее основе можно провести внеурочную деятельность по теме: «Моделирование характера системы атомов в кристаллической решетке». Подробное планирование представлено в таблице.

Цель научно-исследовательской работы обучающихся с позиции достижения дидактико-творческих и исследовательских перспектив может быть достигнута через включение во все виды научно-исследовательской деятельности. Это, в свою очередь, способствует формированию у обучающихся навыков и умений научного познания, развитию творческого мышления, углубленному изучению и пониманию физических законов и применению их в конкретных физических задачах. В этом смысле и приходится акцент научности на проводимые исследования. Следует отметить, что учебная дисциплина Физика располагает потенциалом.

Основные задачи научно-исследовательской деятельности:

- формирование навыка правильно формулировать тему, гипотезу исследования, ставить цель и задачи исследования;
- обучение сбору научных данных, анализу полученных результатов и интерпретации итоговых результатов;
- формирование работы с научной литературой и специализированными программами и с цифровыми инструментами;
- развитие критического мышления, объективность и ответственность за свои результаты;
- стимулирование интереса к физике через практико-ориентированные и актуальные проблемы.

⁵ Физическая энциклопедия, гл. ред. А. М. Прохоров. В 5 томах. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 3. С. 157–158.

⁶ Об утверждении ФГОС ООО. Приказ Минобрнауки России № 1897 от 17.12.2010. URL: <https://fgos.ru/fgos/fgos-ooo> (дата обращения: 10.03.2025).

Табл. Программа научно-исследовательской деятельности обучающихся 8-х классов «Компьютерное моделирование физических свойств молекул и кристаллов»

Tab. Research program for 8th grade students: *Computer modeling of physical properties of molecules and crystals*

Тема	Цель	Задачи	Методы
Масса и размер атомов и молекул «Моделирование характера системы атомов в кристаллической решетке»	Проиллюстрировать относительные размеры атомов и молекул в изучаемых соединениях, их масштабы в сравнении с другими известными веществами или другими макрообъектами	1. Сравнить размеры атомов в элементарной кристаллической ячейке, выявить химические особенности атомов, провести сравнительную характеристику атомов одной / различных групп 2. Объяснить характерные особенности элементов. Сравнить полученные результаты с экспериментальными значениями 3. Наглядно визуализировать результаты оптимизации структуры	1. Метод изучения и анализа литературы позволяет дать первоначальные представления и знания о строении атома и его характеристиках. В научных источниках представлены данные, которые можно использовать для сравнения с теоретическими расчетами 2. Метод наблюдения позволяет фиксировать особенности атомов с помощью компьютерного моделирования в структуре кристалла 3. Метод моделирования с помощью специализированного прикладного пакета CRYSPLOT позволяет увидеть характер атомов в определенном соединении и выявить определенные закономерности, которые присущи данной симметрии
«Моделирование колебаний атомов в кристаллической решетке на определенных частотах»	С помощью специализированного пакета смоделировать колебательные движения и показать, как частота этих колебаний влияет на оптические свойства материалов	1. Создание интерактивной модели кристаллической структуры для визуализации атомов на определенных частотах 2. Объяснить, как колебания определенной частоты влияют на характер атома	1. Виртуальное наблюдение позволяет в режиме реального времени наблюдать за микроскопическими структурами и их характерными особенностями 2. Сравнительный анализ позволяет определить, как ведут себя атомы одного элемента и другого. Выявить их сходства и определить различия, пояснить, с чем это может быть связано
Модели твердого, жидкого и газообразного состояний вещества «Моделирование кристаллической структуры исследуемых объектов: органических и неорганических соединений»	По основным расчетным данным построить модель кристаллической изучаемой структуры	1. Построение конкретного физического объекта с упорядоченной структурой с особенностью порядка симметрии 2. Наглядно познакомиться с исследуемым объектом и понять точное расположение атомов в узлах кристаллической решетки 3. Визуализация кристаллической решетки позволяет определить межатомное расстояние между атомами в соединении	1. Метод абстрагирования позволяет увидеть полученную модель на основе теоретических расчетов и представить эту систему в своем познании 2. Метод индукции – ранее изучив особенности атомов и их характер в кристаллической ячейке, можно предсказать характер всей системы, опираясь на полученные данные

Тема	Цель	Задачи	Методы
Кристаллические и аморфные тела	Ознакомиться с основами кристаллофизики и кристаллохимии	Изучить научные работы по теме: 1. «Элементы симметрии кристаллических структур» 2. «Формы и классы симметрии» 3. «Формы кристаллов»	1. Работа с научной литературой. Представленные темы для изучения включают основную терминологию и базовое обозначение элементов, что является важным при написании научных докладов и сравнительном анализе
Проводники и диэлектрики. Закон сохранения электрического заряда «Компьютерное моделирование кристаллических структур для изучения проводимости» от закона сохранения заряда к элементам теории функционала плотности»	Смоделировать и сравнить электронные карты плотности исследуемых объектов, пронаблюдать сильное и слабое перекрытие электронных облаков	Использовать готовые DFT-расчеты и сравнить карты электронной плотности с базой данных	1. Сравнение по полученным данным электронной плотности и перекрытия электронных облаков 2. Наблюдение – наглядные электронные карты позволяют увидеть химическую связь в структуре и особенности химических оболочек
Внутренняя энергия. Способы изменения внутренней энергии	Изучить особенность расчета электронной структуры веществ. Определить, что электроны в кристалле распространяются так, чтобы минимизировать энергию системы	1. Изучить основы теории функционала плотности 2. Выявить основную физическую суть решения уравнения Шредингера	1. Знакомство с литературой и научными статьями по соответствующей тематике 2. Анализа полученных данных с экспериментальными известными данными

Принципы научно-исследовательской деятельности заключаются в системности и регулярности. В последовательной реализации этапов заключается полная системность: если полностью спланирована тема исследования, обозначена ее актуальность, новизна и предложено практическое применение, проделав эту работу, мы сможем перейти на следующий этап – реализации [22; 23].

Важно на начальных этапах интегрировать НИД в основной образовательный процесс. Так обучающиеся будут совмещать учебный процесс с исследовательской деятельностью. Материал, полученный на уроке, они могут применять в своих проектах, а новые знания, приобретенные в ходе научно-исследовательской деятельности, могут использовать на уроках, олимпиадах, конференциях. Стоит отметить, что в научно-исследовательской деятельности хорошо применим проектный метод, рассчитанный на долгосрочный период, так обучающиеся будут дольше находиться в «научном пространстве», что, в свою очередь, способствует закреплению и углублению материала, опыта и навыков.

В современной школе научно-исследовательская деятельность может быть успешно реализована благодаря возможностям урочной и внеурочной

деятельности обучающихся. Это может быть кружок по подготовке к конференциям и олимпиадам. Цель такого кружка – вовлечение обучающихся в научно-исследовательскую деятельность, где осуществляется анализ и детализация современных направлений физики, чтение и обсуждение литературы, проведение опытов и экспериментов и, заключительный этап, представление результатов на днях, посвященных физике, или конференциях.

Предлагая научно-исследовательскую программу по теме «Компьютерное моделирование физических свойств» в учебном предмете Физика (базовый уровень), мы учитывали проведение различных видов исследования, например провести эксперимент с конкретными физическими объектами, рассчитать параметры, зафиксировать полученный результат, сравнить данные и изучить научную литературу по теме. Смысл компьютерного моделирования для обучающихся заключается в том, чтобы увидеть физическую и химическую закономерность исследуемых объектов, на основе этого наблюдения предсказать характер и особенности веществ, в заключении сделать вывод о реальном применении кристаллов в современном материаловедении [24].

Занятие таким видом деятельности формирует личные показатели результативности. Научно-исследовательская деятельность по физике развивает умение работать с большим объемом информации посредством поиска, анализа и структурирования нужного материала, что способствует лучшему проведению эксперимента. Помимо кружка возможности компьютерного моделирования используются для подготовки к научно-практическим конференциям, что, в свою очередь, развивает не только научно-исследовательские умения школьников, но и навыки коммуникации и умение работать в научном коллективе.

Важным показателем результативности определяется повышение мотивации к изучению физики и готовность решать нестандартные задачи. Практическим результатом является представление своего исследования широкой аудитории.

Таким образом, представленная программа и ее осуществление, по нашему наблюдению, способствуют формированию необходимых исследовательских компетенций для будущей научной деятельности. Структура программы учитывает совокупность основных ее компонентов: тематическое разнообразие, цель, задачи, методы обеспечения активности научно-исследовательской работы обучающихся.

Общая цель реализации программы по компьютерному моделированию – формирование интереса, навыков научно-исследовательской деятельности обучающихся.

На рисунке 2 представлены 3D-модели молекулы CH_4 (а) и схема плотности заряда электронов молекулы CH_4 (б).

Была рассмотрена более сложная структура щелочноземельного кристалла $\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$, представленная на рисунке 3⁷.

В предложенной программе НИД обучающиеся работали самостоятельно по определенным темам.

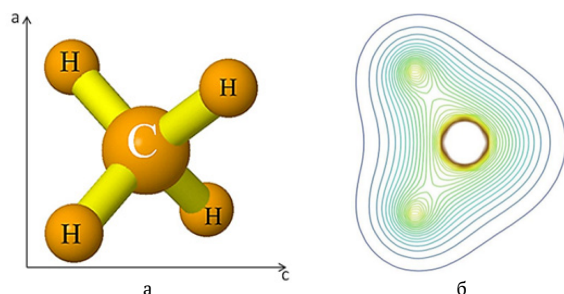


Рис. 2. 3D-модель молекулы метана CH_4 (а) и его электронная плотность заряда (б)

Fig. 2. 3D-model of (a) CH_4 methane molecule and (b) its electronic charge density

Самостоятельная работа заключалась в изучении специальной литературы, ее анализе, оценке и прогнозировании свойств объектов. После ознакомления с научным материалом обучающийся владеет навыком моделирования простых моделей кристаллов, исходя из результатов, которые были получены лично исследователем или преподавателем. Ученик самостоятельно может интерпретировать свои результаты: это может быть графическая визуализация, табличное представление или диаграммы сравнения.

Нами была проведена серия внеурочных мероприятий в 8 классе, посвященных научно-исследовательской деятельности, а именно изучению научной литературы, исследованию 3D-модели объекта и анализу электронной плотности структур.

На занятиях мы изучили особенности строения веществ, повторили виды кристаллических решеток твердых тел, выяснили, что они имеют строгий упорядоченный набор атомов. Разобрали основную терминологию: *твердое тело, кристалл, элементарная ячейка, атом, симметрия, симметрия*

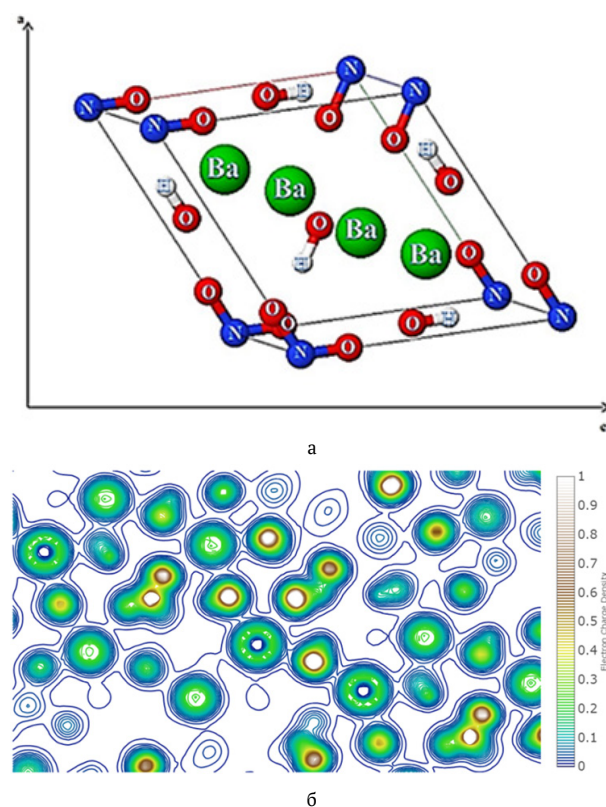


Рис. 3. 3D-модель кристалла $\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ (а) и его электронная плотность заряда (б)

Fig. 3. 3D-model of (a) $\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$ crystal and (b) its electronic charge density

⁷ Рисунки смоделированы авторами в программе CRYSPLOT. URL: <https://cryspilot.crystalsolutions.eu/> (accessed 10 Mar 2025).

кристалла, 3-D модель объекта, трехмерное пространство. В основе литературы были следующие учебные материалы: учебник по физике А. В. Перышкина [21], материалы о кристаллах А. А. Чернова⁸, а также М. П. Шаскольской и Б. К. Вайнштейна⁹.

Для понимания базовых понятий был сделан опорный конспект, который позволял обучающимся владеть основными понятиями, которые применимы в данном исследовании.

На этом этапе обучающиеся были вовлечены в процесс работы, тема была достаточно новая, с новыми физическими определениями и понятиями. Была представлена научная литература и ее обсуждение основных первых тем. Обучающиеся делали зарисовки и краткие пояснения.

Одно из занятий было посвящено анализу молекулы метана (CH_4). Для упрощения работы преподавателем были предоставлены исходные первоначальные данные для моделирования объекта с помощью программы CRYSPLOT. Была смоделирована геометрическая пространственная модель молекулы и построена схема плотности заряда. На основе полученных результатов определены особенности расположения атомов в пространстве, выявлены основные химические связи, получена карта плотности.

Следует выделить важный аспект исследовательской деятельности обучающихся – самостоятельную работу, которая учитывала исследование структуры вещества щелочноземельного кристалла $\text{Ba}_2\text{NO}_3(\text{OH})_3$. Соединение является сложным, рассматривалась связь Ba-O, N-O и H-O. Обучающиеся легко построили элементарную ячейку кристалла, по описанию определили вид и симметрию кристалла, используя соответствующую научную литературу. Объяснили почему в кристалле ковалентная связь и почему объект является ионным. Сложность у большинства возникла с построением карты плотности, где они могли увидеть перекрывание электронных оболочек и сильную связь между ионами. На этом этапе требовалось пояснение учителя, использование визуальных методов, показывающих химическую связь.

Несмотря на сложность, обучающиеся выполнили задание. Они представили свои результаты в виде доклада, сделали самоанализ проделанной работы и углубились в изучение физики. Такой вид деятельности заключался в сборе данных, полноценном сравнении и интерпретации результатов, а также анализе методов. Это развивает внимательность, концентрацию, усидчивость и трудолюбие.

Эти навыки важны в профессиональной научно-исследовательской деятельности.

В процессе работы обучающимися были проявлены базовые исследовательские действия:

- составление плана самостоятельного проведения эксперимента – моделирование по конкретной теме,
- использование вопросов как исследовательского инструмента познания;
- самостоятельное формулирование обобщений и выводов по результатам;
- прогнозирование возможного дальнейшего этапа моделирования различных физических процессов [25].

Таким образом, компьютерное моделирование обучающихся в курсе физики дало возможность использовать методику построения моделей реально существующих или предполагаемых физических процессов, объектов и систем, а также их анализа при помощи компьютерного оборудования, что, в свою очередь, позволило [26]:

- получать в динамике наглядные запоминающиеся иллюстрации физических экспериментов и явлений;
- воспроизвести их тонкие детали, которые могут ускользать при наблюдении реальных экспериментов;
- исследовать развитие явления в другом пространственно-временном масштабе при различных параметрах системы, начальных условиях и внешних воздействиях;
- изменять временной масштаб, варьировать параметры и условия экспериментов;
- моделировать ситуации, недоступные в реальных экспериментах;
- повышать интерес к информационным технологиям.

Использование компьютерных моделей помогало:

- объяснить научные основы моделирования (правила построения моделей и экспериментов с ними);
- углубить знания обучающихся в области физики и придать изучению данного предмета творческий характер;
- продемонстрировать практические примеры использования математическо-физических методов;
- разнообразить занятия по курсу физики;
- повышать мотивацию заниматься весьма специфичным, неоднозначным и сложным видом деятельности во внеурочное время.

⁸ Чернов А. А. Кристаллы. *Большая российская энциклопедия*. 14.06.2023. URL: <https://bigenc.ru/c/kristally-7029a6> (дата обращения: 10.03.2025).

⁹ Шаскольская М. П., Вайнштейн Б. К. Кристаллы. *Большая советская энциклопедия*. URL: <https://gufo.me/dict/bse/Кристаллы> (дата обращения: 10.03.2025).

Заключение

С появлением новых компьютерных технологий и утверждением смысла моделирования как инструмента научного познания изучение термина *компьютерное моделирование* показало свою актуальность в образовательной практике.

Реализованная программа «Компьютерное моделирование» в школьном курсе физики позволила обучающимся включиться в процесс исследования, развивать интерес, активизировать познавательную деятельность, организовывать самостоятельное выполнение своих замыслов. Дух соперничества у обучающихся способствовал расширению нестандартных путей разработки моделей и стремлению презентовать свой продукт наиболее оригинально.

Более того, работая в рамках виртуального создания объекта, ученики выходили на новый уровень учебной деятельности – *научное исследование*, в ходе которой реализовывались творческие замыслы через создание виртуальной модели. Ученики приобретали не только функциональный навык ведения исследования, но и получали новое знание, выходящее за рамки изучаемой темы; они минимальны, но с точки зрения развития интеллектуальных возможностей весьма продуктивны и, самое главное, не повторяемы.

Что касается научности в рамках компьютерного моделирования в школьном курсе физики, то научность исследовательской деятельности обучающихся определялась согласованием результатов экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов. Это, в свою очередь, доказывает точность компьютерного моделирования при расчете структур, обосновывается анализом сформулированных обобщений, сделанных на основе полученных данных, а также использованием научной

литературы, что важно для усвоения всей совокупности теоретических основ дисциплины Физика.

Вопрос организации научно-исследовательской деятельности в школе на сегодняшний день в дидактике не имеет однозначного ответа и остается дискуссионным. Для нас важно то, что обучающиеся, включаясь в данный вид деятельности, имеют возможность решать спектр дидактических и творческих задач.

Таким образом, научно-исследовательская деятельность школьников представляет собой специально организованную работу, определяющую траекторию решения исследовательских задач с учетом постановки проблем, анализа теоретической базы, выбора инструментария (в нашем случае компьютерного моделирования) и собственных выводов по составленной модели, ее презентации с комментариями. Это соответствует смыслу и задачам и постижения обучающимися начал, основ научно-исследовательской деятельности на школьном уровне.

Конфликт интересов: Авторы заявили об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и / или публикации данной статьи.

Conflict of interests: The authors declared no potential conflict of interests regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

Критерии авторства: Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Contribution: All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for the information published in this article.

Литература / References

1. Воробьева М. Н. Исторический аспект формирования и развития научно-исследовательской деятельности студентов. *Транспортное дело России*. 2015. № 1. С. 105–106. [Vorobyeva M. N. The historical aspect of the formation and development of scientific and research activity of students. *Transport business of Russia*, 2015, (1): 105–106. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/txtuux>
2. Бажанов В. А. Деятельностный подход и современная когнитивная наука. *Вопросы философии*. 2017. № 9. С. 162–169. [Bazhanov V. A. Activity approach and contemporary cognitive science. *Questions of philosophy*, 2017, (9): 162–169. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/zgcqjb>
3. Шадриков В. Д. Психология деятельности человека. М.: ИП РАН, 2013. 464 с. [Shadrikov V. D. *Psychology of human activity*. Moscow: IP RAS, 2013, 464. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/tzjvwX>
4. Полонский В. М. Словарь по образованию и педагогике. М.: Высш. шк., 2004. 512 с. [Polonsky V. M. *Dictionary of education and pedagogy*. Moscow: Vyssh. shk., 2004, 512. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/qzapcv>
5. Слепцов А. И. Формы обучения учащихся исследовательской деятельности по физике. *Теория и практика образования в современном мире: Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, 20–23 февраля 2012 г.)* СПб.: Реноме, 2012. С. 219–221. [Sleptsov A. I. Forms of teaching students research activities in physics. *Theory and practice of education in the modern world: Proc. Intern. Sci. Conf., St. Petersburg, 20–23 Feb 2012*. St. Petersburg: Renome, 2012, 219–221. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/vmqstd>

6. Зимняя И. А., Шашенкова Е. А. Исследовательская работа как специфический вид человеческой деятельности. Ижевск-М.: УдГУ, 2001. 103 с. [Zimnaya I. A., Shashenkova E. A. *Research work as a specific type of human activity*. Izhevsk-Moscow: USU, 2001, 103. (In Russ.)]
7. Блохин В. В. Исследовательская деятельность учащихся: от проблемного обучения к исследовательской работе. *Преподавание истории в школе*. 2017. № 3. С. 3–7. [Blokhin V. V. The research activity of students: From problem-based learning to research. *Prepodavanie istorii v shkole*, 2017, (3): 3–7. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/xxymhf>
8. Савенков А. И. Концепция исследовательского обучения. *Педагогика*. 2008. № 4. С. 47–50. [Savenkov A. I. The concept of research training. *Pedagogy*, 2008, (4): 47–50. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/kvcmgd>
9. Калматова Г. М. Когнитивные основы формирования научно-исследовательских умений студентов. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2025. № 2-2. С. 14–17. [Kalmatova G. M. Cognitive foundations of the formation of students' research skills. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2025, (2-2): 14–17. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2025-2-2-14-17>
10. Кавтрев А. Ф. Компьютерные модели в школьном курсе физики. *Компьютерные инструменты в образовании*. 1998. № 2. С. 41–47. [Kavtrev A. F. Computer models in the school physics course. *Kompjuterne instrumenty v obrazovanii*, 1998, (2): 41–47. (In Russ.)]
11. Розова Н. Б. Применение компьютерного моделирования в процессе обучения (на примере изучения молекулярной физики в средней общеобразовательной школе): дис. ... канд. пед. наук. Вологда, 2002. 163 с. [Rozova N. B. *Using computer modeling in the learning process: Molecular physics in secondary school*. Cand. Ped. Sci. Diss. Vologda, 2002, 163. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/nmcnxb>
12. Маркович О. С. Компьютерное моделирование в учебном исследовании: разработка новых методов обучения с использованием информационных технологий. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 5. С. 1–8. [Markovich O. S. Computer modeling in educational research: Development of new methods of training with use of information technologies. *Modern problems of science and education*, 2015, (5): 1–8. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ytieai>
13. Оспенникова Е. В., Антонова Д. А. Компьютерное моделирование как метод учебного познания при изучении предметов естественно-научного цикла в средней школе. *Ученые записки Забайкальского государственного университета*. 2024. Т. 19. № 3. С. 55–67. [Ospennikova E. V., Antonova D. A. Computer modeling as a method of educational cognition and its application in the study of subjects of the natural science cycle in secondary school. *Scholarly Notes of Transbaikalian State University*, 2024, 19(3): 55–67. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21209/2658-7114-2024-19-3-55-67>
14. Денисенко М. А. Компьютерное моделирование при формировании компетенций будущего специалиста. *Итоги научных исследований ученых МГУ имени А. А. Кулешова 2021 г.*: науч.-метод. конф. (Могилев, 27 января – 11 февраля 2022 г.) Могилев: МГУ имени А. А. Кулешова, 2022. С. 75–76. [Denisenko M. A. Computer modeling in the formation of future specialist competencies. *The results of scientific research by scientists of Mogilev State University named after A. A. Kuleshov in 2021*: Proc. Sci.-Method. Conf., Mogilev, 27 Jan – 11 Feb 2022. Mogilev: MSU named after A. A. Kuleshov, 2022, 75–76. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/swxczo>
15. Львовский В. А., Воронцов А. Б., Заславский В. М., Чудинова Е. В., Эльконин Б. Д. Развивающее обучение. Модель основной образовательной программы образовательного учреждения. М.: Просвещение, 2013. 192 с. [Lvovsky V. A., Vorontsov A. B., Zaslavsky V. M., Chudinova E. V., Elkonin B. D. *Developing learning. Model of the basic educational program of an education institution*. Moscow: Prosveshhenie, 2013, 192. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/yniajv>
16. Веденская Т. Е. Понятие «Система» и системный подход в педагогике. *Теория и практика общественного развития*. 2015. № 7. С. 197–199. [Vedenskaya T. E. The concept of "system" and the system approach in pedagogy. *Theory and practice of social development*, 2015, (7): 197–199. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/twoovj>
17. Горничко С. Г. Педагогические подходы к профессиональному развитию учителя физики. *Мир науки, культуры, образования*. 2025. № 1. С. 107–109. [Gorchichko S. G. Pedagogical approaches to the professional development of a physics teacher. *The world of science, culture and education*, 2025, (1): 107–109. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2025-1110-107-109>
18. Ярычев Н. У. Методологические основания разработки компетентностного подхода в современной педагогике. *Мир науки, культуры, образования*. 2025. № 1. С. 76–77. [Yarychev N. U. Methodological bases for developing a competence-based approach in modern pedagogy. *The world of science, culture and education*, 2025, (1): 76–77. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2025-1110-76-77>

19. Dovesi R., Saunders V. R., Roetti C., Orlando R., Zicovich-Wilson C. M., Pascale F., Civalleri B., Doll K., Harrison N. M., Bush I. J., D'Arco P., Llunell M., Causà M., Noël Y., Maschio L., Erba A., Rerat M., Casassa S. *CRYSTAL17 User's Manual*. Torino, 2017.
20. Никитина Т. В. Практическая реализация междисциплинарного подхода в школьном образовании. *Концепт*. 2025. № 1. С. 169–181. [Nikitina T. V. Practical implementation of the interdisciplinary approach in school education. *Concept*, 2025, (1): 169–181. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2304-120X-2025-11012>
21. Перышкин А. В. Физика. 8 класс. М.: Дрофа, 2013. 237 с. [Peryshkin A. V. *Physics. 8th grade*. Moscow: Drofa, 2013, 237. (In Russ.)]
22. Едренова В. Н., Овчаров А. О. Организация научного исследования. *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. № 3. С. 2–8. [Edronova V. N., Ovcharov A. O. Organizing scientific research. *Economic analysis: Theory and practice*, 2013, (3): 2–8. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/pmousp>
23. Фролова Т. Н., Шашурина Г. В. Системный подход и его роль в научном исследовании. *Психология и педагогика служебной деятельности*. 2023. № 1. С. 158–161. [Frolova T. N., Shashurina G. V. The systematic approach and its role in scientific research. *Psychology and pedagogies of official activity*, 2023, (1): 158–161. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2658-638X-2023-1-158-161>
24. Юрков Н. К., Якимов А. Н. Компьютерное моделирование и его роль в современном вузовском образовании. *Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2017. Т. 2. С. 373–374. [Yurkov N. K., Yakimov A. N. Computer modeling and its role in modern university education. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo"*, 2017, 2: 373–374. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/zdgufp>
25. Санько А. М., Борисова С. П. Организация исследовательской деятельности обучающихся. *Известия Самарского научного центра РАН. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки*. 2023. Т. 25. № 88. С. 42–48. [Sanko A. M., Borisova S. P. Organization of students' research activities. *The Proceedings Samara Scientific Centre of the RAS. Social, Humanities, Biomedical Sciences*, 2023, 25(88): 42–48. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2023-25-88-42-48>
26. Гугало В. П., Остроумова Ю. С., Ханин С. Д. Актуализация научных основ и методов нанотехнологий в обучении физике. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2025. № 2. [Gugalo V. P., Ostroumova Yu. S., Khanin S. D. Actualization of scientific bases and methods of nanotechnologies in physics teaching. *International Research Journal*, 2025, (2). (In Russ.)] <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.70>