

УДК 378

DOI 10.25688/2072-9014.2020.52.2.08

**Е. В. Дудышева,  
П. В. Захаров**

## **Использование сред виртуальной и смешанной реальности при изучении студентами моделей кристаллов в физике твердого тела**

В статье обсуждаются вопросы применения среды дополненной виртуальности на основе программно-аппаратного комплекса класса виртуальной реальности при обучении студентов физике твердого тела. Рассмотренные методы и средства на примере моделирования в области кристаллографии повышают интерес со стороны студентов к изучаемым понятиям и процессам, позволяют улучшить контроль со стороны преподавателя и обеспечить с помощью метода скаффолдинга индивидуальный подход к студентам. Полученные результаты показывают успешное освоение студентами вопросов физики твердого тела при изучении трехмерных моделей пространственных объектов в виртуальной среде.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность; смешанная реальность; высшее образование; скаффолдинг; обучение физике; трехмерное моделирование.

**П**остроение и визуализация трехмерных моделей в преподавании физики имеют обширный опыт применения для самых разнообразных дидактических и методических задач. Долгое время преобладали натурные модели, а также плакаты, схемы и другие наглядные средства. С развитием информационно-коммуникационных технологий появились и продолжают появляться новые способы демонстрации обучаемым структуры и динамики физических объектов, процессов и явлений с помощью компьютерных моделей. Одним из перспективных направлений стало использование сред виртуальной и смешанной реальности на основе образовательных платформ и специализированного оборудования, такого как мобильные классы виртуальной реальности.

Возможности сред виртуальной реальности на основе средств ИКТ в образовании исследовались практически с начала их массового производства. В настоящее время при изучении различных разделов физики вопросам применения технологий смешанной и виртуальной реальности продолжает уделяться большое внимание благодаря существенному расширению возможностей работы студентов с виртуальными моделями и оборудованием [10; 12; 15]. Например, в работе [15] обсуждается вопрос применения смешанной реальности для визуализации в реальном времени трехмерного магнитного поля,

где возможна визуализация линий магнитного потока в реальном времени и имитация распределения линий магнитного потока в пространстве.

С технологической точки зрения виртуальная реальность представляет собой технологию человеко-машинного взаимодействия, которая обеспечивает погружение пользователя в трехмерную интерактивную информационную среду [9]. Однако есть и расширенное понимание виртуальной среды: в психологии виртуальной реальностью считается любая порожденная индивидом в виде психических образов второго порядка отраженная реальность [8]. Основными качественными характеристиками сред виртуальной реальности любой природы являются порожденность, актуальность, автономность, интерактивность [7; 8].

Наряду с виртуальной реальностью современные технологии включают в себя дополненную реальность, а также другие промежуточные состояния смешанной реальности. Под технологиями смешанной реальности понимается объединение реальных объектов и объектов виртуальной реальности. Терминологически различают дополненную реальность и дополненную виртуальность, где средства дополненной реальности являются совокупностью аппаратного и программного компьютерного обеспечения, функционирующего в режиме реального времени, дополняющего контекстно-зависимыми виртуальными объектами или процессами реальное окружающее пространство, изменяющимися при изменении реального окружения и (или) ракурса наблюдения [1]. Дополненная виртуальность дает возможность дополнения виртуального мира интегрированными объектами реального окружающего пространства, также взаимодействующими в режиме реального времени [2].

Ведущим методологическим основанием для применения сред виртуальной реальности в образовании считается конструктивизм [14], когда знания не передаются непосредственно, а накапливаются обучаемыми в процессе наработки собственного опыта. Обучаемый в искусственной среде является субъектом виртуального мира, фокус зрения которого всегда развернут на наблюдателя. Ведущим психолого-педагогическим подходом остается системно-деятельностный подход, основанный на работах теории развития мышления (С. Л. Рубинштейн, А. Н. Леонтьев и др.). Оперирование трехмерными моделями задействует механизмы интериоризации и экстериоризации, приводя в дальнейшем через анализ к синтезу собственных моделей.

В виртуальной среде студент выступает как субъект своего обучения, то есть фактически занимается самообучением. Работа с трехмерными моделями непосредственно использует наглядно-действенное и актуализирует наглядно-образное мышление студентов, далее формирует умение конструировать собственные модели, в том числе и на абстрактном логическом уровне. Педагогические теории конструктивизма в смешанных и виртуальных средах могут быть различны: экспериментальное обучение, проблемное обучение, геймификация и др. [9], но ведущими в образовательной деятельности

остаются обучение моделированием (Collaborative Simulations) и обучение конструированием (Collaborative Construction). Однако некоторые исследования утверждают, что простого использования виртуального мира недостаточно для улучшения образовательных результатов [16], более того, первый опыт особенно проблематичен для получения значимого образовательного результата [13]. Кроме того, для обеспечения результативности образовательного процесса в виртуальной среде необходим целый ряд условий [9], включая высокую мотивацию и метакогнитивные умения в целом, которыми студенты без специальной подготовки, как правило, не обладают. Поэтому применение сред виртуальной реальности при наличии обширных дидактических возможностей остается ограниченным.

Среды смешанной реальности представляются с данной точки зрения более эффективными, они могут предоставить больший набор дидактических возможностей. Так, в исследованиях [1; 2] разработана технологическая и методическая база по применению средств дополненной реальности в школьном курсе информатики и ИКТ, которая может быть использована при построении подобной базы для курса физики.

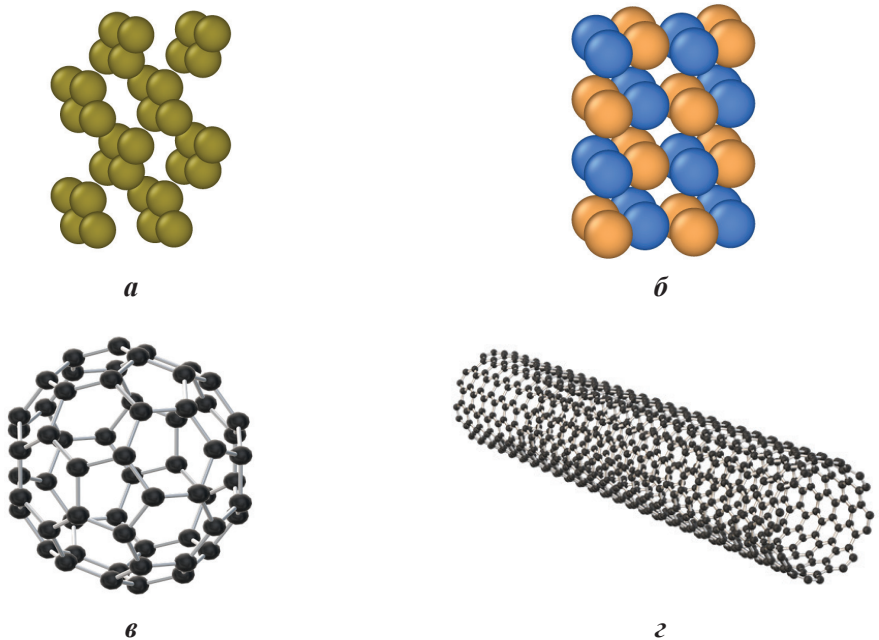
В профессиональном образовании для курса физики с высоким уровнем сложности задач и абстракции понятий, на наш взгляд, большие возможности могут предоставлять среды *дополненной виртуальности*. Отличительной особенностью таких сред является возможность реакции на объекты окружающего мира и, что более важно, *на другие субъекты*: это, например, проявляется в возможности сетевой коллаборации. Наличие других субъектов (актеров, персонажей) хорошо вписывается в психологические теории виртуализации и активно используется в сетевых компьютерных играх. Тем не менее для применения *дополненной виртуальности* в образовании требование наличия высокого уровня метакогнитивных умений и мотивации остается необходимым.

В данном случае студент, оставаясь основным субъектом процесса своего обучения, может в случае каких-либо затруднений получать в виртуальном мире подсказки по способам достижения образовательных целей, например при решении задач моделирования. Таким образом, методологической базой могут выступать не только теории конструктивизма, но и социального конструктивизма вкупе с ними. В когнитивной психологии и дидактике теории социального конструктивизма получили развитие в трудах школы Л. С. Выготского. В настоящее время активно развивается метод скаффолдинга («строительных лесов»), когда учебное задание дополняется подсказками, позволяющими успешно прийти к решению задачи или выполнить задание, которое находится за пределами или на границе индивидуальных возможностей обучающегося [17]. Прежде всего этот метод связан с детским развитием, но существует опыт применения его и для молодежи [6].

Метод скаффолдинга может применяться и для студентов [4]. Здесь к основным типам помощи со стороны педагога относятся: показ, вербальное

указание ошибки, прямая вербальная инструкция [6] — все они реализуемы в классе виртуальной реальности, включая и возможность для преподавателя наблюдать имитацию действий обучаемых и взаимодействовать с ними, фактически формируя для обучаемого среду дополненной виртуальности. Просуммировав вышеперечисленные возможности, мы решили рассмотреть эффективность использования среды дополненной виртуальности с применением метода скаффолдинга в различных его формах и использовать эту среду при изучении студентами сложных физических моделей.

Экспериментальная работа проводилась в АГГПУ им. В. М. Шукшина при обучении будущих учителей физики и информатики. Изучение ряда тем в физике твердого тела, в частности геометрии кристаллической решетки, требует развитого пространственного мышления. Так, проекции кристаллов и их трехмерные изображения на плоскости вызывают сложности при необходимости воспроизведения студентами этих структур в виде компьютерных моделей. В рамках данной работы студентам предлагалось воспроизвести рассмотренные модели кристаллов посредством реализации компьютерного кода. Для изучения основ кристаллографии были разработаны базовые трехмерные модели кристаллов (рис. 1 а, б), а также структуры, имеющиеся в каталоге портала на примере аллотропий углерода (рис. 1 в, г). Данные модели позволяют ознакомиться с трехмерной структурой кристаллов, видами плоскостей и понятиями индексов Миллера [5].

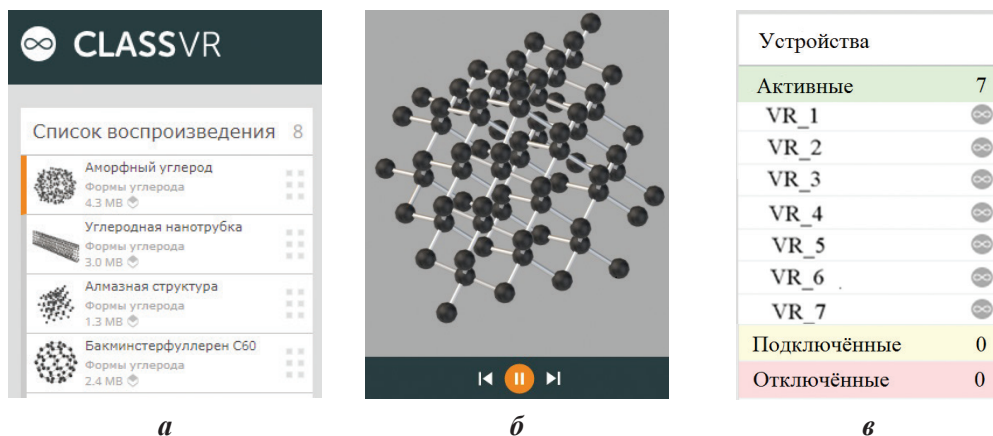


**Рис. 1.** Примеры трехмерных моделей кристаллов:

а) алмазная структура; б) структура типа NaCl; в) фуллерен C70; г) углеродная нанотрубка

На практических и лабораторных занятиях использовался класс виртуальной реальности. Студентам предлагалось создать структуры кристаллов и осуществить моделирование различных процессов методом молекулярной динамики. Особое внимание было уделено новым структурам, в том числе нанообъектам на основе углерода. Технологической базой стала платформа Avantis Systems Ltd. Gloucester, располагающая гарнитурами виртуальной реальности и порталом для их управления ([www.portal.classvr.com](http://www.portal.classvr.com)). Объединение технического и программного решения в единую систему позволило обеспечить не только общую функциональность, но и простоту использования.

Система управления гарнитурами допускает, с одной стороны, определенную степень свободы обучающихся, с другой — контроль и возможность взаимодействия с виртуальными моделями со стороны преподавателя, что в полной мере обеспечивает использование *технологии дополненной виртуальности* в процессе обучения. Интерфейс органов управления портала включает в себя раздел управления контентом (рис. 2 а), предпросмотр и управление воспроизведением (рис. 2 б) и управление гарнитурами виртуальной реальности (рис. 2 в).



**Рис. 2.** Система управления контентом и гарнитурами класса виртуальной реальности: а) управление контентом; б) область предпросмотра; в) управление гарнитурами

Ограничение базового набора материалов может быть компенсировано путем создания и загрузки своего контента в облачное хранилище на портале, а создание списков воспроизведения обеспечивает соблюдение целостности информации и позволяет избежать дублирований.

Решение задачи построения моделей кристаллов посредством реализации компьютерного моделирования включало в себя следующие этапы: наблюдение модели кристаллов в виртуальной среде; манипуляции с моделями в виртуальной среде посредством кубов смешанной реальности с возможной помощью преподавателя для детального изучения их структуры. Далее следовало построение программной модели элементарной ячейки кристаллов. Заключительным

этапом являлось масштабирование элементарных ячеек до заданных размеров с учетом замечаний преподавателя. При необходимости преподаватель делал индивидуальные подсказки в виртуальной среде путем демонстрации дополнительных моделей в виде элементарных ячеек рассматриваемых материалов либо путем визуализации отдельных плоскостей кристаллов, манипулирования кубом смешанной реальности.

Проведенный впоследствии среди студентов опрос показал повышение уровня их интереса к изучению материала. Обучающиеся также быстрее понимали объемную структуру кристаллических решеток, что облегчало их последующее построение для кода молекулярной динамики. Результатом работы студентов являлась визуализация моделей посредством программного комплекса Ovitо и дальнейшее их сравнение через гарнитуры класса виртуальной реальности. Доля выполненных заданий в установленный срок увеличилась на 14 %.

Таким образом, предложенные методы и средства обучения физике твердого тела на примере кристаллографии, в среде дополненной реальности повышают интерес со стороны студентов к изучаемым понятиям и процессам, улучшают контроль преподавателя посредством применения программно-аппаратного комплекса класса виртуальной реальности и обеспечивают с помощью метода скаффолдинга организацию индивидуального подхода к студентам, испытывающим сложности в освоении материала. В рассмотренном в данной статье случае результаты свидетельствуют также и о более успешном освоении студентами вопросов физики твердого тела при изучении ими пространственных объектов с использованием сред виртуальной и смешанной реальностей.

### Литература

1. *Гриншкун А. В.* Терминологические особенности изучения технологии дополненной реальности при обучении информатике // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Информатика и информатизация образования». 2016. № 4 (38). С. 93–100.
2. *Гриншкун А. В., Левченко И. В.* Возможные подходы к созданию и использованию визуальных средств обучения информатике с помощью технологии дополненной реальности в основной школе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Информатизация образования». 2017. Т. 14. № 3. С. 267–272.
3. *Дудышева Е. В., Солнышкова О. В., Макарова О. Н.* Реализация педагогических инноваций в информационно-образовательной среде в процессе профессиональной подготовки студентов: учеб. пособие. Новосибирск: НГАСУ, 2017. 100 с.
4. *Захаров П. В., Еремин А. М., Чередниченко А. И.* Основы атомистического моделирования кристаллов в физике конденсированного состояния: учеб. пособие. Бийск: АГПУ им. В. М. Шукшина, 2016. 80 с.
5. *Котляр И. А., Сафронова М. А.* Три понятия о реальности детского развития: обучаемость, зона ближайшего развития и скаффолдинг // Культурно-историческая психология. 2011. Т. 7. № 2. С. 74–83.
6. *Лубков Р. В.* Дидактический потенциал виртуальной образовательной среды: дис. ... канд. пед. наук. Самара, 2007. 165 с.

7. *Носов Н. А.* Психология виртуальных реальностей и анализ ошибок оператора: автореф. дис. ... д-ра психол. наук. М., 1994. 44 с.
8. *Побокин П. А.* Влияние средств виртуальной реальности на развитие мышления и знаний школьников по математике в ходе обучения: автореф. дис. ... канд. психол. наук. Ярославль, 2015. 24 с.
9. *Doak D. G., Denyer G. S., Gerrard J. A., Mackay J. P., Allison J. R.* Peppy: a virtual reality environment for exploring the principles of polypeptide structure // Special Issue: Tools for Protein Science. 2020. Vol. 29, Issue 1. P. 157–168.
10. *Duncan I., Miller A., Jiang S.* A taxonomy of virtual worlds usage in education // British Journal of Educational Technology. 2012. 43(6). P. 949–964.
11. *Grivokostopoulou F., Perikos I., Kovas K., Araskevas M., Hatzilygeroudis I.* Utilizing Virtual Reality to Assist Students in Learning Physics // 2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), 2017. 17486676. P. 486–489.
12. *Jestice R. J., Kahai S.* The Effectiveness of Virtual Worlds for Education: An Empirical Study / Sixteenth Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Lima, Peru, 2010. 10 p.
13. *Kaufmann H.* Geometry Education with Augmented Reality. Institut für Softwaretechnik und Interaktive Systeme, 2004. 169 p.
14. *Liu X., Liu Y., Wang Y.* Real Time 3D Magnetic Field Visualization Based on Augmented Reality // IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). 2019. P. 1052–1053.
15. *Mantovani F.* VR Learning: Potential and Challenges for the Use of 3D Environments in Education and Training // Towards CyberPsychology: Mind, Cognitions and Society in the Internet Age. Amsterdam: IOS Press, 2001. P. 207–226.
16. *Wood D., Bruner J., Ross G.* The role of tutoring in problem solving // Journal of Child Psychology and Psychiatry. 1976. Vol. 17. P. 89–100.

## Literatura

1. *Grinshkun A. V.* Terminologicheskie osobennosti izucheniya texnologii dopolnennoj real'nosti pri obuchenii informatike // Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya «Informatika i informatizaciya obrazovaniya». 2016. № 4 (38). S. 93–100.
2. *Grinshkun A. V., Levchenko I. V.* Vozmozhny'e podxody` k sozdaniyu i ispol'zovaniyu vizual'ny`x sredstv obucheniya informatike s pomoshh`yu texnologii dopolnennoj real'nosti v osnovnoj shkole // Vestnik Rossijskogo universiteta družby` narodov. Seriya «Informatizaciya obrazovaniya». 2017. T. 14. № 3. S. 267–272.
3. *Dudy`sheva E. V., Solny`shkova O. V., Makarova O. N.* Realizaciya pedagogicheskix innovacij v informacionno-obrazovatel'noj srede v processe professional'noj podgotovki studentov: ucheb. posobie. Novosibirsk: NGASU, 2017. 100 s.
4. *Zaxarov P. V., Eremin A. M., Cherednichenko A. I.* Osnovy` atomisticheskogo modelirovaniya kristallov v fizike kondensirovannogo sostoyaniya: ucheb. posobie. Bijsk: AGGPU im. V. M. Shukshina, 2016. 80 s.
5. *Kotlyar I. A., Safronova M. A.* Tri ponyatiya o real'nosti detskogo razvitiya: obuchaemost`, zona blizhajshego razvitiya i skaffolding // Kul'turno-istoricheskaya psixologiya. 2011. T. 7. № 2. S. 74–83.

6. *Lubkov R. V.* Didakticheskij potencial virtual'noj obrazovatel'noj sredy': dis. ... kand. ped. nauk. Samara, 2007. 165 s.
7. *Nosov N. A.* Psixologiya virtual'ny'x real'nostej i analiz oshibok operatora: avtoref. dis. ... d-ra psixol. nauk. M., 1994. 44 s.
8. *Pobokin P. A.* Vliyanie sredstv virtual'noj real'nosti na razvitie my'shleniya i znanij shkol'nikov po matematike v xode obucheniya: avtoref. dis. ... kand. psixol. nauk. Yaroslavl', 2015. 24 s.
9. *Doak D. G., Denyer G. S., Gerrard J. A., Mackay J. P., Allison J. R.* Peppy: a virtual reality environment for exploring the principles of polypeptide structure // Special Issue: Tools for Protein Science. 2020. Vol. 29, Issue 1. P. 157–168.
10. *Duncan I., Miller A., Jiang S.* A taxonomy of virtual worlds usage in education // British Journal of Educational Technology. 2012. 43(6). P. 949–964.
11. *Grivokostopoulou F., Perikos I., Kovas K., Araskevas M., Hatzilygeroudis I.* Utilizing Virtual Reality to Assist Students in Learning Physics // 2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), 2017. 17486676. P. 486–489.
12. *Jestice R. J., Kahai S.* The Effectiveness of Virtual Worlds for Education: An Empirical Study / Sixteenth Americas Conference on Information Systems (AMCIS), Lima, Peru, 2010. 10 p.
13. *Kaufmann H.* Geometry Education with Augmented Reality. Institut für Softwartechnik und Interaktive Systeme, 2004. 169 p.
14. *Liu X., Liu Y., Wang Y.* Real Time 3D Magnetic Field Visualization Based on Augmented Reality // IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). 2019. P. 1052–1053.
15. *Mantovani F.* VR Learning: Potential and Challenges for the Use of 3D Environments in Education and Training // Towards CyberPsychology: Mind, Cognitions and Society in the Internet Age. Amsterdam: IOS Press, 2001. P. 207–226.
16. *Wood D., Bruner J., Ross G.* The role of tutoring in problem solving // Journal of Child Psychology and Psychiatry. 1976. Vol. 17. P. 89–100.

*E. V. Dudysheva,*

*P. V. Zakharov*

### **The Use of Virtual and Mixed Reality Environments in Students Study of Crystal Models in Solid Body Physics**

The article discusses the application of the augmented virtuality environment based on the software and hardware complex of the virtual reality class when teaching students solid state physics. The considered methods and tools on the example of modeling in the field of crystallography increase the interest on the part of students in the studied concepts and processes, allow increasing control of lecturer and provide an individual approach to students using the scaffolding method. The results show the students' successful mastery of solid-state physics issues in the study of three-dimensional models of spatial objects in a virtual environment.

*Keywords:* virtual reality; mixed reality; higher education; scaffolding method; physics education; three-dimensional modeling.