

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ В ВУЗОВСКОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Бортник Б.И.<sup>1</sup>, Стожко Н.Ю.<sup>1</sup>, Судакова Н.П.<sup>1</sup>, Язовцев И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург, e-mail: sny@usue.ru

Рассматриваются вопросы использования виртуального лабораторного эксперимента в учебном процессе по физике в высшей школе на уровне бакалавриата. Обсуждаются возможности, которые дают программные ресурсы, имитирующие исследования физических явлений, и проблемные аспекты их применения по сравнению с осуществлением реального лабораторного эксперимента. Предлагается разработанная авторами лабораторная работа, имитирующая исследования кристаллической структуры тонких металлических фольг с помощью дифракции электронов, базирующаяся на виртуальной модели просвечивающего электронного микроскопа. Подробно описывается реализация работы, особенности контроля результатов ее использования в рамках дистанционной формы обучения. Показывается целесообразность разработки и применения подобных виртуальных лабораторных экспериментов для изучения физических явлений, в частности описываемых квантовой физикой, которые практически невозможно воспроизвести и исследовать в условиях учебной лаборатории.

Ключевые слова: лабораторный практикум, физика, виртуальная модель, электронный микроскоп, бакалавр.

## VIRTUAL LABORATORY WORK IN THE COURSE OF PHYSICS IN HIGHER EDUCATION

Bortnik B.I.<sup>1</sup>, Stozhko N.Yu.<sup>1</sup>, Sudakova N.P.<sup>1</sup>, Yazovtsev I.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State University of Economics, Ekaterinburg, e-mail: sny@usue.ru

The questions of using the virtual laboratory experiment in the educational process in physics in higher education at the level of undergraduate are considered. Opportunities are discussed that give programmatic resources simulating the study of physical phenomena and the problematic aspects of their application in comparison with the implementation of a real laboratory experiment. The laboratory work developed by the authors, simulating studies of the crystal structure of thin metal foils by means of electron diffraction, based on a virtual model of a transmission electron microscope, is proposed. Detailed description of the implementation of the work, especially the control of the results of its use in the distance learning form. The expediency of development and application of such virtual laboratory experiments for the study of physical phenomena, in particular, described by quantum physics, which is practically impossible to reproduce and study in the conditions of a training laboratory, is shown.

Keywords: laboratory practical work, physics, virtual model, electron microscope, bachelor.

Компьютерное моделирование различных физических экспериментов давно стало неотъемлемой реальностью виртуальной образовательной среды. Физика – первая из естественно-научных дисциплин предоставила весь свой обширный и фундаментальный материал для обработки с помощью компьютерных технологий и апробации этих технологий. И сегодня трудно найти физический вопрос, который не был бы в той или иной мере освещен с использованием электронных ресурсов. Виртуальные демонстрации физических процессов и явлений, компьютерные симуляции лабораторных работ широко распространены на рынке программной продукции. Наиболее активным потребителем этой продукции является средняя школа. Натурные демонстрации физических явлений все реже используются на школьных уроках по целому ряду причин (устаревшее, изношенное и не модернизирующееся из-за дефицита материальных средств оборудование, крайне

ограниченный бюджет времени, отводимый учебными планами для изучения физики, не достаточно выработанные экспериментаторские навыки современных учителей и др.). Немного лучше ситуация в вузах, в частности в тех, в которых физика не является базовой дисциплиной для направлений подготовки бакалавров. И хотя вузовские планы организации учебного процесса по физике традиционно включают лабораторный практикум, объем часов, отводимый на этот вид работы, неуклонно сокращается. Кроме того, обычный набор лабораторных работ достаточно ограничен, инструментарий нередко слишком примитивен, и работа с ним не вызывает у учащихся интереса. В этих условиях виртуальный практикум становится полезной и привлекательной альтернативой реальному. Различные его аспекты достаточно активно обсуждаются педагогами, психологами, специалистами в области информационных технологий у нас в стране и за рубежом [1-4]. Целью настоящей работы является анализ преимуществ и проблемных сторон использования виртуальных лабораторных работ в учебном процессе подготовки бакалавров, а также апробация авторского опыта работы в этом направлении.

Представляется целесообразным рассмотреть различные аспекты использования виртуального эксперимента в учебном процессе и разделить их на две противоположные группы. Это разделение представлено в таблице.

Сопоставление противоположных аспектов использования виртуальных физических экспериментов в учебном процессе

№	Плюсы	Минусы
1	Меньшая стоимость симуляций оборудования по сравнению с дорогостоящим оригиналом	Освобождение, в известной мере, от необходимости ориентации на рынке современного оборудования
2	Обеспечение большей гибкости модернизации виртуального оборудования по сравнению с реальным	Быстрая смена компьютерных технологий, «моральный» износ программного обеспечения
3	Доступность «обслуживания», освобождение от инфраструктурной надстройки	Ослабление представлений об обслуживании реальных установок и требованиях к соответствующей инфраструктуре
4	Безопасность в отношении вредных физических факторов. Отсутствие необходимости обеспечения защиты от их воздействия	Отсутствие необходимости знаний и соблюдения требований безопасности работы с реальным оборудованием. Риск кумулятивного воздействия неблагоприятных физиологических и психологических факторов, обусловленных работой с компьютером
5	Регулирование времени проведения эксперимента, его осязаемое сокращение по решению	Выход из режима реального времени, ослабление представлений о нем

	экспериментатора	
6	Существенное уменьшение трудоемкости рутинных процедур обработки результатов измерений, увеличение скорости проведения вычислений [5]	Ослабление способности оценки численного результата без помощи современных вычислительных инструментов, а также способности адекватного восприятия полученных численных значений
7	Неограниченные возможности дистанционного проведения работ в любом режиме (онлайн и офлайн) [6]	Ослабление восприятия реальной лабораторной научно-исследовательской среды
8	Расширение возможности моделирования и визуализации процессов и явлений, в том числе происходящих в масштабах за пределами традиционной наглядности	Риск утраты адекватного представления о пределах возможности наглядного моделирования и ослабление способности к математическому абстрактному моделированию
9.	Развитие у студентов навыков использования компьютерных технологий и работы с различными электронными ресурсами	Сужение возможностей формирования навыков проведения реальных исследовательских экспериментов
10.	Усиление интереса к работе, повышение уровня мотивации к освоению дисциплины и ее экспериментальных методов	Риск привыкания к имитационному, игровому характеру работы. Отсутствие атрибутов рутинной трудоемкой исследовательской деятельности, способствующих развитию адекватного отношения к ней. Риск усиления компьютерной зависимости

Из таблицы видно, что каждый позитивный аспект использования виртуальных лабораторий в учебном процессе сопряжен с определенным негативным. При выборе лабораторных работ для виртуального практикума следует взвесить эти плюсы и минусы для достижения оптимального соотношения. Например, достаточно широко распространены компьютерные имитации метода Клемана-Дезорма, использующегося для определения коэффициента Пуассона воздуха [7]. Реальный эксперимент в данном случае - предельно простой, доступный и наглядный, не требует современного дорогостоящего оборудования и реализуется за короткое время. Он базируется на существенном материале, охватывающем практически все вопросы классической термодинамики. Поэтому соответствующая лабораторная работа предусмотрена учебными курсами всех вузов, что и обусловило распространение ее компьютерных симуляций. Их применение в полной мере оправданно для дистанционных форм обучения, при работе в обычном очном режиме оно не обеспечивает заметные дополнительные преимущества по сравнению с натурным экспериментом (кроме внесения игрового элемента в работу и избавления от слишком простых действий), хотя и не дает какой-либо негативный эффект.

Представляется, что наиболее целесообразны виртуальные имитации оборудования и экспериментов, которые применяются при изучении разделов квантовой физики. Одной из таких имитация является авторская виртуальная лабораторная работа, базирующаяся на использовании виртуальной модели электронного микроскопа. Реальный электронный микроскоп - достаточно сложная и дорогостоящая установка, он не может быть доступен студентам в любой учебной лаборатории. Работа на нем требует, с одной стороны, наличия специальной квалификации, с другой – соблюдения правил защиты от вредных факторов и соответствующего оборудования лаборатории. Вместе с тем эта работа дает возможности проиллюстрировать целый ряд вопросов квантовой оптики, что полезно для изучения курса физики.

Созданная авторами настоящей статьи виртуальная лабораторная работа «Исследование структуры металлических пленок с помощью просвечивающего электронного микроскопа» представляет собой программу, написанную на языке Object Pascal (Borland Delphi), реализуемую операционными системами Windows 9x, 2000, XP и совместимыми с ними. Оригинальность программы подтверждена соответствующим авторским свидетельством [8]. Программа включает интерфейсы администратора и пользователя, позволяет задать индивидуальный набор начальных условий проведения эксперимента, обеспечить каждого учащегося теоретическим материалом по теме работы, методическими указаниями по ее выполнению, провести тестирование. Программа реализует получение виртуальной дифракционной картины при прохождении электронов сквозь металлическую фольгу и определение по этой картине материала фольги. Основанная на ней лабораторная работа затрагивает следующие вопросы: волновые свойства микрочастиц, дифракция электронов, условия формирования изображений (принципы геометрической оптики, разрешение и дифракционный контраст), кристаллическая структура металлов и др.

Выполнение виртуальной работы осуществляется в том же порядке, что и реальной. Учащиеся изучают теоретический материал, методику исследования, устройство электронного микроскопа в сопоставлении с оптическим, его возможности и важнейшие технические характеристики. Затем осваивают работу с виртуальной моделью электронного микроскопа (рис. 1).

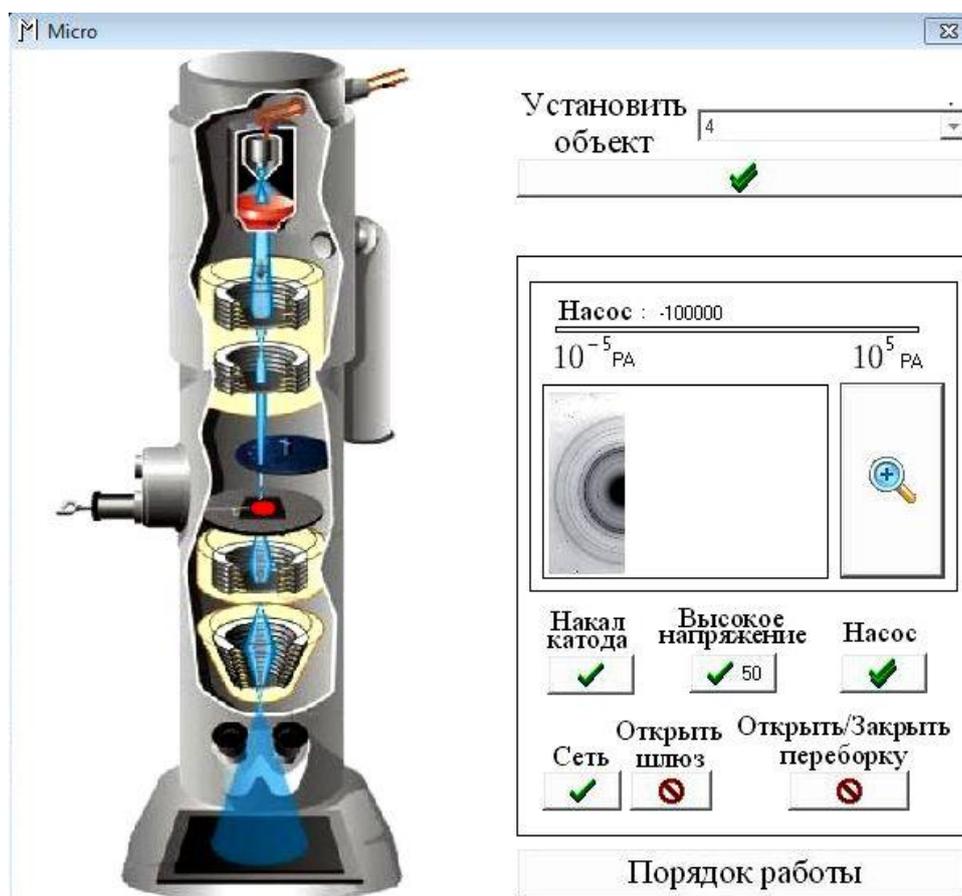
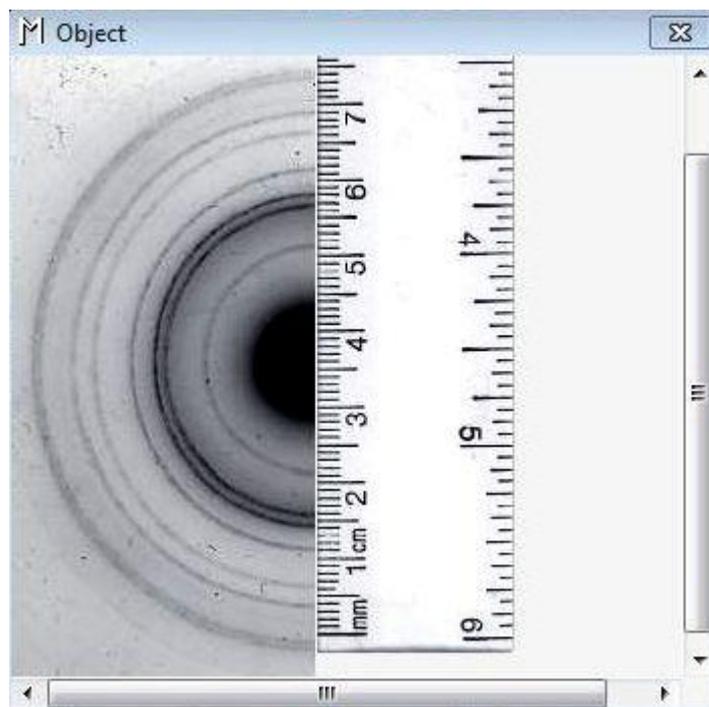


Рис. 1. Виртуальная модель просвечивающего электронного микроскопа

Эта модель имитирует все процессы, реализуемые при работе реального прибора: получение вакуума, шлюзование при установке исследуемого объекта, порядок включения и получение дифракционной картины. Все эти процедуры предусмотрены при реализации лабораторного исследования и детально изложены в соответствующей инструкции («порядке работы»), приложенной к модели микроскопа. Экспериментатор выбирает и помещает исследуемый образец в микроскоп (перекрывает зону расположения образца, открывает шлюз, кладет образец на предметный столик, закрывает шлюз и открывает предметную зону). Далее - включает прибор и вакуумный насос, обеспечивающий необходимый «высокий вакуум» - давление  $10^{-5}$  Па, блок высокого напряжения, накал катода. На экране появляется картина микродифракции (микроэлектроннограмма). Для удобства работы эта картина увеличивается, управляемой с помощью мыши виртуальной миллиметровой линейкой проводятся измерения (рис. 2), определяются параметры кристаллической структуры и идентифицируется материал исследуемой фольги путем их сопоставления с табличными значениями, взятыми из прилагаемых к работе справочных материалов.



*Рис. 2. Измерения микроэлектронogramмы с помощью виртуальной линейки*

Все расчеты осуществляются традиционным способом. Их автоматизация в данном случае не целесообразна, т.к. они, с одной стороны, не трудоемки, с другой - полезны для приобретения навыков работы в различных системах единиц измерения величин и со справочными таблицами. По окончании эксперимента студент составляет отчет о работе в соответствии с известными требованиями.

Организация виртуального практикума, безусловно, имеет свои особенности по сравнению с организацией традиционного, проводимого в лаборатории под непосредственным руководством преподавателя. Различные аспекты этих особенностей обсуждаются в публикациях. Опыт авторов этой статьи позволяет отметить следующие.

Виртуальные работы могут осуществляться учащимися в любое время, в том числе дистанционно. И для обеспечения самостоятельности выполнения (снижения вероятности дублирования) целесообразно индивидуализировать задания. При применении определенной модели установки (как и в реальности – определенного оборудования) индивидуализация возможна за счет вариации исследуемых образцов и режимов работы прибора. В данном случае возможности таких вариаций широкие: во-первых, многочисленный набор микроэлектронogramм, т.е. самих исследуемых материалов; во-вторых, изменение константы прибора, т.е. значений высокого напряжения (в диапазоне от 50 до 200 кВ с шагом 20 кВ).

Важным моментом, особенно при дистанционной работе, является эффективность обратной связи. В современных условиях организации и реализации учебного процесса эта связь нередко сопряжена с рядом проблем как со стороны студента, так и со стороны

преподавателя [9]. Что касается проведения лабораторного практикума, эта связь осуществляется в форме представления и защиты учащимся своего отчета о лабораторной работе на соответствующем занятии, при этом учащийся выявляет уровень знаний и владения материалом непосредственно в процессе собеседования. В рамках дистанционной формы обучения такой путь не всегда реализуется (общение в режиме *online* лимитируется установленным графиком). В этом случае также целесообразно использовать индивидуальные контрольные вопросы и задания, выполнение которых студент прилагает к развернутому отчету о проделанной работе. Характер заданий может быть различен: расчетные задачи и примеры, тесты (лучше открытые), составление тезаурусов, тематических кроссвордов и др. Подобные задания достаточно убедительно выявляют глубину освоения вопроса.

Виртуальный лабораторный практикум при многих положительных аспектах его применения не может быть признан полноправной альтернативой реальному, так как только реальная экспериментальная работы в полной мере активизирует все каналы взаимодействия учащегося с объектами изучения физики и других естественно-научных дисциплин и реализует все возможности, предоставляемые деятельностным подходом в педагогике. Вместе с тем в ряде случаев, подобных описанному в данной статье, виртуальная модель и работа, на ней базирующаяся, являются достаточно эффективным средством для достижения поставленных образовательных целей. Предлагаемая виртуальная лабораторная работа, имитирующая электронно-микроскопический метод исследования, опыт ее создания и применения в учебном процессе представляются полезными и могут быть использованы в различных образовательных учреждениях.

### Список литературы

1. Закирова Э.И. Использование виртуальных лабораторных практикумов в образовательном процессе технического вуза // *Дискуссия*. - 2015. – Т. 59. - № 7. - С. 122-126.
2. Гордеева И.В. Инновационная деятельность в современном российском вузе: задачи и проблемы // *Россия между модернизацией и архаизацией: 1917-2017 гг.: материалы XX Всероссийской научно-практической конференции Гуманитарного университета: в 2 томах*. - 2017. - С. 355-359.
3. Farrell S., Krause S. A virtual community of practice to support faculty efforts to adopt research-based instructional approaches. *Proceedings of 2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning, ICL 2014*, 2014, 21 January 2015, article number 7017883, pp. 845-848.

4. Lampi E. The Effectiveness of Using Virtual Laboratories to Teach Computer Networking Skills in Zambia (Doctoral dissertation Virginia Polytechnic Institute and State University, 2013, Virginia). URL: [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/22013/Lampi\\_E\\_D\\_2013.pdf?sequence=1](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/22013/Lampi_E_D_2013.pdf?sequence=1).
5. Franklin R., Smith Ju. Practical assessment on the run – iPads as an effective mobile and paperless tool in physical education and teaching. *Research in Learning Technology*, 2015, vol. 23: 27986.
6. Holovko M.V. Virtual modeling of physical experiment for distance learning systems in the secondary and higher pedagogical schools / M.V. Holovko, S.Y. Kryzhanovskyi, V.M. Matsiuk // *Информационные технологии и средства обучения*. - 2015. - Т. 47. - № 3. - С. 36-48.
7. Лаптенков Б.К. Опыт организации и проведения виртуального лабораторного практикума по курсу физики / Б.К. Лаптенков, Ю.В. Тихомиров // *Физическое образование в вузах*. – 2005. - Т. 11. - № 2. - С. 90-101.
8. Автоматизированная программа проведения изучения структуры тонких пленок с помощью виртуальной модели электронного микроскопа (e-diffraction): А.с. №2015661684 Рос. Федерация / И.А. Язовцев, Б.И. Бортник, Н.Ю. Стожко, Н.П. Судакова, А.В. Чернышева; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «УрГЭУ». - № 2015618342; заявл. 11.09.2015; зарег. 03.11.2015, Бюл. № 12.
9. Стожко Д.К. К вопросу о характере рынка рабочей силы в системе современного высшего образования России // *Вестник Северо-Осетинского государственного университета имени Коста Левановича Хетагурова*. - 2016. - № 3. - С. 188–192.