

**TRAINING OF STUDENTS FOR SEARCH OF OPTIMUM CONDITIONS
OF CARRYING OUT STUDY EXPERIMENT ON PHYSICS BY MEANS
OF THEORETICAL MODELS**

Olga G. Revinskaya, Nadegda S. Kravchenko

Department of theoretical and experimental physics, National research Tomsk polytechnic university,
Lenin av., 30, Tomsk 634050, Russia

Abstract

Possibilities of formation at students of university of skills of search of optimum conditions of carrying out experimental research in a course of the general physics are analysed. The technique of updating of requirement of acquisition of these skills through studying of models of physical processes and the phenomena on the computer which allows students to pick up necessary parameters of studied system on the basis of the analysis of its physical essence is offered.

Key words: *scientific experiment, study experiment, experiment planning, physical model, optimum conditions of performance of experiment.*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных, формируемых в курсе физики видов деятельности, является экспериментальная. Хотя ведущая роль эксперимента в естественных науках прослеживается на протяжении нескольких веков, только в XX веке произошло явное разделение физики на теоретическую и экспериментальную, что выразилось в выделении в структуре исследовательских организаций соответствующих подразделений. Но теоретические и экспериментальные исследования по-прежнему неотделимы друг от друга. Поэтому формирование навыков экспериментальной деятельности относится к фундаментальным задачам обучения, как в школе, так и в вузе.

Технологии естественнонаучных и инженерных исследований интенсивно развиваются, стимулируя среднее и высшее образование совершенствовать методы обучения для эффективного формирования у молодого поколения компетенций современной экспериментальной деятельности. Благодаря широкому использованию компьютеров осознание моделирования как общенаучного метода познания в последние десятилетия не только привело к его широкому использованию в различных научных исследованиях, но и сделало необходимой модернизацию методики преподавания физики, в том числе, и методики формирования навыков экспериментальной деятельности студентов и школьников с учетом этого метода познания.

В рамках школьного курса физики компьютерные реализации физических моделей все чаще используются в качестве интерактивного вида наглядности и при введении в задачу ситуацию (Оспенников 2008), и при объяснении теоретического материала, и при подготовке к лабораторным работам (Ельцов 2007). Это корректно согласуется с целями среднего образования.

Обучение экспериментальной деятельности в вузе включает в себя ряд задач, одной из которых является поиск оптимальных условий проведения эксперимента. Трудности решения этой задачи в рамках курса общей физики связаны, в первую очередь, с недостаточной широтой физического кругозора студентов младших курсов, что не позволяет им осознать методическую важность и пути решения данной задачи. Кроме того поиск методик обучения этому виду деятельности затрудняется ограниченным набором приборов и материалов, которые преподаватели могут предложить студентам для практической реализации подобных исследований. Творческий характер данной задачи требует значительных затрат времени для ее решения в натурном эксперименте, которое оказывается возможным изыскать только в учебном плане физических факультетов университетов (Гнитекая 1998). Таким образом, деятельность связанная с поиском оптимальных условий эксперимента в курсе общей физики по-прежнему остается несформированной. Однако анализ роли физических моделей в экспериментальных исследованиях на основе моделирования, как фундаментального метода познания, позволяет раскрыть неиспользованные до сих пор потенциальные возможности формирования этого вида деятельности в курсе общей физики.

РОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Экспериментальные исследования как деятельность имеет сложную, нелинейную структуру. Однако условно в ней можно выделить несколько этапов, характеризующихся относительно самостоятельными целями, задачами и методами их решения. Это формирование потребности в проведении эксперимента, планирование эксперимента, создание экспериментальной установки, проведение измерений, обработка результатов измерений, анализ результатов исследования (рис. 1).

Целевая и процессуальная наполненность отдельных этапов эксперимента в научных и учебных исследованиях существенно отличается. Представления об общей структуре эксперимента закладываются уже в школьном курсе физики. Качественно новое развитие получает экспериментальная деятельность в курсе общей физики. Дальнейшее формирование этого вида деятельности происходит у студентов при изучении специальных дисциплин и в процессе практического участия студентов в научно-технических исследованиях. Это позволяет сформировать у обучающихся цельные представления об экспериментальных исследованиях как о фундаментальном методе познания. При этом глубина раскрытия каждого из этапов эксперимента на каждой ступени физического образования объективно определяется уровнем психологической и предметной подготовки обучаемых, зоной их ближайшего развития.

Для формирования потребности в проведении эксперимента на уровне научных исследований экспериментатор должен обладать широким кругозором и глубиной специальных знаний в определенной области физики, чтобы оценить новизну, актуальность и востребованность постановки эксперимента. Так как основная задача образования – это передача социального опыта человечества будущим поколениям, то очевидно, что учебные эксперименты ни в вузе, ни тем более в школе, не могут характеризоваться объективной научной новизной и актуальностью, но они должны быть актуальны для обще социального и предметного развития обучающихся. Поэтому этот этап экспериментальных исследований реализуется в учебном эксперименте как предъявление экспериментальной задачи, соответствующей зоне ближайшего развития обучающегося.

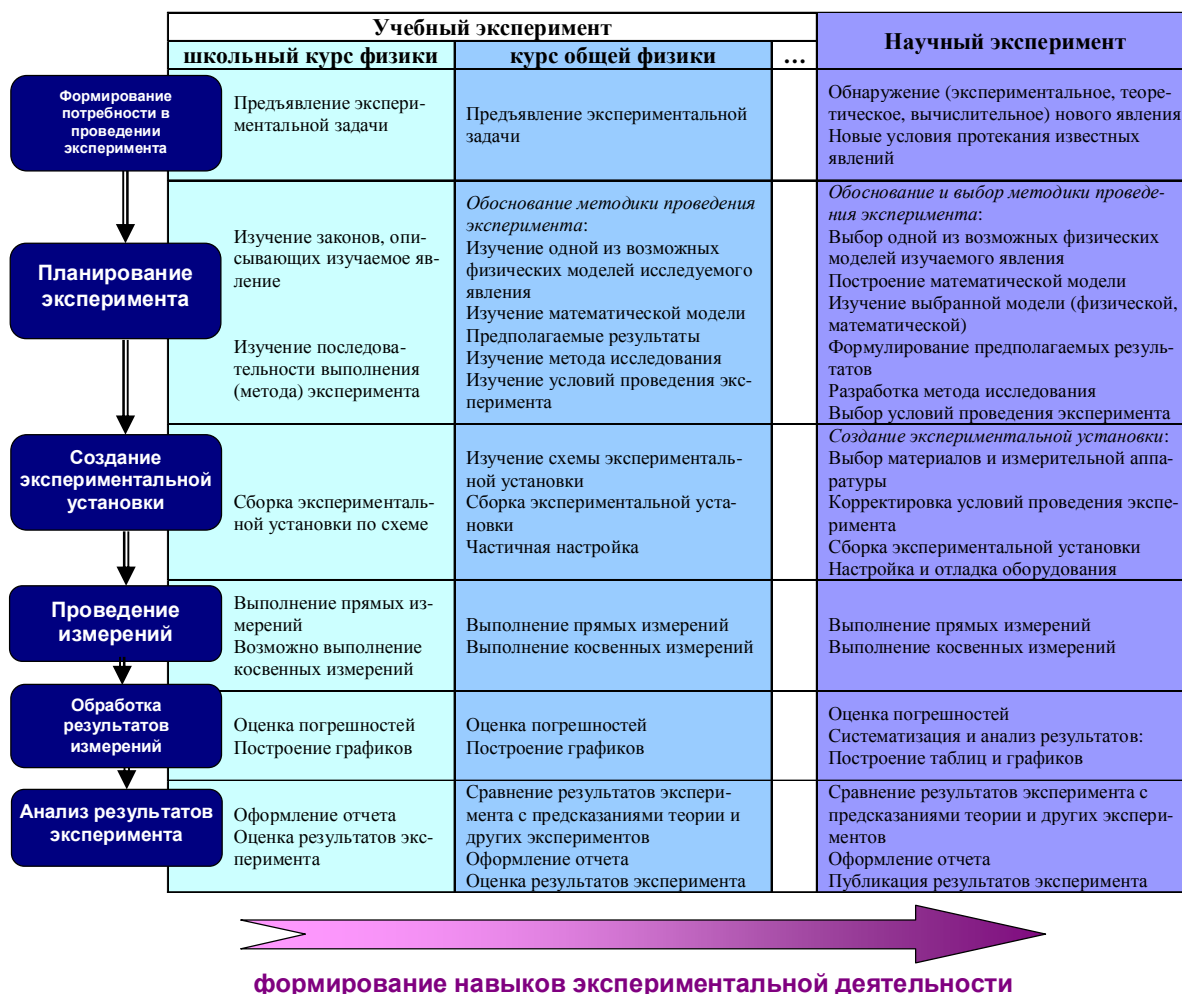


Рис. 1. Этапы экспериментальных исследований и их реализация в учебном эксперименте

Планирование научного эксперимента базируется на выборе и анализе физической модели, адекватно описывающей явление, которое предстоит изучать в эксперименте. Многолетний опыт и научная интуиция позволяют ученому сделать обоснованный выбор в пользу одной из возможных моделей. Обучающий характер учебных экспериментов связан с предъявлением обучаемому некоторой физической модели, адекватной не только изучаемому физическому явлению, но и познавательным возможностям студента или школьника.

Создание экспериментальной установки в научном эксперименте связано с творческим поиском технического решения для изучения явления в рамках выбранной физической модели. Учебный эксперимент на начальных ступенях образования (школа, курс общей физики) предлагает обучающимся освоить выполнение эксперимента на оборудовании, оптимально подобранном для данной учебной ситуации. Здесь постепенно формируются навыки работы с современными приборами и установками, техническое устройство которых при переходе от одной ступени образования к другой постепенно усложняется.

Характер обработки и анализа результатов измерений полностью определяется базовой для данного эксперимента физической моделью и используемым оборудованием.

Учитывая различия в целях постановки научного и учебного экспериментов, оценка результатов исследования происходит на разных уровнях публичности: результаты научных исследований публикуются в научных изданиях, что способствует их объективной оценке всеми членами научного сообщества; результаты учебных исследований оценивает преподаватель, как квалифицированный представитель научного сообщества, способный идентифицировать не только соответствие проделанной работы научным методам познания, но и ее вклад в развитие познавательной деятельности обучающегося.

Следует отметить, что одной из задач этапа планирования научного эксперимента является выбор определенной физической модели – выдвижение гипотезы о том, что изучаемое явление может адекватно описываться выбранной моделью. Анализ результатов исследования, построенных на основе данной модели, подтверждают или опровергают выдвинутую гипотезу. В случае если модель признается не достаточно корректно описывающей изучаемое явление, выбирают новую и повторяют весь цикл исследований. В отличие от научного учебный эксперимент проводится, как правило, в условиях отсутствия у обучаемых альтернативного выбора физической модели исследования. Поэтому умение выдвигать и проверять гипотезу исследования в явном виде не формулируется. В процессе выполнения учебного эксперимента обучаемые выстраивают взаимосвязь между реальным физическим явлением, экспериментальной установкой для его изучения и физической моделью, которая адекватно описывает данное явление. Накопление и анализ множества таких экспериментально подтвержденных взаимосвязей является необходимым этапом для перехода на более высокий уровень организации планирования эксперимента, на котором накопленный опыт позволяет исследователям осуществлять самостоятельный выбор модели – строить гипотезу исследования. Для доказательного обучения методике выдвижения гипотез исследования в учебном эксперименте необходимо иметь как минимум две модели, соответствующие уровню знаний обучаемых, применение которых для организации эксперимента может быть проверено на практике. Такая возможность, как правило, отсутствует не только в школе, но и курсе общей физики в вузе. В результате декларируемая в гипотезе возможность альтернативного проведения эксперимента не находит практического подтверждения в реальной учебной деятельности обучаемых, а навыки выдвижения и проверки гипотезы так и остаются несформированными. Поэтому в число задач учебного эксперимента в школе и в курсе общей физики выдвижение гипотезы исследования в явном виде не входит по объективным причинам и далее не рассматривается.

Из проведенного анализа видно, что выбор физической модели изучаемого явления формирует всю последующую деятельность экспериментатора. Физическая модель определяет, какие физические параметры явления необходимо фиксировать в эксперименте, какого рода зависимости между этими параметрами следует ожидать, какие условия необходимо создать, чтобы эти зависимости можно было выявить, какими приборами (с какими техническими характеристиками) необходимо пользоваться, а также как рассчитать неизмеряемые в эксперименте физические величины, характеризующие данное явление, и по каким критериям следует сравнивать экспериментальные результаты с результатами, предсказанными моделью (теорией), а также с результатами других исследователей, опубликованными в печати.

В рамках школьного курса физики, учитывая возрастные особенности формирования психики и уровень сформированности абстрактного мышления, большинство учебных экспериментов

направлено на экспериментальное изучение фундаментальных физических законов, поэтому в качестве модели явления, как правило, выступает непосредственно тот или иной закон (Румбешта, Данильсон 2009). В этом случае упоминание о модели справедливо опускается. Хотя на некоторых элективных курсах в старших классах школьники выполняют опыты, для объяснения отличия результатов которых от предсказаний теории необходимо подчеркивать, что теория предлагает лишь модель изучаемого явления (Ельцов 2006). Таким образом, элементы использования физических моделей с необходимостью появляются и в лабораторном практикуме курса физики средней школы.

Эксперименты, выполняемые студентами в курсе общей физики, как правило, могут быть объяснены только некоторой совокупностью фундаментальных законов. Поэтому этап описания и изучения используемой модели здесь должен присутствовать явным образом и максимально полно формироваться в сознании и деятельности студентов, а методика исследования выбранной физической модели должна являться фундаментом для формирования компетенции экспериментальной деятельности студентов в курсе общей физики.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Формированию деятельности по изучению конкретных физических моделей в курсе общей физики традиционно уделяется мало внимания, а в лабораторном практикуме это вопрос практически не рассматривается. Как правило, теория в лабораторных работах описывает не столько модель изучаемого явления, сколько общие теоретические положения, относящиеся к некоторому разделу физики, и поэтому рассматривается как дополнительный повод контроля общих теоретических знаний студентов. Отсутствие акцента на предъявлении теоретического материала как модели изучаемого физического явления противоречит роли моделирования в современных экспериментальных исследованиях. При таком подходе связь теории с методикой выполняемого эксперимента и используемым в нем оборудованием остается не понятой студентами.

При подготовке студентов к выполнению работы необходимо акцентировать их внимание на модели физического явления или процесса, изучаемого в эксперименте, и ее роли в выборе методики исследования. Для этого физическая модель должна быть не только доказательно описана, но и детально исследована.

Физические модели отличаются высокой степенью абстрактности. Поэтому их умозрительное изучение даже на основе методического пособия вызывает у студентов младших курсов значительные затруднения. Поэтому данный вид деятельности нельзя отнести к полностью сформированному в этот период. Согласно психологической теории деятельности формирование определенного вида деятельности может являться эффективным, если начинается с действий с внешними объектами. Таким внешними объектами, адекватными идеальной природе физических моделей, являются компьютерные модели. В качестве средства для организации изучения физических моделей во внешней предметной деятельности могут выступать «готовые» программные продукты, реализующие физические модели через соответствующие компьютерные. Программные продукты, разработанные для этих целей должны обеспечивать взаимодействие студента с программой именно на уровне физической модели без необходимости программировать или учитывать дискретный характер компьютерной модели (эти действия должны осваиваться на более поздних ступенях физического образования при

формировании другого вида учебной деятельности – разработке компьютерных моделей (Попов 2005)).

При наличии специальных программ, обеспечивающих взаимодействие студентов с идеальной физической моделью, наилучшей формой проведения занятий для организации данной деятельности являются лабораторные работы. Выполнение лабораторных работ по изучению физических моделей на компьютере в комплексе с натурными экспериментами, методика проведения которых базируется на данных физических моделях, позволит полностью раскрыть роль этапа планирования эксперимента в учебных и научных исследованиях, актуальность развертывания которого в курсе общей физики остается высокой, а практическая реализация – по-прежнему недостаточной.



Рис. 2. Изучение физической модели

Изучение физической модели начинается с анализа ее физической структуры, для описания которой строится одна из возможных математических моделей. Математическая модель помогает не только осознать актуальные параметры физической модели, но и выявить функциональные зависимости между ними. Как правило, именно эти зависимости в конечном итоге и изучаются в эксперименте. Анализ полученных зависимостей позволяет определить, какие параметры изучаемого явления можно непосредственно измерить в эксперименте, и при

каких условиях искомые зависимости будут наиболее характерными (рис. 2). Таким образом формируются представления исследователя об ожидаемых результатах эксперимента.

Традиционно попытки реализации данной последовательности изучения физических моделей реализуются только на теоретическом (умозрительном) уровне. При использовании компьютерных лабораторных работ для организации исследования физических моделей во внешней деятельности студентов данная последовательность изучения модели реализуется и на теоретическом, и на практическом уровне. При подготовке к выполнению лабораторной работы студенты с помощью учебно-методического пособия знакомятся с моделью и ее теоретическим анализом. Так как деятельность по изучению данной модели является еще несформированной, этот этап носит мотивационный характер, закладывая потребность в изучении модели.

Для формирования предметной деятельности по изучению физических моделей важно, чтобы предъявляемая студентам для этих целей компьютерная программа (модель), исключала изображение (динамическое или статическое) реальной экспериментальной установки. Так как проектирование и работа с установкой формирует другой вид деятельности, относится к следующему этапу экспериментальных исследований, и максимально эффективно может быть реализована только в предметной деятельности с реальными приборами. В данном случае задача компьютерной модели обеспечить студентам адекватную возможность внешней, контролируемой преподавателем предметной деятельности по изучению идеальной физической модели.

Если компьютерная модель предоставляет студентам все необходимые условия для исследования физической модели, то планомерное, последовательное выполнение системы действий по изменению параметров и фиксации изменения состояния модели позволяет во внешней предметной деятельности выявить зависимости, характеризующие данную модель, и сопоставить их с изложенным теоретическим анализом. Коррекция освоения необходимых действий также осуществляется преподавателем во внешней предметной деятельности, что невозможно при умозрительном изучении модели.

Повторяясь от модели к модели, эта деятельность способствует формированию устойчивых навыков исследования модели, постепенному сворачиванию и переносу действий во внутренний план познавательной деятельности студента. В реализованном нами на кафедре теоретической и экспериментальной физики Национального исследовательского Томского политехнического университета «Комплексе лабораторных работ по изучению моделей физических явлений и процессов на компьютере» действия по изучению модели формируются неоднократно в развернутом виде во внешней предметной деятельности с обязательным этапом проговаривания, поэтому после их перехода во внутренний план они в любой момент могут быть полноценно развернуты. Полнота формирования действий позволяет в дальнейшем использовать их при формировании навыков самостоятельной разработки компьютерных моделей в курсе математического моделирования.

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ПОИСКУ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Одним из элементов исследования моделей является изучение физических условий, при которых характеризующие их зависимости имеют наиболее выразительный вид. Очевидно, что совпадение результатов натуральных экспериментов с предсказаниями модели при этих условиях

будет носить наиболее доказательный характер и подтвердит корректность описания изучаемого явления данной моделью в этих условиях. Эти условия и считают, как правило, оптимальными для проведения эксперимента.

Для осуществления подобного поиска в рамках изучения физических моделей с помощью компьютерных лабораторных работ необходимо обеспечить достаточно широкий (избыточный) диапазон варьирования изменяемых параметров, который позволит наблюдать очевидные отличия в поведении модели. Поиск оптимальных физических условий с помощью компьютерного эксперимента обладает не только высокой наглядностью, но и стимулирует неоднократное целенаправленное наблюдение модели при различных условиях. А наблюдение как научный метод является важным этапом любого исследования.

Обучение поиску оптимальных физических условий проведения эксперимента следует начинать с отработки поиска оптимального значения одного из параметров изучаемой модели. При этом остальные параметры в процессе поиска остаются фиксированными, а студенту предоставляется четкий критерий поиска. При формулировке критерия поиска необходимо аргументировано доказать, почему именно при таких условиях результаты дальнейших исследований окажутся наилучшими.

Например, при изучении распределения Больцмана зависимость концентрации частиц от высоты носит экспоненциальный вид. Поэтому изучение концентрации необходимо проводить не менее чем на десяти различных высотах. Однако доступные для наблюдения взвешенные в жидкости частицы при разных температурах могут оказаться распределенными не во всем объеме жидкости, а только в нижней его части. Если исследования проводятся с помощью виртуального микроскопа, то его увеличение нужно подобрать таким образом, чтобы можно было наблюдать ненулевое количество частиц на десяти различных высотах (рис. 3). Данный критерий стимулирует предварительное (без измерений) наблюдение кюветы со взвешенными частицами при различных увеличениях «микроскопа» при одних и тех же условиях.

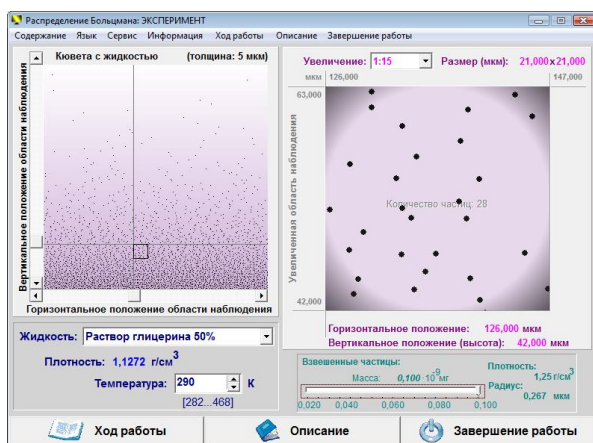


Рис. 3. Компьютерная лабораторная работа «Распределение Больцмана»

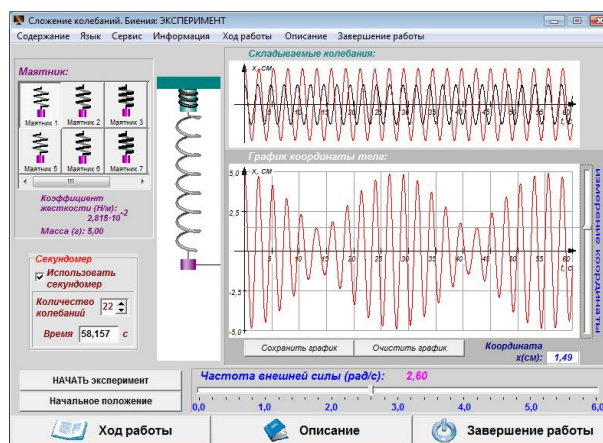


Рис. 4. Компьютерная лабораторная работа «Сложение колебаний. Биения»

При изучении сложения одинаково направленных колебаний одним из возможных результатов являются биения, которые имеют характерный вид. Кроме биений могут наблюдаться, например, гармонические колебания с переменным положением равновесия, негармонические колебания и т.д. Прежде чем исследовать особенности биений, необходимо определить, в каком диапазоне частот они наблюдаются. В этой работе студентам предлагается с достаточно крупным шагом пройти весь доступный диапазон частот и сравнить полученный в каждом эксперименте график результирующих колебаний с приведенными в учебно-методическом пособии типичными графиками различных видов колебаний (Ревинская, Кравченко 2005). Тем самым они не только экспериментально определяют диапазон частот, в котором наблюдаются биения, но и учатся визуально определять характерные признаки биений (рис. 4).

В работе «Работа и энергия» рассматривается модель движения тела по стальной направляющей, расположенной в вертикальной плоскости и состоящей из прямолинейного отрезка и дуги окружности. Чтобы тело смогло подняться вверх по направляющей, ему сообщают некоторую начальную энергию при помощи сжатой стартовой пружины. В работе анализируется такое движение тела по направляющей, при котором тело, поднявшись на некоторую высоту, останавливается и скатывается обратно по той же дуге направляющей, по которой оно поднималось, не перелетая через высшую точку направляющей (Ревинская, Кравченко 2011). Чтобы добиться такого движения тела при наличии трения скольжения в системе, необходимо подобрать стартовую пружину определенной жесткости и ее сжатие, обеспечивающее описанный характер движения тела (рис. 5). Легко заметить, что для тел, изготовленных из разных материалов и характеризующихся разным коэффициентом трения, необходимо выбирать пружины разной жесткости и разное их сжатие. В дальнейшем при подобранных таким образом начальных условиях изучают зависимость работы силы трения скольжения от длины и формы пути, пройденного телом по направляющей.

При движении заряженной частицы в стационарных однородных взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях траекторией частицы является трохоида, или, как частный случай, циклоида (Ревинская, Кравченко 2006). Чтобы проанализировать зависимость характеристик траектории частицы (периода, радиуса, длины витка) от напряженности электрического поля, необходимо выбрать фиксированное значение начальной скорости частицы и индукции магнитного поля. При нулевой начальной скорости частицы и максимально возможном в работе значении напряженности электрического поля студентам предлагается подобрать значение индукции магнитного поля так, чтобы в области эксперимента наблюдался один целый виток циклоиды. После этого начальную скорость и выбранное значение индукции магнитного поля считают фиксированными, и проводят исследование зависимости параметров траектории от напряженности электрического поля. С уменьшением напряженности электрического поля количество витков циклоиды, наблюдаемой в области эксперимента, увеличивается (рис. 6). Поэтому, если оптимальные условия проведения эксперимента не подобраны, выполнение измерений при малых значениях напряженности электрического поля окажется затруднительным. Личные затруднения, возникающие при этом, стимулируют студентов к более тщательному поиску оптимальных условий эксперимента.

Во всех случаях после проделанного поиска студенты выполняют необходимые исследования модели при определенных ими условиях. Это повышает их ответственность за результаты своей деятельности.

Конкретность предложенных критериев позволяет студентам делать осознанный выбор условий исследования моделей и учит выдвигать обоснованные требования к условиям проведения натурального эксперимента.

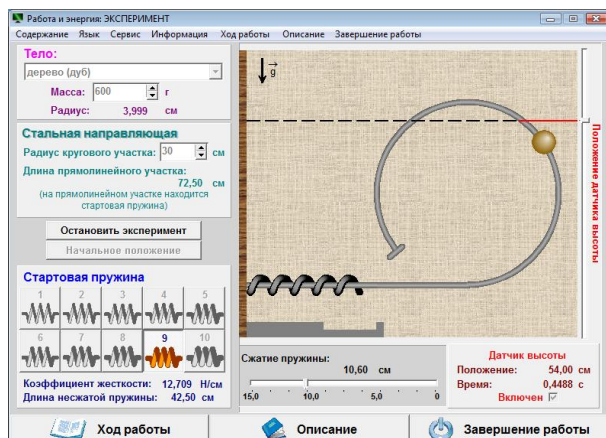


Рис. 5. Компьютерная лабораторная работа «Работа и энергия»



Рис. 6. Компьютерная лабораторная работа «Движение заряженной частицы во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях»

Все работы построены так, что программный продукт не препятствует выполнению исследований при любых доступных условиях, в том числе, отличающихся от оптимальных. Но результаты исследований, проведенных при оптимальных условиях, будут максимально соответствовать изученной студентами теории. В то время как результаты, полученные в условиях, отличающихся от оптимальных, могут обладать, например, значительной относительной погрешностью, затеняющей исследуемые зависимости, описываться иной моделью или оказаться недоступными для измерений в данном эксперименте. Анализ подобных ситуаций еще на уровне изучения модели раскрывает важность тщательного соблюдения оптимальных условий в предстоящих натуральных экспериментах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На всех ступенях физического образования учебный эксперимент можно рассматривать как систему дидактических моделей научного эксперимента. В учебном эксперименте курса физики средней школы моделируется общая структура физического эксперимента. Отличительной особенностью дидактической модели эксперимента в курсе общей физики является развертывание роли физических моделей в процессе планирования эксперимента. В процессе дальнейшего обучения в вузе дидактическая модель эксперимента продолжает усложняться, все точнее отражая структуру научных исследований.

В курсе общей физики многообразие условий проведения эксперимента коррелирует с многообразием физических моделей, позволяющих раскрыть суть явлений и процессов в рамках классической и полуклассической теории. Физические модели позволяют не только

предложить способ описания, но и аргументировать условия наблюдения изучаемого явления. Учет этой дидактической функции моделей позволил выделить в лабораторном практикуме по физике изучение физических моделей на компьютере как самостоятельный вид учебной деятельности студентов, имеющий самостоятельные цели, задачи, средства и методы. Это способствует повышению эффективности курса общей физики в процессе формирования экспериментальной компетентности будущих высококвалифицированных специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

- Гнитецкая Т.Н. 1998, 'Об аналогии между методами научного исследования и методами обучения', *Физическое образование в вузах*, т. 4, № 2, с. 31-34.
- Ельцов А.В. 2006, 'Формирование экспериментальных умений во время выполнения автоматизированных работ физического практикума', *Физическое образование в вузах*, т. 12, № 4, с. 44-51.
- Ельцов А.В. 2007, 'Основные направления использования средств информационных технологий в школьном эксперименте по физике', *Информатика и образование*, № 3, с. 110-113.
- Оспенников А.А. 2008, 'Обучение будущих учителей физики использованию средств ИТК в организации учебных занятий по решению физических задач', *Вестник Челябинского государственного педагогического университета*, № 7, с. 108-116.
- Попов С.Е. 2005, 'Концептуальные проблемы системы подготовки учителя физики: вычислительная физика', *Физическое образование в вузах*, т. 11, № 3, с. 68-79.
- Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. 2005, 'Об опыте разработки методического сопровождения и применения в учебном процессе компьютерных лабораторных работ по физике', *Материалы VIII международной конференции «Физика в системе современного образования» (ФССО-05) (Санкт-Петербург, май - июнь 2005 г.)*, Издательский дом МФО, Санкт-Петербург, с. 556-558.
- Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. 2006, 'Изучение движения заряженной частицы в скрещенных стационарных электрическом и магнитном полях с помощью виртуальных лабораторных работ', *Физическое образование в вузах*, т. 12, № 3, с. 109-116.
- Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. 2011, 'Методика экспериментального изучения работы диссипативных сил на примере работы силы трения и ее реализация на компьютере', *Фундаментальные исследования*, № 12, ч. 1, с. 52-57.
- Румбешта Е.А., Данильсон Т.С. 2009, 'Модульно-деятельностный подход к обучению физике', *Вестник Томского государственного педагогического университета*, № 7, с. 35-38.