

**STUDYING OF THEORETICAL MODELS OF THE PHYSICAL PHENOMENA
AND PROCESSES ON THE COMPUTER IN A LABORATORY PRACTICAL WORK**

Olga G. Revinskaya, Nadegda S. Kravchenko

Department of theoretical and experimental physics of natural sciences and mathematics faculty,
National research Tomsk polytechnic university, 634050 Tomsk, Russia. E-mail: ogr@tpu.ru

Abstract

Modern studying of the physical phenomena and processes is interlinked with construction of their ideal theoretical models, allowing to explain the given phenomenon or process in some approach. We develop computer models of the physical phenomena and processes which allow to study the modern physical theory in perfect conditions of a virtual reality in a laboratory practical work. In the report experience of practical use of such laboratory works in educational process is discussed.

Key words: *physical phenomena and processes, theoretical models, computer models, virtual reality, laboratory practical work*

ВВЕДЕНИЕ

Современное изучение физических явлений и процессов связано с построением их идеальных теоретических моделей, позволяющих объяснить данное явление или процесс в некотором приближении. Изучение и анализ моделей позволяет связать реальный эксперимент с определенными теоретическими концепциями. Исследование теоретической модели и сопоставление результатов этого исследования с экспериментальными данными является неотъемлемой составляющей современных научных поисков.

В учебном процессе до сих пор уделяется незначительное место методике и средствам обучения исследования физических теоретических моделей. При выполнении лабораторных работ, например, модель изучаемого явления излагается упрощенно. Как правило, для выполнения работы требуется несложный одноплановый анализ предложенной модели, который студенту предлагается провести мысленно, без опоры на какие-либо внешние материальные ориентиры. Это приводит порой к некорректным выводам студентов о физической сущности изучаемого явления.

Как и всякое научное исследование, изучение теоретических моделей должно выполняться по определенной методике, которую студенты должны освоить в процессе изучения курса общей физики. Данная методика детально разработана и активно используется в научных исследованиях, но ее необходимо адаптировать к материалу курса общей физики и уровню подготовки студентов младших курсов. С одной стороны для раскрытия данной методики в полной мере нельзя ограничиваться простейшими линейными моделями, необходимо вводить в рассмотрение и нелинейные, разноплановые модели. С другой стороны, разноплановый анализ достаточно сложных для неимеющих опыта подобных исследований студентов моделей нуждается в специальной организации и не может выполняться мысленно, во внутреннем плане студента. То есть развитие навыков самостоятельного анализа теоретических моделей у

студентов младших курсов при изучении физики требует и изменения содержания учебных моделей, и создание специализированных дидактических средств, позволяющих проводить исследование моделей во внешнем плане [1].

В условиях интенсивного проникновения виртуальной реальности во все сферы человеческой жизни компьютерные дидактические средства позволяют создать условия, при которых абстрактный теоретический материал выносится из внутреннего плана обучающегося во внешний. Для создания таких дидактических средств необходимо реализовать физические теоретические модели в условиях виртуальной реальности и обеспечить обучающимся средства воздействия на модель и возможность получения информации об изменении состояния модели. Учитывая количественную природу физических исследований, получаемая студентом информация о модели также должна быть количественной. Анализ всякого явления, как натурального, так и идеальной теоретической модели, должен опираться на достоверную информацию. Поэтому происхождение информации о модели в условиях виртуальной реальности не должно вызывать сомнений у студента. В виртуальном мире должны присутствовать легко узнаваемые ориентиры, источники информации, по которым студент сам может получить информацию об изменении состояния модели.

Нами разработан ряд компьютерных моделей физических явлений и процессов, которые представляют собой специализированные дидактические средства и позволяют изучать современную физическую теорию в идеальных условиях виртуальной реальности в лабораторном практикуме.

КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ

Хорошо известно, что интенсивность овладения теоретическим материалом зависит от степени развитости абстрактного мышления у студентов. В среднем абстрактное мышление к моменту поступления в высшее учебное заведение естественнонаучного и технического профиля у студентов достаточно развито, чтобы адекватно оценивать идеальные условия исследования абстрактного теоретического объекта в виртуальной реальности. Однако опыт целенаправленного исследования идеальных моделей у студентов отсутствует. Поэтому обучение методике исследования моделей необходимо начинать с простых, отчасти содержательно знакомых студентам моделей таких, например, как равноускоренное движение и свободные гармонические колебания. Простейшие модели необходимы на начальном этапе освоения методики. Далее необходимым является переход к более сложным моделям. Это позволяет полнее раскрыть суть и глубину методики исследования моделей, заложить необходимый опыт оценки и предвидения результатов соответствующих теоретических приближений.

На основании данной концепции на кафедре теоретической и экспериментальной физики Национального исследовательского Томского политехнического университета с 2002 г. ведется разработка комплекса лабораторных работ по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере. Комплекс представляет собой совокупность авторских программ, воспроизводящих физические модели, наиболее часто встречающиеся в курсе общей физики, и методические указания по выполнению лабораторных работ [2, 3]. Методические указания носят направляющий характер, формируют ориентировочную основу деятельности студентов в

процессе исследования. В настоящее время комплекс содержит 23 работы по некоторым разделам курса общей физики для вузов.

Рекомендуемый в методических указаниях порядок выполнения работ подробно реализует методику исследования теоретических моделей применительно к каждому конкретному случаю, раскрывает способы получения информации о модели, методы ее обработки и оценки.

Отличительной особенностью курса общей физики как фундаментальной учебной дисциплины является наличие в его составе большого количества разнообразных по физическому содержанию и свойствам теоретических моделей. Это дает богатый материал для освоения методики исследования теоретических моделей как научного метода познания при систематическом выполнении лабораторных работ данной направленности.

Кратко опишем модели, включенные в настоящее время в комплекс лабораторных работ Томского политехнического университета.

1. Раздел «Механика»

1.1. *Ускорение свободного падения.* В работе изучается одномерное равноускоренное движение материальной точки в поле силы тяжести одной из планет Солнечной системы (например, на Венере).

1.2. *Второй закон Ньютона.* В работе изучается равноускоренное движение тела по горизонтальной плоскости под воздействием груза, перекинутого через блок на краю плоскости. Сравнивается поведение системы при наличии трения в ней и без трения.

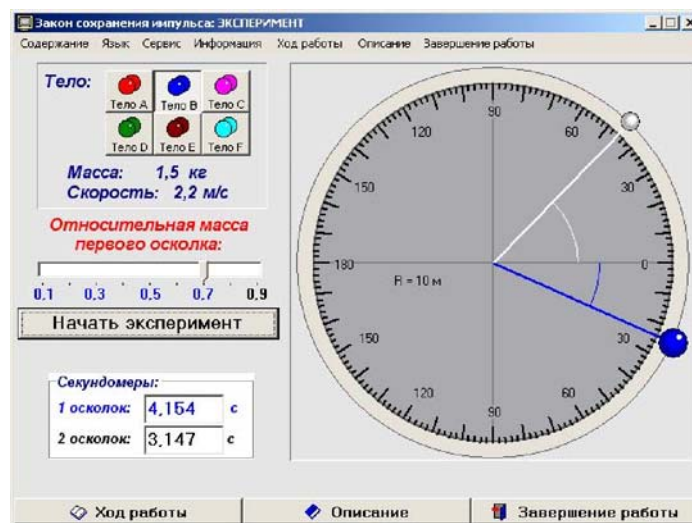


Рис. 1. Закон сохранения импульса

1.3. *Закон сохранения импульса.* Рассматривается поведение замкнутой системы, которая в начальный момент времени представляет собой тело, движущееся горизонтально с постоянной скоростью. Спустя какое-то время тело распадается на два осколка, разлетающиеся в

произвольных направлениях. Сравнение первоначального импульса тела и суммарного импульса осколков показывает, что импульс замкнутой системы сохраняется (см. рис. 1).

1.4. *Момент инерции твердого тела.* Рассматривается вращательное движение прямоугольной призмы (с основанием различной формы) вокруг оси, перпендикулярной основанию. Согласно теореме Штейнера момент инерции твердого тела будет наименьшим, когда ось проходит через его центр инерции.

1.5. *Реактивное движение.* В работе исследуются зависимости кинематических характеристик (координаты, скорости, ускорения) прямолинейного реактивного движения тела переменной массы в вакууме от его массы и характера вытекания топлива.

1.6. *Движение инертного тела в гравитационном поле.* В работе изучаются законы Кеплера в поле одной из планет Солнечной системы (например, Марса) на основе приближения центрального взаимодействия.

2. Раздел «Физика жидкостей и газов»

2.1. *Вытекание жидкости из малого отверстия.* Работа основана на законе Бернулли для столба несжимаемой жидкости переменной высоты, который позволяет определить скорость истечения жидкости из малого отверстия в сосуде и дальность полета струи, когда сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

2.2. *Движение в вязкой среде.* Работа позволяет сравнить динамику движения сферического тела в средах различной вязкости; наблюдать и детально изучать равномерное, равноускоренное движение и движение с переменным ускорением.

2.3. *Движение броуновской частицы.* В работе изучается статистическая зависимость смещения броуновской частицы из начального положения от времени наблюдения. Исследования позволяют определить константу Больцмана, коэффициент диффузии и длину свободного пробега броуновской частицы.

2.4. *Распределение Максвелла.* Получение статистической информации о распределении электронейтральных частиц по скоростям в условиях термодинамического равновесия связано с необходимостью их пространственного разделения. В работе представлен один из вариантов пространственного разделения частиц, имеющих разные скорости, подчиняющихся распределению Максвелла, под действием силы тяжести.

2.5. *Распределение Больцмана.* Под действием силы тяжести изменение концентрации частиц на различных высотах описывается экспоненциальным законом Больцмана. В работе созданы условия для получения статистической информации о броуновских частицах, взвешенных в жидкости большой вязкости при различных температурах (см. рис. 2).

3. Раздел «Колебания»

3.1. *Свободные гармонические колебания.* В работе изучаются зависимости характеристик свободного гармонического колебательного движения пружинного маятника от его физических характеристик. Для исследования используется как анализ графических зависимостей, так и математические расчеты неизвестных студенту параметров.

3.2. *Затухающие колебания.* На примере движения пружинного маятника в вязкой среде изучаются основные характеристики затухающего колебательного движения.

3.3. *Вынужденные колебания.* В работе исследуются зависимости амплитуды установившихся колебаний и разности фаз между установившимися колебаниями и вынуждающей силой от частоты вынуждающей силы; определяется частота резонанса.

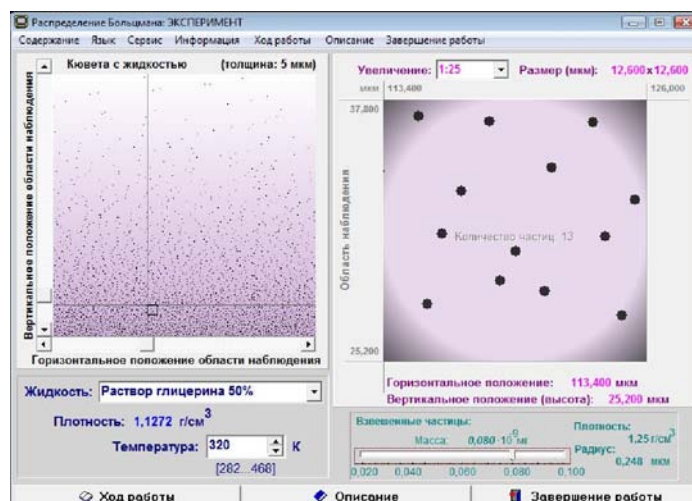


Рис. 2. Распределение Больцмана

3.4. *Сложение перпендикулярных колебаний.* Рассматривается двумерное движение тела, участвующего одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебательных движениях; определяются условия, при которых траектория тела будет представлять собой замкнутую фигуру Лиссажу (см. рис. 3).

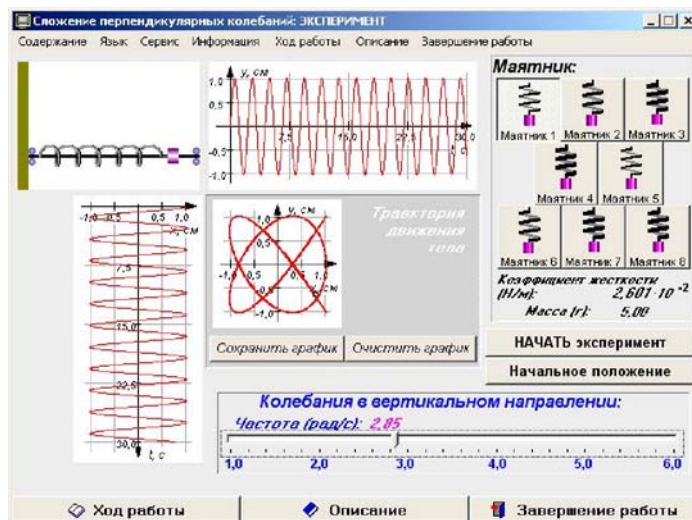


Рис. 3. Сложение перпендикулярных колебаний

3.5. *Сложение колебаний. Биения.* Изучается характер одномерного движения тела под воздействием двух одинаково направленных колебаний. В работе определяются условия, при которых в изучаемой системе наблюдаются биения.

3.6. *Гармонический анализ.* Исследуется скорость сходимости Фурье-разложения периодического негармонического движения различного вида.

3.7. *Связанные колебания.* В работе изучаются свободные колебания системы с двумя степенями свободы на примере двух тождественных маятников, соединенных пружиной; исследуется изменение амплитудных и частотных характеристик системы в зависимости от первоначального воздействия на нее.

4. Раздел «Электричество и магнетизм»

4.1. *Движение заряженной частицы во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях.* Траектория частицы представляет плоскую, двумерную кривую: трохойду (циклоиду). В работе изучают влияние электрического и магнитного полей, а также начальной скорости частицы на характер траектории; по длине витков траектории определяют отношение заряда частицы к ее массе.

4.2. *Движение заряженной частицы в параллельных электрическом и магнитном полях.* Траектория частицы представляет собой трехмерную кривую: винтовую линию, шаг которой увеличивается вдоль направления электрического поля. В работе изучают влияние электрического и магнитного полей, а также начальной скорости частицы на характер траектории; по длине полушага винтовой линии определяют отношение заряда частицы к ее массе.

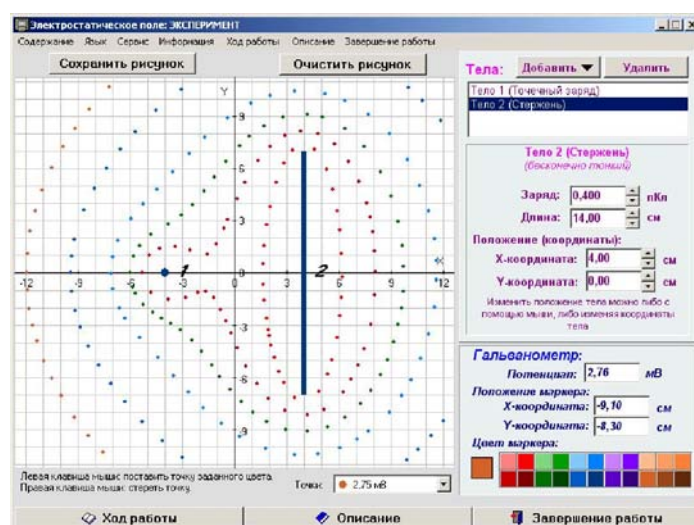


Рис. 4. Электростатическое поле

4.3. *Электростатическое поле.* В работе изучают электростатическое поле одного, двух и более заряженных тел различной формы (точечный заряд, кольцо, стержень, квадратная пластина). Для каждой системы заряженных тел исследуется распределение потенциала, строятся эквипотенциальные поверхности (см. рис. 4), совокупность которых позволяет судить о направлении силовых линий электростатического поля системы стационарных заряженных тел.

4.4. *Движение заряженной частицы в кулоновском поле.* В работе изучают рассеяние альфа-частицы тяжелыми ядрами или ионами. Рассматривают основные характеристики рассеяния и их взаимосвязь с параметрами центрального взаимодействия в кулоновском поле.

5. Раздел «Оптика»

5.1. *Дисперсия света.* Преломление луча света определенной длины волны при прохождении через треугольную призму описывается законами линейной оптики и зависит от показателя преломления призмы (см. рис. 5). В работе изучают угол отклонения луча света от первоначального направления при прохождении через призмы с различными преломляющими углами, а также при симметричном и несимметричном ходе лучей. В работе предложен и обоснован метод измерения показателя преломления, использующий несимметричный ход лучей через призму.

В каждой работе студент выполняет серию опытов, в которых определенным образом фиксирует состояние модели при тех или иных условиях. На основе этих опытов выявляет числовые и графические внутренние взаимосвязи модели.

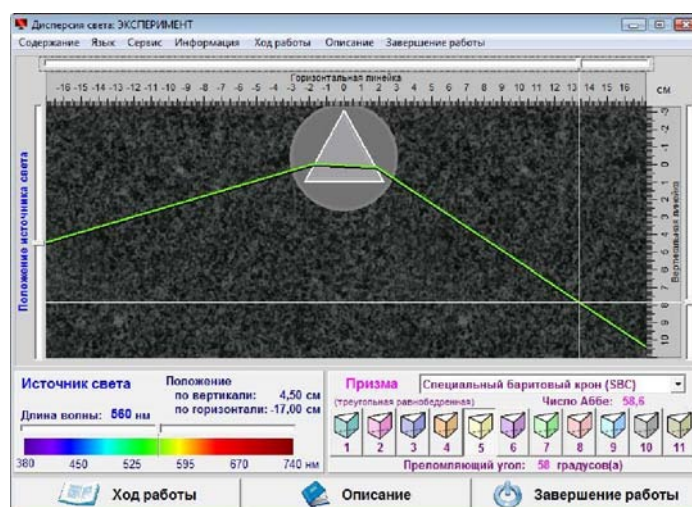


Рис. 5. Дисперсия света

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разделы курса общей физики содержит модели различной природы. В рамках одного раздела представлены модели, отличающиеся по сложности. Такое наполнение комплекса позволяет

преподавателям составлять индивидуальный план при формировании навыков исследования моделей каждым студентом в зависимости от его индивидуальной подготовленности и склонностей. Наличие работ различного уровня сложности и физического содержания позволяют также использовать различные формы проведения занятий. Некоторые работы могут выполняться, например, фронтально, при этом каждый студент проводит исследования для своего набора характеристических параметров модели. Фронтальное выполнение работы может завершаться совместным обсуждением, сопоставлением результатов, полученных при различных условиях исследования. Некоторые работы при необходимости могут выполняться индивидуально как курсовое задание.

Для каждой лабораторной работы подготовлены учебное пособие и рабочая тетрадь. Учебное пособие содержит подробное описание теоретической модели, а также методику ее исследования. Рабочие тетради составлены так, чтобы помочь студенту наилучшим образом систематизировать информацию о модели, полученную при выполнении работы.

Опыт учебной работы показал, что прогресс в освоении методики исследования теоретических моделей существенным образом зависит от наличия у студентов независимых объективных критериев успешности проведенных исследований. На этапе освоения методики исследования моделей такие критерии подготавливаются преподавателем и предоставляются студенту опосредовано через учебное пособие. В дальнейшем при применении данной методики в самостоятельной научно-исследовательской деятельности критерии успешности и адекватности модели вырабатываются студентом самостоятельно на основе накопленного опыта и анализа изучаемой задачи совместно с научным руководителем. В качестве критериев успешности выполнения лабораторных работ по изучению моделей физических явлений или процессов нами использовались отдельные физические характеристики модели, для получения которых может быть предложен иной способ кроме используемого в работе. Например, если в работе ускорение свободного падения определяется из предположения равноускоренного характера движения, то в качестве критерия успешности проведенных исследований используется значение ускорения свободного падения, полученного из закона всемирного тяготения. При этом оба значения студенты определяют сами. Данный подход способствует повышению самостоятельности студентов при выполнении лабораторных работ, стимулирует формирование и высказывание собственного мнения, расширяет кругозор.

Таким образом, выполнение каждой работы представляет собой законченное всестороннее физическое исследование, результатами которого являются как качественный анализ взаимосвязей параметров модели, так и количественные расчеты отдельных физических величин. Числовые результаты подкрепляются построением и анализом графических зависимостей. Такой комплексный подход, применяемый практически к моделям различной физической природы, позволяет формировать у студентов целостное представление о моделировании как о методе научного познания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревинская О.Г., Стародубцев В.А. Эмпирическое изучение теоретических моделей в физическом образовании. Открытое образование 2006; Т. 5: 12-21.
2. Кравченко Н.С., Ревинская О.Г. Изучение движения заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях с помощью виртуальных лабораторных работ. Физическое образование в вузах 2006; Т. 12: № 3: 109-116.
3. Ревинская О.Г., Кравченко Н.С. Изучение центрального взаимодействия с использованием лабораторных работ, моделирующих физические процессы на компьютере. Учебная физика 2008; В. 2: 151-157.