

## ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Л.Ф. Добро, И.А. Парфенова, В.И. Чижиков

*Кубанский государственный университет, г. Краснодар*

В работе обсуждаются различные аспекты применения компьютеров в учебном процессе. Особое внимание уделено компьютерному моделированию физических явлений и сопутствующим программным трудностям.

В настоящее время при изучении различных дисциплин все более широко применяются персональные компьютеры, как в процессе обучения, так и текущего контроля. Применение компьютеров активизирует процесс изучения дисциплины студентами, облегчает и ускоряет усвоение нового материала и контроль, что в итоге повышает качество обучения и углубляет знания студентов. При этом используются как стандартные программы, так и разрабатываемые на кафедрах при изучении наиболее важных тем теоретического курса и материала практических и лабораторных занятий.

Для успешного применения компьютерных программ желательно создание специализированных классов на кафедрах и необходимо иметь программное обеспечение для наиболее важных разделов дисциплин [1].

Обучающие системы, созданные с использованием компьютерных технологий, относятся к специфическому виду технических средств обучения и призваны облегчить труд преподавателя и освободить его от трудоемкой работы.

Важным аспектом применения компьютера является дистанционное обучение. Дистанционное обучение физике студентов технических специальностей сопряжено с рядом особенностей. К таким особенностям относятся:

- 1) отсутствие или недостаточность лабораторной базы на месте обучения;
- 2) конкретное ассоциативное мышление студентов, воспринимающих изучаемую дисциплину в аспекте своего профессионального и жизненного опыта.

Учет первой из этих особенностей заставляет применять компьютерное интерактивное моделирование вместо лабораторных работ на реальном оборудовании. Вторая особенность вызывает необходимость моделировать конкретные задачи в ходе выполнения лабораторного практикума [2].

Использование компьютеров связано с решением целого ряда задач развития физического образования. Автоматизированные обучающие системы могут применяться как дополнение и пояснение лекционного курса, для текущего контроля знаний на практических занятиях, а также для автоматизации проведения лабораторных работ.

Лабораторные занятия (практикум) для ряда специальностей являются одной из ведущих форм работы. Главная цель практикума – экспериментально подтвердить теоретические положения изучаемой науки, обеспечить понимание обучаемыми основных закономерностей и форм их проявления, сформировать у будущих специалистов профессиональный подход к научным исследованиям, наконец, привить навыки экспериментальной деятельности.

Повышение творческого потенциала, профессиональных навыков осуществляется в полной мере только при практическом применении знаний. Лабораторный практикум способствует познанию студентами органического единства теории и практики, знакомит с направлениями развития экспериментальной науки, развивает интерес к научноисследовательской и самостоятельной творческой работе. Компьютерные обучающие системы могут широко использоваться на всех стадиях проведения лабораторных занятий: планирование эксперимента, обработка и анализ данных, оформление результатов исследований. Если компьютер не является сам объектом изучения, то его роль сводится к обеспечению работ.

Одной из уникальнейших возможностей электронной техники является *компьютерное моделирование физических процессов*. При этом программу, имитирующую физический эксперимент, следует рассматривать как часть целого комплекса тесно взаимодействующих друг с другом обучающих программ.

Компьютерная обучающая система должна быть организована таким образом, чтобы при необходимости имелась возможность встраивать звук и видео. Видео изображение просто незаменимо при изучении физических явлений. Звук используется в тех случаях, когда звуковое восприятие материала необходимо для полного понимания происходящих процессов, для полного точного восприятия опыта. Современные технические средства позволяют создать зрелищные учебные пособия в виде компьютерной анимации, видеосюжетов и даже игр (в обучающем контексте, конечно).

Проведение эксперимента – основной этап, на котором компьютерная обучающая система может быть использована в качестве модели и вычислителя. Иногда химические, физические, биологические эксперименты проводятся с приборами и веществами, требующими достаточного навыка работы с ними. Например, при опытах с реактивами возможны опасные последствия неправильных действий, работа с прецизионной физической аппаратурой требует определенных умений, дозировка лекарственных препаратов существенно влияет на ход лечения болезни. Во всех случаях весьма полезным может быть предварительное получение студентами некоторых умений и навыков без реальных объектов. При этом можно провести необходимые расчеты, выбрать требуемые режимы работы установок и т.п. Одновременно система, анализируя работу студентов, предоставляет ему некоторые дополнительные возможности для контроля своей деятельности, например графическое представление хода эксперимента или таблицы.

В другом варианте компьютерная обучающая система может быть использована как средство управления и обработки данных с отображением информации о ходе опыта.

Компьютер оснащен средствами визуализации результатов, т.е. дает возможность представить решение задачи в наглядной динамичной форме (на графическом дисплее), наблюдать его зависимость от параметров. Все это позволяет приблизить численный эксперимент к естественному опыту. Работа с такой моделью интересна и учит студентов «чувствовать» характер важнейших уравнений физики, развивает интуицию.

В качестве одного из примеров можно привести проблему многих тел в механике. Уравнения движения и зависимость сил от координат и скоростей известны для широкого класса объектов, но полное аналитическое решение получено лишь для задачи двух тел. Моделирование на компьютере является эффективным средством анализа ансамблей таких взаимодействующих частиц, как ионы в плазме, нуклоны в ядре или звезды в Галактике. Существенно, что численный эксперимент позволяет предсказать ранее не наблюдавшиеся эффекты и исследовать системы, недоступные для натурального эксперимента. Таким образом, использование вычислительной техники позволяет получить следствия, содержащиеся в теоретических положениях, сопоставлять их с результатами опыта и корректировать исходную модель.

Другим важным направлением применения компьютера является предварительное моделирование сложных натуральных экспериментов. Цель таких исследований – оптимизация параметров будущей экспериментальной установки, выбор режимов ее работы, предварительная оценка ожидаемых эффектов. Ярким примером здесь может служить цикл работ по моделированию лазерной установки для осуществления управляемой термоядерной реакции.

Целесообразно моделировать такие задачи динамики материальной точки, как движение тела переменной массы в поле тяготения, движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях, в том числе с учетом релятивистских эффектов. Эти задачи сравнительно просты для программирования, так как приводят к системам обыкновенных дифференциальных уравнений. Соответствующие алгоритмы не требуют больших затрат машинного времени. Решение, которым является закон движения, удобно представить в виде графика. Целый ряд интересных задач может быть поставлен для иллюстрации колебательных процессов в системе с одной степенью свободы. При изучении колебаний распределенных систем можно вычислять собственные частоты стержней и струн при различных условиях закрепления. Эти задачи приводят к трансцендентным уравнениям, для решения которых существуют простые алгоритмы.

В процессе освоения молекулярной физики и термодинамики можно воспользоваться численным экспериментом для моделирования статистических закономерностей, движения броуновских частиц и т.д. большую помощь компьютер может оказать при анализе уравнений теплопроводности и диффузии. Моделирование процессов переноса требует применения конечноразностных методов и может быть реализовано на компьютере.

Широкий круг задач возникает при изучении электричества и магнетизма. Прежде всего, это задачи электро и магнитостатики, т.е. вычисление полей по заданному распределению зарядов или

токов. С точки зрения вычислителя, они сводятся к расчету интегралов или решению уравнения Лапласа с граничными условиями. Можно моделировать работу простейших электронных приборов, например плоского магнетрона, изучать переходные процессы в цепях переменного тока. Несомненный интерес представляет анализ колебаний в автогенераторах, в частности выход на предельный цикл и зависимость амплитуды, установившейся в системе, от параметров.

В курсе оптики следует моделировать задачи теории дифракции, проводить пространственный и временной Фурье-анализ. Сравнительно просто можно поставить задачу о распространении импульсов произвольной формы в средах с различными законами дисперсии. Такой эксперимент позволяет глубже понять смысл групповой и фазовой скоростей и их соотношение. Удобны для численного моделирования уравнения, описывающие динамику населенностей уровней в квантовых генераторах, ряд явлений нелинейной оптики: генерацию гармоник, вынужденное рассеяние, самофокусировку [3].

Например, компьютерное моделирование и демонстрация поляризационных эффектов в оптике (формулы Френеля). Программа выполнена на языке DELPHI 3.0 и способна функционировать в операционной среде Windows 95/NT. Предложенная программа позволяет моделировать на компьютере прохождение света через границу раздела двух сред. При этом можно наблюдать за перераспределением энергии в отраженном и преломленном лучах. Также изображаются векторы амплитуды падающего, отраженного и преломленного лучей. При изменении угла падения можно наблюдать эффект поляризации в динамике, что затруднительно без применения компьютера.

Проектирование эксперимента содержит в числе прочих следующие три составляющие: проектирование экспериментальной установки, разработка плана проведения эксперимента и создание его математического обеспечения.

Существуют две группы задач, решаемых с помощью математического моделирования. Первая это замена реального физического эксперимента математическим (вычислительным) экспериментом и вторая задача контроля и оценки качества проектных решений. Разумеется, не всякий физический эксперимент можно заменить математическим. Это нельзя сделать, когда цель эксперимента состоит в исследовании еще не известных законов природы. Наоборот, если изучаемое явление полностью описывается известными законами природы (движение плазмы в магнитном поле, выведение спутника на орбиту и т.д.), математический эксперимент может заменить физический или резко сократить объем данных, определяющихся с помощью физического эксперимента. Такое применение математического моделирования может дать огромную экономию средств и значительное сокращение сроков исследования.

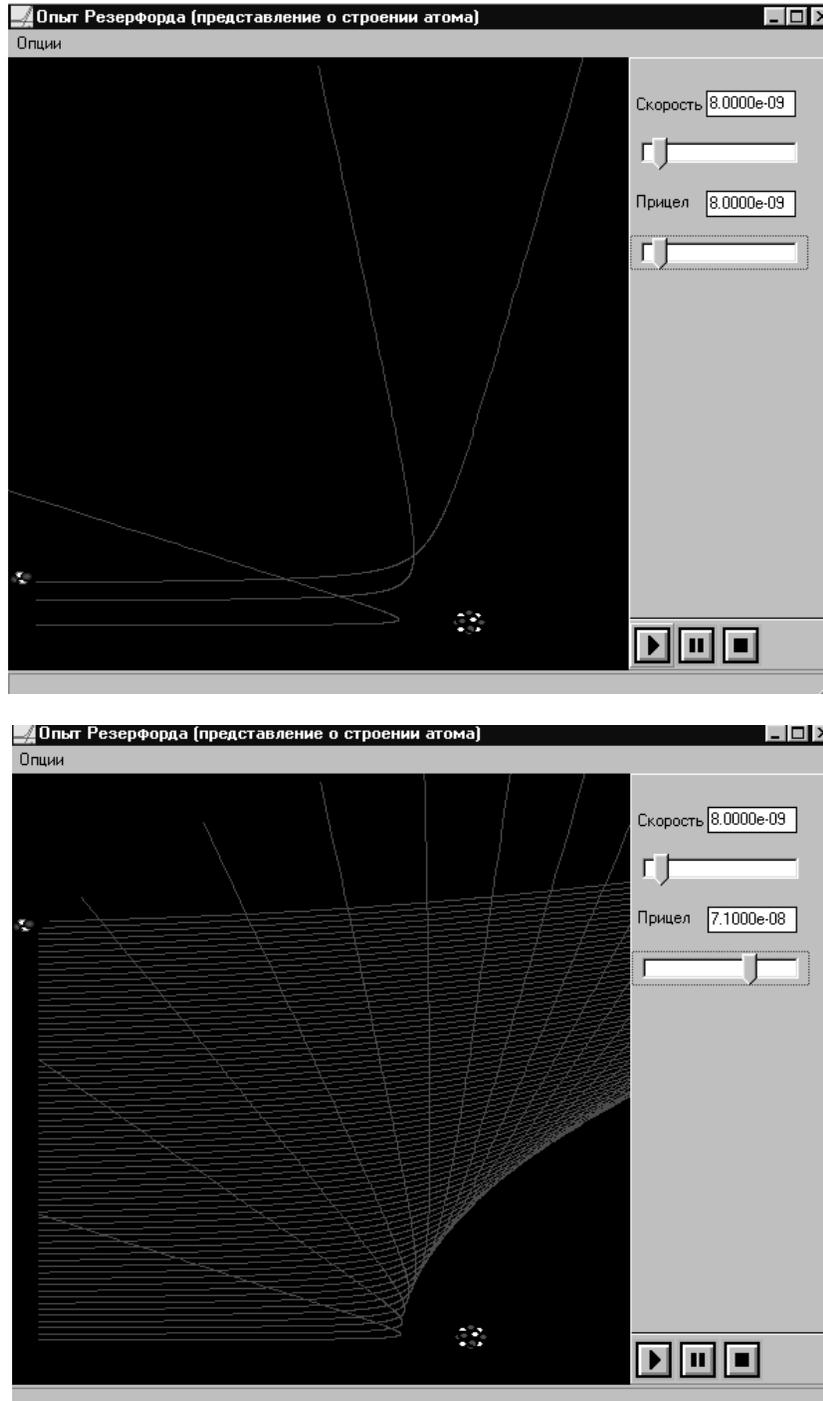
Математическое моделирование для контроля и оценки проектных решений, создаваемых экспериментальными методиками не только существенно улучшает качество проектных решений, но и резко сокращает стоимость создания экспериментальных установок и проведения с их помощью научных исследований.

Экспериментальная установка многократно воспроизводит некоторый процесс (например, рассеяние ускоренных частиц на мишени), а ее регистрирующая аппаратура измеряет некоторые физические характеристики процесса (например, число частиц, рассеявшихся внутри данного телесного угла). Экспериментатор имеет возможность управлять ходом эксперимента, задавая значения некоторых параметров, характеризующих условия эксперимента. В качестве примера можно указать на такие параметры, как энергия частицы до столкновения с мишенью или сферические углы, определяющие расположение счетчиков продуктов изучаемой реакции. Эти параметры называются управляемыми. В результате проведения эксперимента получается набор данных, по которым требуется вычислить значения физических величин, для определения которых ставится эксперимент.

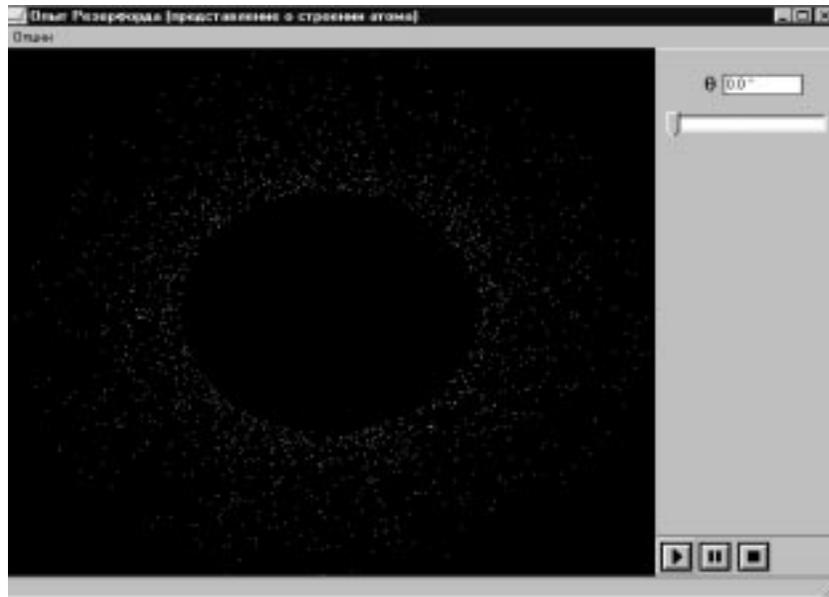
Разумеется, цель эксперимента включает и необходимую степень точности, с которой надлежит определить параметры, и эта точность должна быть обеспечена конструкцией экспериментальной установки и алгоритмом обработки экспериментальных данных [4].

Как уже было отмечено, специфическими требованиями обучающих программ по физике являются необходимость использования сложных по конструкции формул, рисунков, графиков и необходимость моделирования физических процессов с целью имитации реального исполнения лабораторных работ. С точки зрения программной реализации этих требований очень удобна система объектно-ориентированного программирования Borland C++ Builder. Она обеспечивает высокую скорость визуальной разработки, продуктивность повторно используемых компонент в сочетании с мощью языковых средств C++.

В автоматизированной обучающей системе «Опыт Резерфорда» Borland C++ Builder используется для создания двух независимых программных модулей. Первый из них демонстрирует траекторию движения альфа-частицы в поле неподвижного ядра, когда отталкивающая сила подчиняется закону Кулона. На рис.1 показан вид работающей программы, изображающей отклонение альфа-частицы в поле неподвижного силового центра, причем имеется возможность наблюдать и управлять построением траектории движения  $\alpha$  частицы при изменении физических параметров (скорость, прицельный параметр, заряд ядра).



**Рис.1.** Динамическое изображение зависимости траектории движения альфа-частицы от скорости и прицельного параметра

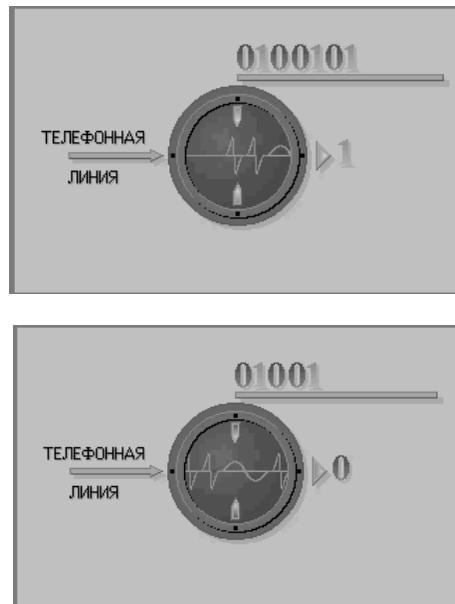


**Рис.2.** Имитация экспериментальной проверки опыта Резерфорда

Для иллюстрации с помощью компьютера статистических особенностей рассеяния альфа-частиц (рис.2) решаются следующие задачи имитации опыта Резерфорда:

1. Формирование пучка с равномерным распределением.
2. Отклонение пучка в соответствии с заданным законом.
3. Отображение отклоненного пучка в виде вспышек на экране.
4. Предоставление возможности управления экспериментом (изменение угла наблюдения).

Если компьютер сам является сама объектом изучения, то его роль сводится к обеспечению демонстрации работы ее основных устройств и узлов. На рис.3 приведен пример моделирования принципов работы модема.



**Рис. 3.** Принцип работы модема

Кафедрой полупроводниковых приборов и микроэлектроники факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета проведено исследование и математическое моделирование физических процессов переноса заряда в субмикронных элементах СБИС. Цель работы – исследование распределений электрических полей и процессов переноса в субмикронных элементах СБИС; разработка и уточнение математических моделей транзисторов для оптимизации технологий и использования в САПР ИС.

Во всех направлениях развития элементной базы микроэлектроники решающим обстоятельством, позволяющим увеличить плотность размещения элементов и быстродействие схем, служит переход к размерам уже сравнимым с длиной волны электрона. Современный уровень технологии позволяет реализовать приборы, характеристики которых в значительной мере определяются совместным действием сложного двумерного распределения электрических полей и зарядов и квантовыми размерными эффектами. Поэтому исследования процессов переноса зарядов в реальных условиях субмикронных масштабов является ключевым моментом моделирования будущих перспективных элементов микроэлектроники.

В результате проведения работ будут построены теоретические модели токопрохождения в субмикронных структурах и рекомендации по применению в приборных реализациях. Полученные результаты могут быть использованы в теории квантовых размерных эффектов и в моделировании транзисторов СБИС, СВЧ приборов и полупроводниковых лазеров.

Характерным примером является моделирование физических объектов, процессов и явлений для обучения физике и информатике в системе «Stratum Computer» (Пермский государственный университет).

К настоящему времени в инструментальной среде «Stratum Computer» (ИС «SC») разработаны и тиражируются моделирующие комплексы «Кинематика», «Законы движения. Силы в природе», «Законы сохранения в механике», «Электростатика», «Законы постоянного тока», «Магнетизм», «Молекулярная физика», «Колебания и волны». Разработаны наборы элементарных моделей (имиджей), объединенных в библиотеки по тематическому и функциональному признакам. На базе этих библиотек созданы комплексные модели (схемы), служащие «экспериментальными установками» для модельных (имитационных) работ. На начало 1996г. поставлено около 150 работ.

Тематика работ соответствует традиционному курсу физики. Задачи, составляющие их предмет, по большей части являются авторскими обобщениями и интерпретациями стандартных задач, встречающихся в любых задачниках. Ряд более оригинальных задач заимствованы из задачников (Н.И.Гольдфарба, Ю.В.Гофмана, О.Я.Савченко, А.Г.Чертова, Д.И.Сивухина и других) и обобщен, либо предложен разработчиками. Для каждой работы формулируется цель, даются краткие теоретические сведения, описываются задания, ставятся вопросы. Каждая работа состоит из нескольких упражнений. К ряду работ могут быть дополнительно подобраны задачи (в том, числе из стандартных задачников) с тем, чтобы решать их методом численного моделирования.

Первые по времени разработки – два комплекса: «Кинематика» и «Законы сохранения в механике» (1993 г.) – содержали поначалу лишь готовые схемы, выполнение которых возможно было как в ИС «SC», так и вне ее (точнее, в сильно усеченной демонстрации варианте среды). Этот вид модельных работ был условно назван лабораторными работами; здесь пользователь получает модель системы готовой и имеет возможность лишь произвольно задавать начальные условия и управлять всеми параметрами модели в ходе численного эксперимента. В этих разработках «первого поколения» ставились задачи: способствовать осмыслению обучаемыми основных физических законов, их логических и причинноследственных связей; помочь уяснить взаимосвязь различных физических характеристик, установить соответствие между натурным поведением объекта, аналитическими зависимостями и их графическим отображением.

«Второе поколение» моделирующих комплексов имеет своим главным отличием от первых двух, а также подавляющего большинства других известных разработок то, что пользователю предоставляется среда с возможностями свободных манипуляций математическими моделями физических объектов, процессов и эффектов. Обучаемые могут обращаться с моделями элементарных объектов как с конструкторским материалом, создавая модели сложных систем, не только выполнять лабораторные работы при помощи готовых схем, но и конструировать новые схемы из готовых имиджей и даже модифицировать имиджи (такие работы требуют полного варианта ИС «SC»). При этом происходит выход за рамки обучения собственно физике. Устанавливая информационные связи между элементами, уясняя принципы их взаимодействия, наблюдая за реакцией системы на внешние влияния,

отрабатывая методику управления комплексными системами, пользователь органично сочетает изучение физики с изучением информатики. Притом, что важно, информатика приобретает в глазах обучаемых действительно прикладной характер.

На этом качественно новом уровне процесса обучения возможным становится приобретение и развитие у обучаемых навыков манипуляций с готовыми математическими моделями объектов, компиляции сложных систем и устройств, т.е. проведения конструкторских работ, а также модернизации моделей, их обобщения для новых условий, т.е. проведения исследовательских работ. В связи с этим у разработчиков появляются новые задачи:

- создание для различных областей физики базовых библиотек моделей (имиджей), на основе которых в дальнейшем проводится как демонстрационная, так и исследовательская и конструкторская деятельность;
- создание демонстрационных моделей компилятивных (комплексных) физических систем (схем), при помощи которых пользователь может проверить и углубить свое понимание физических процессов; на основе таких моделей создаются лабораторные работы;
- предоставление пользователю инструмента для трансформации демонстрационных схем в полезные для практики моделирующие комплексы, проведения на их основе конструкторских работ;
- разработка испытательных стендов для всестороннего исследования, тестирования, доводки и усовершенствования вновь создаваемых систем – механизмов, приборов и других технических устройств, проведения исследовательских работ.

Таким образом, пользователю предоставляется возможность на основе разработанных базовых библиотек моделей-имиджей (при возможности их неограниченного пополнения) для различных областей физики, проводить на принципах математического моделирования не только демонстрационную, но и исследовательскую и конструкторскую работу, позволяющую организовывать создание, тестирование и доводку новых систем – механизмов, приборов и других технических устройств.

### Л и т е р а т у р а

1. Педагогические нововведения в высшей школе. Материалы IV Всероссийской научно-методической конференции. КубГТУ. Часть VI. Инновации в методиках преподавания учебных дисциплин. Краснодар. 1998. С. 14-16.
2. Современный физический практикум. Сборник тезисов докладов V учебно-методической конференции стран СНГ. Под ред. В.И. Николаева и М.Б. Шапочкина. Москва. 1998. С.212.
3. ЭВМ в курсе общей физики. Под ред. А.Н. Матвеева. Изд-во Московского университета. 1982. С.15-18.
4. Любарский Г.Я., Слабочинский Р.П. Математическое моделирование и эксперимент. – Киев: Наукова думка. 1987. – С.5-7.

## The special feature of computer modeling of the physics processes

L.F. Dobro, I.A. Parvenova, V.I. Chigikov

In article the various aspects application of the computers in educational process are discussed.