

*Чирцов Александр Сергеевич*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ**

### **Информатизация образования: существуют проблемы**

Принявший в наши дни лавинообразный характер процесс экспансии информационных технологий во все сферы деятельности современного общества не мог не затронуть систему образования. Более того, именно эта область оказалась одной из первых среди тех, где процесс информатизации был сознательно запланирован и поддерживался многочисленными программами вплоть до государственного уровня. Между учебными заведениями возникло настоящее состязание за лидерство по числу и качеству задействованных в обучении компьютеров, дисплейных классов, локальных сетей и средств доступа в Интернет. Нельзя не признать, что ряд высших и средних учебных заведений добились головокружительных успехов в области создания материально-технической базы для продвижения к сияющим вершинам компьютеризованного образования, однако сегодняшние реалии этого продвижения выглядят в целом несколько своеобразно.

Прежде всего, компьютерный парк подавляющего большинства учебных заведений (особенно школ и гимназий) используется почти исключительно в целях преподавания информатики и обучения языкам программирования (нередко весьма устаревшим). При этом повседневное, не носящее показательного характера использование работающего компьютера в

целях изучения других дисциплин на сегодняшний день является сенсационной редкостью.

Уже сейчас можно наблюдать некоторые негативные последствия такой подготовки. Подавляющее большинство “компьютерных ассов” из среды учащихся расходует массу своего и компьютерного времени на занятиях, факультативах и за компьютерами дома на то, чтобы создать либо очередную версию графического или текстового редактора (которая, очевидно, оказывается менее удачной по сравнению со стандартно используемыми и никогда не будет востребована даже самим автором), либо очередную, не наполненную вообще никакой информацией, программную оболочку для тривиального компьютерного тестирования (наполнять которую обычно не собирается ни сам автор, ни его преподаватель), либо обеспечением возможности реализации каких-либо возможностей Windows при работе под DOS.

Такого рода упражнения с компьютером, конечно, приносят определенную пользу, но одновременно формируют отношение к программированию как к самодостаточному занятию, не ориентированному на результат, представляющий какой-либо интерес вне этой сферы. Весьма печально, что многие авторы таких компьютерных разработок (старшеклассники и студенты) часто оказываются неспособ-



ны грамотно представить тезисы доклада, придав им в редакторах Word или TeX вид, соответствующий минимальным стандартным требованиям. Причина этого, по-видимому, кроется в том, что большинство учащихся просто незнакомо с какой-либо качественно подготовленной на компьютере продукцией, используемой в какой-либо сфере деятельности, кроме программирования и компьютерных игр.

Что же касается создания самой программной продукции, ориентированной на информационную поддержку обучения по не связанным с Computer Science дисциплинам, то попытки ее профессиональной разработки предпринимаются, главным образом, коллективами либо специалистами в области программирования, либо преподавателей. Результатом является создание либо профессионально изготовленных, но не наполняемых содержанием сред для создания учебных программ, либо интересных по содержанию, но не имеющих товарного вида и не используемых никем, кроме самих авторов, продуктов.

В настоящее время волна всеобщего увлечения созданием обучающих программ сходит на нет. На первый план выдвигаются идеи использования в образовании сетевых технологий, организация удаленного обучения. При этом все перечисленные проблемы остаются, меняются лишь способы их технической ре-

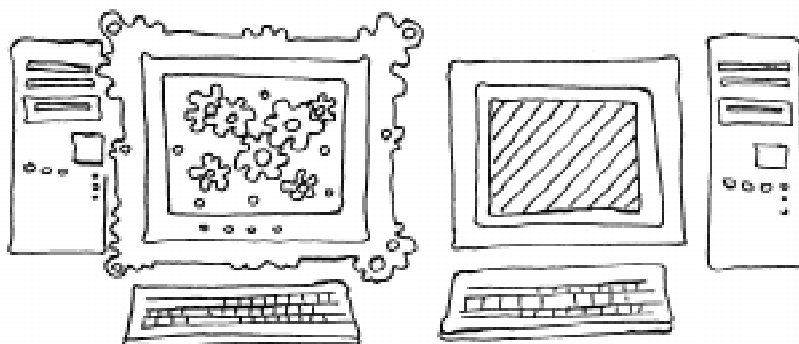
ализации. В сказанном легко убедиться, посетив любой имеющий выход в Интернет дисплейный класс и поинтересовавшись, какую информацию потребляют из Всемирной Паутины учащиеся в отсутствие преподавателей.

Будет очень печально, если с использованием компьютеров в обучении произойдет то же, что случилось с популярными в 70-х годах телеуроками, редкие воспоминания о которых сегодня носят исключительно скептический характер. Нужно четко поставить себе цель: применять компьютерные технологии в образовании только в тех случаях, когда это дает реальные преимущества перед традиционными формами обучения. Конкретные формы применения компьютеров в обучении не могут носить универсального характера для всех изучаемых в школах и ВУЗах предметов.

В качестве наиболее перспективных направлений использования информационных технологий в преподавании физики хочется выделить следующие:

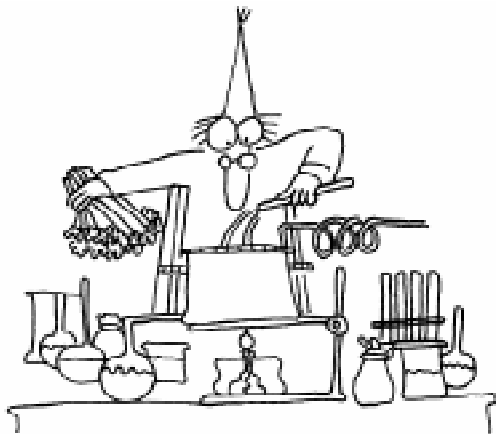
- *Компьютерное моделирование изучаемых физических процессов.*
- *Использование сетевых технологий для общения между преподавателями и обеспечения удаленного доступа учащихся к полезной информации.*
- *Привлечение наиболее способной части учащихся к разработкам электронных средств информационной поддержки обучения физике.*

Автором накоплен некоторый опыт работы в каждом из трех перечисленных направлениях, анализу которого предполагается посвятить небольшой цикл статей.



## Возможности компьютерного моделирования при обучении физике

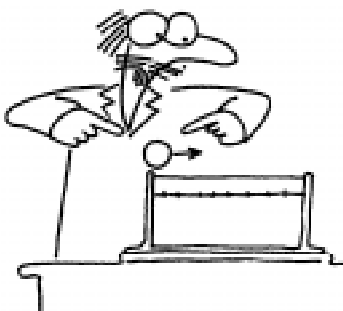
Основу физики, как и любой другой естественно-научной дисциплины, составляет экспериментальное изучение действительности. Это определяет первосте-



пенную роль, которую должен занимать эксперимент при обучении этому предмету.

Традиционными формами обучения, позволяющими познакомиться с экспериментальной физикой, являются демонстрационные эксперименты, проводимые во время лекций или уроков, и лабораторные работы. Последние, несомненно, наиболее предпочтительны, поскольку подразумевают непосредственное активное участие ученика в эксперименте.

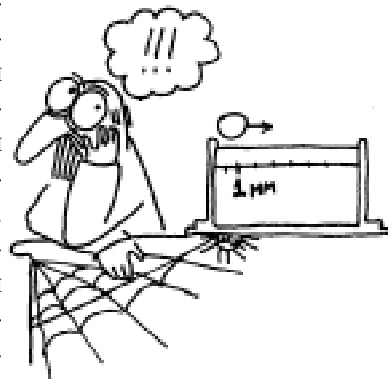
Реальные возможности организации массового выполнения лабораторных работ как в школе, так и в ВУЗе весьма ограничены. Это связано, в первую очередь, со сложностью постановки экспериментов, представляющих интерес с точки зрения преподавания современной физи-



ки, безусловной необходимостью высокой квалификации экспериментатора и фантастически высокой стоимостью современного экспе-

риментального оборудования. В результате, тематика реально осуществляемых лабораторных работ соответствует простейшим экспериментальным задачам, решавшимся физиками в XVIII-XIX веках. Элементы же современной экспериментальной физики представлены в лабораторных практикумах лишь нескольких ведущих ВУЗов физико-математической ориентации. Возможности лекционных экспериментов оказываются несколько шире, но по-прежнему весьма ограничены. Помимо уже упоминавшейся дороговизны оборудования (стоимость только одного прибора нередко превосходит годовой бюджет учебного заведения), следует указать на ограничения, часто накладываемые его размерами (давно устаревший циклотронный ускоритель занимает целое здание), реальную длительность изучаемых явлений (явления космических масштабов происходят на временах, существенно превышающих не только лекцию, но и сроки жизни ее участников).

Наконец, в курсе физики изучаются явления, которые принципиально не демонстрируемы в аудиторном эксперименте (например, цепная реакция деления урана). В результате знакомство учащихся с экспериментальной физикой нередко ограничивается упоминанием имени экспериментатора и весьма кратким описанием идеи выполненной им работы, иногда сопровождаемым схематичным изображением установки. При таком подходе физика оказывается представленной не только неполно, но и заведомо неадекватно. Предпринимавшиеся ранее немногочис-

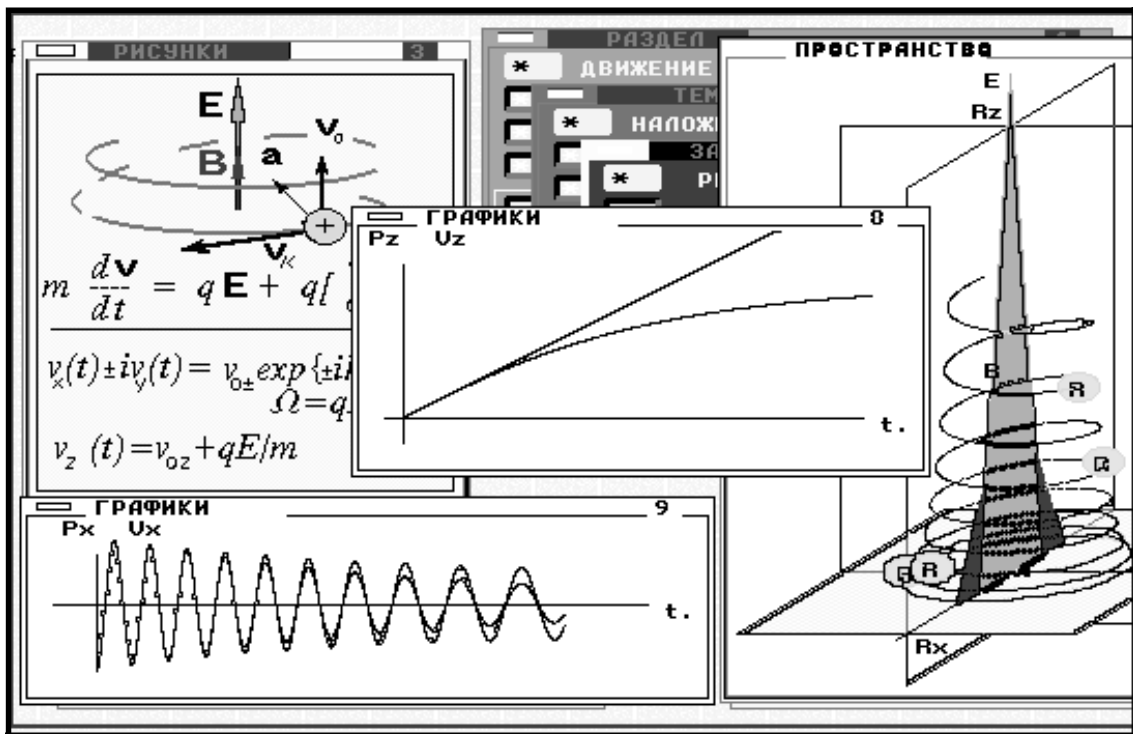




**Рисунок 1.** Траектория движения легкого космического тела в гравитационном поле двойной звезды.

ленные попытки частично решить указанную проблему за счет создания учебных фильмов ушли, по-видимому, безвозвратно в прошлое.

Использование компьютерного моделирования для демонстрации изучаемых явлений природы не должно рассматриваться как попытка подмены реального физического эксперимента его “численной симуляцией”. Поле изучаемых явлений, не охваченное реальными демонстрациями столь велико, что ни о какой конкуренции с традиционными экспериментами не может быть и речи. В качестве аргумента в порой возникающих дискуссиях с защитниками “чистоты физического эксперимента” можно предложить попытаться поставить реальный демонстрационный эксперимент, иллюстрирующий особенности движения астероида в гравитационном поле двойной звезды (рис.1) или релятивистского электрона в сонаправленных однородных электрическом и магнитном полях (рис.2) [1,2]. Несколько условный характер отображений результатов компьютерного моделирования вполне компенсируется уже вполне доступными сегодня возможностями средств мультимедиа для



**Рисунок 2.** Движение релятивистской заряженной частицы в сонаправленных электрическом и магнитном полях. (В правом окне – траектория в трехмерном пространстве, в двух левых – зависимости от времени одноименных проекций импульса и скорости).

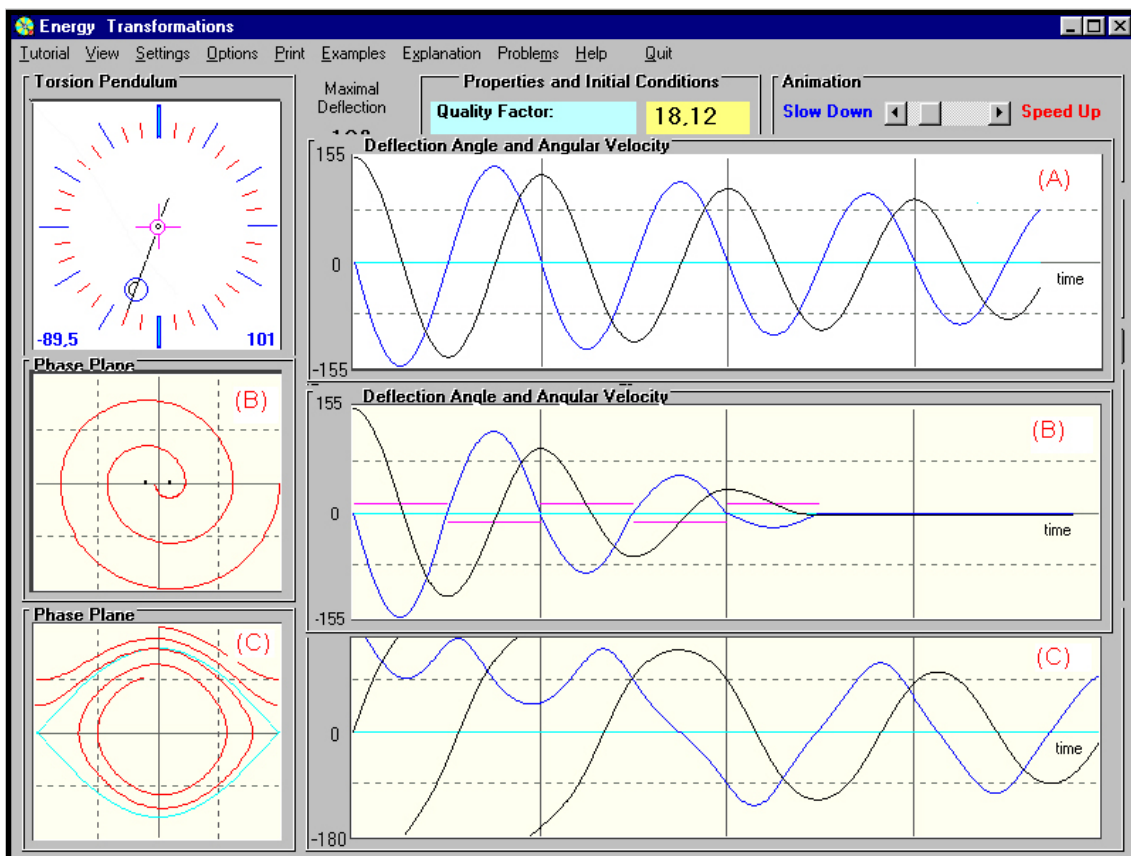
одновременной демонстрации видеозаписей, дающих адекватное представление о реальном протекании явления или хотя бы оборудовании для его экспериментального изучения.

Особое место занимает компьютерное моделирование в целях имитации работы обучаемых на дорогостоящем лабораторном оборудовании, неквалифицированная работа на котором представляется абсолютно недопустимой.

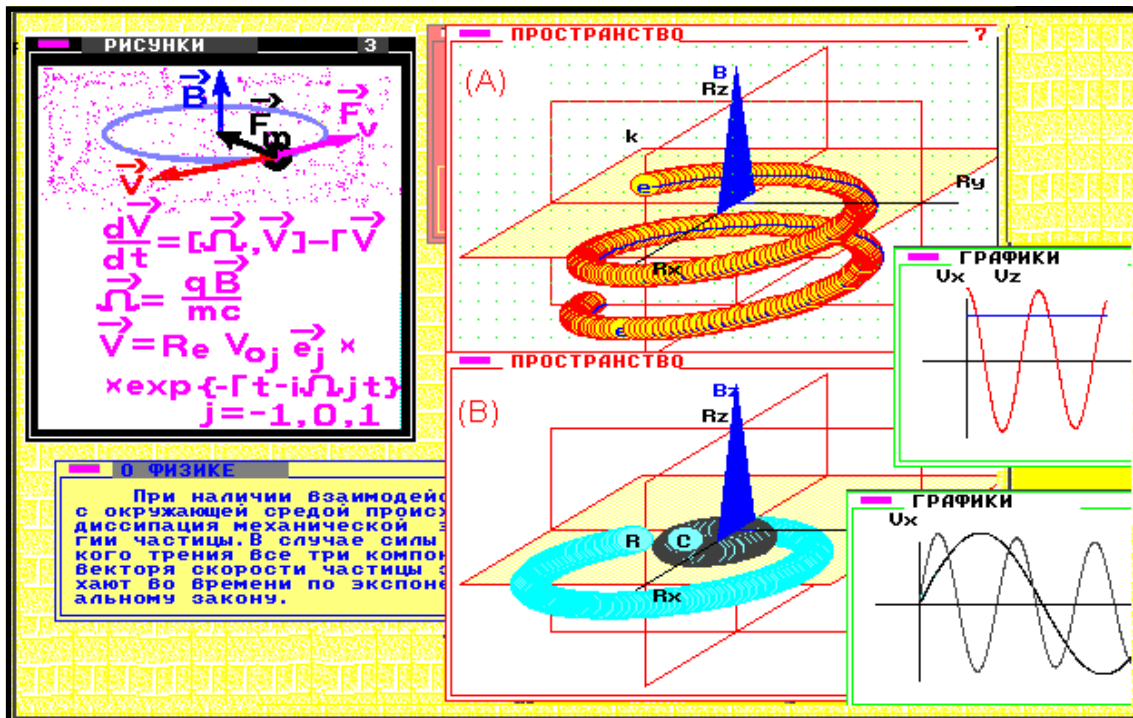
Создание подобных компьютерных тренажеров, дающих учащимся право на ошибку, может, на первый взгляд, показаться несколько примитивной по своей идее деятельностью, развивающей лишь механические навыки и поэтому малоприменимой для обучения физике.

Однако в последние годы ситуация принципиально изменилась. Это связано с широким распространением физических приборов, использующих достаточно мощ-

ные компьютеры для управления экспериментом, обработки и представления полученной информации. В качестве примеров таких устройств можно привести оптические спектрометры, масс-спектрографы, ускорители, туннельные микроскопы. Реальная “физическая” часть приборов такого типа нередко оказывается практически недоступной для пользователя. Таким образом, оказывается возможной весьма точная компьютерная имитация реальной работы исследователя, тем более, что в качестве источника информации, выводимой таким компьютерным макетом прибора, могут быть данные, ранее реально полученные на реальных приборах и скорректированные программой компьютерного тренажера в соответствии с действиями обучаемого. В качестве примера серьезной попытки создания компьютерного имитатора сложного физического прибора можно привести разработку



**Рисунок 3.** Модели, используемые при анализе колебаний реального маятника: А) учет вязкого трения, В) учет сухого трения, С) “реальный” нелинейный маятник.



**Рисунок 4.** Движение заряда в магнитном поле: А) простейшая модель классической частицы, не излучающей электромагнитных волн, В) сравнение движения частицы с высокой энергией, рассчитываемого по законам Ньютона и с учетом релятивистских эффектов. Приведены траектории частиц и графики зависимостей проекций их скоростей от времени.

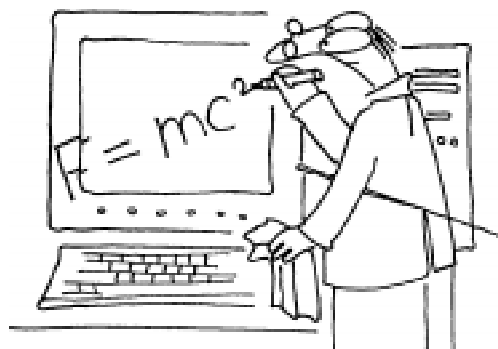
компьютерной модели инфракрасного спектрометра, ориентированного на изучение электронно-колебательно-вращательных спектров сложных молекул [3].

Кроме перечисленных возможностей, весьма перспективным представляется использование компьютерного моделирования для наглядной иллюстрации теоретического материала. В этом случае компьютер выступает в качестве весьма конкурентоспособной альтернативы традиционным в теоретической физике формулам, изображаемым на доске при помощи мела. К несомненным преимуществам такого использования компьютера можно отнести более широкие возможности визуализации результатов расчетов (не только конечные выражения в ана-

литическом виде, но и графики, диаграммы, анимации).

При этом компьютер предоставляет уникальную, не реализуемую в реальном физическом эксперименте возможность визуализации не реального явления природы, а его упрощенной теоретической модели с поэтапным включением в рассмотрение дополнительных усложняющих факторов, постепенно приближающих эту модель к реальному явлению.

В качестве примера можно привести изучение колебаний маятника [4]. На первом этапе рассматривается простейшая модель, допускающая аналитическое решение задачи, предсказывающая гармонические незатухающие колебания. Учет сил вязкого трения не-



сколько усложняет решение и делает оправданным его представление не только в аналитическом, но и в графическом виде. Введение в рассмотрение реально присутствующих в природе сил сухого трения и других нелинейных эффектов существенно усложняет задачу, делает трудновыполнимым её полное аналитическое рассмотрение. Компьютерное моделирование позволяет быстро продемонстрировать все заложенные в исходных уравнениях особенности поведения приближенной к реальности системы (рис. 3).

Аналогичную визуализацию на компьютере поэтапного приближения физической модели к реальности можно продемонстрировать на примере из другого раздела физики: движение релятивистских заряженных частиц в магнитном поле (рис. 4). В качестве простейшего “нулевого” приближения можно ограничиться рассматриваемым в школьном курсе решением, получаемым на основе учета в рамках классической ньютоновской механики действия силы Лоренца. Траекторией частицы оказывается винтовая линия с постоянными шагом и радиусом.

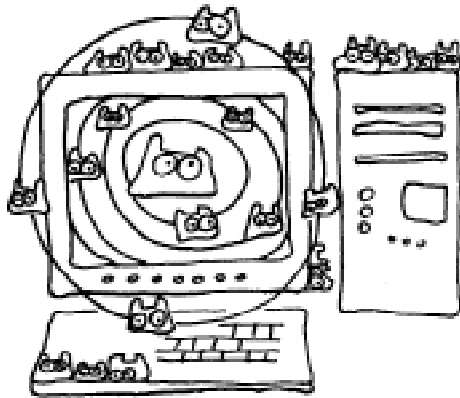
Учет релятивистских эффектов несколько усложняет аналитические выкладки и приводит к некоторому увеличению радиуса и шага винтовой линии по сравнению с результатами классических расчетов (попутно заметим, что визуальное сравнение траекторий частиц, одна из которых подчиняется законам ньютоновской, а другая - релятивистской механики, в реальном эксперименте принципиально невозможно!). В качестве заключительного шага улучшения физической модели представляется необходимым учет потерь энергии, вызванных излучением электромагнитных волн в результате ее ускоренного движения вокруг линий магнитного поля (так называемое ради-

ационное трение). Как и ранее, компьютер позволяет наглядно продемонстрировать различия результатов, получаемых в рамках часто используемого на практике упрощенного учета торможения излучением (введение эффективной силы вязкого трения) и более точного приближения, данного Лоренцем [5].

Очевидно, что различные преподаватели и учащиеся склонны отдавать предпочтение различным способам использования компьютерного моделирования в обучении. В связи с этим представляется целесообразным создание таких программных продуктов, которые могли бы быть легко адаптированы к существенно различным замыслам преподавателей, учебным программам и курсам, различным уровням подготовки учащихся.

Одной из возможных форм решения поставленной проблемы является разработка своеобразных “электронных конструкторов” физических систем, позволяющих пользователю самостоятельно, не прибегая к использованию программирования, конструировать подлежащие моделированию физические системы, выбирать способы визуализации результатов численного моделирования их эволюции и устанавливать физические приближения, в рамках которых это моделирование будет осуществляться. Разумеется, что создание такого рода гибких конструкторов не исключает возможности разработки на их базе вариантов учебных курсов не только пользователями, но и самими авторами.

В качестве примеров таких конструкторов и создаваемых на их базе электронных учебников можно привести программы по двум разделам физики: “Движение частиц в силовых полях” и “Геометрическая оптика”, создаваемые в Санкт-Петербургском государственном университете [6].



## “Движение частиц в силовых полях” - пример компьютерного учебника, ориентированного на использование на компьютерах минимальной конфигурации

Компьютерные имитации движения частиц в силовых полях с точки зрения методологии обучения представляются выигрышными по целому ряду соображений.

Во-первых, постановка реальных аудиторных экспериментов или лабораторных работ по указанной теме в большинстве случаев кажется весьма проблематичной.

Во-вторых, во многих интересных для теории и практики случаях траектории частиц представляют собой весьма сложные кривые в трехмерном пространстве, для адекватного восприятия которых требуется хорошее пространственное изображение обучаемых.

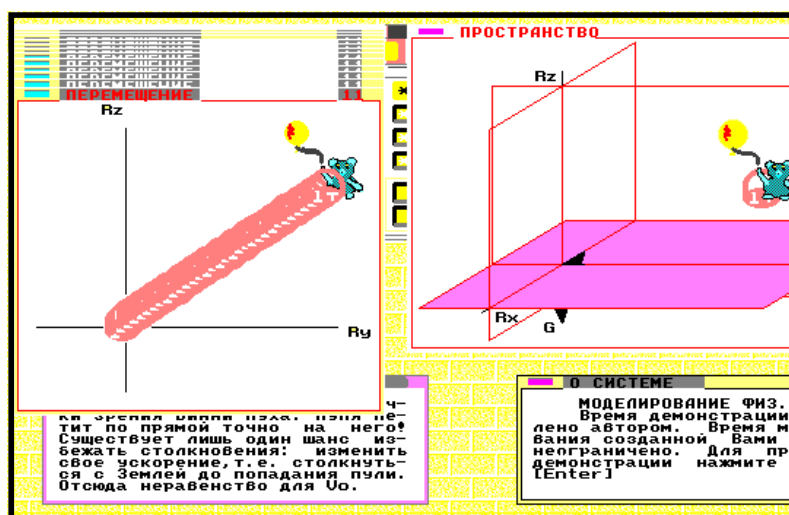
Наконец, данный раздел физики характеризуется обилием часто используемых на практике упрощенных моделей (классическое и релятивистское приближение, приближенный учет торможения при излучении и т.д.), специфические свойства которых могут быть легко визуализированы на компьютере.

Электронный учебник “Движение частиц в силовых полях” создается в двух вариантах. DOS - версия ориентирована на использование на IBM-совместимых компьютерах минимальной конфигурации.

При разработке Windows – версии изначально была выбрана ориентация на максимальные возможности компьютеров, доступных сегодня индивидуальным пользователям.

Представляется целесообразным остановиться подробнее на структуре уже практически законченной DOS- версии учебника, программный код которого по существу он представляет собой библиотеку математических моделей физических объектов типа “частица”, “поле”, “упругая среда” и окон для отображения информации в виде текстов, гипертекстов, рисунков, строящихся в процессе моделирования графиков, анимации и т.д.

В соответствии с замыслом авторов или желанием пользователя, моделирование движения частиц может осуществляться на основе решения как уравнений движения классической механики, так и релятивистской физики. При этом численное моделирование осуществляется в результате решения системы простых дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты четвертого порядка [7].



**Рисунок 5.** Фрагмент компьютерного варианта решения хорошо известной из школьного курса задачи о Пятачке и Винни-Пухе (проблема попадания из заданной точки пространства в свободно падающее тело). Справа – движение тел в инерциальной системе отсчета, слева – в свободно падающей системе.



Отличительной чертой программы является реализованная в ней возможность введения в моделируемую систему объектов, законы взаимодействия которых с полями и друг с другом могут быть переопределены самим пользователем.

Таким образом, имеется принципиальная возможность моделировать поведение систем таких гипотетических объектов, как магнитные монополи, тахионы и т.п.

Для отображения результатов моделирования по желанию пользователя могут быть открыты окна с двумерной графикой, отображающие зависимости от времени различных кинематических и динамических характеристик, составляющих моделируемую систему объектов и фазовые портреты движения.

Окна трехмерной анимации главным образом используются для визуализации результатов численного моделирования в виде траекторий частиц в координатном пространстве или пространстве скоростей.

Описанный “электронный конструктор” явился базой для создания электронного учебника. Его материал скомпонован в обучающие модули, каждый из которых содержит краткую теоретическую справку, предоставляемую в виде гипертекста с графическими иллюстрациями, набора компьютерных демонстраций ключевых для понимания темы явлений, компьютерных лабораторных работ (заданий, представляющих собой набор вопросов, для ответа на которые учащийся должен самостоятельно выполнить небольшое исследование, включающее планирование, постановку численного эксперимента и интерпретацию его результатов) и компьютерных задач (заданий на постановку компьютерного эксперимента, результаты которого оговорены в условии), в ходе решения которых проверяется качество усвоения материала учащимся.

Модульная структура учебника и наличие материалов разной степени сложности позволяет его легко адаптировать к конкретным курсам физики (для школ и

ВУЗов) и к индивидуальным способностям обучаемых (рис.5).

Помимо перечисленных материалов, учебник содержит средства для самостоятельной разработки оригинальных демонстраций и задач: редактор образов и физических свойств объектов, редактор рабочего экрана, встроенный язык написания сценариев разрабатываемой демонстрации, простой механизм создания поясняющих гипертекстов..

В настоящее время описанная программа прошла апробацию в реальном учебном процессе в СПбГУ, Международном институте менеджмента, в филиале СПбГУ в городе Костомукша при чтении курсов общей физики и “Современные концепции естествознания”. По мнению автора, наибольший обучающий эффект достигается при использовании программы в режиме показа лекционных компьютерных демонстраций при наличии аппаратуры, позволяющей проектировать изображение дисплея компьютера на экран больших размеров.

Индивидуальная работа учащихся с программой в большинстве случаев заканчивается постепенным переходом к бессмысленной с точки зрения изучения физики игре по конструированию новых систем в соответствии с принципом “давайте добавим еще что-нибудь”.

Приятной неожиданностью для авторов программы оказалась реальная возможность ее использования не только в чисто учебных целях, но и в исследованиях по прикладной тематике.

Пакет использовался для анализа характера дрейфа заряженных коллоидных частиц в вязкой среде при наличии пространственно неоднородного переменного во времени электрического поля, предварительного тестирования ряда пространственно неоднородных конфигураций магнитных полей, предлагаемых для удержания горячей плазмы и для изучения эффекта группировки электронов в современных типах магнетронных генераторов.