

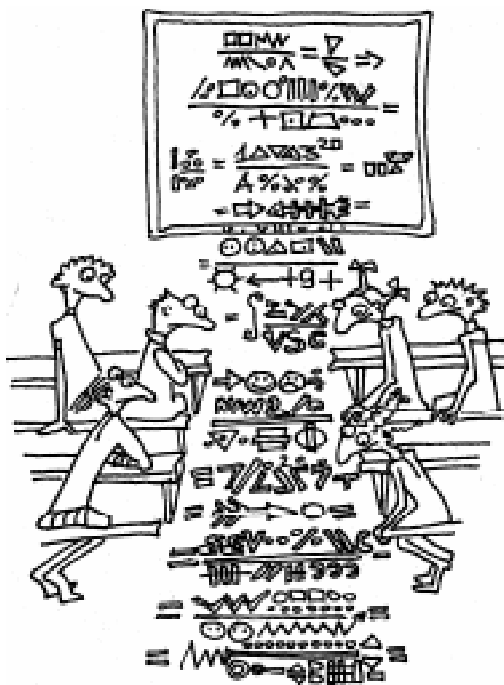
## ВИРТУАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ КОНСТРУКТОР: КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО КУРСА МЕХАНИКИ

### КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИРУЮЩИХ ПРОГРАММ ПО ФИЗИКЕ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УДАЛЕННОМ ОБУЧЕНИИ

Роль компьютерного моделирования в обучении физике многократно обсуждалась на страницах журнала. Без всякого сомнения, физика по существу является экспериментальной наукой, и какие-либо попытки вытеснения реального лекционного или лабораторного эксперимента компьютерными анимациями являются недопустимыми с точки зрения самой идеологии предмета. На наш взгляд, к компьютерному моделированию в физике следует относиться не как к альтернативе физическому эксперименту, а как к принципиально новому, современному варианту традиционной классной доски и мела. По-видимому, никто не осмелится утверждать, что выписываемые преподавателем математические выкладки, рисунки и схемы вредны, так как не демонстрируют аудитории реальных явлений природы. Точно так же не должны вызывать принципиальных возражений и демонстрации с помощью компьютера тех же чертежей и формул, но

в более аккуратном и художественном исполнении. Именно на этом пути возможно существенное продвижение, связанное с применением вычислительной техники. Число физических задач, допускающих аналитическое решение, весьма ограничено, и эти ограничения нередко вызваны чисто математическими трудностями. Даже в тех случаях, когда эти трудности принципиально преодолимы, полное воспроизведение в аудитории хода решения задачи оказывается далеко не всегда возможным из-за ограниченного времени лекции, громоздкости выкладок или недостаточной математической подготовки самой аудитории обучаемых. В указанных ситу-

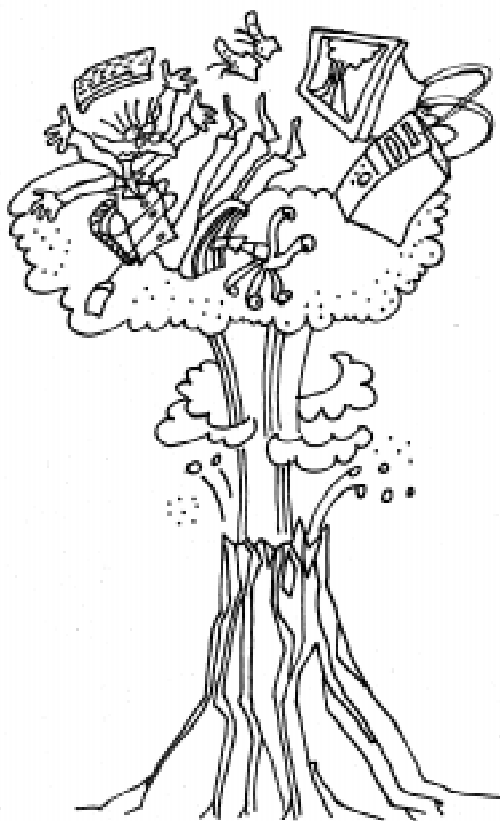
ациях кажется вполне правомерным использование численного решения задач в реальном времени занятия, что существенно расширяет число физических проблем, доступных для обсуждения на количественном, а не качественном уровне. Отсутствие при таком решении окончательного аналитического выражения не должно рассматриваться как явный недостаток, поскольку даже в случае получения конечной аналитической формулы теоретическое рассмотрение обычно заканчивается рисова-



*...полное воспроизведение в аудитории  
хода решения задачи оказывается далеко  
не всегда возможным...*

нием более наглядных графиков. Компьютерная же визуализация результатов может быть сделана еще более наглядной и при необходимости – приближенной к реально протекающему явлению.

Существует еще один немаловажный аспект, связанный с использованием компьютерных моделей при аудиторном обучении. Показ компьютерных анимаций, создаваемых на основе результатов численного моделирования (а не «мультфильмов» в виде анимированных GIF-файлов!), дают преподавателю уникальную возможность визуализации всегда упрощенной по сравнению с реальностью теоретической модели. Таким образом, наиболее целесообразной схемой обучения с использованием компьютерного моделирования в физике представляется следующая последовательность: демонстрация реального эффекта в «живом» эксперименте, простейшее теоретическое рассмотрение, допускающее аналитическое описание, компьютерная анимация этой простейшей модели, поэтапное усложнение теоретической модели, сопровождаемое компьютерными иллюстрациями результатов такого поэтапного приближения к реальности. Разумеется, приведенная схема так же весьма идеализирована, как и любая другая схема. Возможны и неизбежны существенные вариации в зависимости от специфики изучаемого материала. Так, нетрудно представить ситуацию, в которой реальный эксперимент в аудиторных условиях вообще оказывается невозможным из-за временных или пространственных



*Компьютерная же визуализация результатов может быть ... приближенной к реально протекающему явлению...*

масштабов явления, его опасности для аудитории или дороговизны его постановки (ускоритель заряженных частиц, движение космических тел, задачи баллистики). В таких случаях кажется допустимой замена реального эксперимента на компьютерную модель или, если это возможно, видеозапись того же эксперимента.

Еще одной методически оправданной возможностью использования численных экспериментов в обучении физике является блок демонстраций на тему «как бы протекало изучаемое явление, если бы законы физики были другими», то есть де-

монстрация моделей принципиально невозможных в реальности (или крайне маловероятных) явлений природы. Автору не нужно обладать большой фантазией, для того чтобы представить себе основные аргументы критики по поводу сказанного со стороны противников использования компьютера в обучении физике. (При этом нужно быть реалистом и понимать, что реальной критики вообще скорее всего не будет хотя бы потому, что эти противники, кстати весьма многочисленные, просто не будут читать журнал, посвященный использованию компьютеров в обучении). Несмотря на кажущуюся абсурдность идеи демонстрации заведомо нереальных ситуаций, в традиционном (некомпьютерном) обучении физике преподаватели сравнительно часто обращаются к такому приему, осуществляемому хотя бы в воображении учащихся. Так, при изучении законов Ньютона, трудно удержаться от со-

блазна предложить учащимся представить себе падающее на Землю яблоко, масса которого сравнима с массой планеты. В последние годы стали популярными олимпиадные задачи о движении тела, брошенного под углом к горизонту на «одном из островов Бермудского треугольника», где вектор ускорения свободного падения наклонен к вертикали [5]. При изучении проблемы необратимости в термодинамике кажется весьма полезной демонстрация работы демона Максвелла или какого-либо другого вечного двигателя второго рода. При чтении лекций о гравитации традиционно большой интерес у аудитории вызывает обсуждение проблемы эволюции Солнечной системы в случае гравитационных взаимодействий, убывающих с расстоянием по закону, отличному от закона обратных квадратов. Все эти и многие другие «явления» легко могут быть воспроизведены на компьютере.

Принципиально иной подход к оправданности компьютерного эксперимента складывается в случае удаленного обучения. Нетрудно представить себе реальную ситуацию на местах, где полностью отсутствует какое-либо демонстрационное оборудование и физическая лаборатория. В такой ситуации представляется допустимым весьма широкое использование компьютера для виртуальных лекционных демонстраций, лабораторных работ. При этом весьма желательно сопровождать такие виртуальные эксперименты если не видеозаписями работы реальной установки, то хотя бы их фотографиями.

Перечисленные соображения привели к идее организации цикла работ по созданию виртуальной физической лаборатории для учащихся старших классов. Эта

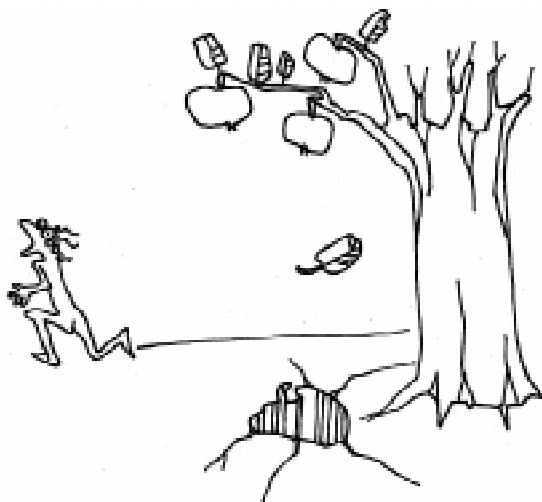
идея оказалось весьма созвучной предложению Центра Информатизации Образования по созданию в сети Интернет «виртуального музея» и «виртуального выставочного зала по физике», в частности. К настоящему времени нами разработана Java-версия программы «Виртуальный конструктор физических ситуаций», и на ее базе создан блок виртуальных физических демонстраций по изучаемым в школьном курсе физики темам «Законы Ньютона», «Кинематика равноускоренного движения», «Закон всемирного тяготения».

#### **«ВИРТУАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ КОНСТРУКТОР» – ПРОГРАММА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АНИМАЦИЙ**

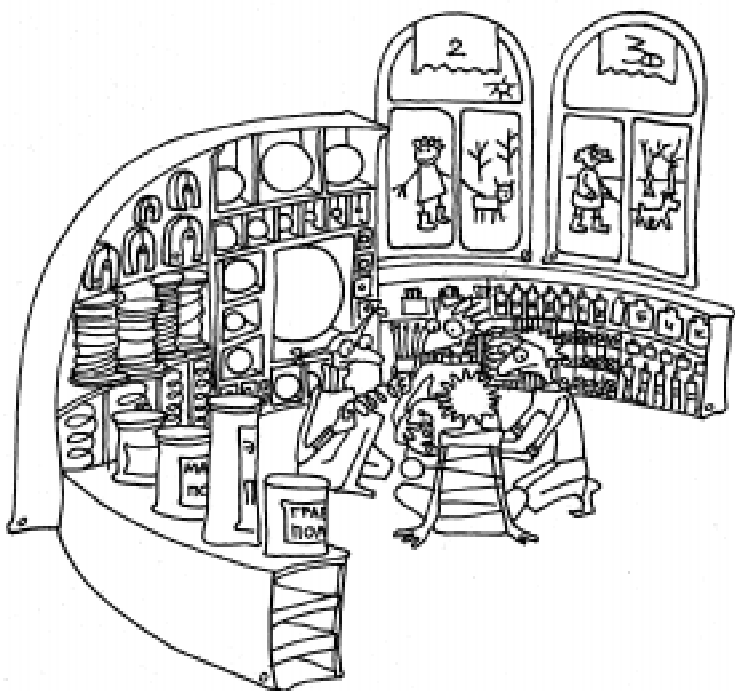
Опыт создания и использования моделирующих компьютерных программ в учебном процессе показал два совершенно обязательных условия, без выполнения которых не приходится рассчитывать на их использование: простота интерфейса и открытость программы для создания пользователем своих оригинальных версий численного эксперимента.

Для обеспечения возможностей создания гибких компьютерных моделей, допускающих их существенное переопределение преподавателем или учащимся в реальном времени занятий, в том числе –

проводимых в режиме удаленного доступа, нами была разработана оригинальная Java-версия программы «Физический конструктор». Идеология построения программы и ее интерфейс разрабатывались в ходе создания предшествующих несетевых версий, ориентированных на работу в операционных системах DOS и WINDOWS.



*...как бы протекало изучаемое явление,  
если бы законы физики были другими...*



*...нами была разработана оригинальная Java-версия программы «Физический конструктор»...*

В сетевой версии программы, поддерживающей возможность ее использования как на индивидуальном компьютере, так и через Internet, заложен примененный нами ранее принцип построения численной модели физической системы, рассматриваемой как совокупность попарно взаимодействующих друг с другом программных объектов, принадлежащих к классам «физические тела», «внешние поля» и «окна отображения результатов численного моделирования».

Класс «физические тела» включает в себя объекты, моделирующие абсолютно-твердые сферы произвольного радиуса (в том числе – нулевого), взаимодействующие друг с другом и внешними полями и движущиеся в соответствии с классическими или релятивистскими законами. Возможен учет потерь механической энергии за счет излучения электромагнитных волн.

Взаимодействие между объектами может «включаться» или «выключаться» попарно, по усмотрению автора демонстрации или пользователя. Для каждой пары взаимодействующих объектов допустимо использование любой комбинации из сле-

дующих центральных сил: гравитационных, электростатических, квазиупругих с вязким затуханием и сил, произвольно определяемых аналитическими выражениями.

Для визуализации объектов класса «физические тела» могут использоваться графические примитивы, файлы в формате GIF, анимированные GIFы.

Помимо классов, моделирующих «физические объекты», в конструктор введен дополнительный дочерний класс, ориентированный на визуализацию аналитических выражений. Его представители не подвергаются силовым воздействиям со стороны внешних полей и дру-

гих объектов, а перемещаются в пространстве в соответствии с заданными пользователем или автором демонстрации аналитическим выражением. Основное назначение этих объектов – обеспечение возможности наглядного сопоставления приближенных аналитических решений с более точными численными моделями реальной физической системы.

В качестве внешних полей могут задаваться электрические, магнитные, гравитационные и определяемые пользователем поля всевозможных пространственно-временных конфигураций (постоянные, переменные во времени, пространственно неоднородные). Возможно задание полей, зависящих от скорости (например, сил вязкого трения). Набор предоставляемых пользователю математических функций позволяет также задавать всевозможные упругие и неупругие поверхности различных геометрических конфигураций.

Для отображения результатов моделирования используется два окна: двумерной графики и 3D-анимаций. В графическом окне результаты численного моделирования отображаются в виде графиков, по осям координат которых откладываются

ются величины, задаваемые пользователем (время, координаты, скорости, ускорения, импульсы и т.д.). Окно 3D-анимации служит для приближенного к реальности отображения моделируемой физической системы. Пользователю предоставляется возможность изменять масштабы по осям координат, а также изменять ориентацию в пространстве координат вместе с моделируемой системой. При необходимости может быть назначен режим сохранения траекторий движущихся объектов.

Реализующая перечисленные возможности моделирующая программа представляет собой цикл, внутри которого каждый из объектов последовательно опрашивает всех своих партнеров по взаимодействиям (решение о включении или исключении в математическую модель рассматриваемой физической системы того или иного парного взаимодействия принимается автором компьютерного эксперимента на этапе создания его сценария) и обмену информацией о взаимном состоянии объектов (например, между моделирующим физическое тело программным объектом и отображающим его движение окном).

Хочется особо подчеркнуть, что при разработке данной среды нами ставилась задача создания системы, являющейся собой некоторую альтернативу традиционным для преподавания методам записи и решения уравнений движения, а не программы виртуальной физической реальности. Таким образом, никакого автоматического контроля за физической осмысленностью создаваемой автором модели реальной системы умышленно не предусмотрено. Вся ответственность за адекват-

ность выбранной модели компьютерного эксперимента полностью лежит на его авторе (например, программа допускает демонстрацию движения заряженной частицы в пространственно неоднородных, переменных во времени, электрическом и магнитном полях, совокупность которых противоречит системе уравнений Максвелла). Предвидя возможную критику по этому поводу, хочется напомнить, что при проведении занятий в традиционной форме подобный контроль правильности изложения материала также является делом лектора и аудитории. С другой стороны, попытки его автоматизации существенно сузили бы возможности использования компьютерного моделирования. Так, в пакете материалов по гравитации оказались бы невозможными многие методически привлекательные компьютерные демонстрации, такие, например, как моделирование движения планет Солнечной системы в случае небольших отклонений гравитационных взаимодействий от закона обратных квадратов. Наконец, с точки зрения самых общих позиций, программный контроль правильности выбора физической модели является абсурдной задачей, поскольку любая физическая модель является не более чем приближением к реальности и, следовательно, должна быть отброшена контролирующей программой.

#### ВИРТУАЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО КУРСУ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

В настоящее время создан насчитывающий около ста единиц ресурсов пакет удаленных виртуальных лекционных демонстраций, лабораторных экспериментов и задач по курсу классической механики, ориентированному на учащихся старших классов. Пакет состоит из следующих блоков:

- свойства равномерного и равноускоренного движения;



*...никакого автоматического контроля за физической осмысленностью создаваемой автором модели реальной системы умышленно не предусмотрено...*

- взаимодействия в природе;
- определение силы и второй закон Ньютона;
- третий закон Ньютона;
- сила тяжести;
- движение тела, брошенного вертикально вверх;
- движение тела, брошенного под углом к горизонту;
- закон всемирного тяготения;
- законы Кеплера;
- движение космических тел, не описываемое законами Кеплера;
- невесомость.

Каждый из блоков сопровождается краткой гипертекстовой справкой, содержащей важнейшие формулы и текстовую информацию в объеме, примерно соответствующем требованиям вступительных экзаменов по физике для технических ВУЗов. Основные положения справки иллюстрируются 5–6 компьютерными экспериментами-демонстрациями, в которых обучаемому отведена достаточно пассивная роль наблюдателя. По мере усложнения и углубления предлагаемого для изучения материала возрастает число заданий, ориентированных на более творческую, активную работу учащегося с компьютером. Выполнение таких заданий по существу сводится к наблюдению за поведением моделируемой системы при различных значениях 2–3 ее параметров, из-

меняемых в реальном времени диалога с компьютером. Для облегчения доступа пользователя к управлению этими параметрами на панель управления выводятся специальные окна с диалогами по заданию величин именно этих, наиболее важных для понимания сущности изучаемого явления, параметров.

Особый класс механических моделей составляют компьютерные задачи, многие из которых являются своеобразным развитием идей и задач предлагавшихся на районных и городских олимпиадах по физике для старшеклассников. Созданные задачи представляют собой задания на нахождение таких параметров виртуального эксперимента, при которых поведение моделируемой системы соответствует описанной в условии ситуации.

Наконец, последний тип учебных ресурсов представляет собой задания на разработку учащимся своих оригинальных компьютерных демонстраций, ориентированных на иллюстрирование сформулированного в условии утверждения. Как представляется авторам, именно такой род деятельности учащихся должен обеспечить удовлетворение их естественной потребности к творческой деятельности и непременно требует не только весьма глубоких знаний, но и понимания материала.

С рабочей версией программы можно познакомиться на сайте [www.spin.nw.ru](http://www.spin.nw.ru).

*Никольский Дмитрий Юрьевич,  
выпускник физического факультета  
СПбГУ.*

*Чирцов Александр Сергеевич,  
кандидат физ.-мат. наук,  
декан физического факультета СПбГУ.*

**НАШИ АВТОРЫ**