

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРУЮЩИХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Дмитрий Владиславович Баяндин,

*доцент кафедры общей физики Пермского государственного технического университета,
кандидат физико-математических наук*

• познавательная деятельность • виртуальные учебные объекты • математическое и компьютерное моделирование • интерактивность •

Современные электронные издания¹ содержат разнообразные виртуальные учебные объекты. Рисунки и фотографии составляют *пассивный статический*, видеофрагменты и анимации — *пассивный динамический* визуальный ряд; интерактивные рисунки, плакаты и таблицы образуют *интерактивный квазистатический* визуальный ряд.

Самый высокий обучающий потенциал имеют компьютерные модели, составляющие *интерактивный динамический* визуальный ряд. Они представляют собой весьма широкий класс виртуальных учебных объектов, а учебное компьютерное моделирование с их использованием включает целый спектр видов учебной деятельности.

Наиболее распространены интерактивные модели демонстрационного характера, обеспечивающие — в дополнение к реальному демонстрационному эксперименту и его видеозаписям — наглядное представление физических понятий и законов. Кроме того:

- на основе динамических интерактивных моделей могут быть поставлены исследования, аналогичные традиционным лабораторным работам;
- существуют модельные конструкторы, позволяющие учащемуся собирать из готовых базовых элементов модели новых систем;
- инструментальные среды и среды программирования дают возможность создавать совершенно новые модели;

- модели-тренажёры позволяют отрабатывать навыки, полезные для решения задач;
- модели могут способствовать получению отдельных умений и навыков, необходимых при проведении физического эксперимента;
- модели могут использоваться для пояснения порядка, приёмов и специфических действий при выполнении реальных лабораторных работ;
- особые модели предназначены также для обработки данных, получаемых с датчиков реальных экспериментальных установок, либо, напротив, для управления (в том числе, удалённого) работой экспериментальных установок.

Виды интерактивных моделей и их функции

Под *моделированием* в широком смысле понимают способ отображения и познания действительности, состоящий в замещении исследуемого феномена его *моделью*. Модель — это вспомогательный реальный объект или абстракция, обладающая существенными чертами исходного объекта или явления, используемая для изучения этого объекта или явления и обладающая прогностическими свойствами.

Интерактивной компьютерной моделью

¹ Например, 1С: Школа. Физика 7–11 классы. Библиотека наглядных пособий / Под ред. Н.К. Хананова. М.: ЗАО «1С», 2004; Живая физика 2000. М.: ИНТ, 2002; Физика-10. Инновационный учебно-методический комплекс / Д.В. Баяндин, Н.Н. Медведева, О.И. Мухин и др. М.: Просвещение-МЕДИА, 2008.

назовём программную систему, которая способна интерпретировать действия пользователя и адекватно реагировать на них, в том числе обеспечивать управление изучаемыми процессами. Такие системы в большинстве случаев отображают внешний вид и поведение моделируемого объекта, взаимосвязи его характеристик, а также визуализируют скрытые в реальности процессы и даже реально не существующие или не имеющие внешнего вида объекты (понятия).

Основное отличие динамической интерактивной модели от других типов виртуальных учебных объектов состоит в том, что в её основе лежит математическая модель, в известных границах адекватно и полно описывающая изучаемый феномен. В структуре интерактивной модели можно выделить математическое ядро, систему управления с блоком ввода данных и систему визуализации.

Исходя из формальных признаков, связанных с особенностями структуры, внутри класса динамических интерактивных моделей можно выделить модели, предназначенные для *демонстраций, исследования и конструирования*. Добавление экспертной системы, диагностирующей и направляющей действия учащегося, позволяет строить *интерактивные тренажёры и интерактивные задачи*.

Демонстрация обычно строится на основе модели, имеющей небольшое число доступных пользователю степеней свободы и позволяющей наглядно иллюстрировать явление или поведение объекта в целенаправленно создаваемых условиях. Математическое ядро такой модели может быть как простым, так и сложным, но характерной особенностью является упрощённая система управления. Подчёркнём, что лаконичность системы управления связана не с особенностями ядра модели, а с методическим аспектом: внимание учащегося должно быть сосредоточено на основных проявлениях изучаемого феномена, не рассеиваясь на чрезмерном богатстве возможностей управления.

Исследовательская модель (модельный лабораторный стенд) предоставля-

ет пользователю значительное число «рычагов управления» и обеспечивает исследование и анализ различных сторон моделируемого явления, особенностей поведения объекта при свободном выборе последовательности воздействий и их интенсивности. С точки зрения структуры этот виртуальный учебный объект обладает развитой системой управления и системой визуализации «с запасом» изобразительных средств (либо моделирующая среда позволяет их пополнять в ходе работы).

Модельный конструктор основан на наборе элементов, позволяющих пользователю собрать на экране и таким образом *спроектировать* новую систему, чтобы затем исследовать её. Математическое ядро в этом случае имеет самую сложную, иерархическую организацию. Система управления развитая, вдобавок желательна, чтобы моделирующая среда позволяла её модифицировать. Система визуализации состоит из того же рода блоков отдельных элементов; дополнительные средства визуализации могут подключаться пользователем опять-таки за счёт возможностей среды моделирования. В плане гибкости, адаптивности к запросам пользователя конструкторы — высшая форма модельных объектов.

Интерактивные задачи и тренажёры не только описывают некоторую сущность в пределах предметной области, но и обеспечивают возможность достижения пользователем поставленной цели путём перемещения объектов, манипуляций с инструментами, графических построений, а не просто путём выбора ответа или ввода числа (слова). Благодаря наличию в своей структуре экспертной системы они способны диагностировать действия пользователя и при необходимости генерировать контекстно-связанные реакции (неявные подсказки).

Интерактивным компьютерным моделям учебного назначения, как и моделям научно-исследовательским, присущи определённые гносеологические функции. Следуя, в целом, работам², выделим следующие основные функции:

— *аппроксимационная*: отражение действительности с некоторым огрублением, упрощением («выделение существенного с целью выяснения существенного») и после-

² Новик И.Б. О моделировании сложных систем. М.: Мысль, 1965; Штофф В.А. О роли моделей в познании. Л.: ЛГУ, 1963.

дующим итерационным ростом адекватности модельного описания явления, дополняемым элементами его объяснения;

— *заместительно-эвристическая*: выполнение роли одной из ступеней в процессе познания промежуточного звена между теоретическим абстрактным мышлением и объективной действительностью, открытие новых путей развития теории;

— *экстраполяционно-прогностическая*: перенос свойств модели на изучаемый объект, построение и проверка теории, открытие пути подтверждающему эксперименту (формулировка условий его осуществления) и объяснение явления (установление причинных и закономерных связей, раскрытие их сущности);

— *трансляционная*: отражение действительности путём переноса информации с одной, изученной, сферы на другую, не изученную, но имеющую существенные черты сходства с первой;

— *иллюстративная*: демонстрация явления с целью установления связи между чувственным и логическим, конкретным и абстрактным (с элементами объяснения).

Гносеологическими функциями определяются дидактические и методологические функции учебных интерактивных моделей. Например, дидактические функции³ связывают с возможностями использования:

- а) как средства наглядности при предъявлении знания;
- б) как средства отработки у школьников познавательных умений и формирования навыков;
- в) как средства контроля уровня сформированности знаний и умений учащихся.

Основная методологическая функция моделей, сформулированная в той же работе, — формирование у школьников опыта учебного исследования, в ходе которого происходит получение субъективно нового знания, и модельный эксперимент выступает в качестве метода познания.

Динамические интерактивные модели, как уже отмечалось, являются потенциально самыми полезными виртуальными учебными объектами, поскольку позволяют поддерживать многие важные этапы учебного исследования. Они могут быть использованы, чтобы:

- проводить наблюдение, классификацию и обобщение фактов, в том числе замечать сходство и закономерности результатов;
- проводить интерпретацию данных;
- давать объяснение наблюдаемым явлениям и выдвигать гипотезы;
- планировать модельный эксперимент для проверки гипотезы и проводить его;
- делать выводы и заключения на основе проведённых исследований.

Интерактивные модели при изучении нового материала в кабинете физики

1. Первоочередное назначение *модельной демонстрации* — обеспечение наглядности, создание яркого, запоминающегося образа, «опорного сигнала», сформировать который традиционными средствами тем сложнее, чем более абстрактна задача. При этом задействованной оказывается, в основном, иллюстративная функция модели.

Значительно богаче по функциям и, соответственно, сложнее в реализации его возможностей *модельный лабораторный стенд*. Поэтому первые образцы исследования на модели учащиеся должны получать «из рук» учителя при объяснении нового материала. Например, серия моделей может быть использована в ходе объяснения таких непростых для восприятия и математического описания вопросов, как статистическое описание систем частиц, понятие молекулярного хаоса, закон распределения Максвелла по скоростям⁴.

Представим молекулы как небольшие упругие шарики, при столкновении которых между собой и со стенками «сосуда» выполняются законы сохранения импульса и энергии. Пусть модель позволяет задавать начальное пространственное распределение частиц, а также модули и направления векторов их скорости.

Для начала посредством вычислительного эксперимента имеет смысл показать, что лю-

³ **Оспенникова Е.В.** Использование информационно-коммуникационных технологий в преподавании физики. М.: БИНОМ, 2010.

⁴ Физика 10. Инновационный учебно-методический комплекс / Д. В. Баяндин, Н. Н. Медведева, О. И. Мухин и др. М.: Просвещение-МЕДИА, 2008; **Баяндин Д.В., Медведева Н.Н., Ханнанов Н.К.** Закономерности хаоса (об использовании компьютерных модельных экспериментов) // Физика. М.: ИД «1 сентября», 2004. № 32. С. 7–15.

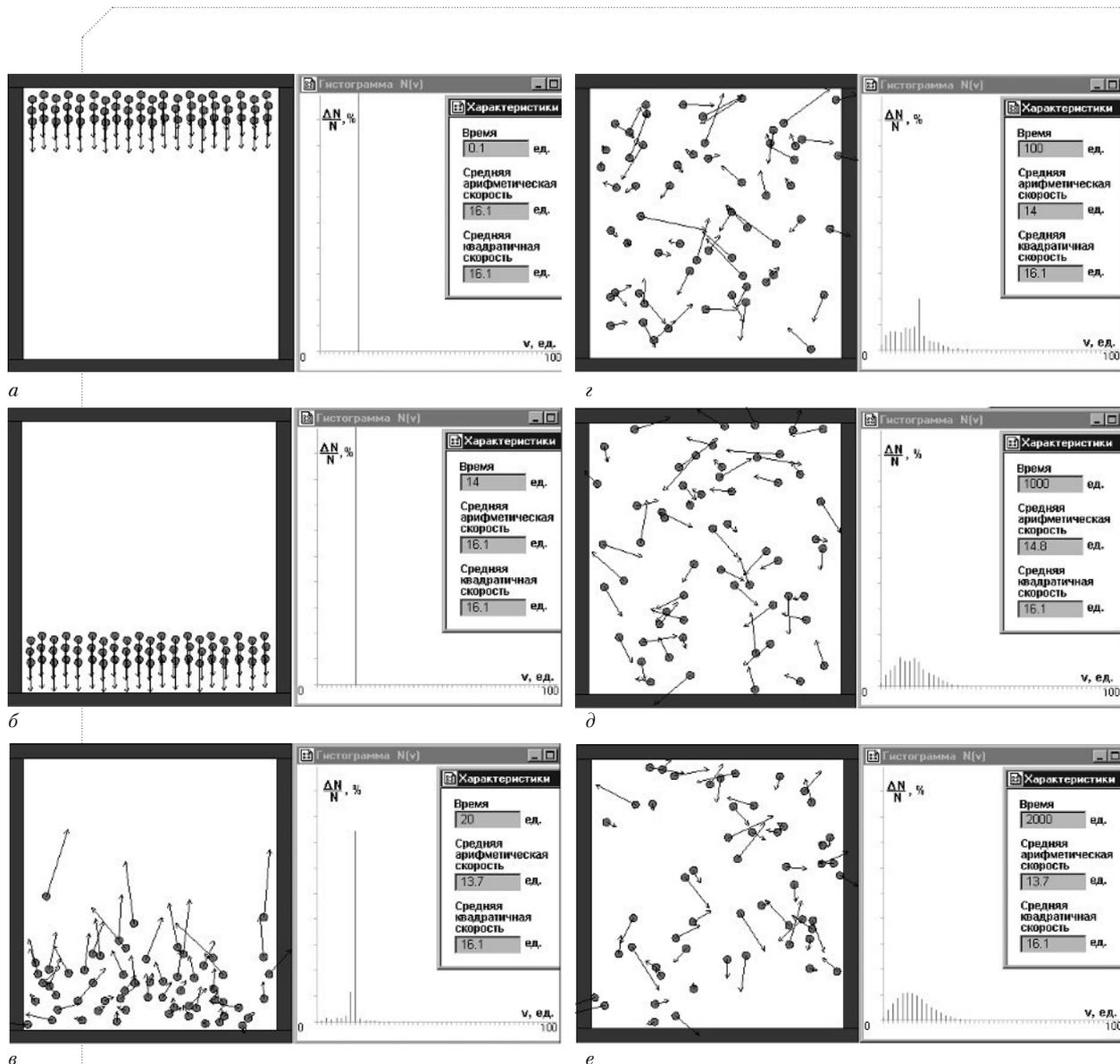


Рис. 1. Образование хаоса при одновременном старте от стенки

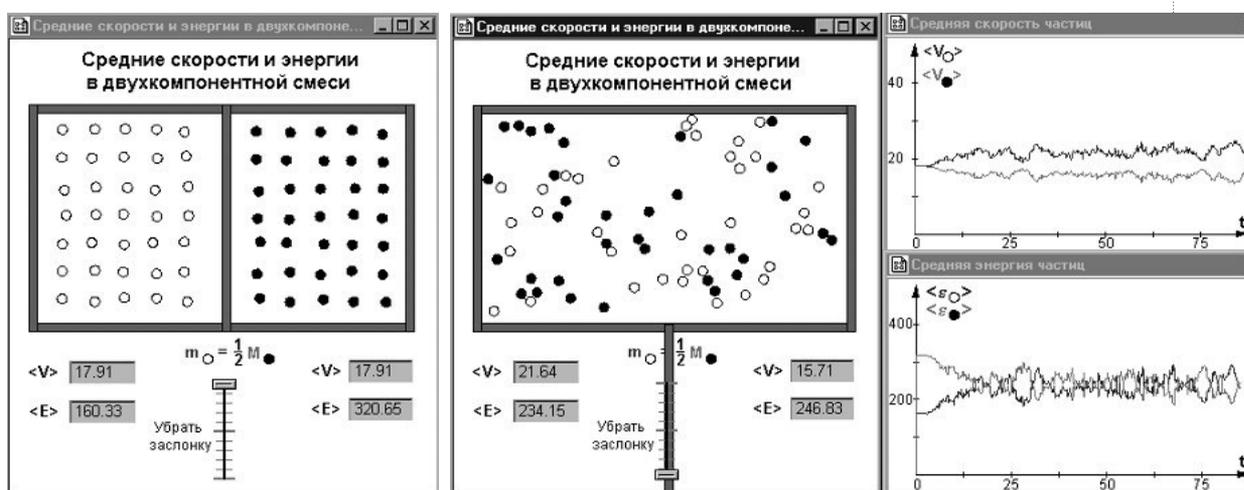
бое упорядоченное движение частиц, искусственно заданное в начальный момент, с течением времени превращается в хаос (см., например, рис. 1).

Собрав затем начала векторов скоростей всех частиц в одну точку, модель демонстрирует, что их распределение по направлению носит случайный характер и является изотропным. Этот хаос, однако, подчиняется закономерности, которая выражается в характерном распределении частиц по абсолютным значениям скорости (на рис. изображено гистограммой), причём при дальнейшем расчёте это распределение практически не изменяется. Таким образом,

могут быть введены понятия микро- и макросостояния системы.

Далее, целесообразно показать, что в такое макроскопическое состояние система приходит по прошествии длительного времени вне зависимости от начального расположения частиц и направления векторов их скоростей. Представляет интерес и зависимость вида распределения от начальной средней энергии частиц.

С помощью других моделей можно проиллюстрировать такие особенности состояния термодинамического равновесия, как равномерное (в среднем) распределение



а

б

Рис. 2. Перемешивание частиц двух сортов при одинаковой начальной средней скорости

частиц по объёму и равенство (в среднем) кинетической энергии частиц с различной массой (рис. 2). Обнаруженное равенство средних энергий частиц, как и равенство концентраций, не является точным, а проявляется как тенденция. Так естественным образом вводятся понятия макропараметра состояния системы, его среднего значения и флуктуации.

На наш взгляд, использование модельного подхода позволяет подать материал доступно, наглядно и достаточно корректно, сформировать у школьников устойчивые и физически верные представления о тепловых явлениях.

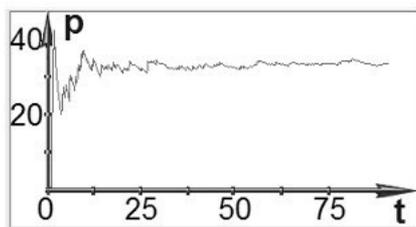
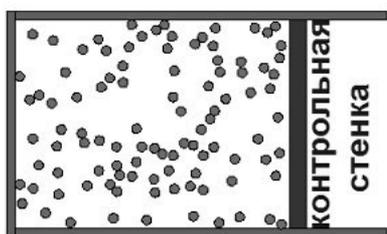
2. В основу изложения нового материала может быть положена и единственная модель, вписанная в канву обучающего сценария. В его рамках возможно систематическое исследование модели в различных режимах, а также выполнение сопутствующих интерактивных заданий, контролирующих усвоение материала.

Например, обучающий сценарий «Основное уравнение МКТ газов» упоминавшегося комплекса «Физика 10» основан на модели «Давление газа на стенки сосуда», в которой давление вычисляется как средний за время наблюдения импульс силы, полученный стенкой. График зависимости определённого таким образом давления от времени (см. рис. 3) ярко иллюстриру-

ет статистический характер давления: при каждом новом ударе о стенку давление увеличивается скачком (поскольку время удара мало), затем монотонно уменьшается вплоть до следующего удара (поскольку суммарное время наблюдения при неизменном суммарном полученном стенкой импульсе). В результате значение давления меняется вблизи некоторого среднего значения, к которому и стремится при больших значениях времени наблюдения.

На описанной модели проводится четыре серии опытов, в первой из которых меняется только количество (концентрация) частиц (результат изображён на рис. 3), во второй — только их среднеквадратичная скорость, в третьей — только масса частиц. Четвёртая серия демонстрирует тенденцию к равенству средних квадратов для компонент вектора скорости.

Достоинство обучающего сценария — лёгкость его использования учителем, поскольку, в отличие от серии демонстраций, сценарий имеет чёткую структуру и не требует долгой подготовки к занятию. Недостатком, соответственно, является ограничение свободы и инициативы преподавателя, которое сглаживается при наличии удобной навигации (дающей возможность рассмотреть лишь желаемые фрагменты) и умении учителя поставить сценарий в общий аудиовизуальный ряд урока наравне с другими виртуальными учебными объектами.



II. Как давление идеального газа зависит от концентрации молекул?

n	p
25	7.7
50	16.8
75	26.2
100	37.0

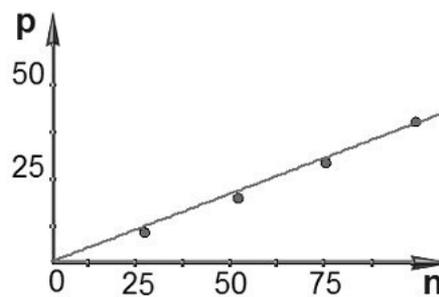
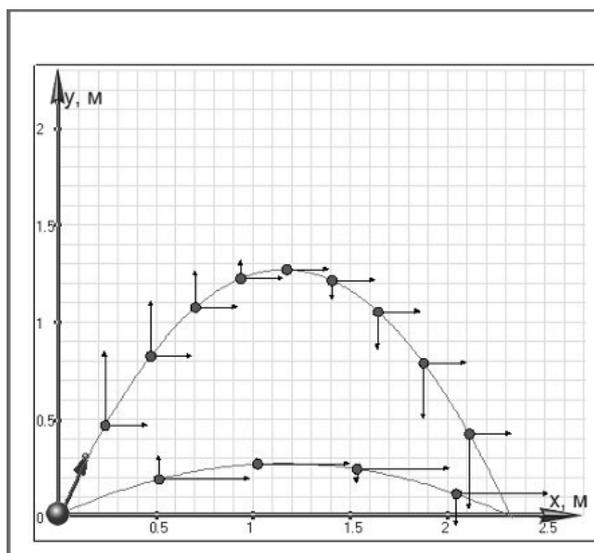


Рис. 3. Зависимость давления газа от концентрации молекул



Управление и данные

начальная скорость **5,5** м/с
 угол бросания **65** °
 начальная высота **0** м

$x = 2,3$ м
 $y = 0$ м
 $v_x = 2,3$ м/с
 $v_y = -5$ м/с

Стрелять

Пауза/продолжить

Стереть траектории

Рис. 4. Движение тела, брошенного под углом к горизонту

3. Следующий этап на пути к самостоятельному проведению модельного эксперимента учащиеся могут пройти также в кабинете физики при использовании групповой формы работы, предполагающей обсуждение в малой группе и в масштабах класса, обмен идеями и опытом. Существенны наличие элемента соревнования и возможность консультации учителя.

Например, модель, представленная на рис. 4, позволяет исследовать зависимость различных параметров траектории от скорости и угла бросания, а также начальной высоты тела. Таким образом, четыре и более групп учащихся могут выбрать различ-

ные цели эксперимента, провести исследование, а затем представить классу его результаты. Самостоятельное планирование учащимся модельного исследования требует определённых знаний, понимания и опыта такого рода работы. Не обладающий навыками проведения эксперимента (неважно, реального или численного) школьник часто даже не понимает, что начальные условия нельзя менять хаотически, нужно продумать систему изменений.

Таким образом, при работе в группах учащиеся получают опыт самостоятельного наблюдения и анализа данных, выдвижения и обоснования гипотезы, определения

порядка проведения эксперимента и выбора формы кодирования результатов, учатся делать вывод. Со временем они смогут формулировать самостоятельно и цель исследования.

Перечисленные этапы вполне полноценны в плане приобретения ряда умений, необходимых для исследования. И в этом смысле работа с компьютерной моделью и с физической установкой схожа и практически в одинаковой степени полезна. В обоих случаях наиболее важными являются: а) мыслительные процессы, происходящие в мозгу учащегося; б) технические возможности «лабораторного стенда» по проверке и, при необходимости, коррекции гипотезы исследования, исправления ошибок за счёт оперативной обратной связи, которую обеспечивают измерительные приборы или интерфейс модели.

При этом реальный лабораторный стенд, конечно же, много богаче по своим свойствам и их проявлениям, чем имитирующий его стенд виртуальный. При вычислительном эксперименте обедняется по сравнению с реальным чувственная сторона процесса познания, разрывается связь с объективной реальностью, но для отдельных этапов это может быть непринципиальным. Углубление понимания физического содержания изучаемого феномена достигается при совмещении реального и модельного эксперимента. В ходе работы в группах целесообразно также обсудить факторы, которыми в компьютерной модели пренебрегли (с каких точек зрения это хорошо, а с каких — плохо), можно выяснить границы корректности этой идеализации.

Интерактивные модели на занятиях в компьютерном классе

После того, как учащиеся получили первый опыт самостоятельного исследования на моделях, можно переходить к работе с ними в компьютерном классе. Интерес представляют численный эксперимент на трёх уровнях (исследование готовой модели; исследование модели, собранной из конструктора; разработка учащимися собственных моделей в инструментальной среде или среде программирования) и тренинг умений

и навыков на динамической модели и на интерактивных тренажёрах.

1. Работа по исследованию модели во многом похожа на традиционную лабораторную работу, поэтому обсуждаемый жанр нередко называют модельным практикумом. В связи с этой формой работы требуют обсуждения два важных момента.

Первый момент: для использования в качестве объекта исследования подходит не всякая модель. Основная часть моделей распространённых электронных изданий построена на одном–двух несложных физических законах в форме алгебраических уравнений и призвана лишь создать наглядный образ, то есть имеет сугубо иллюстративный характер. Говорить о содержательном *исследовании* можно, если модель не просто табулирует заложенные в неё уравнения, но ведёт серьёзный расчёт и даёт некоторый новый результат, имеющий новое качество. Так дело обстоит, если основой модели являются дифференциальные уравнения — описаны связи величин на малых временных масштабах, а на интегральных они неочевидны, так что результат может быть различным в зависимости от варианта управления. Другой случай — появление нового качества за счёт количества, например, в описанных выше экспериментах с ансамблем нескольких десятков частиц, когда модель открывает не заложенные в неё изначально нулевое начало термодинамики, распределение Максвелла и другие нетривиальные закономерности. При этом задействуются не только аппроксимационная и иллюстративная функции модели, но и прогностическая, и, в конечном счёте, эвристическая.

Нужно понимать, что следует ставить адекватную модельному эксперименту цель: не «доказать справедливость» или «проверить выполнение» закона, а изучить формы его проявления, особенности поведения системы, описываемые этим законом и т.д.

Второй момент, требующий серьёзного обсуждения: какова должна быть методика построения самостоятельной работы учащихся с моделями. С формальной точки зрения, модель, пригодная для исследования — система со значительным количеством «рычагов управления». Предоставляе-

мый широкий спектр возможных воздействий на модель — это свобода, которой учащемуся очень непросто научиться эффективно пользоваться, поэтому модельный практикум является одним из самых сложных видов учебной деятельности с использованием цифровых технологий.

Практика показывает, что встроенные в программный продукт или подготовленные учителем текстовые инструкции зачастую оказываются недостаточными для организации успешного, заинтересованного выполнения работы и не являются оптимальным средством для развития познавательных умений и активности учащихся. Существенно лучше, чем инструкция на бумаге или на экране компьютера, воспринимается, настраивает на работу и способствует усвоению метода исследования 5–10-минутная проблемная беседа в начале занятия. В ходе её учитель должен заинтересовать учащихся, «запустить» их мыслительную деятельность и обеспечить получение обучающего результата.

Развитие познавательных умений и получение опыта планирования исследования требует самостоятельности учащихся, но желательно наличие общей канвы, поясняющей, как это следует делать. Удобно применять обобщённый план работы с интерактивными моделями⁵. Следование этому плану позволяет максимально полно извлечь и использовать заложенную в модель учебную информацию.

Дополнительным стимулом для качественного выполнения работ модельного практикума служит решение на заключительном этапе занятия тематически связанных с модельным материалом задач. Предпочтительным представляется использование интерактивных задач в той же компьютерной среде, поскольку этот вариант не требует от учителя дополнительных организационных усилий, позволяет при необходимости оказать помощь менее динамичной части класса. Комплект из модельной работы и цикла интерактивных задач, по сути, представляет собой единый обучающий сценарий.

⁵ Оспенникова Е.В. Использование информационно-коммуникационных технологий в преподавании физики. М.: БИНОМ, 2010.

Разумеется, реальный эксперимент нельзя заменять компьютерными технологиями, но при наличии продук-

манной методики последние могут служить дополнительным инструментом, средством обучающего воздействия, которое позволяет экономить время и усилия учителя, отрабатывать умения и навыки (в том числе связанные с экспериментальной деятельностью) и даже формировать отдельные элементы эмпирического мышления.

2. Уровень работы с готовыми моделями — наиболее доступный, однако он устраивает не всех педагогов. Неудовлетворённость могут вызывать как «мелочи» (например, недостаточность или избыточность средств визуализации и степени автоматизации компьютерного эксперимента), так и более крупные проблемы (невозможность изменить средства управления, конфигурацию задачи, наконец, саму модель с тем, чтобы повысить уровень её адекватности, описать новые стороны явления).

Альтернативой готовым проектам являются *конструкторы моделей* — физических объектов, свойств, явлений, законов — и моделирующая среда, в которой на основе этих конструкторов можно синтезировать и рассчитывать новые задачи. Системы, представляющие возможности конструирования, сравнительно немногочисленны. Примером продукта, в котором последовательно реализован принцип конструирования, является проектная среда «Живая физика», позволяющая легко и удобно создавать комплексные модели на базе готовых конструкторов и визуализировать их. Широкие возможности конструирования предоставляют образовательные программные продукты, разработанные на основе и функционирующие в рамках инструментальных систем, например, моделирующая среда «Физика-10» и среда её разработки — инструментальная система визуального проектирования и математического моделирования Stratum-2000. Известны допускающие конструирование учебно-методические комплексы на базе пакетов Simulink, MATLAB и других. В большинстве случаев средства управления и визуализации происходящих процессов предоставляются средой моделирования; пользователь только формирует желательную их конфигурацию.

Приведём примеры модельных конструкторов, встречающихся в упомянутых выше электронных изданиях. Наиболее очевид-

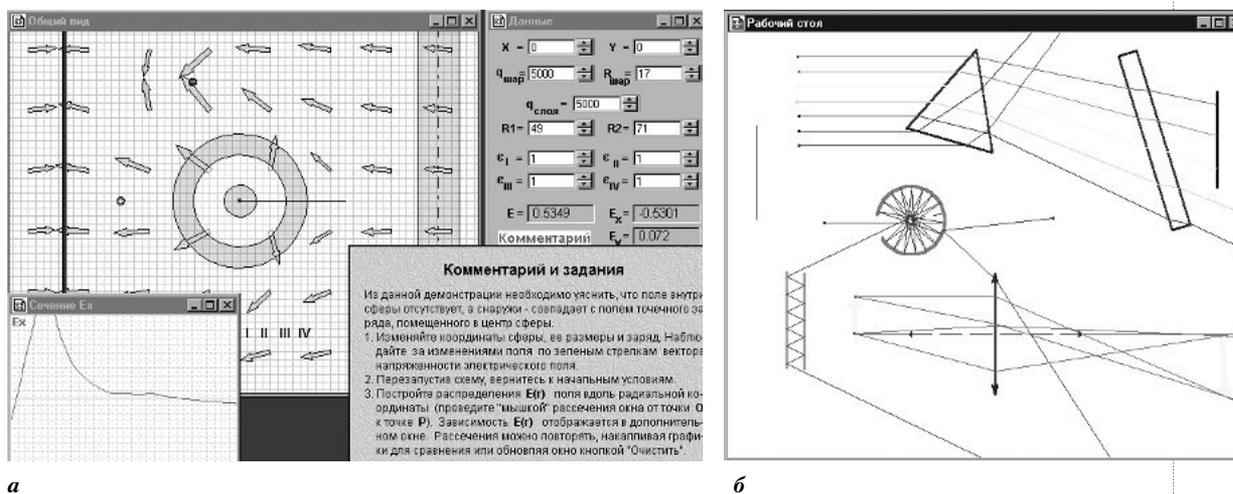


Рис. 5. Конструкторы «Поля статических зарядов» и «Геометрическая оптика»

на полезность конструктора электрических цепей: из весьма небольшого количества базовых элементов (резистора, ёмкости, индуктивности, источника питания, измерительных приборов, ключей, узлов цепи, модель которых содержит уравнение первого правила Кирхгофа) можно собрать практически бесконечное число схем. Сборка цепи осуществляется путём манипуляций мышью с пиктографическими изображениями элементов, имеющих математическое описание.

Важный, обладающий богатыми возможностями конструктор объединяет объекты, рассматриваемые в механике: массивные тела различной формы, пружины, блоки и другие объекты с изменяемыми свойствами. Область применимости моделей такого конструктора выходит за рамки механики. На его основе построены, например, упоминавшиеся в предыдущем подразделе модель движения тела, брошенного под углом к горизонту, и модель газа, описывающая распределения Больцмана и Максвелла, перемешивание газов с разными температурами и молекулярными массами, установление термодинамического равновесия и другие эффекты. Конструктор позволяет пояснить, почему газ при сжатии нагревается, показать, как происходит диффузия, каковы закономерности броуновского движения.

Интерес представляет и конструктор, позволяющий рассчитывать электрические поля распределённых зарядов и поведение в этих полях заряженных тел (рис. 5а). Ансамбль

заряженных частиц может иллюстрировать свойства реального газа (например, с Ван-дер-Ваальсовским взаимодействием), показывать, что и в таком газе имеют место классические статистические распределения, пояснять опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.

Широкие возможности учебного исследования на модели предоставляет конструктор «Геометрическая оптика» (рис. 5б), содержащий двумерные модели однолучевых и многолучевых источников света, плоских и сферических зеркал, тонких линз, пластин, призм и ряда вспомогательных объектов. Конструктор позволяет строить ход лучей в системах зеркал (как плоских, так и сферических) и линз, исследовать положение и свойства изображений точечных и распределённых источников света; строить ход лучей в пластине и призме с наблюдением эффектов полного внутреннего отражения и дисперсии; собирать и изучать принцип действия простых оптических приборов (перископ, микроскоп, телескоп, монохроматор и так далее).

Опыт показывает, что сборка схем из элементов конструкторов с технической точки зрения доступна как педагогам, так и учащимся. Десятиклассники способны в течение 10–15 минут освоить манипуляции, необходимые для построения схемы; несколько больше времени требуется преподавателям. Тем не менее, приходится констатировать, что режим конструирования не востребован массовой школьной практикой.

Это можно объяснить тем, что методика использования конструкторского модельного материала — серьёзная задача, требующая от педагога значительных интеллектуальных и временных затрат. Для индивидуальной работы в режиме конструирования нужна глубоко продуманная постановка задания, которая обеспечивает в достаточной мере самостоятельную, осмысленную и целенаправленную деятельность учащихся, возможность получения ими «измеряемого» по качеству результата.

3. Особый род учебной работы представляет собой разработка школьниками новых моделей, которая оформляется либо как проектная деятельность, либо как отдельный курс моделирования, что весьма привлекательно в условиях растущего дефицита часов, выделяемых образовательными программами на предметы естественно-математического цикла. Имеется значительное количество компьютерных сред, учебных пособий и методических исследований, которые могут служить основой такого курса, однако в качестве инструмента разработки обычно предполагаются языки программирования (Basic, Pascal), среды программирования (Delphi, Visual Basic) или пакеты прикладных программ (MathCad, MATLAB и др.). В этом случае значительная доля усилий учащихся оказывается направленной на разработку программной части, особенно блока визуализации, физическое содержание решаемой задачи остаётся на втором плане. Альтернативой могут выступать курсы моделирования, построенные на основе инструментальных средств. При работе с ним на первом плане оказывается именно построение математической модели системы; что же касается проблем визуализации, то их, в основном, решает встроенный сервис инструмента.

В завершение обсуждения трёх рассмотренных выше уровней моделирования отметим, что дидактические цели для них различны.

В режиме работы с готовой моделью целью может быть изучение закономерностей поведения системы (самой модели и, в меру

её адекватности, моделируемой реальности) в заданных условиях; выявление различных

режимов протекания процессов и условий их реализации; обнаружение качественно новых эффектов, проявляющихся на больших временных или пространственных масштабах, на ансамблях объектов; ознакомление с методами изучения различных физических явлений, принципами действия приборов, установок, с классическими историческими опытами.

При конструировании модели из базовых элементов к перечисленным целям следует добавить проектирование принципиальных схем устройств и приборов, визуализацию неочевидных сторон моделируемых процессов, создание условий для проявления желаемых эффектов, прогнозирование поведения модели в изменённых условиях и проверку прогноза.

Для режима разработки собственных моделей цели дополняются такими позициями, как формулирование полной и корректной математической модели, её реализация средствами моделирующей среды, проведение вычислительного эксперимента в широком диапазоне значений определяющих параметров; проведение критического анализа результатов, сравнение с натурным или лабораторным экспериментом, при необходимости корректировка модели. При этом модельная деятельность, как и для режима конструирования, несёт одновременно черты экспериментального и теоретического исследования.

4. Упомянем, что при работе в компьютерном классе эффективен тренинг умений и навыков решения задач на интерактивных тренажёрах⁶, встроенная экспертная система которых направляет обучение, или непосредственно на динамических моделях, когда учащийся видит результат управления ходом модельного эксперимента, самостоятельно оценивает его и корректирует свои действия.

Интерактивные модели для поддержки физического лабораторного практикума

В связи с выполнением учащимися работ лабораторного практикума возникает ещё ряд видов компьютерной поддержки курса физики.

⁶ Баяндин Д.В., Медведева Н.Н., Ханнанов Н.К. Интерактивные компьютерные тренажёры в школьном курсе физики // Физика в школе. 2006. № 4. С. 3–10.

В состав электронных изданий входят интерактивные тренажёры, предназначенные для отработки отдельных экспериментальных умений и навыков, например, процедур снятия показаний измерительных приборов, оценки соответствующих погрешностей. Тренинг возможен при выполнении замеров в типовых для лабораторного эксперимента ситуациях, вроде определения длительности процесса (соскальзывания тела с наклонной плоскости, периода колебаний некоторой системы), который представлен интерактивной моделью или видеозаписью. Имеются задания, в которых имитируется сборка электрических цепей или оптических систем по предоставленным схемам или фотографиям; эти тренажёры полезны в фазе подготовки к работе. Появились имитаторы сложных и дорогостоящих приборов, например, связанных с ядерной физикой.

В ходе выполнения классом фронтального эксперимента в кабинете физики полезными оказываются реализованные в компьютерной среде и выводимые с помощью проектора на экран или интерактивную доску блоки методической поддержки для выполнения лабораторных работ. Новое качество цифровых материалов достигается, если такие блоки содержат интерактивный материал: динамические сюжеты, позволяющие обсудить с классом особенности изучаемого явления, модель, имитирующую исследуемую систему и производимые с ней в ходе эксперимента манипуляции, позволяющую объяснить некоторые тонкости в ходе эксперимента (как альтернатива технически более сложной процедуре проецирования на экран изображения с видеокамеры), интерактивные таблицы, иллюстрирующие ход и порядок обработки данных.

На этапе кодирования результатов эксперимента, их обработки и анализа цифровые технологии также могут оказать учителю значительную помощь. Возможна отработка на интерактивных тренажёрах умений проектировать структуру таблиц данных, отображать связи физических величин в форме графиков и аналитических выражений, оформлять результат эксперимента в виде доверительного интервала с разумной точностью, записывать значения характеристик в различных системах единиц и так далее.

Использование компьютерных технологий эффективно при отработке элементарных навыков, и, разумеется, речь не идёт о *замене* реального эксперимента компьютерными имитациями. В ходе учения необходимы этапы (перед компьютерным тренажом или после него), на которых все умения и навыки объединены в «сплошном» процессе проведения эксперимента, причём эксперимент должен уже быть не виртуальным, а реальным. Таким образом, компьютерные тренажёры снимают с учителя рутинную работу — многократное объяснение и контроль базовых умений и навыков — и позволяют ему сосредоточиться на более сложных, творческих, трудно алгоритмизируемых моментах.

В целом интерактивные модели всех видов — одни в большей, другие в меньшей степени — способствуют формированию у учащихся частных и обобщённых умений, полезных для осуществления различных видов деятельности, в том числе познавательных умений, связанных с проведением эксперимента, обобщения и систематизации данных, решения задач. Компьютерное моделирование способствует обучению школьников применять компьютер как инструмент познания и обработки информации. □