

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

УДК 004.5; 004.42

© В. П. Новожилов, Л. И. Жданова, С. Р. Галлямов

ОБУЧАЮЩАЯ ПРОГРАММА

«ФИЗИКА В ДИАЛОГЕ С КОМПЬЮТЕРОМ “PhysCoD”»

Программа предназначена для самостоятельной работы по изучению курса физики средней школы. Способна проверять формулы решения в общем виде, правильность графических построений, обнаруживать ошибки и определять их характер. Программа может быть использована как средство независимого контроля правильности решения.

Ключевые слова: обучающая компьютерная система, обучающая диалоговая программа, обучающая диалоговая система, обучающая программа по физике, обучающая компьютерная программа по физике.

Введение и краткая характеристика программы

В настоящее время в физическом образовании довольно эффективно используются два вида обучающих программ по физике: мультимедийные разработки [1,2] и электронные пособия [3,4] или их комбинации [5–8].

Первые иллюстрируют физические явления и объясняют их закономерности. Структура вторых повторяет структуру традиционного учебника или задачника и содержит теоретическую и практическую части, ответы и объяснения решения задач. По сути, электронные учебники являются переносом содержания традиционных учебников на электронные носители, иногда дополняемые мультимедийными демонстрациями.

Проверка правильности решения в них осуществляется либо выбором ответа из предлагаемых вариантов, либо проверкой численного значения запрашиваемых величин.

В случае неверного ответа учащемуся рекомендуется изучить определенные главы теоретического материала.

Очевидно, что несовпадение выбранного или численного ответа может не иметь отношения к рекомендуемой главе, а то и вовсе к усвоению теоретической части курса физики.

На практике учащемуся важно знать, в каком месте решения он допустил ошибку, причину ее возникновения и, как можно точнее, тот раздел теории, знание которого позволит избежать этой ошибки в дальнейшем.

Предлагаемая обучающая программа, контролируя решение задачи учащегося в общем виде, сообщает по его запросу о допущенных ошибках в формулах и графических построениях, указывает место и характер ошибки.

Обучающая программа предназначена для самостоятельного изучения курса физики общеобразовательной средней школы, а также для самостоятельной работы учащегося дома, подготовки к Государственным экзаменам и вступительным экзаменам в ВУЗ.

Курс обучения состоит из теоретического материала и базы задач для самостоятельного решения.

Теоретический материал курса систематизирован в соответствии со структурно-логической схемой, являющейся иерархическим деревом [9]. Узлами структурно-логической схемы являются дидактические единицы [10], а ветвями — переходы между узлами по гиперссылкам.

Дидактическая единица (узел дерева) A считается подчиненной единице B , если для усвоения A необходимо знание B . При этом дидактическую единицу B будем называть обеспечивающей единицы A . Таким образом, на дереве структурно-логической схемы определена ориентация по подчиненности узлов.

Корнями дерева являются математические и физические понятия курса средней школы. Каждая ветвь отражает дидактическую подчиненность для пары дидактических единиц. Усвоение знаний курса происходит перемещением от корней к вершине.

Переход на узел структурно-логического дерева возможен или выбором темы (узла дерева) из содержания, или переходом по гиперссылке из подчиненной дидактической единицы (подчиненного узла) дерева.

Содержание курса выполнено в виде иерархического дерева, узлами которого являются темы курса физики и математики средней школы. Узлы дерева содержания крупнее узлов структурно-логической схемы и, вообще говоря, не дают возможность перехода на любой узел схемы непосредственно из содержания, но обеспечивают возможность перехода на любой узел, по подчиненности используя гиперссылки.

Математические разделы курса включают планиметрию, стереометрию, тригонометрию, начальные сведения из векторной алгебры и основ математического анализа.

При этом разделы, посвященные геометрии, содержат только формулировки теорем и следствий и ориентированы, прежде всего, на развитие навыков узнавания и применения в физике знаний, полученных в курсе математики. Разделы, посвященные началам векторной алгебры и математического анализа, содержат, помимо прочего, и доказательства теорем и их следствий. Подробное изложение этих разделов связано с недостаточным, на наш взгляд, уровнем усвоения этих разделов учащимися в курсе средней школы, что, возможно, обусловлено недостатком времени, отводимого учебной программой на освоение этого материала. Вместе с тем, эти разделы чрезвычайно важны для понимания курса физики, подготовки учащихся к восприятию вузовского курса физики. Кроме того, навыки владения этим материалом обеспечивают возможность ускоренного решения многих задач, предлагаемых в тестовых заданиях ЕГЭ.

Для самоконтроля усвоения материала учащегося наш курс содержит базу задач для самостоятельного решения. Задача состоит из условия и объяснения решения.

Структура объяснения каждой задачи представляет собой дерево, опирающееся корнями на иерархическое дерево структуры теоретического курса. Узлами дерева задачи являются пояснения отдельных этапов решения, а ветвями — гиперссылки на них или узлы структурно-логической схемы теоретической части курса.

Для того чтобы избежать навязчивости объяснения, текст на главных экранах объяснения (главная вершина дерева задачи) составляется по принципу минимальной достаточности и доступен для понимания, как правило, только хорошо подготовленному учащемуся. Полнота объяснения обеспечивается включением в объяснение дидактических единиц, содержащих ссылки на узлы, являющиеся по отношению к ним соседними.

Такое построение объяснения задачи позволяет, с одной стороны, максимально снизить навязчивость объяснения, а с другой, за счет «подключения» к структурно-логической схеме теоретической части, позволяет учащемуся эффективно и быстро выйти на любой узел, обеспечивающий возможность усвоения материала, связанного с решаемой задачей.

В процессе решения задачи учащийся имеет возможность использовать машинный контроль текущего решения задачи. Например, проверить правильность составленных уравнений, формул решения в общем виде, результатов численных расчетов, графических построений (например, графиков функций, диаграмм действующих сил, ход лучей в оптических системах и т. п.).

Проверка правильности формул общего вида окончательного решения для запрашиваемых величин обеспечивается всегда, а промежуточных формул общего вида — в той части решения, которая распознана программой. Возможность такой проверки обеспечивается входящим в программу транслятором формул, преобразующим запись формулы на экране в том виде, в котором она выполняется на бумаге, в программу вычисления правой и левой части формулы.

Построение изображений на экране выполняется с помощью входящего в состав программы оригинального графического редактора, позволяющего строить изображения прямых линий, векторов, лучей, окружностей, эллипсов и дуг окружностей.

Проверка правильности построения учащимся изображения осуществляется путем сравнения построенного им изображения с тем, что создано составителем.

В программе предусмотрена возможность поиска информации в базе теоретических дидактических единиц по введенной фразе.

§ 1. Навигация по структурно-логической схеме курса

Само дерево иерархической структуры курса является виртуальным, для учащегося недоступным и состоит из множества узлов — дидактических единиц, размещенных в общем массиве файлов, и ветвей — гиперссылок, связанных с фреймами [11] в текстах дидактических единиц.

Начинать работу с программой можно с любого узла, доступного из содержания. Обязательное требование курса обучения — недопустимость оперирования не понятыми терминами (принцип — все слова должны быть понятны). Это требование доводится до учащегося в рекомендациях к работе с программой. Открыв любую дидактическую единицу, учащийся видит ряд выделенных фраз, которые, как ему известно, содержат поясняющие ссылки или, по крайней мере, HINT — короткую подсказку, помогающую понять смысл выделенной фразы. Если смысл выделенной фразы учащемуся не понятен или он не уверен в том, что понимает его правильно, то, подведя курсор мыши к этой фразе, он сначала читает HINT, а затем, если подсказка оказалась неэффективной, щелчком левой кнопки мыши переходит по гиперссылке на подробное пояснение в обеспечивающей дидактической единице. После вызова обеспечивающего узла может оказаться так, что объяснение по-прежнему непонятно. В этом случае учащемуся рекомендуется разобраться, все ли фразы в тексте объяснения ему понятны, просмотрев подсказки к выделенным фразам, найти ту фразу, которая непонятна, и перейти на обеспечивающий узел следующего ранга. Последовательно выполняя эти действия, учащийся, в конце концов, находит тот узел на дереве структурно-логической схемы, ниже которого дидактический материал им усвоен. Возвращаясь по своим следам назад (вызывая пункт главного меню «Возврат») и последовательно устраняя обнаруживаемые непонимания, учащийся или обеспечивает усвоение материала, содержащегося в стартовом узле, или выбирает в содержании для изучения более раннюю тему (то есть тему, расположенную ближе к корням дерева).

Эффективность обучения решающим образом определяется качеством разработки структурно-логической схемы курса. При этом должны быть решены задачи выбора оптимального множества дидактических единиц, построена сеть гиперссылок с учетом трудно понимаемых единиц и часто допускаемых ошибок. К сожалению, формализация процедуры построения структурно-логического дерева требуемого качества в настоящее время невозможна и, по видимому, всецело определяется искусством методиста.

§ 2. Транслятор формул

Транслятор формул предназначен для составления программы расчета формулы по виду ее записи на экране монитора. Вид записи формулы на экране монитора соответствует традиционному виду записи формулы на бумаге. Общим принципом является то, что в том месте, на котором на бумаге что-то записывается, на экране найдется прямоугольное поле, в котором можно выполнить точно такую же запись. Этот прямоугольник не всегда видим, но проявляется, если к нему подвести курсор мыши. Если после этого щелкнуть левой кнопкой мыши, то программа перейдет в режим редактирования выбранного поля; при этом рамка, охватывающая прямоугольник, приобретает ярко-зеленый цвет.

Для использования в формулах обозначение каждой физической величины должно быть описано в специальном формате с указанием имени величины, ее размерности и физического смысла (рис. 1). Сопоставление величин, введенных составителем и обучающимся, выполняется программой по их физическим смыслам.

Заполнение полей имени и размерности переменной выполняется набором текста на клавиатуре. При этом в поле размерности можно записывать либо сокращенное название единицы



Рис. 1.

размерности в соответствии с принятым стандартом, либо ее полное имя в именительном падеже. В последнем случае программа автоматически заменяет полное имя единицы размерности на его обозначение, определенное стандартом. Такая организация заполнения поля размерности способствует произвольному запоминанию стандартных обозначений единиц размерности, поскольку запись сокращения выполняется быстрее.

Заполнение поля записи физического смысла может выполняться как набором текста с клавиатуры, так и выбором нужной переменной из выпадающего списка, который открывается после щелчка левой кнопкой по полю записи (рис. 2).

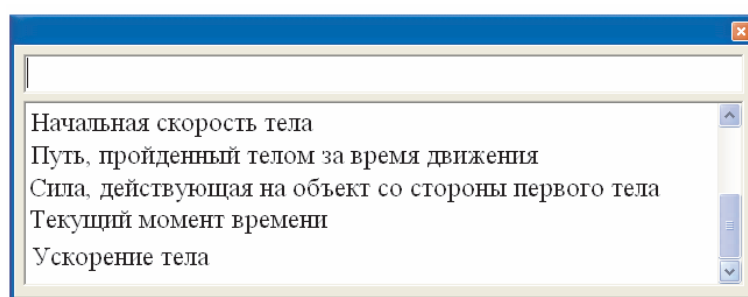
$$\vec{F}_1 [H]$$


Рис. 2.

Выбор переменной из списка предпочтителен, так как, с одной стороны, обеспечивает точное совпадение текста, по которому идентифицируются переменные, введенные составителем и учащимся, а с другой стороны, ввод информации осуществляется быстрее, что удобнее для учащегося.

Программа запрещает вводить более двух экземпляров описания одной и той же переменной. При этом составитель имеет право ввести два, а обучающийся не более одного экземпляра переменной. Второй экземпляр описания переменной вводится составителем за учащегося в том случае, если она предъявляется в условии задачи и соответствует заданной или запрашиваемой величине. При этом повторное описание переменной от учащегося не требуется.

После описания (объявления) переменной она может быть использована в формулах и уравнениях общего вида столько раз, сколько необходимо. При этом программа при выполнении операции присвоения значения величине постоянно отслеживает равенство ее всем ранее присвоенным значениям.

Программой контролируется правильность описания переменной: соответствие принятым синтаксическим требованиям, соответствие размерности и вида математического объекта, физическому смыслу объявленной переменной. Для контроля соответствия размерности и вида сопоставляемого математического объекта (вектор или скаляр) используются специальные словари. Определение правильности заполнения описания переменной происходит по специальному алгоритму, учитывающему наличие размерности у объекта, имя которого включено в состав фразы, и порядок следования фраз. При этом использование фразы, обозначающей объект, с которым могут быть сопоставлены размерность или/и вид математического объекта, разрешается только один раз. Вместе с тем, если фраза, в состав которой входит имя такого

объекта, выполняет в предложении роль обстоятельства, определения или дополнения, то она не влияет на распознавание размерности и вида математического объекта, и ее применение считается допустимым. При нарушении требований к описанию физического смысла переменной программа выдает ошибку вида «Непонятно описание переменной с «начало ошибочной фразы...конец описания»».

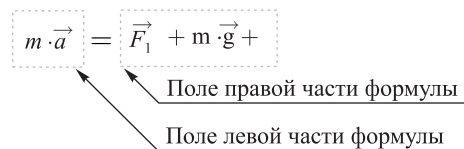


Рис. 3.

Запись формулы состоит из полей записи ее левой и правой частей (рис. 3). Внесение переменных, знаков действий (операндов) и функций в поля формулы в режиме редактирования формулы возможно как набором их на клавиатуре, так и выбором из уже созданных формул или описаний переменных щелчком по полю существующей переменной. Для набора символов греческого алфавита, обозначений функций и других специальных символов используется постоянно открытый Toolbar, расположенный сверху экрана. Внесение переменных, функций и операндов в поля формулы выполняется только слева направо, а удаление в любой последовательности.

Транслятор формулы создает вложенную структуру операций вычисления левой и правой частей формул, используя вложенную структуру ее графического изображения. При расчете показателя степени текстовая строка его формулы преобразуется в точно такую же вложенную структуру операций вычисления, но по иному алгоритму. При вычислении степеней переменных программа позволяет записывать формулу вида степень показателя степени, что является достаточным для всех мыслимых заданий по курсу физики средней школы. При этом, однако, в именах переменных, входящих в степень показателя степени, не могут использоваться индексы.

Транслятор формулы способен обслуживать записанные в инвариантном виде векторные операции сложения, умножения на число, вычисление модуля вектора по его проекциям и скалярного произведения, что позволяет осуществлять контроль правильности формулы, записанной в векторном (инвариантном) виде. При этом внутри программы векторы определяются их глобальными компонентами (координатами). Ось OX глобальной системы координат направлена слева направо, ось OY — снизу вверх, а OZ — от экрана к оператору.

При необходимости составитель или учащийся могут вводить вспомогательные системы координат, повернутые на любой угол вокруг оси OZ , направляя их оси параллельно или перпендикулярно выделенной линии. Для проверки правильности уравнений, записанных в разных системах координат и инвариантном виде, программа автоматически вычисляет компоненты векторов во всех введенных системах координат. При обнаруженной определенности всех компонент вектора хотя бы в одной из систем координат автоматически вычисляются компоненты вектора во всех остальных и его модуль.

Транслятор формулы способен вычислять и контролировать размерности величин и результатов математических преобразований. Предварительно размерность каждой объявленной переменной программным образом преобразуется в запись (структуру) — таблицу размерности, содержащую имена основных единиц измерения, показатели степеней для каждой из единиц, входящих в таблицу, и общий числовой множитель. Вычисление размерности результата алгебраического выражения производится сложением или вычитанием степеней одноименных единиц измерений, входящих в таблицы размерности, участвующих в алгебраическом выражении переменных, а вычисление численного значения перемножением (делением) числовых множителей в соответствии с формулой. Программа контролирует правильность работы с размерностями, выдавая ошибки при сложении величин, имеющих разную размерность, попытке

возвести величину в размерную степень, вычислить алгебраическую функцию от размерной величины, и т. п. Кроме того, программа следит за тем, чтобы размерности величин, используемых составителем, соответствовали одной и той же системе единиц. Аналогично отслеживается применение единиц одной и той же системы единиц при работе учащегося. При этом в зонах решения составителя и учащегося допускается применение разных систем единиц измерения.

Решение составителя косвенно контролируется транслятором при проверке соответствия полученного значения переменной его предыдущим значениям, а также равенства правой и левой частей записываемых уравнений общего вида. Такая проверка, при правильно составленном математическом описании задачи, сводит вероятность ошибки или описки составителя практически к нулю.

Формулы и уравнения, записанные учащимся, прежде всего проверяются на правильность работы с размерностями и только потом — на непротиворечивость результатов. При этом формулы присвоения также проверяются на соответствие вычисленных значений предыдущим значениям, поэтому в случае расхождения этих значений с теми значениями, которые получены составителем, возникает ошибка несоответствия значений, интерпретируемая программой как ошибочное решение. Проверка правильности составленных уравнений осуществляется путем проверки тождественности его правой и левой частей при подстановке значений переменных, вычисленных составителем.

Надежность проверки правильности решения задачи решающим образом зависит от качества математического описания задачи.

§ 3. Математическое описание задачи и ввод входных данных

Математическое описание задачи обеспечивает распознавание, вариабельность и возможность проверки решения, выполненного разными способами. Описание выполняется на внутри-программном языке и размещается в скрытой от учащегося части канвы экрана, заполняемой составителем. Формулы, входящие в описание, записываются так же, как и в остальных случаях.

Описание включает в себя объявление (описание) участвующих в задаче физических величин, ввод значений заданных величин, ввод формул, обеспечивающих полную определенность всех величин. В программе предусмотрена возможность введения случайных значений входных величин или непосредственно, или как функций набора случайных параметров, обеспечивающих непротиворечивость условия задачи. Это обеспечивает вариабельность задачи по входным данным, составляющую, в среднем, около пятидесяти вариантов.

Формулы связей между величинами могут вводиться в любом порядке. Однако от порядка следования формул зависит скорость выполнения расчетов. Поэтому математическое описание начинается с формул, связывающих величины, полностью определенные входными параметрами, а заканчивается контрольной записью формул присвоения в самом общем виде. Контрольная запись обеспечивает возникновение ситуации несоответствия ошибочного решения, выполненного составителем, правильному решению в случае, если составитель по какой-то причине не обеспечил полноту системы формул связи. Например, полностью определил модуль вектора, оставив неопределенными его проекции. В этом случае составителю будет сообщена ошибка вида «Значение величины нигде не определено» и указано на ошибочный вектор.

Для ускорения вычислений дублирующие формулы, возникающие по необходимости в тексте объяснения задачи, могут быть исключены из расчета. При этом функции, графики и справки для переменных, входящих в формулу, продолжают действовать, что позволяет программе обслуживать запись формулы и сообщать в HINT-ах физический смысл входящих в нее обозначений, имен функций и т. п.

Составленные текст и математическое описание могут быть отредактированы, например, для того, чтобы на основе имеющейся задачи создать новую задачу.

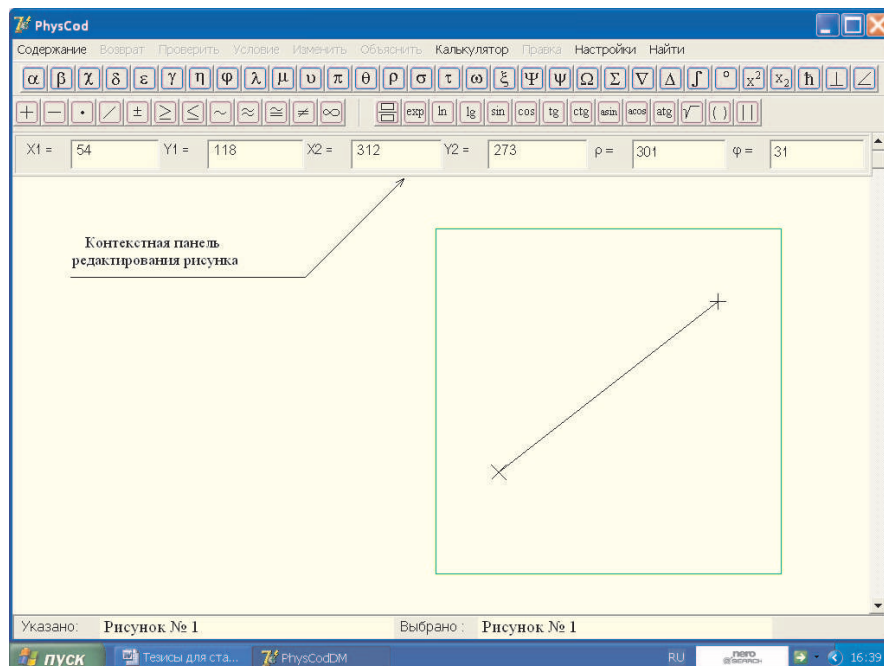


Рис. 4.

§ 4. Графический редактор

Построение отрезков прямых линий, векторов и лучей выполняется следующими способами: по координатам начальной и конечной точек; по координатам начальной точки, заданным углом к горизонтальной оси и длине; по координатам начальной точки, параллельно или перпендикулярно к выделенной прямой и длине.

Условное изображение неограниченной прямой линии выполняется по координатам начальной точки и заданному углу к горизонтальной оси или по координатам начальной точки параллельно или перпендикулярно к выделенной прямой.

Окружность строится по координатам центра и радиусу.

Эллипс строится по координатам центра, длинам горизонтальной и вертикальной полуосей.

Дуга окружности строится по координатам центра, радиусу и центральному углу.

Задание координат точки осуществляется в режиме редактирования рисунка либо указанием их курсором на поле рисунка, либо записью чисел в соответствующих полях контекстной панели редактирования рисунка.

Контекстная панель открывается сверху экрана при выборе режима построения соответствующей линии (рис. 4). При перемещениях курсора в поля панели автоматически выводятся его текущие координаты и, в зависимости от функции построения, другие параметры (длина, угол и т. п.). В поля панели можно вводить желаемое значение параметра набором текста и фиксировать нажатием клавиши «Enter». При этом введенное значение параметра фиксируется и при последующих перемещениях курсора не изменяется.

Для ускорения построения рисунков в программе предусмотрена привязка положения курсора к характерным точкам ранее построенной линии. Для прямых линий (отрезков, векторов, лучей) такими точками являются концы и середина линии. Для окружности точками привязки являются ее центр и концы вертикального и горизонтального диаметров, для эллипса — центр и концы осей, а для дуги — центр, концы и середина.

После построения линии ее положение на поле рисунка можно зафиксировать и связь привязанных точек устранить.

Конструктор программы позволяет составителю создавать параметризованные рисунки, необходимые для того, чтобы создавать изображения, соответствующие случайно выбирае-

тому варианту входных данных. При параметризации рисунка значения параметров линий задаются входными или вычисленными переменными, для этого с полем контекстной панели, определяющим значение желаемого параметра, достаточно связать имя соответствующей переменной.

Связывая характерные точки линий, строящихся впоследствии, с характерными точками параметризованных линий, можно построить любой объект, вид которого будет изменяться при изменении входных величин.

В программе предусмотрена возможность построения графиков зависимостей в заданной области определения. При этом построение линейных зависимостей можно выполнить построением отрезка прямой линии, а зависимостей других видов — указанием формулы зависимости для заданной области определения.

Контроль правильности построения учащимся линии осуществляется сравнением значащих свойств линии, построенной учащимся, с соответствующими свойствами линии, построенной составителем. Значимость свойств объектов определяется составителем программы.

§ 5. Предъявление сообщений об ошибках

Зоны ошибки в программе обозначаются красным цветом: линии рисуются, а переменные в формулах и ошибочные зоны обводятся красной рамкой. Характер ошибки можно определить, подведя курсор к ошибочной зоне и вызвав щелчком правой кнопки мыши контекстное меню. Характер ошибки будет сообщен после щелчка левой кнопкой по пункту контекстного меню «Что неверно?»; всего программой обрабатывается около 500 видов ошибок вычислений и графических построений.

Заключение

Предлагаемая программа позволяет контролировать решение физических задач в общем виде, распознавать ошибки и сообщать о них учащемуся с указанием характера ошибки. Благодаря примененной структурно-логической схеме программа позволяет осуществлять самодиагностику усвоения материала, быстро находить области неувоенного материала и, в конечном итоге, ликвидировать пробелы в знаниях.

Программа может быть использована для автоматизации проверки разделов В и С заданий ЕГЭ.

Авторы благодарны сотрудникам и преподавателям математического факультета УдГУ за конструктивные замечания, профессорам Г. Г. Исламову, А. П. Бельтюкову, Н. Н. Непейводе за участие в обсуждении работы, ценные замечания и моральную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фишман А. И., Скворцов А. И. Видеозадачник по физике. Части 1 и 2 — Нью Медия Дженерейшн.
2. Фишман А. И., Скворцов А. И. Видеозадачник по физике. Части 3 — Нью Медия Дженерейшн.
3. TeachPro. Физика. Механика. — М.: ММТ и ДО, 2001.
4. Уроки физики Кирилла и Мефодия. — М.: Кирилл и Мефодий, 2006.
5. TeachPro. Физика — учебник по физике. — М.: ММТ и ДО, 2007.
6. 1С:Репетитор. Физика 1,5. — М.: Фирма «1С».
7. Открытая физика. Версия 2.0. — М.: «Физикон».
8. Физика. Версия 2.0. — С.-П.: «Северный очаг».
9. Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1968. — 352 с.
10. http://www.mifp.ru/pedagogika/Ibk/IBI/distkurs/hip_dic/do/sr/s11.HTM
11. http://www.mifp.ru/pedagogika/Ibk/IBI/distkurs/hip_dic/do/sl/s38.HTM

Поступила в редакцию 19.06.2009

*V. P. Novozhilov, L. I. Zhdanova, S. R. Gallyamov***Training program «Physics in dialogue with computer “PhysCoD”»**

The program is intended for self-study course on the physics of high school. Designed to verify formula solutions in general terms, to check the correct graphics, to detect errors and determine their nature. The program can be used as a means of independent control of the solution.

Keywords: educational computer system, an educational interactive program, interactive training system, training program in physics, computer training program for physics, teaching program in physics.

Mathematical Subject Classifications: 03C,90C

В. П. Новожилов, к.ф.-м.н., доцент, кафедра теоретической физики Удмуртский государственный университет, главный инженер АНО «Технопарк «Удмуртия»», 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, E-mail: novozhilov_vp@mail.ru

Л. И. Жданова, к.ф.-м.н., доцент, кафедра общей физики, Удмуртский государственный университет, ведущий инженер АНО «Технопарк «Удмуртия»», 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, E-mail: lizlizhd@mail.ru

С. Р. Галлямов, ст. преп., кафедра общей физики, Удмуртский государственный университет, директор АНО «Технопарк «Удмуртия»», 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, E-mail: galser@uni.udm.ru