

## ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ КОЛЛЕДЖА ИНФОРМАТИКИ

Приведены примеры задач по электродинамике, используемые в учебном процессе Высшего колледжа информатики Новосибирского государственного университета. На представленном материале показано, что использование компьютерных методов существенно расширяет диапазон решаемых задач в отношении сложности и разнообразия применений полученных знаний. Численное вычисление интегралов и интегрирование дифференциальных уравнений позволяют обойти математические трудности, возникающие при решении физических задач. Графические методы и анимация позволяют представить результаты в наглядном виде и делают процесс решения задач более привлекательным.

**Ключевые слова:** задачи по физике, компьютерное моделирование.

Компьютерные технологии находят широкое применение в образовательном процессе, в преподавании физики в частности. Различным аспектам применения компьютеров в обучении физике посвящено большое количество работ. Например: классификация компьютерных моделей при обучении физике представлена в [1], описание различных типов задач для автоматизированного моделирования дано в [2], проблемы визуализации и наглядности решения физических задач рассмотрены в [3–4]. Однако, как отмечается в [3] при сопоставлении системы визуального моделирования и решения физических задач (СВИМЗ) с некоторыми программными продуктами, необходимость знания языков программирования дополнительно нагружает учебный процесс и сводит задачи по физике к изучению дополнительных предметов программирования и численных методов. Разумеется, это верно, когда речь идет об учащих массовых школах.

Но учащиеся и преподаватели физики колледжа информатики, физматклассов, физматшкол и других учебных заведений, где удельный вес информатики велик, находятся в выгодном положении. Преподаватель физики может абстрагироваться от проблемы преподавания программирования и концентрирует внимание на содержании задач. Учащиеся, по крайней мере, совершенствуют навыки программирования.

Далее будет рассматриваться изменение содержания преподавания физики применительно к возможностям учащихся, владеющих навыками программирования в достаточной степени, а не методика и способы подачи учебного материала. Еще одним отличием от цитированных работ [2, 4], где в качестве иллюстраций привлекается вполне традиционный материал: наклонная плоскость, движение автомобилей, т. е. задачи которые можно решить вне всякой связи с информационными технологиями, являются задачи, которые в подавляющем большинстве случаев требуют применения компьютера.

Дальнейшее изложение предполагает достаточную квалификацию читателя, поэтому решения за-

дач не приводятся, в некоторых случаях только результат в графической форме. Задачи не связаны с конкретным языком или пакетом. Обычно применялись Pascal и C++, реже пакет Mathcad.

*Организация обучения решению задач на компьютере*

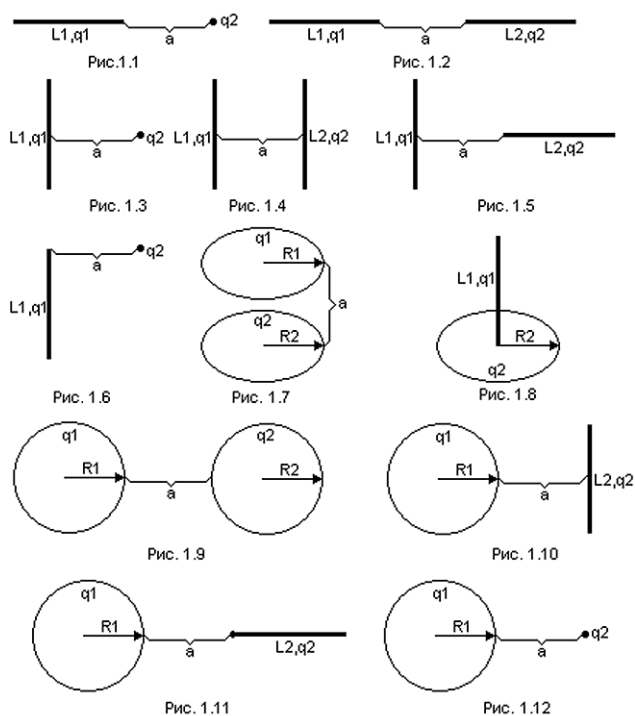
Учащиеся колледжа с первых дней пребывания в учебном заведении изучают программирование и приобретают соответствующую практику в компьютерных классах. Учитывая эти возможности, при изложении курса физики дается представление о вычислении пройденного пути при неравномерном движении, координат центра масс, работы силы, кинетической и потенциальной энергии тел с распределенной массой, доли молекул, имеющих скорости в заданном диапазоне с помощью распределения Максвелла, силы взаимодействия заряженных тел различной формы..., т. е. указывается на возможности вычислений с помощью численного интегрирования. При изучении динамики рассматривается интегрирование дифференциальных уравнений динамики с помощью метода Эйлера на физическом уровне и использование законов сохранения энергии, импульса и момента импульса для решения разнообразных задач, не решаемых аналитическими методами. Впоследствии на семинарах студенты вычисляют пройденный путь, работу, центра масс, момент инерции и т. д., т. е. в неявном виде вычисляются интегралы. Аналогично при использовании уравнений движения по существу рассматривается метод Эйлера для решения дифференциальных уравнений. В совокупности с формулой для скорости, полученной из закона сохранения энергии, все это служит основой для решения бесчисленного множества задач о периодах колебаний тел в различных полях, времени спуска и подъема по самым замысловатым траекториям и т. д. Сразу же следует заметить, что, например, задача о движении в поле двух тел (Земля–Луна) требует для своего решения более совершенных алгоритмов. Поэтому после изучения в курсе математики производных, интегралов, знакомства с дифференциальными уравнениями можно

перейти к использованию математических пакетов. Заметим в этой связи, что оптимальным с точки зрения обучения представляется Mathcad. Использование более мощных и совершенных алгоритмов дает возможность рассматривать более сложные задачи типа задачи трех тел.

В качестве примеров реализации изложенных идей рассмотрим задачи по электродинамике. Большое число представленных примеров показывает, что компьютерное решение задач можно сделать основным методом освоения физики, а не факультативным. Задачи по этому и другим разделам физики предлагались для решения на семинарах и в практикуме по решению задач на компьютере. Их можно найти на сайте ВКИ НГУ.

*Примеры задач по электродинамике*

Традиционно электродинамика начинается с закона Кулона. Стандартный набор задач по этой теме можно дополнить представленными на рис. 1.1.–1.12.



Найти силу и потенциальную энергию взаимодействия точечных и равномерно распределенных зарядов  $q_1$  и  $q_2$

В задачах требуется найти силу взаимодействия между зарядами, численные значения зарядов, размеров, расстояний могут задаваться преподавателем или самостоятельно. Принцип решения везде одинаков: для нахождения сил взаимодействия разбиваем равномерно заряженные тела на части, размеры которых малы, с характерными для задачи и с помощью принципа суперпозиции производим суммирование сил. Если есть симметрия в распре-

делении зарядов, то используем и ее. Часть из задач имеет аналитические решения, которые можно использовать для контроля. Предложенные конфигурации зарядов можно использовать для вычисления потенциальной энергии взаимодействия. Дополнив условия значениями масс заряженных тел, можно видоизменить постановку задач: найти ускорения, скорости на бесконечности при разлете.

Приведенные задачи могут служить иллюстрацией к понятию точечного заряда: чем больше расстояние между распределенными зарядами по сравнению с их размерами, тем ближе значение вычисленных сил взаимодействия распределенных и соответствующих точечных зарядов. Эти задачи могут служить для «экспериментальной» проверки вышеизложенного критерия точности. Также «экспериментальной» проверке можно подвергнуть утверждение о том, что на небольших расстояниях (по сравнению с размерами равномерно заряженных стержня, круга, квадрата и т. д.) можно пользоваться формулами для напряженности поля, полученными из теоремы Гаусса.

Динамические задачи в основном решаются с помощью второго закона Ньютона или закона сохранения энергии. Классикой жанра является моделирование опыта Резерфорда. Помимо этой важной задачи на наших занятиях предлагаются и другие, на рис. 2.1–2.9 представлены задачи по колебаниям зарядов. В большинстве задач требуется найти период колебаний при движении без трения по указанным кривым, а в задаче на рис. 2.5 необходимо построить графики зависимости координат зарядов от времени. Во всех задачах предполагается, что заряды, обозначенные буквой  $Q$ , остаются неподвижными. Ясно, что обычными методами нельзя получить решение, разве что в приближении малых колебаний. Даже на качественном уровне ответить на вопрос «Как зависит период колебаний  $T$  от амплитуды в задачах на рис. 2.4 и 2.9?» затруднительно, в отличие с математического маятника период  $T$  при увеличении амплитуды уменьшается. Кроме того, решение задач позволяет удостовериться, что гармонический характер колебаний наблюдается лишь при малых колебаниях.

Задачи на рис. 3.1–3.6 продолжают динамическую тему и решаются с помощью законов сохранения или динамических уравнений. Необходимо изучить движение зарядов вдоль указанных кривых. Можно разнообразить условия: определить время одного оборота, построить графики зависимости координат от времени или смоделировать движение с помощью анимации. Практика решения подобных задач позволяет получить от учащихся осмысленный и содержательный ответ на вопрос «Зачем нужен закон Кулона или формула для потенциальной энергии взаимодействующих зарядов?»

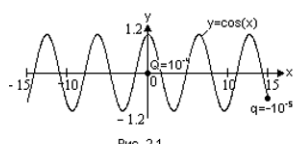


Рис. 2.1

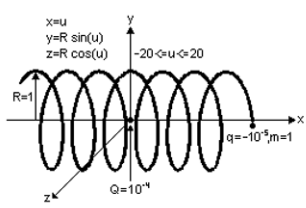


Рис. 2.6

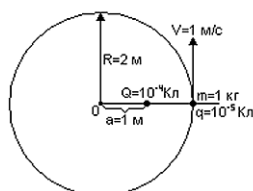


Рис. 3.1

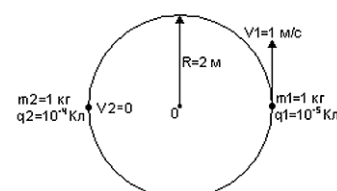


Рис. 3.2

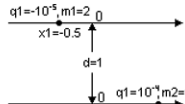


Рис. 2.2

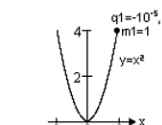


Рис. 2.7

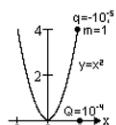


Рис. 2.8

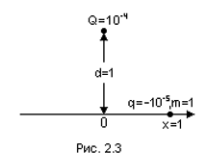


Рис. 2.3

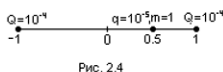


Рис. 2.4

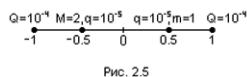


Рис. 2.5

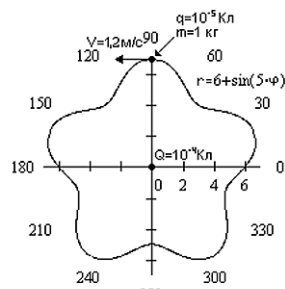


Рис. 3.3

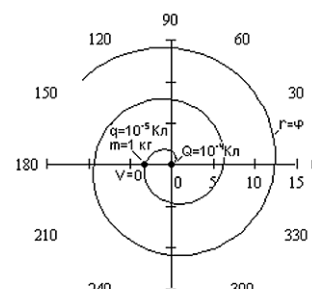


Рис. 3.4

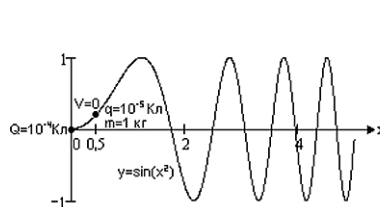


Рис. 3.5

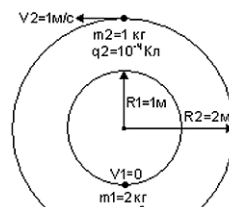


Рис. 3.6

Аналогично электростатике можно добавить к известным задачам упражнения на расчет магнитных полей, сил взаимодействия между токами и движения частиц в магнитном поле или в комбинированных электрическом и магнитном полях.

Рис. 4.1–4.4 отражают условия задач на расчет взаимодействия между токами и как необходимое условие – вычисление индукции магнитного поля. Рабочий инструмент: закон Био-Савара-Лапласа и закон Ампера. Численные значения токов и размеров произвольны. Некогда подобные задачи были уделом специалистов по математической физике, а сегодня компьютеры делают их рутинным упражнением продвинутых школьников и студентов. Можно предложить немало задач на движение в магнитном поле. При этом необходимо ознакомить учащихся с координатным представлением силы Лоренца, поскольку у компьютера нет левой руки. Следует заметить, что ниже следующая и ей подобные задачи являются хорошим аргументом для ответа на вопрос «Зачем нужно знать векторное произведение векторов и координатное представление векторного произведения?». Представление о возможностях, открывающихся в данном направлении, дает задача о движении протона в магнитном поле параллельных токов, в частном случае один из токов равен нулю. Анимация позволяет наглядно представить дрейф частицы в неоднородном поле, а также на содержательном уровне получить представление о сложности поведения плазмы в магнитном поле (к вопросу о проблеме управляемого термоядерного синтеза).

Определить координаты зарядов  $q_1, q$  при  $t = 1$  с. Начальные данные указаны на рисунках. Заряд  $Q$  неподвижен

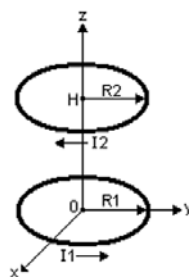


Рис. 4.1

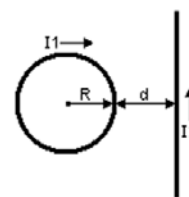


Рис. 4.2

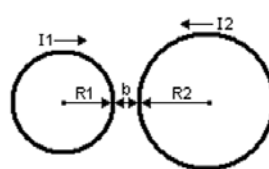


Рис. 4.3

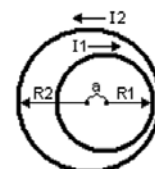


Рис. 4.4

Найти силы взаимодействия токов

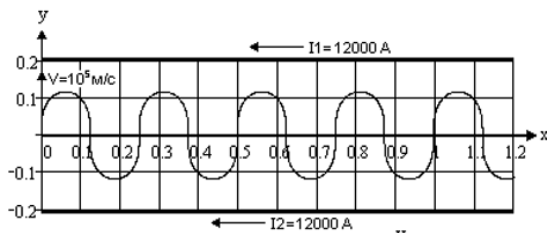


Рис. 5.1

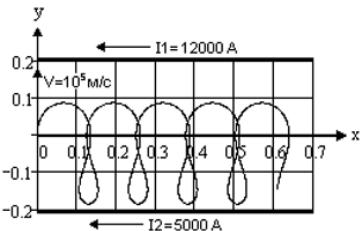


Рис. 5.2

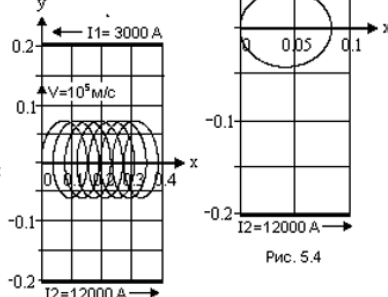


Рис. 5.5

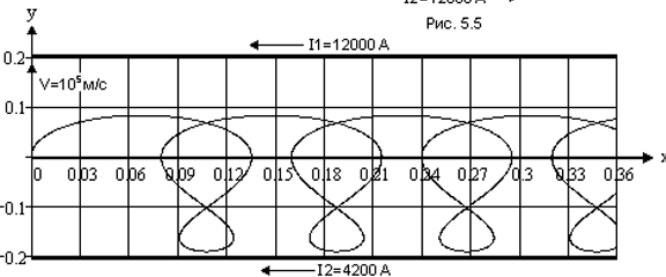


Рис. 5.3

Движение протона в поле двух параллельных токов

На рис. 5.1–5.5 видно, как изменение направления и величины токов меняет характер движения протона. Если одна частица обнаруживает столь сложное и разнообразное поведение, что говорить о плазме?

Закономерным является переход к комбинации электрического и магнитного полей. Необходимо лишь знать напряженность электрического поля в цилиндрическом магнетроне. Если учащиеся изучали теорему Гаусса, то могут сами вывести нужную формулу, в противном случае преподаватель должен ее дать. Модель можно снабдить вопросом «При каком напряжении между катодом и анодом возникнет ток?». На рис. 6.1–6.2 представлены результаты расчета движения электрона для плоского и цилиндрического магнетронов.

Расчетные задачи по электромагнитной индукции представлены на рис. 7.1 и 7.2. Задача, представленная на рис. 7.2, требует наряду с учетом изменения потока также учесть изменение периметра контура и, как следствие, влияние меняющегося сопротивления контура на силу тока в нем.

Еще до знакомства с понятием производной и соответственно дифференциального уравнения можно изучить процессы разряда и заряда конденсатора, использование конденсатора в фильтре вы-

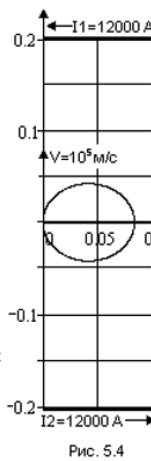


Рис. 5.4

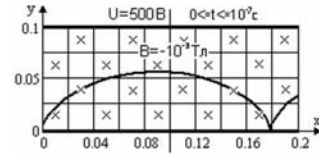


Рис. 6.1

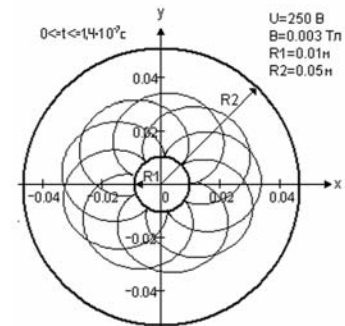


Рис. 6.2

прямителя, сдвиг по фазе переменного тока и соответственно фазовращающие цепи, а также моделирование RC-генератора, генератора прямоугольных колебаний на инверторе, генератора релаксационных колебаний на динисторе.

На рис. 8 представлена схема генератора прямоугольных колебаний на инверторе. Электронная схема выполняет функции логического отрицания, а все, что необходимо для моделирования генератора, описывается словами: если входное напряжение  $0 \leq U_{in} \leq 1$ , тогда на выходе  $U_{out} = 5$  В, если на входе  $4 \leq U_{in} \leq 5$  В то на выходе  $U_{out} = 0$ . На графике представлены входное  $U_{in}$  и выходное  $U_{out}$  напряжения как функции времени.

Еще одно упражнение, связанное с зарядом-разрядом конденсатора, – моделирование генератора релаксационных колебаний. На рис. 9 представлены ВАХ динистора, схема генератора и график зависимости напряжения  $U$  на конденсаторе от времени  $t$ . Все, что необходимо знать о динисторе для моделирования генератора, заключено в ВАХ и выражается словами: если напряжение на динисторе меньше  $U_{вкл} < 50$  В или ток через динистор становится меньше тока удержания  $I_{уд} = 15$  мА, то сопротивление динистора обращается в бесконечность, в противном случае сопротивление динистора становится равным нулю.

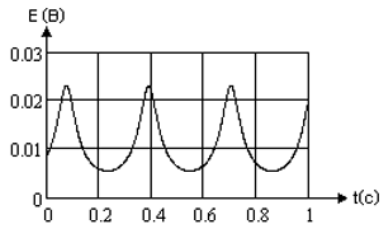
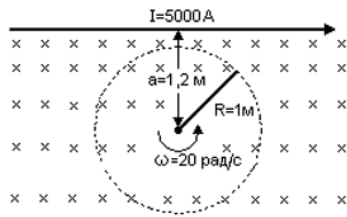


Рис. 7.1

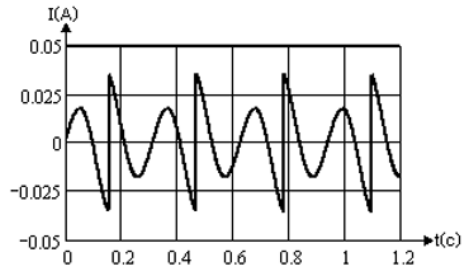
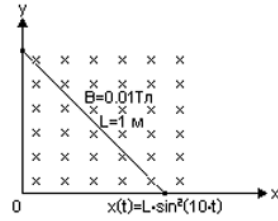


Рис. 7.2

Электромагнитная индукция

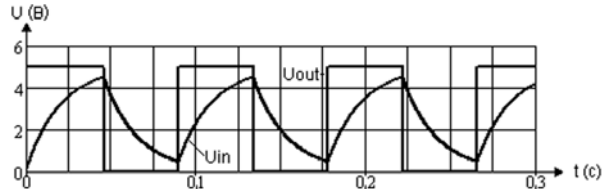
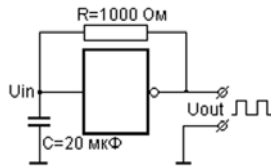


Рис. 8. Генератор прямоугольных колебаний на инверторе

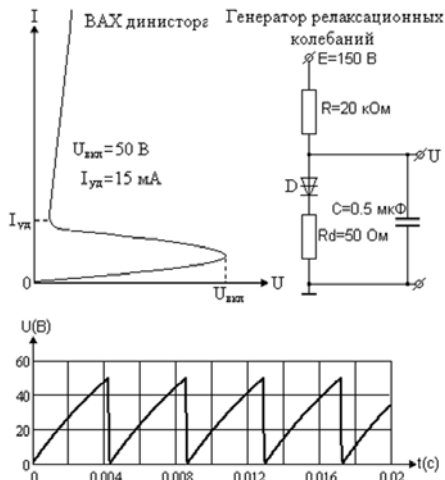


Рис. 9

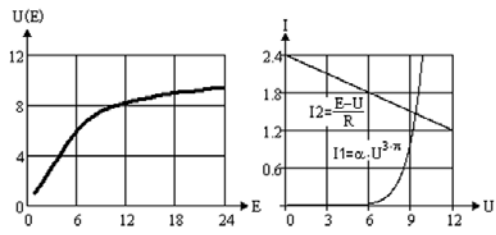
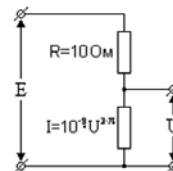


Рис. 10

Необъятная тема – нелинейные сопротивления. Она чрезвычайно важна поскольку там, где кончается закон Ома, начинается электроника. Ограничимся одним примером. На рис. 10 представлена задача о нелинейном сопротивлении. Требуется найти напряжение на нелинейном сопротивлении в зависимости от приложенной ЭДС,  $U = U(E)$ . Напряжение на нелинейном сопротивлении можно найти как графическим методом, так и численным методом решения нелинейного уравнения. Числен-

ный метод используется для построения графика зависимости  $U(E)$ . Из графика видно, что нелинейное сопротивление обладает стабилизирующими свойствами, т. е. если  $E$  меняется в 8 раз, то  $U$  в 3 раза. Дальнейшее изучение показывает, что стабилизирующее действие тем лучше, чем больше показатель степени нелинейности.

Изложенный материал использовался в течение ряда лет для проведения занятий с учащимися физматклассов и студентами колледжа. Учащиеся

в большинстве справляются с решением задач. Студенты колледжа, помимо более глубокого понимания физики, совершенствуют профессиональные навыки.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Применение компьютерных методов позволяет неограниченно расширять круг решаемых задач, даже не выходя за рамки знаний, предусмотренных стандартом.

2. Использование компьютеров дает возможность гораздо глубже и с разных сторон изучать модели физических явлений, пределы их применимости, а также выходить за их рамки.

3. С помощью численных методов можно в значительной степени обойти ограничения, связанные

с недостатком математических знаний, и сделать формулы, изученные в курсе физики, мощным инструментом для решения множества задач.

4. Применение графических методов и анимации делает процесс изучения физики более привлекательным.

5. Компьютеры делают более доступным изучение различных приложений физики: электроника, небесная механика и космические полеты и т. д.

6. Повсеместная доступность и распространение компьютеров делают необходимой разработку соответствующих физических задач для повседневной практики. Компьютерные методы должны выйти из разряда педагогических новаций и эпизодических применений и стать одним из основных средств изучения предмета.

### Список литературы

1. Оспенников Н. А., Оспенникова Е. В. Виды компьютерных моделей и направление использования в физике // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). Вып. 4 (94), 2010. С. 118–124.
2. Дмитриев В. М., Зелichenко В. М., Филиппов А. Ю., Шарова О. Н. Формализованное описание различного типа задач для автоматизированного моделирования // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). Вып. 2 (30), 2002. С. 73–77.
3. Зелichenко В. М., Дмитриев В. М., Шарова О. Н., Филиппов А. Ю. Решение физических задач с помощью системы визуального моделирования и решения задач (СВИМЗ) // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). Вып. 3 (54), 2006. С. 43–47
4. Ларионов В. В., Зелichenко В. М. О новом подходе к принципу наглядности в проблеме соотношения виртуальных и материальных носителей дидактических средств в методике обучения физике // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). Вып. 6 (57), 2006. С. 120–124.

Пипич П. В., преподаватель.

**Высший колледж информатики Новосибирского государственного университета.**

Ул. Русская, 35, Новосибирск, Россия, 630058.

E-mail pipich@ngs.ru

Материал поступил в редакцию 14.12.2015.

*Pipich P. V.*

### PROBLEMS IN PHYSICS FOR INFORMATICS COLLEGE

The article provides examples of problems in electrodynamics, used in the educational process of Higher College of Informatics of Novosibirsk state University. In the presented material it is shown that the use of computer methods significantly expands the range of problems in relation to complexity and variety of applications of acquired knowledge. Numerical evaluation of integrals and the integration of differential equations allows us to circumvent the mathematical difficulties encountered in solving physics problems. Graphical methods and animation allow you to present the results in a visual form and make the process of solving problems more attractive. The use of computers in the study of physics, refreshes, stimulates and improves programming skills, knowledge of numerical methods for solving mathematical problems. The obtained knowledge can be used when studying different applications of physics: electronics, mechanics. Experience has shown the need to introduce computer methods in standard program in physics and the development of appropriate teaching materials.

**Key words:** *physics problems, computer modelling.*

### References

1. Ospennikov N. A. Ospennikova E. V. Vidy komp'yuternykh modeley i napravleniye ispol'zovaniya v fizike [Types of computer models and their application in teaching physics]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2010, no. 4 (94), pp. 118–124 (in Russian).
2. Dmitriev V. M., Zelichenko V. M., Filippov A. Yu., Sharova O. N. Formalizovannoye opisaniye razlichnogo tipa zadach dlya avtomatizirovannogo modelirovaniya [The formalized description of different types of tasks for automated modeling]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2002, no 2 (30), pp. 73–77 (in Russian).

3. Zelichenko V. M., Dmitriev V. M., Sharova O. N., Filippov A. Yu. Resheniye fizicheskikh zadach s pomoshch'yu sistemy vizual'nogo modelirovaniya i resheniya zadach (SVIMZ) [The solution of physical problems by using systems of visual modeling and solving problems (SOVMSP)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2006, no. 3 (54), pp. 43–47 (in Russian).
4. Larionov V. V., Zelichenko V. M. O novom podkhode k printsipu naglyadnosti v probleme sootnosheniya virtual'nykh i material'nykh nositeley didakticheskikh sredstv v metodike obucheniya fizike [On a new approach to the principle of clarity in the problem of correlation between virtual and material media of teaching methods in the methodology of teaching physics]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2006, no. 6 (57), pp. 120–124 (in Russian).

Pipich P. V.

**Higher College of Informatics of Novosibirsk state University.**

Ul. Rysskaya, 35, Novosibirsk, Russia, 630058.

E-mail pipich@ngs.ru