УДК 378.016:537:004.94

А. В. Баранов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ В СТУДЕНЧЕСКИХ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

Баранов Александр Викторович
baranovav@ngs.ru
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», Россия, г. Новосибирск

COMPUTER MODELING AND VISUALIZATION OF CHARGED PARTICLES MOTION IN ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS IN THE STUDENTS' VIRTUAL LABS

Baranov Alexander Viktorovich
Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk

Аннотация. *В статье рассматриваются примеры программных разработок, выполненных студентами Новосибирского государственного технического университета в процессе организованной проектной деятельности. Разработки реализованы в форме виртуальных лабораторий, позволяющих проводить эксперименты с визуализацией во времени движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях.*

Abstract*. The article discusses examples of the software developments carried out by the students of the Novosibirsk State Technical University in the organized project activities. The developments are implemented in the form of virtual laboratories allowing to experiment with time visualization of charged particles motion in electric and magnetic fields.*

Ключевые слова: *проектная деятельность; компьютерное моделирование движения заряженных частиц; виртуальные лабораторные работы.*

Keywords: *project activity, computer modeling of charged particles motion, virtual labs.*

Моделирование движения заряженных частиц в электрических и магнитных полях является важным направлением в науке, поскольку оно связано как с исследованием ряда природных процессов (движение частиц в электромагнитных полях планет, звезд и галактик), так и с созданием технических устройств различного назначения (ускорители, электронные микроскопы, осциллографы, генераторы и усилители СВЧ) [1,8].

С задачами описания движения заряженных частиц студенты технических университетов впервые сталкиваются при освоении курса физики. В частности, выполнение определённых лабораторных работ предполагает анализ таких процессов. Дополнительное применение в лабораторном практикуме виртуальных лабораторных работ, динамически визуализирующих процессы движения частиц, существенно увеличивает наглядность и повышает эффективность практикума [6]. Как показывает опыт автора, ещё больший образовательный эффект может быть достигнут при организации самостоятельной деятельности студентов, связанной с компьютерным моделированием.

Автором организована проектная деятельность компьютерного моделирования при обучении физике студентов IT направлений Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) [3]. В результате этой деятельности бригады студентов создают программные продукты, моделирующие и визуализирующие физические процессы.

Тематика студенческих программных разработок включает, в частности, моделирование и визуализацию процессов, связанных с движением частиц. Последнее предполагает как классическое детерминистское описание с использованием понятия траектории [4], так и вероятностное квантовомеханическое описание, опирающееся на представление о волновых функциях [2,5].

В основе принимаемой разработчиками концептуальной физической модели процесса классического движения заряженных частиц в вакууме лежит нерелятивистское одночастичное приближение, традиционно используемое при решении многих задач [1]. При этом не учитывается электромагнитное излучение частиц и пренебрегается влиянием силы тяжести.

Нерелятивистское уравнение движения частицы с зарядом q и массой m, движущейся со скоростью $\vec{V}$ одновременно в электрическом поле с напряженностью $\vec{E}$ и магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, имеет вид [1]:

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = q\vec{E} + q\vec{V}\times\vec{B}$$

Очевидные преобразования приводят к трем эквивалентным скалярным уравнениям:

$$\ddot{x} = \frac{q}{m}E_x + \frac{q}{m}(B_z\dot{y} - B_y\dot{z}),$$

$$\ddot{y} = \frac{q}{m}E_y + \frac{q}{m}(B_x\dot{z} - B_z\dot{x}),$$

$$\ddot{z} = \frac{q}{m}E_z + \frac{q}{m}(B_y\dot{x} - B_x\dot{y})$$

Данная система дифференциальных уравнений имеет аналитические решения для однородных стационарных полей. В общем случае для решения системы студенты используют численные методы, например, метод Рунге-Кутты (предварительно система дифференциальных уравнений записывается в форме Коши) [7,8].

В процессе работы над проектами по моделированию движения заряженных частиц бригады студентов решают следующие задачи:

1. Выбор метода интегрирования дифференциального уравнения движения частицы (аналитический или численный).
2. Определение и программная реализация алгоритма, осуществляющего интегрирование уравнения движения с предсказанием значений пространственных координат и вектора скорости частицы в заданные моменты времени.
3. Разработка 3D-модели виртуальной установки для визуализации процесса движения частицы.
4. Разработка интерактивного графического интерфейса, позволяющего визуализировать движение частицы и изменять параметры моделирования.

Для программной реализации виртуальных лабораторных работ студенты используют языки высокого уровня C++ и C#, открытую графическую библиотеку OpenGL, платформы Visual Studio или NET Framework.

Две студенческие разработки, представленные в статье, являются компьютерными интерактивными имитационными моделями, визуализирующими во времени движение заряженных частиц в магнитном и электрическом полях.

Обе разработки программно реализованы в форме виртуальных лабораторий студентами второго курса Факультета прикладной математики и информатики (ФПМИ) в процессе организованной на кафедре Общей физики НГТУ проектной деятельности.

Виртуальный эксперимент «Движение заряженной частицы в магнитном поле»

Авторы разработки студенты ФПМИ НГТУ: А.В. Курзин, Д.А. Грибач, Д.Ю. Коротенко (гр. ПМ-62). В виртуальном эксперименте моделируется движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.

На рис.1. представлено главное окно графического интерфейса программы. Окно включает 3D-изображения движущейся частицы и её траектории.

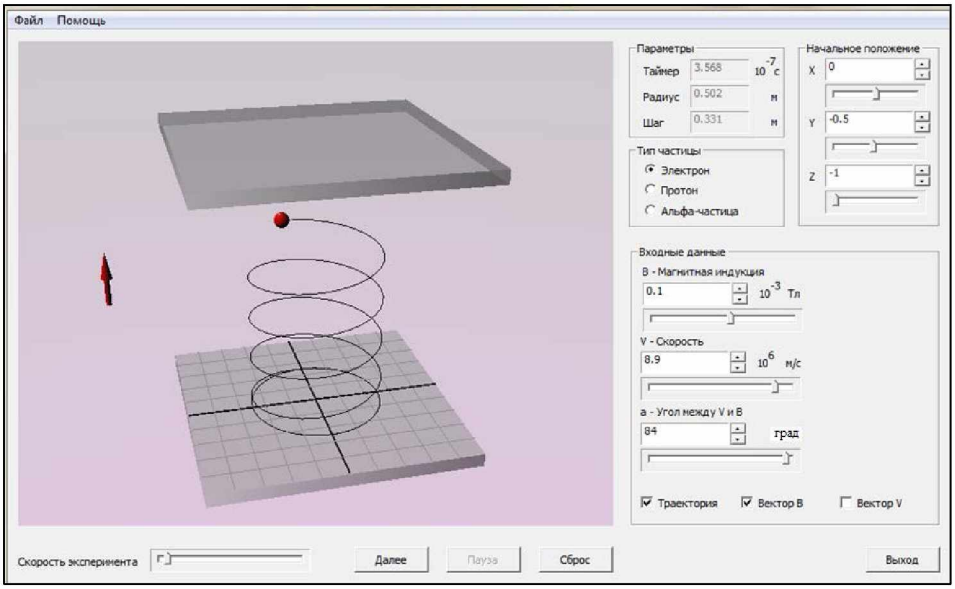

Рисунок 1 — Главное окно интерфейса виртуальной лаборатории «Движение заряженной частицы в магнитном поле»

На панели справа находятся элементы управления, позволяющие выбирать тип частицы (электрон, протон, альфа-частица), задавать начальные условия (координаты и вектор скорости частицы), изменять значение индукции однородного магнитного поля.

Нажатие кнопки «Старт» запускает динамическую визуализацию процесса движения частицы. Опции панели «Траектория», «Вектор B», «Вектор V» позволяют задавать или исключать визуализацию соответствующих графических изображений.

С помощью манипулятора «мышь» можно трансформировать 3D изображение, поворачивая его относительно трех ортогональных осей.

Виртуальный эксперимент «Движение электрона в электронно-лучевой трубке»

Авторы разработки студенты ФПМИ НГТУ: А.А. Гончаренко, Е.М. Лебедева, О.В. Поздняков [4]. В виртуальном эксперименте моделируется движение электронов в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) осциллографа с учетом воздействия на частицы электрических полей системы отклоняющих пластин.

На рис.2. представлено главное окно графического интерфейса программы.

3D изображение виртуальной ЭЛТ **включает источник электронов и систему отклоняющих пластин, напряженности электрических полей которых изменяются по гармоническим законам.** В виртуальном эксперименте визуализируется движение частиц от источника до экрана ЭЛТ с учетом пролета области электрических полей отклоняющих пластин. Попадание электрона на экран ЭЛТ визуализируется в форме точечного следа, оставляемого частицей. С течением времени на экране ЭЛТ образуется линия, формируемая в процессе последовательных попаданий электронов. Если периоды колебаний гармонически изменяющихся электрических полей отклоняющих пластин относятся как целые числа, то линия представляет собой фигуру Лиссажу.

На панели справа находятся элементы управления, позволяющие изменять режим выстрела электронов, изменять значения амплитуд, частот и фазового сдвига напряжений, подаваемых на отклоняющие пластины ЭЛТ. Опции панели управления позволяют устанавливать или отменять рисование траекторий электронов и линий напряженности для электрических полей отклоняющих пластин.

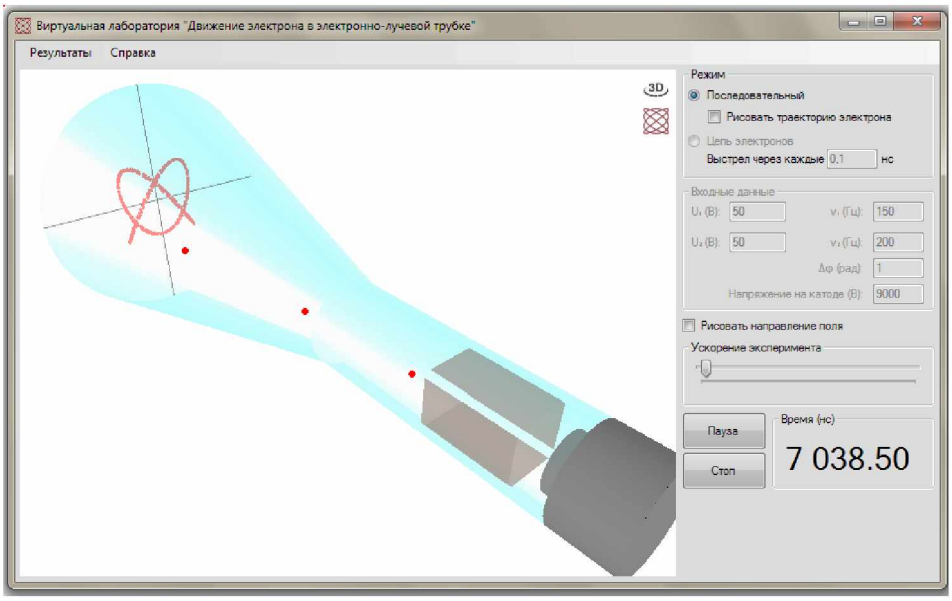

Рисунок 2 — Главное окно интерфейса виртуальной лаборатории «Движение электрона в электронно-лучевой трубке»

В главном окне интерфейса имеются кнопки-метафоры, позволяющие переключать режимы изображения (“3D” – “экран ЭЛТ”). Переключение режимов и возможные пространственные манипуляции с 3D изображением ЭЛТ производятся с помощью манипулятора «мышь».

Разработанные студентами виртуальные лаборатории «*Движение заряженной частицы в магнитном поле*» и «*Движение электрона в электронно-лучевой трубке*» используются как лекционные демонстрации и как лабораторные работы в практикуме кафедры Общей физики НГТУ. Наблюдение динамической визуализации движения заряженных частиц в электрическом и магнитном полях позволяет обучающимся более адекватно воспринимать и представлять изучаемые процессы.

Рассмотренные примеры студенческих разработок демонстрируют, что обучение физике в техническом университете может быть связано с привлечением студентов к решению задач компьютерного моделирования и разработке оригинального образовательного контента.

Список литературы

1. *Арцимович, Л. А.* Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. [Текст] / Л.А. Арцимович, С.Ю. Лукьянов. – М.: Наука. – 1978. – 224 с.

2. *Баранов, А.В.* Метод виртуальных проектов при изучении основ квантовой механики в техническом университете [Текст] / А. В. Баранов // Физическое образование в вузах. – 2010. – т. 16, №4. – С.26–34.

3. *Баранов, А.В.* Проектная разработка виртуальных лабораторных работ по физике для электронной среды обучения [Текст] / А.В. Баранов // Единая образовательная среда: направления и перспективы развития электронного и дистанционного обучения: материалы IX Международной научно-практической конференции-выставки (Новосибирск, 22-24 сентября 2010 г). – Новосибирск: Изд-во НГТУ – 2010. – С.71–73.

4. *Баранов, А.В.* Проектная разработка виртуальной лабораторной работы «Движение электрона в электронно-лучевой трубке» / А. В. Баранов, А. А. Гончаренко, О. В. Позднякова, Е. М. Лебедева [Текст] // Дистанционное и виртуальное обучение. - 2016. – № 9. – С. 99–108.

5. *Баранов, А.В.* Учебный компьютерный имитационный эксперимент «Визуализация в реальном времени квантовой интерференции одиночных молекул» [Текст] / А. В. Баранов, Е.Н. Волохович, К.А. Медведева, Д.В. Степин // Открытое образование. – 2015. – №3. – С.110–114.

6. *Кравченко, Н.С.* Изучение движения заряженной частицы в скрещенных стационарных электрическом и магнитном полях с помощью виртуальных лабораторных работ [Текст] / Н.С. Кравченко, О.Г. Ревинская // Физическое образование в вузах. – 2006. – Т.12, №3. – С. 109–116.

7. *Маликов, Р.Ф.* Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов: Учеб. пособие. [Текст] / Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БашГПУ, 2005. – 291 с.

8. *Розов, А.С.* Математические модели и методы анализа траекторий заряженных частиц в системах со скрещенными электрическими и магнитными полями: Дис…канд. физ.-мат. наук. [Текст] / А.С. Розов. – Саратов. – 2015. – 96 с.

УДК 378.147:004(045)

М. В. Ботя

К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Ботя Марина Валерьевна
marinabotya@gmail.com
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, г. Ижевск

TO A QUESTION ON CLASSIFICATION OF ELECTRONIC MEANS OF EDUCATIONAL PURPOSE

Marina Botya
Udmurt state university, Russia, Izhevsk

Аннотация. *В статье предпринимается попытка классификации электронных образовательных ресурсов. Электронные обучающие средства носят многослойный характер: по выполняемым функциям, их можно отнести к учебным изданиям, и соответственно, использовать принципы классификации, применяемые для учебной книги,*