

УДК 537.633.2:004.4'6

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И
МАГНИТНОМ ПОЛЯХ ПОСРЕДСТВОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССА В MATLAB**

**VISUALIZATION OF DYNAMICS OF PARTICLES IN ELECTRIC AND
MAGNETIC FIELDS BY MODELING OF THE PROCESS IN MATLAB**

А.А. Григорьев

кандидат физ.-мат. наук, доцент,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: agrig@bsuir.by

A.A. Grigoryev, Candidate in Physics and Mathematics, associate professor,
The Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk,
Belarus

Аннотация: рассматривается технологизация процесса обучения посредством визуализации результатов моделирования в математическом редакторе MATLAB.

Summary: the technologization of the learning process through the visualization of simulation results in the mathematical editor MATLAB has being regarded.

Ключевые слова: технологизация процесса обучения, MATLAB, электромагнетизм.

Keywords: technologization of the learning process, MATLAB, electromagnetism.

Технологизационные методы широко представлены в структуре образования, в том числе, и в предметном обучении. Основное направление действий заключено в том, чтобы определить и рационально распределить порядок процедур, которые обеспечивают доступность учебно-образовательного процесса, стремясь при этом к достижению максимальной последовательности, рациональности и простоте выполнения операций.

Технологические схемы учебно-образовательного процесса не только дают его образное представление для студентов, но и являются направляющими для принятия своевременных педагогических решений по конкретизации исходных принципов и идей обучения. Они являются необходимым звеном для составления методических схем, направленных на рационализацию и индивидуализацию процесса обучения. В педагогической технологии акцент делается на процессуальные и инструментальные аспекты обучения, на продуктивную деятельность обучаемых. В результате успешного

внедрения значительно усиливается организованность учебного процесса, целенаправленное руководство им, рационально осуществляется деятельность его участников, усиливается обратная связь.

Информационные технологии дают возможность использовать программную среду не только как средство обучения, но и как средство усиления интеллектуального потенциала студентов, что способствует улучшению их развития. Эти системы используются так же для управления учебной работой, а также, – как средство телекоммуникации.

При обучении естественнонаучным дисциплинам необходимо использовать программное обеспечение, которое может являться средой общения, редактирования математических объектов, моделирования процессов и средством презентации материала в лекционном режиме.

Для технологизации процесса подготовки студентов предлагается использовать MATLAB – пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования. Данный пакет ориентирован на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением. MATLAB предназначается для проектирования систем управления и во многих других научных и инженерных областях, используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования. MATLAB достаточно удобно использовать в образовании, в частности, для преподавания линейной алгебры и численных методов.

В качестве модельной задачи рассмотрим применение численных методов в описании динамики движения частиц с одним типом заряда в скрещенных электрическом и магнитном полях, что является модельной задачей для эффекта Холла. Для визуализации физических процессов воспользуемся следующими возможностями MATLAB: решение системы дифференциальных уравнений, построение интерполяционных кривых для функций координат и скоростей, построение анимированных графиков пространственных положений заряженных частиц.

Рассмотрим, как в такой среде можно построить физические модели движения частиц в силовых полях и какие методы дают улучшение наглядности физических явлений. Для численного решения системы дифференциальных уравнений, применим метод Рунге-Кутты 4-го порядка, которому в среде MATLAB соответствует встроенная функция $[t, F] = \text{ode45}(\text{@right}, tspan, F0)$, где $F0$ – вектор начальных скоростей и координат; $tspan = [0, 0.45]$ – начальное и конечное значения времени; @right – векторная функция, составленная из выражений правых сторон системы дифференциальных уравнений для проекций скоростей и координат. Временной интервал и количество разбиений N специально подбираются таким образом, чтобы при данных значениях первоначальных физических величин q, m, E, B можно было наблюдать необходимую нам картину. В данном случае, представляется интересным момент, когда траектория заряженной частицы уже не пересекает электрически заряженную поверхность проводника.

Для анализа траектории движения частицы перейдём от векторной формы 2-го закона Ньютона к системе дифференциальных уравнений 1-ого порядка для проекций скоростей и координат.

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{q \cdot B \cdot v_y}{m}, \quad \frac{dv_y}{dt} = \frac{q}{m} (B \cdot v_x - E), \quad \frac{dv_z}{dt} = 0,$$

$$\frac{dx}{dt} = v_x, \quad \frac{dy}{dt} = v_y, \quad \frac{dz}{dt} = v_z$$

На Рис.1 представлены траектории движения заряженных частиц на плоскости XOY в зависимости от величины напряжённости поперечного электрического поля E . Приведённые формы траекторий являются фрагментами анимационного процесса в среде MATLAB. Параметром анимации является шаг наращивания величины напряжённости электрического поля, которое, в свою очередь, определяется величиной индукции магнитного поля B .

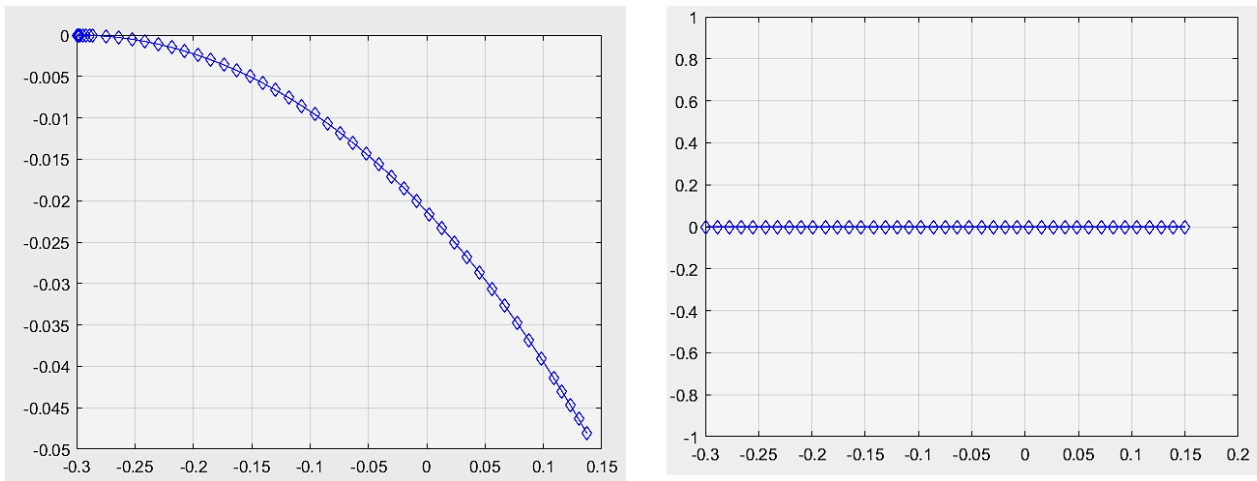
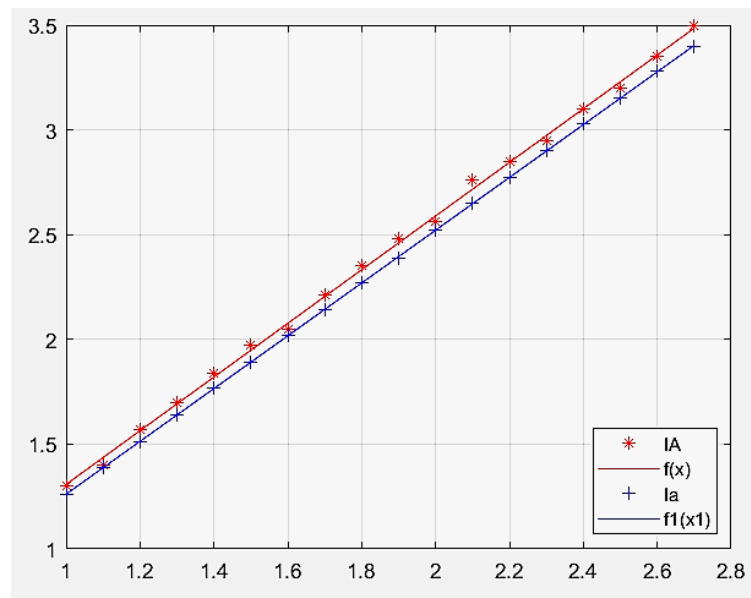


Рисунок 1 – Форма траектории движения заряженных частиц при значении напряжённости электрического поля 0 В/м и 0,25 В/м, соответственно.

Из рисунков следует, что чем больше значение напряжённости электрического поля, тем слабее смещение частицы по оси OY . Перейдём к определению величины тока электронов. Наша задача состоит в построении графиков зависимости поперечного тока от тока в проводнике и получении интерполяционных функций для них. Аппроксимация функций осуществляется в *MATLAB* по методу наименьших квадратов с помощью встроенной



функции *polyfit*.

Рисунок 2 – Графики зависимости поперечного тока от тока в проводнике и интерполяционные кривые для модельных и экспериментальных данных; $f(x)$ –

интерполяционная кривая для модельных значений; $f_1(x_1)$ – интерполяционная кривая для экспериментальных значений.

Данный ток создаётся частицами, попадающими на стенки проводника, а его величина определяется потоком вектора плотности тока $I = \int_0^{S_a} \vec{j} d\vec{S}$, где $\vec{j} = qn_e \cdot \vec{v}$, $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$, n_e – концентрация частиц, \vec{v} – скорость частиц. Наблюдаем хорошее совпадение результатов моделирования и эксперимента.

Данный метод позволяет изменять величины и координаты электрических зарядов и наблюдать изменение картины электростатического поля. В учебном классе или в режиме *on-line* технологизированный таким образом процесс позволяет индивидуализировать выполнение лабораторных работ или практических занятий. В рамках педагогических технологий значительно усиливается организованность учебного процесса, повышается привлекательность процесса обучения за счет использования программных продуктов и визуализации результатов.