

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В СРЕДЕ MATLAB

Борисюк Ф. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Григорьев А. А. – к.ф-м.н., доцент

Для технологизации процесса подготовки студентов предлагается использовать MATLAB. Рассмотрены численные методы моделирования движения электронов во взаимно ортогональных электрическом и магнитном полях на примере эффекта Холла.

MATLAB – пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете, ориентированные 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 прикладной задачи рассмотрим построение численной модели движения частиц с одним типом заряда в скрещенных электрическом и магнитных 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.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений, применим метод Рунге-Кутты 4-го порядка, которому в среде *MATLAB* соответствует встроенная функция:

$$[t, F] = \text{ode45}(@right, tspan, F0)$$

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 необходимо выбирать таким образом, чтобы при данных значениях первоначальных величин q, m, E, B можно было наблюдать необходимую нам картину, а именно, в окончательный момент времени траектория заряженной частицы будет параллельна поверхности 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.

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

На Рис.1 представлены траектории движения заряженных частиц 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.

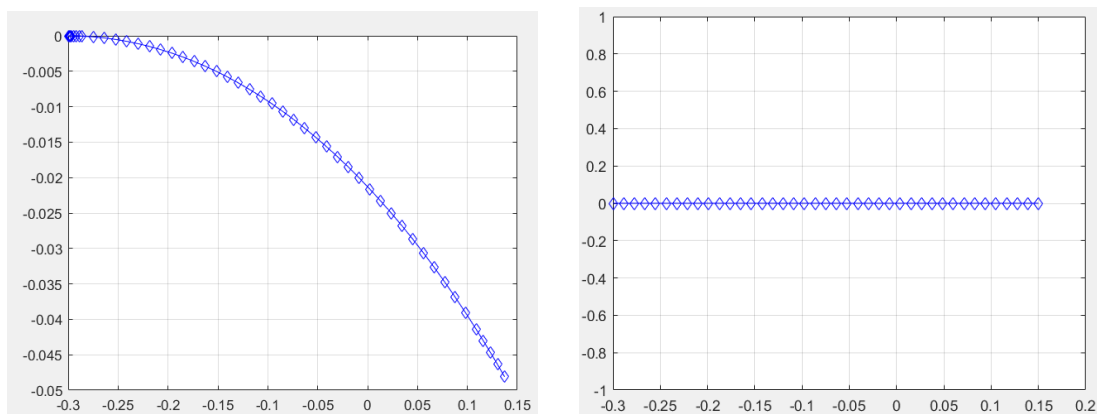


Рисунок 1 – Траектории движения заряженных частиц $y(x)$

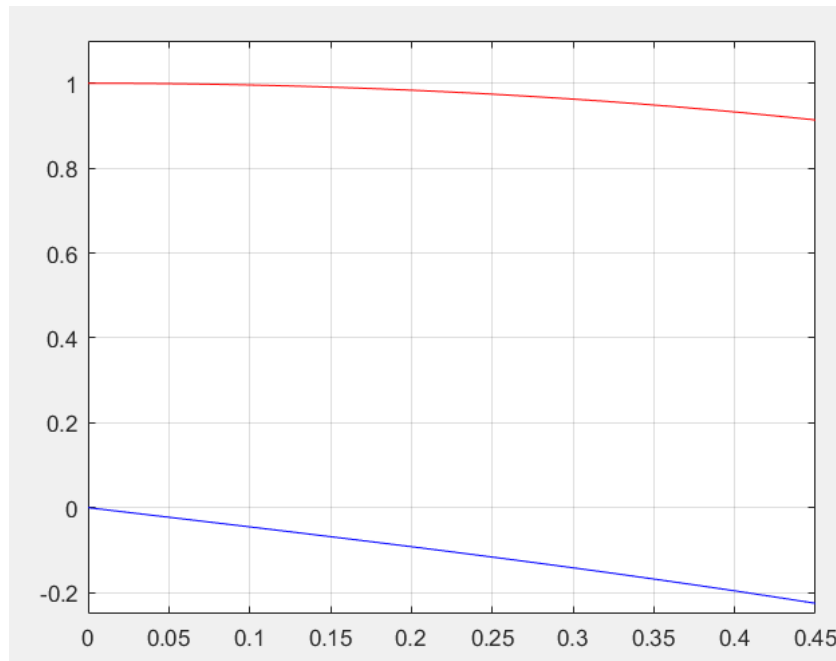


Рисунок 2 – Экспериментальные данные зависимости проекций скоростей частиц $v_x(t)$ (красный) и $v_y(t)$ (синий) от времени t в проводнике

Исследовав данные кривые, можно заметить, что в целом поперечный ток прямопропорционален току в проводнике. Это обусловлено тем, что при увеличении подаваемого напряжения, скорость движения электронов увеличивается, из-за чего воздействие магнитного поля на них увеличивается, что вызывает и увеличение разности потенциалов между стенками проводника, чтобы скомпенсировать все воздействия.

Наблюдаем хорошее совпадение результатов моделирования и эксперимента.