

А. А. Григорьев

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ В СРЕДЕ MATHCAD

Рассматривается технологизация процесса обучения посредством визуализации результатов моделирования в математическом редакторе MATHCAD.

Ключевые слова: технологизация процесса обучения, MATHCAD, электромагнетизм.

Введение. Достижения в области программного обеспечения сделали доступным широкий спектр компьютерных средств обучения для преподавания теории электромагнетизма. Учебные пособия и визуализации обычно нацелены на конкретные фундаментальные темы, для разработки которых требуются подробные знания программного обеспечения, и позволяют установить элементарную связь с другими соответствующими практическими темами.

Наличие приложений позволяют исследовать альтернативы в рамках представленного материала. Электронные книги *MATHCAD* обеспечивают платформу для обучения студентов, которая позволяет избежать недостатков других учебных программ и сочетает их с реальными лабораторными измерениями, для улучшения учебного опыта учащихся.

Процесс технологизации охватывает всю структуру образования, в том числе и предметное обучение. Наиболее важно технологизировать процессы, состоящие из большого числа последовательных этапов, стадий. Основной смысл технологизации заключен в том, чтобы определить и целесообразно распределить порядок процедур, обеспечивающих ход учебно-воспитательного процесса, стремясь при этом к достижению максимальной последовательности, рациональности и простоте выполнения операций. Технологические схемы учебно-воспитательного процесса базируются на следующих методологических требованиях: концептуальность, управляемость, системность и эффективность и ориентированы на принятие своевременных педагогических решений по конкретизации исходных принципов и идей обучения, для составления методических систем, для рационализации и индивидуализации учения.

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.

MATHCAD – система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением. Среда математического моделирования *MATHCAD* используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования, путем использования распределённых вычислений и традиционных языков программирования. *MATHCAD* достаточно удобно использовать для обучения, вычислений как физических, так и инженерных расчетов. Открытая архитектура приложения в сочетании с поддержкой технологий *.NET* и *XML* позволяют легко интегрировать *MATHCAD* практически в любые ИТ-структуры и инженерные приложения. Есть возможность создания электронных книг (*e-Book*).

Для экспериментального исследования характеристик движения частиц, имеющих магнитный момент, применяется неоднородное магнитное поле. В качестве меры его неоднородности вдоль вертикальной оси *OZ* (рисунок 1) используется функция градиента $\frac{\partial B_z}{\partial z}$. Рассмотрим модель, в которой используется неоднородное магнитное поле, созданное двумя длинными параллельными проводниками, в которых токи текут в противоположных направлениях.

$$D(t, V) := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{p_m \cdot 2 \cdot \mu \cdot V_5 \cdot 10^4}{\pi \cdot [a^2 + (V_5)^2]} \\ v \\ 0 \\ 0.005 \cdot v \end{bmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{pmatrix} \quad V_0(k) := \begin{pmatrix} v \\ 0 \\ v \\ 0 \\ \frac{a}{10} \cdot k \\ z_0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 1 – а) вектор производная; б) вектор переменных; в) вектор начальных значений

Рассмотрим, как в среде *MATHCAD* можно произвести расчет величины индукции магнитного поля на оси *OZ* проводников с токами *I*, которые удалены на расстояние *2a* друг от друга, и расположены симметрично относительно оси *OX*.

Воспользуемся известной формулой для индукции поля системы проводников: $B_z = \mu_0 2I \frac{a}{\pi(z^2 + a^2)}$. Средствами *MATHCAD* выполняем дифференцирование данного выражения по переменной *z* и получим величину производной индукции магнитного поля как функцию координаты *z*: $\frac{\partial B_z}{\partial z} = \frac{4\mu_0 a z I}{\pi(z^2 + a^2)^2}$. Для анализа траектории движения частицы с магнитным моментом в неоднородном магнитном поле перейдем от векторной формы 2-го закона Ньютона к системе дифференциальных уравнений 1-го порядка для проекций скоростей и координат.

Численно решим данную систему дифференциальных уравнений, применив метод Рунге-Кутты 4-го порядка, которому в среде *MATHCAD* соответствует встроенная функция: $V_k = rkfixed(V0(k), t0, t, N, D)$, где *V0* – вектор начальных скоростей и координат; *t0* – начальное значение времени; *t* – конечное; *N* – число разбиений данного временного интервала; *D* – векторная функция, составленная из выражений правых сторон системы дифференциальных уравнений для проекций скоростей и координат (рисунок 1).

Получив функции координат от времени, можно построить график траектории движения частицы с магнитным моментом. На графике (рисунок 2) наблюдаем ее отклонение вверх. Отклонение вниз получается при противоположном знаке проекции магнитного момента на направление магнитного поля.

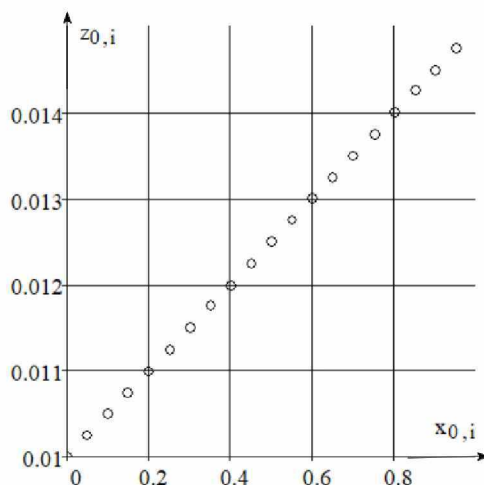


Рисунок 2 – Траектория движения частицы в вертикальной плоскости *ZOX*

Данная модель может быть применена для визуализации расщепления пучка атомов при объяснении опыта Штерна-Герлаха.

Концептуально 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 технологии используются как для повышения управляемости учебной работы, так и как средство телекоммуникации.

В рамках педагогических технологий значительно усиливается организованность учебного процесса, повышается эффективность и привлекательность процесса обучения за счет использования программных продуктов и визуализации результатов работы.