

Лабораторная работа № 2

Моделирование движения заряженных частиц в электромагнитных полях

Цель работы: получить навык численного моделирования движения заряженных частиц в электромагнитных полях.

Краткие теоретические сведения

Моделирование движения частиц в электромагнитном поле практически ничем не отличается от моделирования движения под действием переменных сил. При движении необходимо учитывать электромагнитные силы.

Сила Кулона. Между любыми двумя электрическими точечными зарядами действуют силы, прямо пропорциональные произведению зарядов и обратно пропорциональные квадрату расстояния между ними (рис. 11.1)

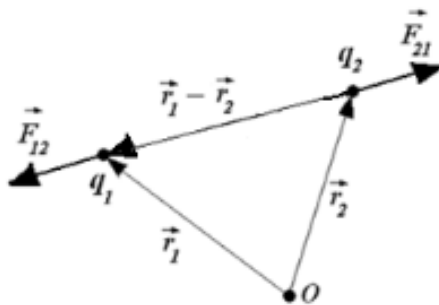


Рис. 11.1

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} \cdot (\vec{r}_1 - \vec{r}_2),$$

где \vec{F}_{12} – сила Кулона, действующая на точку с зарядом q_1 , со стороны другой материальной точки, обладающей зарядом q_2 , \vec{r}_1 и \vec{r}_2 – соответственно радиус-векторы первой и второй точек. Коэффициент ϵ_0 на-

зывается диэлектрической постоянной и численно равен

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{м}^3 \cdot \text{кг}}.$$

Сила, действующая на заряженную частицу в электрическом поле:

$$\vec{F} = q\vec{E},$$

где q – заряд рассматриваемой частицы, \vec{E} – вектор напряженности электрического поля.

Сила Лоренца:

$$\vec{F} = q[\vec{V}, \vec{B}],$$

где \vec{V} – скорость рассматриваемой частицы, \vec{B} – вектор индукции магнитного поля.

Задания на лабораторную работу

Задание 1. Моделирование опыта Резерфорда

α -частицы с кинетической энергией 4 МэВ, массой $1,39 \cdot 10^{-27}$ кг и зарядом $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, рассеиваются тонкой золотой фольгой. Построить траектории движения частицы, приближающейся к ядру с расстояния $L = 10^{-12}$ м, в зависимости от прицельного расстояния p_0 ,

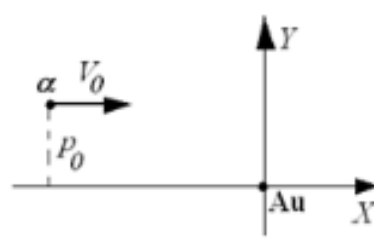


Рис. 11.2

значения которого приведены в табл. 11.1. Считать ядро атома золота неподвижным и имеющим заряд $1,26 \cdot 10^{-17}$ Кл. Принять время расчета 10^{-19} с.

Определить угол рассеяния θ . Результаты занести в табл. 11.2

Таблица 11.1

Номер варианта	$p_0, 10^{-15}$ м				
	частица 1	частица 2	частица 3	Частица 4	Частица 5
1	1	10	50	90	300
2	2	20	40	80	200
3	3	30	70	110	700
4	1	5	30	60	100
5	2	20	60	120	400
6	3	30	90	200	500
7	1	10	20	40	80
8	2	10	40	70	150
9	3	20	50	100	600
10	1	5	10	20	50
11	2	15	45	90	300
12	3	20	70	120	600

Таблица 11.2

$p_0, 10^{-15}$ м					
$\theta, ^\circ$					

Задание 2. Как известно, опыт Резерфорда опроверг гипотезу Томсона о строении атома. Согласно Томсону, положительный заряд атома равномерно распределен в достаточно большой области (кекс с изюмом). Пусть положительный заряд атома золота располагается внутри диэлектрического шара радиусом $R = 10^{-13}$ м. Тогда он создает электрическое поле с напряженностью, вычисляемой по формуле:

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{q\vec{r}}{4\pi\epsilon_0 R^3} & \text{при } r < R \\ \frac{q\vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3} & \text{при } r > R \end{cases}, \epsilon = 1$$

Вычислить траектории и углы рассеяния заряженных α -частиц, приведенных в первом задании. Результаты занести в табл. 11.3.

Таблица 11.3

$p_0, 10^{-15} \text{ м}$					
$\theta, ^\circ$					

Задание 3. Построить траектории движения заряженных частиц, влетающих в стационарное магнитное поле под разными углами α ($\alpha_1 = 0^\circ$; $\alpha_2 = 30^\circ$; $\alpha_3 = 60^\circ$; $\alpha_4 = 90^\circ$). Сделать вывод о зависимости формы траектории частицы от угла α . Модуль вектора магнитной индукции B , заряд q , массу m и начальную скорость V_0 частицы взять из табл. 11.4.

Таблица 11.4

Номер варианта	B	q	m	V_0
1	3	2	1	1
2	1	1	1	1
3	2	1	1	3
4	3	2	4	2
5	3	2	1	2
6	0,5	4	1	3
7	4	0,5	1	2
8	2	1	2	1
9	1	2	1	3
10	2	2	2	2
11	2	4	1	3
12	2	3	2	3

Задание 4.

При решении данного задания в некоторых вариантах учесть следующие константы: заряд электрона $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

Варианты 1-3. Построить траекторию движения электрона, находящегося на первой боровской орбите атома водорода, если атом водорода находится в магнитном поле с индукцией B . Вектор \vec{B} направлен параллельно плоскости, в которой в начальный момент времени находилась орбита электрона. Скорость электрона $V = 2 \cdot 10^6$ м/с, первый боровский радиус $a = 5,29 \cdot 10^{-11}$ м. Заданы: время движения электрона $T = 10^{-15}$ с; масса электрона. Значение модуля вектора магнитной индукции принять:

Вариант 1. $B = 3$ Тл;

Вариант 2. $B = 30000$ Тл;

Вариант 3. $B = 2 \cdot 10^4 \cdot \sin(vt)$, где $v = 10^{16}$ с $^{-1}$.

Варианты 4-6. Построить траекторию движения электрона, влетающего в переменное магнитное поле под углом α со скоростью

10^6 м/с. Вектор индукции магнитного поля \vec{B} направлен вдоль координатной оси OZ и изменяется по закону $B = B_0 \cos(2\pi \nu t)$. Заданы: время движения электрона $T = 3 \cdot 10^{-10}$ с; $\nu = 10^{10}$ Гц.

Вариант 4. $B_0 = 2$ Тл; $\alpha = \pi/6$.

Вариант 5. $B_0 = 5$ Тл; $\alpha = \pi/6$.

Вариант 4. $B_0 = 2$ Тл; $\alpha = \pi/2$.

Варианты 7 и 8. Построить график движения заряженной частицы, влетающей в переменное магнитное поле под углом $\alpha = 30^\circ$. Вектор магнитной индукции \vec{B} параллелен оси OX . В начальный момент времени частица находилась в начале координат и ее скорость была параллельна плоскости XOY . Принять $q = 2$, $m = 1$. Время расчета $T = 10$.

Вариант 7. $B = 5y$.

Вариант 8. $B = 5y + 2$.

Вариант 9. Построить график движения заряженной частицы, движущейся с скрещенных электрическим и магнитном полях. Вектор напряженности электрического поля \vec{E} направлен вдоль оси OZ , а вектор индукции магнитного поля \vec{B} - вдоль оси OX . Принять $B = 2$, $E = 1$. В начальный момент времени частица покоилась в начале координат.

Вариант 10. Электрон движется около проводника с током, расположенным вдоль оси OZ . Сила тока равна 1 А. Начальное положение электрона имеет координаты $(-0,1$ мкм; 1 мкм; 0). Начальная скорость направлена вдоль оси OX и равна 1000 м/с. Время расчета $T = 10^{-8}$ с.

Вариант 11. Электрон движется около проводника с током, расположенным вдоль оси OZ . Сила тока равна 0,5 А. Начальное положение электрона имеет координаты $(-1$ мкм; 1 мкм; 0). Начальная скорость направлена вдоль оси OZ и равна 1000 м/с. Время расчета $T = 3 \cdot 10^{-9}$ с.

Вариант 12. Построить траектории движения частиц в электромагнитном поле, создаваемом заряженным проводником с током. Проводник располагается вдоль оси OZ . Линейная плотность заряда $\lambda = 10^{-15}$ Кл/м. Сила тока в проводнике $I = 1$ А. Начальное положение электрона имеет координаты $(0,01$ м; 0; 0), начальная скорость равна нулю. При моделировании удобнее пользоваться формулой напряженности поля, создаваемой нитью, в виде $\vec{E} = \frac{\lambda \cdot [\vec{k}, \vec{r}] \cdot \vec{k}}{2\pi\epsilon_0 [\vec{k}, \vec{r}]^2}$, где \vec{r} – радиус-вектор точки, \vec{k} – единичный вектор в направлении тока.