

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.9

Определение удельного заряда частицы методом отклонения

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебниках: [1], гл. 14, § 115.2; [2], гл. 23, §23.3. Запустите программу «Электричество и магнетизм». Выберите «Масс-спектрометр». Нажмите сверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения и запишите в свой конспект. Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ, с.5 еще раз.

Цель работы

- Знакомство с компьютерным моделированием движения заряженных частиц в магнитном поле.
- Ознакомление с принципом работы масс-спектрометра.
- Определение удельного заряда частиц.

Краткая теория

Сила Лоренца - сила, действующая на частицу с зарядом q , движущуюся со скоростью v в однородном магнитном поле с индукцией \mathbf{B} :

$$\vec{F} = q[v\vec{B}] \quad (1)$$

Модуль этой силы равен

$$F = qvB\sin\alpha, \quad (2)$$

где α - угол между векторами v и \vec{B} . Сила Лоренца направлена перпендикулярно скорости частицы, сообщает ей только нормальное ускорение и вызывает искривление траектории частицы.

Если частица влетает в однородное магнитное поле в направлении, перпендикулярном линиям магнитной индукции, то частица будет двигаться по дуге окружности, плоскость которой перпендикулярна линиям индукции. Радиус окружности можно найти из второго закона динамики

$$m\frac{v^2}{R} = qvB. \quad (3)$$

Удельным зарядом частицы называется отношение заряда частицы к её массе. Тогда из формулы (3) удельный заряд будет равен

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{RB}. \quad (4)$$

Период обращения частицы $T = \frac{2\pi R}{v}$ равен:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}, \quad (5)$$

и не зависит от скорости.

Масс-спектрометром называется прибор для разделения ионизированных молекул и атомов (изотопов) по их массам, основанный на воздействии электрических и магнитных полей на пучки ионов, летящих в вакууме.

Простейшая модель масс-спектрографа показана на рис. 1.

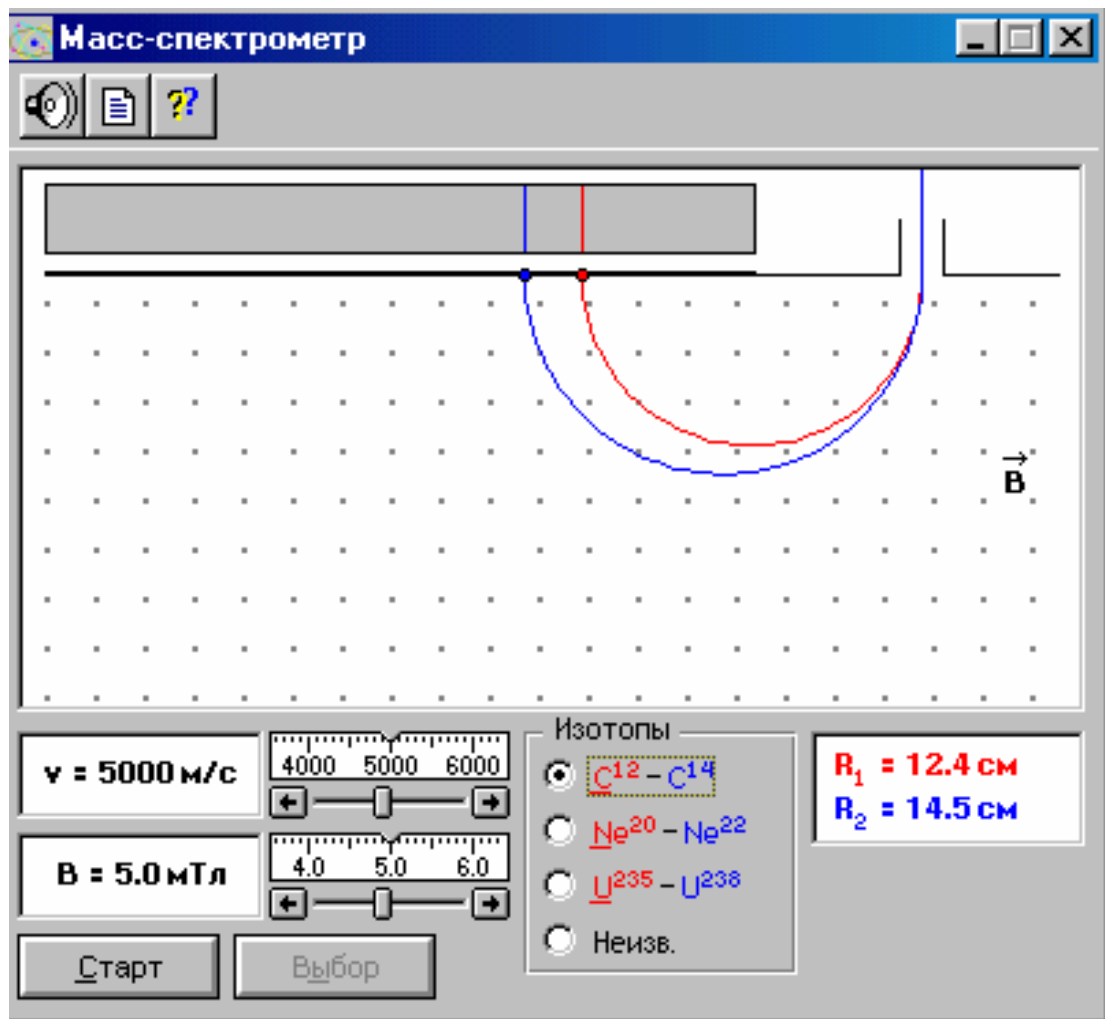


Рис. 1

Методика и порядок измерений

1. Подведите маркер мыши к движку регулятора величины магнитной индукции, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, двигайте движок, установив числовое значение B , взятое из табл. 1 для вашей бригады.
2. Аналогичным образом, зацепив мышью движок регулятора скорости, установите минимальное значение 10^3 м/с.
3. Нажмите мышью кнопку «Изотопы C^{12} - C^{14} ».
4. Нажмите мышью кнопку «Старт» и синхронно секундомер. Проследите за движением двух изотопов в магнитном поле модельного масс-спектрометра и по секундомеру определите время этого движения.
5. Запишите в таблицу по форме 1 значения радиусов окружностей, по которым двигались эти изотопы (они показаны красным и синим цветом в правом углу окна) и время движения изотопов в вакуумной камере масс-спектрометра.
6. Последовательно увеличивая скорость частиц на 10^3 м/с, проделайте пп.4-5 ещё 9 раз и заполните таблицу по форме 1.
7. Нажмите мышью кнопку «Изотопы Ne^{20} - Ne^{22} », проведите измерения пп.4-6 и заполните таблицу по форме 1.
8. Проведите аналогичные измерения с изотопами урана и неизвестного химического элемента и заполните таблицу по форме 1.

Значения магнитной индукции B

Табл. 1

Номер бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
B , мТл (табл.2,3)	1	2	3	4	5	6	7	8
B , мТл (табл.4,5)	9,0	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7

Результаты измерений и расчётов

Форма 1

 $B =$

$v \cdot 10^3$, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_1 , см										
R_2 , см										
$T_{1/2}$, с										
q_1/m_1 , Кл/кг										
q_2/m_2 , Кл/кг										
Табличные значения: $q_1/m_1 =$ _____ $q_2/m_2 =$ _____										

Обработка результатов и оформление отчета

1. Вычислите по формуле (4) удельные заряды изотопов углерода, неона, урана и неизвестного химического элемента и запишите полученные значения в соответствующие таблицы.
2. Используя справочные материалы по физике и химии, определите табличные значения удельных зарядов исследованных изотопов и сравните их с результатами, полученными в опыте.
3. Постройте график зависимости времени пролёта изотопов в камере масс-спектрометра от их скорости и сделайте выводы по результатам анализа этого графика.
4. Проведите оценку погрешностей проведённых измерений.

табличные данные:

атомная единица массы (а.е.м.) = $1,660 \cdot 10^{-27}$ кг.

элементарный заряд $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Как определяется направление действия силы Лоренца?
2. Почему сила Лоренца не совершает работы?
3. Как будет двигаться заряженная частица в магнитном поле, если угол α между векторами \vec{B} и v меньше $\pi/2$?
4. Ионы двух изотопов с массами m_1 и m_2 , имеющие одинаковый заряд и прошедшие в электрическом поле одинаковую ускоряющую разность потенциалов, влетают в магнитное поле перпендикулярно силовым линиям магнитного поля. Найдите отношение радиусов окружностей, по которым будут двигаться ионы в магнитном поле.
5. Определите, во сколько раз изменится радиус окружности, по которой заряженная частица движется в однородном магнитном поле, если её кинетическую энергию увеличить в n раз?
6. Определите удельный заряд иона, который в масс-спектрометре совершает один оборот за 628 мкс в однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл.
7. Пучок ионов, влетающих в вакуумную камеру масс-спектрометра перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля, расщепляется (рис. 2). Определите, какая траектория соответствует большему импульсу, если ионы имеют одинаковые заряды, но разные импульсы; большему заряду, если частицы имеют одинаковые импульсы, но разные заряды?

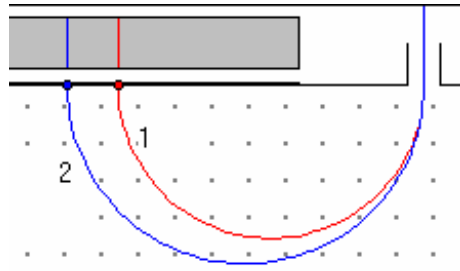


Рис. 2

8. Два электрона движутся в одном и том же однородном магнитном поле по орбитам с радиусами R_1 R_2 ($R_1 > R_2$). Сравните их угловые скорости.
9. В однородном магнитном поле движутся по окружностям протон и α -частица, имея равные кинетические энергии. Какая из этих частиц будет иметь орбитальный магнитный момент и период вращения больше и во сколько раз?
10. Заряженная частица влетела в однородное магнитное поле под углом $\alpha < \pi/2$ между векторами \vec{B} и v . Определите, отличны ли от нуля тангенциальная и нормальная составляющие ускорения частицы?
11. Заряженная частица летит прямолинейно и равномерно в однородном поле, представленном суперпозицией взаимно перпендикулярных электрического (напряжённостью \vec{E}) и магнитного (индукцией \vec{B}) полей. Найдите скорость движения частицы.
12. Заряженная частица вращается в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиуса R . Параллельно магнитному полю возбуждается электрическое поле напряжённостью E . Определите, сколько времени должно действовать электрическое поле, чтобы кинетическая энергия частицы возросла в два раза?