

# Удельный заряд электрона – $e/m$



Физика

Современная физика

Квантовая физика

Химия

Физическая химия

Структура атома и его свойства



Уровень сложности

твёрдый



Размер группы

2



Время подготовки

45+ Минут



Время выполнения

45+ Минут

**PHYWE**  
excellence in science

## Общая информация

### Описание

**PHYWE**  
excellence in science

Масс-спектрометр

Масс-спектрометрия - это аналитический метод, который точно измеряет массу различных молекул в образце. Обычно он используется для идентификации образцов и определения чистоты образцов.

В масс-спектрометре из исследуемого образца генерируется несколько ионов, которые разделяют в соответствии с их специфическим отношением массы к заряду (удельный заряд), а затем регистрируют относительное содержание каждого типа ионов. Результаты отображаются в виде спектров интенсивности сигнала обнаруженных ионов в зависимости от отношения их массы к заряду.

## Дополнительная информация (1/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### предварительные знания



Когда электроны бомбардируют частицы газа, он распадается на заряженные молекулы или ионизируется. Под воздействием электрического и магнитного полей ионы с одинаковым отношением массы к заряду (удельным зарядом) будут претерпевать одинаковое отклонение в траектории движения.

### Научный принцип



Электроны ускоряются в электрическом поле и входят в магнитное поле под прямым углом к направлению движения. Удельный заряд электрона определяется по ускоряющему напряжению, напряженности магнитного поля и радиусу орбиты электрона.

## Дополнительная информация (2/2)

**PHYWE**  
excellence in science

### Цель обучения



Учащиеся должны знать об удельном заряде электрона, силе Лоренца и ионизации электрона.

### Задачи



Определение удельного заряда электрона ( $e/m_0$ ) по траектории пучка электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях переменной силы.

## Инструкции по технике безопасности

Для этого эксперимента применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

В этом эксперименте используются опасные напряжения. Ни в коем случае нельзя прикасаться к проводам и розеткам. Следует использовать только указанные на рабочем месте высокие напряжения. Напряжения нагревателя трубок для получения электронного луча не должны превышать указанные напряжения.

Будьте очень осторожны при работе с установкой.

## Теория (1/3)

Если электрон с массой  $m_0$  и зарядом  $e$  ускоряется разницей потенциалов  $U$ , он достигает кинетической энергии:

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2$$

где  $v$  - скорость электрона.

В магнитном поле с  $\vec{B}$  на движущийся со скоростью  $\vec{v}$  электрон действует сила Лоренца:

$$\vec{F} = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

## Теория (2/3)

Электрон, попадая в однородное магнитное поле (как в устройстве Гельмгольца) начинает двигаться по спиральной траектории вдоль магнитных силовых линий, которая становится окружностью радиуса  $r$ , если скорость  $\vec{v}$  перпендикулярна вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ .

Поскольку центробежная сила  $m_0 \cdot v^2/r$  по 2 закону Ньютона равна силе Лоренца, получаем

$$v = \frac{e}{m_0} \cdot B \cdot r$$

где  $B$  абсолютная величина  $\vec{B}$

Из уравнения (1) следует, что

$$\frac{e}{m_0} = \frac{2U}{(Br)^2}.$$

## Теория (3/3)

Для расчета магнитного поля  $B$  используются первое и четвертое уравнения Максвелла в случае, когда не существует зависящих от времени электрических полей. Проекция индукции магнитного поля  $B_z$  на ось  $z$  кругового тока  $I$  для симметричного расположения двух катушек на расстоянии  $a$  друг от друга равна

$$B_z = \mu_0 \cdot I \cdot R^2 + \left\{ (R^2 + (z - \frac{a}{2})^2)^{3/2} + (R^2 + (z + \frac{a}{2})^2)^{3/2} \right\}$$

где  $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma_{\text{H}}}{\text{м}}$  и  $R$  - радиус катушки.

Для схемы Гельмгольца из двух катушек ( $a = R$ ) с количеством витков  $n$  центре между катушками получаем:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \cdot \mu_0 \cdot n \frac{I}{R}.$$

## Оборудование

Позиция	Материал	Пункт No.	Количество
1	Катушки Гельмгольца, 1 пара	06960-06	1
2	Узкая электроннолучевая трубка	06959-00	1
3	e/m - защитная смотровая камера	06959-01	1
4	PHYWE Источник питания, регулируемый пост. ток: 0...12 В, 0,5 , 50 мА / перем. ток: 6,3 В, 2 А	13672-93	1
5	PHYWE Источник питания, универсальны DC: 0...18 В, 0...5 А / AC: 2/4/6/8/10/12/15 В, 5 А	13504-93	1
6	Цифровой мультиметр, 3 1/2 разрядный дисплей с NiCr-Ni термопарой	07122-00	2
7	Соединительный проводник, безопасн., 32А, 25 см, красный	07335-01	1
8	Соединительный проводник, безопасн., 32А, 25 см, синий	07335-04	1
9	Соединительный проводник, безопасн., 32 А, 100 см, красный	07337-01	2
10	Соединительный проводник, безопасн., 32 А, 100 см, синий	07337-04	2
11	Соединительный проводник, безопасн., 32 А, 100 см, желтый	07337-02	3
12	Соединительный проводник, 1000 мм, красный	07363-01	3
13	Соединительный проводник, 1000 мм, синий	07363-04	1
14	держатель для трубки тонкого пучка	06962-01	2

**PHYWE**  
excellence in science



## Подготовка и выполнение работы

### Подготовка (1/2)

**PHYWE**  
excellence in science

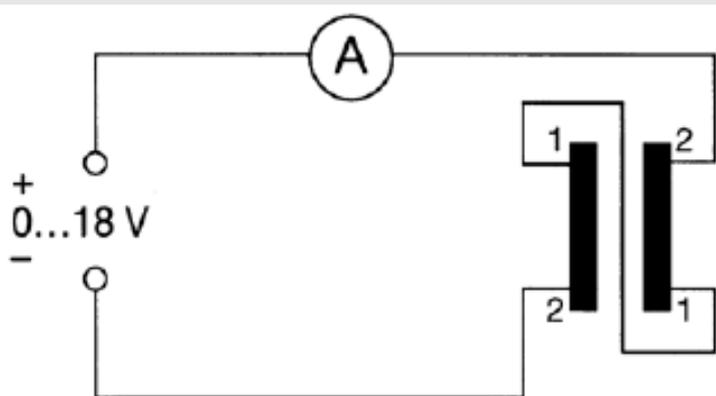


Схема подключения для катушек Гельмгольца

В схеме Гельмгольца две катушки повернуты друг к другу. Поскольку ток в обеих катушках должен быть одинаковым предпочтительнее последовательное соединение.

Не должен превышать максимально допустимый непрерывный ток 5А.

Если полярность магнитного поля правильная, в затемненной комнате видна изогнутая траектория ("светящийся след").

## Подготовка (2/2)

**PHYWE**  
excellence in science

Если траектория движения имеет форму спирали, то необходимо повернуть узкую электроннолучевую трубку вокруг ее продольной оси.

Подробное описание электроннолучевой трубки (с узким лучом) см. в инструкции по эксплуатации.

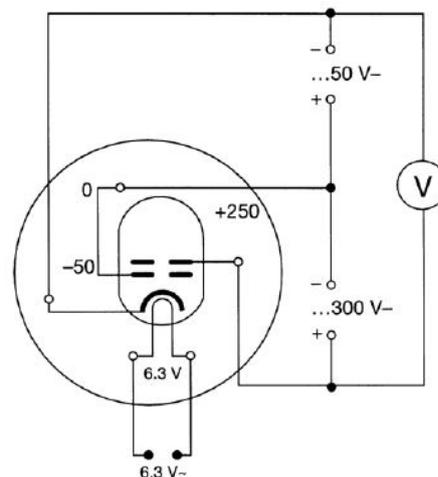


Схема подключения узкой электроннолучевой трубки

## Выполнение работы

**PHYWE**  
excellence in science



Экспериментальная установка

Изменяя магнитное поле (силу тока) и скорость электронов (ускоряющее и фокусирующее напряжение), радиус орбиты может быть скорректирован таким образом, чтобы он совпадал с радиусом, определяемым "светящимся следом" .

Когда пучок электронов совпадает с траекторией движения ("светящимся следом"), видна только половина окружности. Радиус окружности составляет 2, 3, 4 или 5 см.

## Оценка (1/2)

Для катушек

$$R = 0.2 \text{ м} \text{ и } n = 154,$$

Сила тока  $I$  и удельный заряд электрона  $e/m_0$  рассчитаны при различных напряжениях  $U$  и различных радиусах  $r$  траекторий.

Сравните среднее значение измеренного удельного заряда электрона и табличное значение:

$$e/m = 1.759 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг.}$$

		$r = 0.02 \text{ м}$		$r = 0.03 \text{ м}$		$r = 0.04 \text{ м}$		$r = 0.05 \text{ м}$	
$\frac{U}{\text{В}}$	$I$	$\frac{e/m_0}{10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}}$	$I$	$\frac{e/m_0}{10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}}$	$I$	$\frac{e/m_0}{10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}}$	$I$	$\frac{e/m_0}{10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}}$	$I$
100	2.5	1.7	1.6	1.8	1.1	2.2	0.91	2.0	
120	2.6	1.9	1.7	1.9	1.3	1.9	1.0	2.0	
140	2.8	1.9	1.9	1.8	1.4	1.9	1.1	1.9	
160	-	-	2.0	1.9	1.5	1.9	1.2	1.9	

$$\overline{e/m_0} = (1.84 \pm 0.02) \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Сила тока  $I$  и удельный заряд электрона  $e/m_0$

## Оценка (2/2)

Как сила Лоренца действует на электрон?

- Под действием силы Лоренца электрон движется по кругу.
- Сила Лоренца влияет на скорость электрона

Проверить

Какая может быть самая заметная ошибка в измерениях?

- Электрический ток
- Радиус катушек
- Радиус окружности

Проверить

Слайд

Оценка / Всего

Слайд 15: Многочисленные задачи

0/2

Общий балл

 Показать решения Вспомнить