Тема: Определение удельного заряда

Изучите теоретический материал по теме и ответить на контрольные вопросы

Ответы на вопросы сдать 06.05.20 на эл. адрес [ris-alena@mail.ru](mailto:ris-alena@mail.ru) или Viber, WhatsApp



Электрон является носителем элементарного отрицательного заряда ***е*** (***e*** = –1,6?10—19 Кл). Отношение его заряда к массе ***e/m*** называется [***удельным зарядом***](https://studopedia.ru/8_173652_teoreticheskie-svedeniya.html)***электрона***. Удельный заряд может быть экспериментально определён различными методами. Все они основаны на поведении электрона в электрическом и магнитном полях.

В электрическом поле напряжённостью  (рис .1) на электрон действует сила

****

которая сообщает электрону ускорение ****и направлена против поля.

**Под действием этой силы электрон, пройдя расстояние между точками с разностью потенциалов *U*, приобретает**[**кинетическую энергию**](https://studopedia.ru/8_197106_kineticheskoy-energii.html)

.

Движение электрона в однородном магнитном поле происходит под действием силы Лоренца

****,

где  - вектор скорости электрона; **** - вектор индукции магнитного поля; ***е*** – заряд электрона.

[Сила Лоренца](https://studopedia.ru/10_133569_sila-lorentsa.html)  перпендикулярна как скорости электрона, так и направлению магнитного поля. Она не меняет модуля скорости и кинетической энергии частицы.

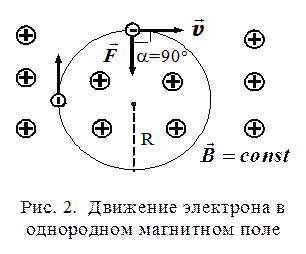
Модуль силы Лоренца

****,

где ***a*** - угол между векторами ****и  .

[Сила Лоренца](https://studopedia.ru/10_133569_sila-lorentsa.html) сообщает электрону нормальное (центростремительное) ускорение и вызывает движение его по окружности радиуса***R***, если угол ***a*** составляет 90o (рис. 2). Таким образом, по [второму закону Ньютона](https://studopedia.ru/4_6_vtoroy-zakon-nyutona.html):

, откуда радиус окружности

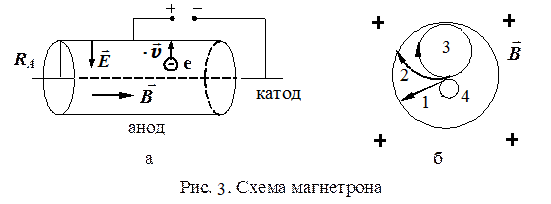


Из формулы видно, что радиус окружности зависит от удельного заряда ***e/m***. Этот факт и положен в основу метода определения удельного заряда с помощью магнетрона.

Магнетрон представляет собой высоковакуумную элек­тронную трубку, имеющую пря­мую металлическую нить (ка­тод), расположенную по оси ци­линдрического анода.

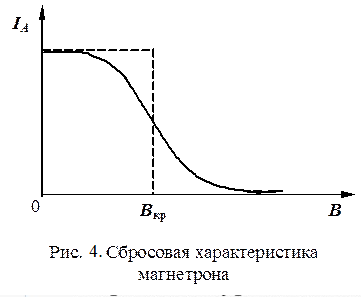
Для нашей работы магнетрон с успехом можно заменить обычной электронной лампой с цилиндрическим анодом, на оси которого расположен катод (рис. 3, а). Лампа помещается внутри длинного соленоида, при помощи которого параллельно оси создаётся магнитное поле напряжённостью .

Катод нагревается электрическим током и испускает электроны, которые под действием электрического поля движутся к аноду. Когда магнитное поле отсутствует, электроны движутся по радиусам цилиндрического анода (рис. 3 б, линия 1).



Если включить магнитное поле, траектория движения искривляется, и тем больше, чем сильнее поле (рис. 3, б, линия 2). Все электроны достигают анода, и величина анодного тока в цепи практически не изменяется до определённого момента, когда при дальнейшем увеличении магнитного поля радиус траектории всё больше уменьшается и при некотором критическом значении ***Вкр***, электроны, не достигнув анода, вернутся обратно к катоду (рис. 3, б, линия 3).

При выполнении условия ***В > Вкр*** электроны уже не будут попадать на анод, и ток станет равен нулю (рис. 3, б, линия 4).

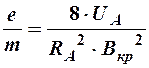
На рис. 4 приведен график зависимости анодного тока ***IА*** от ин­дукции магнитного поля  при некотором анод­ном напряжении ***UА*** (сбросовая характе­ристика магнетрона).

Если бы все электроны, вылетающие из катода, имели одну и ту же скорость, анодный ток ***IА*** спадал бы до нуля точно при критическом значении ***Вкр*** индукции магнитного поля (рис. 4, штриховая линия). Однако скорости вылетевших электронов разные, поэтому уменьшение тока происходит на довольно протяжённом участке вблизи ***Вкр*** (рис. 4, сплошная линия).

Критическое значение индукции магнитного поля является некоторой функцией анодного напряжения ***UА***. Эту зависимость легко установить, если предположить, что скорость электрона при его движении в магнетроне остаётся постоянной по модулю. При ***В*** =***Вкр***, радиус окружности, по которой движется электрон, равен ***RА /*2**, где ***RА*** – радиус анода. Подставляя его в уравнение, получим:

 .

Решая совместно уравнения два уравнения получим формулу для расчёта удельного заряда электрона:



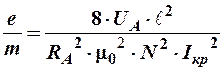
где ***UА*** — разность потенциалов между катодом и анодом.

Индукция магнитного поля в соленоиде может быть рассчитана по закону Био - Савара - Лапласа или по теореме о циркуляции индукции магнитного поля по замкнутому контуру



где******– длина соленоида; ***N***– число витков соленоида; ***Iсол****—*сила тока, протекающего через соленоид (сила намагничивающего тока);  – магнитная постоянная.

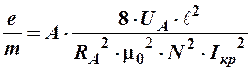
Критическому значению индукции магнитного поля ***Вкр*** соответствует критическое значение силы тока ***Iкр***. Учитывая это и подставляя в , получим

При выводе формулы предполагалось, что электрическое и магнитное поля действуют на электрон по очереди, сначала он в электрическом поле разгоняется до скорости  , а затем с этой постоянной скоростью движется в магнитном поле.

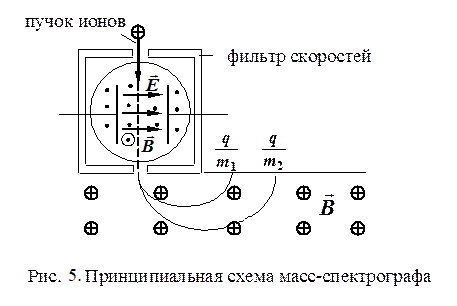
В рассматриваемом случае электрон движется в скрещенных магнитном и электрическом полях и одновременно испытывает действие сил со стороны обоих полей. Вследствие этого, скорость электрона не постоянна (она возрастает по мере приближения к аноду), а траектория его движения отличается от круговой. Данное обстоятельство позволяет утверждать, что формула не точна. Тем не менее, как следует из результатов точного анализа рассматриваемой задачи, эта формула в целом удовлетворительно описывает физику процессов и с точностью до коэффициента пропорциональности является правильной.

**Окончательная расчётная формула имеет вид:**

 ,

где *** = 0,1 м***; ***N = 1000*** витков***; RА = 5*** мм***; A***– коэффициент, учитывающий отличие реальной траектории движения электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях от окружности. Для нашей экспериментальной установки ***А=1,3.***

Тщательные измерения удельного заряда и известное из опытов Милликена (1909 г.) значение величины заряда электрона позволили определить его массу и установить зависимость массы от скорости.



В принципе теми же методами определяются массы атомов и молекул. Соответствующие приборы для определения масс атомов и молекул (точнее, их ионов) носят название масс-спектрографов. Для примера можно рассмотреть принципиальное устройство одного из масс-спектрографов (рис. 5).

Сначала пучок ионов проходит через фильтр скоростей, в котором на движущиеся ионы одновременно действуют взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля. Направления полей выбираются так, чтобы силы, действующие на ионы с их стороны, были противоположны по направлению. Через щель фильтра, противоположную входной, выхо­дят только те ионы, на которые действуют равные по величине силы ******и .

**q?E = q?**  ***?B.***

Следовательно, из фильтра вылетают ионы одинаковых скоростей

.

При выходе из фильтра частицы попадают в магнитное поле, перпендикулярное их скорости. Траектория их движения — окружность, радиус которой зависит от удельного заряда частицы

.

Попадая на фотопластинку, ионы оставляют след, расстояние которого от выходной щели фильтра зависит от удельного заряда ионов.

По найденным значениям ***q/m*** можно определить массы ионов.

В наши дни точность определения масс ионов с помощью масс-спектрографов достигают 6 —8 значащих цифр (правда, не в граммах, а по отношению к массе эталонного атома).

Масс-спектрографические методы позволяют проводить количественный анализ нефти, состоящий из молекул различных углеводородов, трудно различимых обычными химическими способами. При большой мощности ионного пучка этот метод позволяет разделять изотопы в заметных количествах.

Масс-спектрографический метод часто применяют для определения изотопного состава исследуемого вещества. В частности, он был применён при исследовании лунного грунта. Близость изотопного состава земных и лунных пород свидетельствует об одновозрастности и единстве происхождения земного и лунного вещества. По-видимому, это следует распространить и на другие космические тела солнечной системы. Исследования вещества метеоритов не противоречат такому обобщению.

Масс-спектрографы нашли широкое применение в различных областях физики, химии, техники. Они используются для определения содержания примесей в газах, для анализа состава и процентного содержания различных смесей углеводородов и т. д.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит величина и направление силы Лоренца?

2. Почему при движении частицы в магнитном поле вектор скорости заряженной частицы меняется только по направлению, оставаясь неизменным по величине?

3. В каком случае траектория движения заряженной частицы в однородном магнитном поле имеет вид окружности?

4. По какой траектории двигается заряженная частица в однородном магнитном поле в общем случае?