

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

Кафедра общей физики

Куянов И.А.

Презентация для студентов заочной формы обучения к лабораторным работам:

- № 31 «Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли»*
- № 32 «Определение удельного заряда электрона по отклонению в магнитном поле Земли»**

подготовлена по материалам методических пособий под авторством:

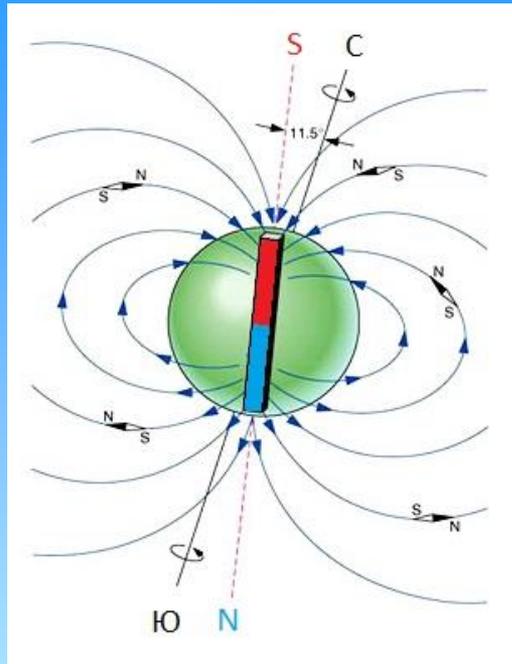
* Чибисова А.Г., Кауровой Л.Н., Шустровой О.П.

** Болотова Б.Б., Кауровой Л.Н.

Оглавление

1.	Введение. Магнитное поле Земли	<u>3</u>
2.	Лабораторная работа № 31 «Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли»	<u>6</u>
2.1.	Описание установки	<u>8</u>
2.2.	Порядок выполнения работы	<u>9</u>
2.3.	Обработка результатов эксперимента	<u>10</u>
2.4.	Контрольные вопросы	<u>12</u>
3.	Лабораторная работа № 32 «Определение удельного заряда электрона по отклонению в магнитном поле Земли»	<u>13</u>
3.1.	Устройство электронно-лучевой трубки и схема установки	<u>15</u>
3.2.	Порядок выполнения работы	<u>16</u>
3.3.	Обработка результатов эксперимента	<u>17</u>
3.4.	Контрольные вопросы	<u>18</u>
4.	Список рекомендованной литературы	<u>19</u>

Введение. Магнитное поле Земли



Планета Земля создает вокруг себя магнитное поле, которое обнаруживается по действию на магнитную стрелку. Своим северным концом стрелка указывает направление на Южный магнитный полюс (**S**), который находится в Северном полушарии. Северный магнитный полюс (**N**) находится в Южном полушарии.

Буквами **С** и **Ю** на рисунке обозначены Северный и Южный географические полюса.

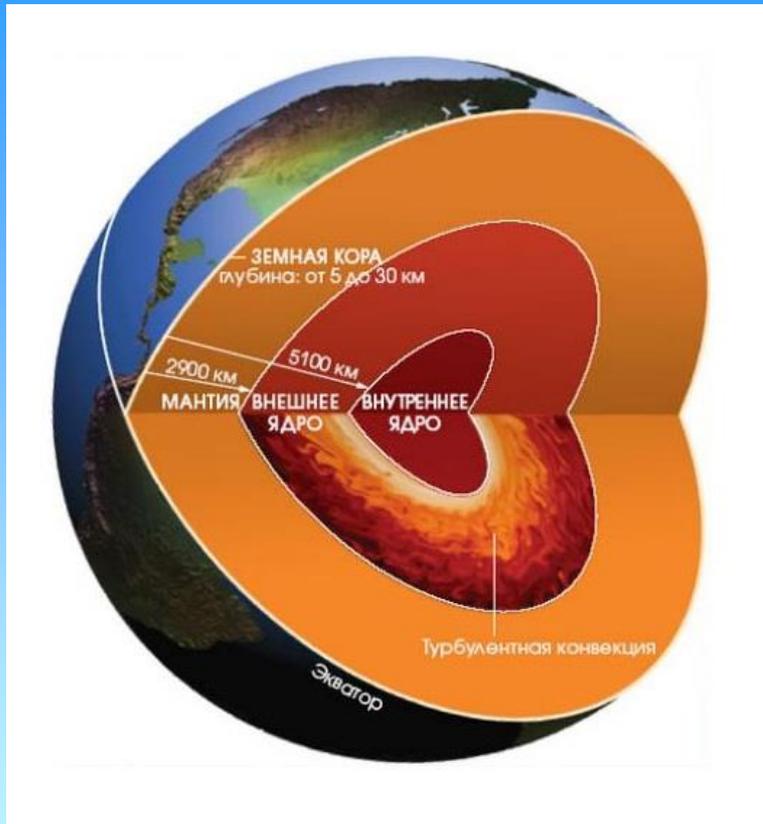


Положение магнитных и географических полюсов не совпадает, более того, наблюдается непрерывный дрейф магнитных полюсов.

На рисунке показан дрейф Южного магнитного полюса за последние 400 лет.



Природа магнитного поля Земли

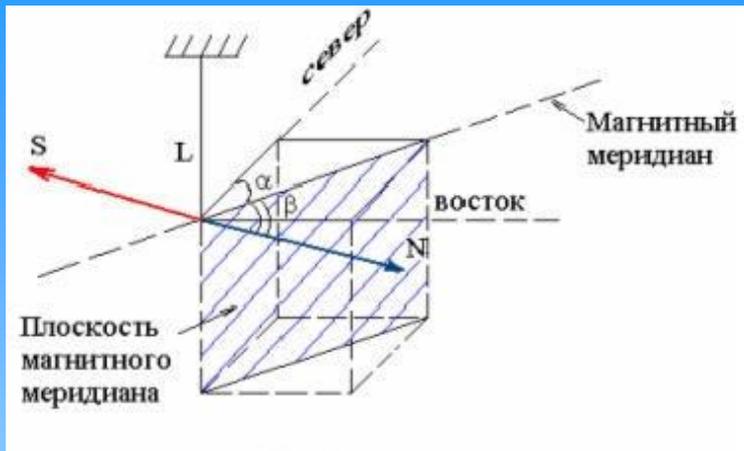


Согласно современным представлениям, магнитное поле Земли создается конвективными движениями электропроводящего вещества в ее жидком металлическом ядре.

Хотя геомагнитное поле имеет довольно сложную структуру, в первом приближении его можно аппроксимировать полем полосового магнита, помещенного в центре Земли (эквивалентного магнитного диполя).



Линии индукции магнитного поля Земли

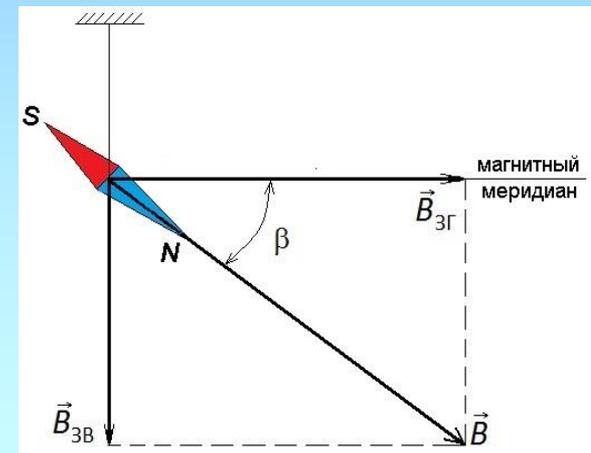


Угол α , который образует стрелка компаса с северным направлением географического меридиана, называется **магнитным склонением**.

Если стрелку укрепить на перпендикулярной магнитному меридиану горизонтальной оси, то она устанавливается наклонно к горизонтальной плоскости. Угол β , который образует стрелка компаса с горизонтальной плоскостью, называется **магнитным наклонением**.

При изучении магнитного поля Земли регистрируют значения горизонтальной $\vec{B}_{3Г}$ и вертикальной $\vec{B}_{3В}$ составляющих магнитной индукции Земли.

Горизонтальная составляющая направлена по магнитному меридиану, на Южный магнитный полюс, а вертикальная – к центру Земли



Лабораторная работа № 31

«Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли»

Целью данной работы является определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Один из методов определения горизонтальной составляющей основан на взаимодействии магнитного поля Земли и магнитного поля, создаваемого кольцевым проводником с током.

В соответствии с принципом суперпозиции, горизонтальная составляющая вектора магнитной индукции результирующего магнитного поля равна: $\vec{B}_r = \vec{B}_{3r} + \vec{B}_I$, где

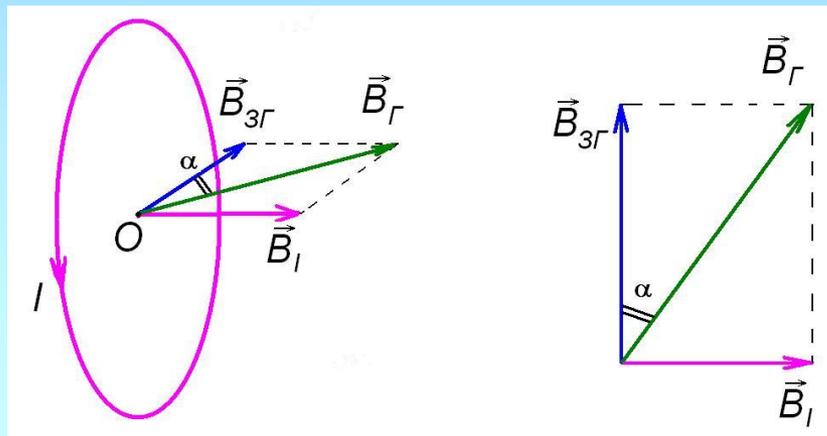
\vec{B}_r — индукция результирующего магнитного поля;

\vec{B}_{3r} — горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли;

\vec{B}_I — магнитная индукция поля кругового тока.

Если плоскость кругового тока установить так, чтобы направление магнитного поля \vec{B}_I , созданного им, было перпендикулярно направлению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли \vec{B}_{3r} , то направление результирующего вектора \vec{B}_r будет составлять угол α с направлением \vec{B}_{3r} .

При этом $\operatorname{tg}\alpha = B_I / B_{3r}$.



Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Индукцию магнитного поля в центре кругового тока можно рассчитать из закона Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B}_I = \frac{\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3} \quad (1)$$

где $d\vec{B}_I$ — индукция магнитного поля, создаваемая бесконечно малым элементом проводника длиной $d\vec{l}$ (направление вектора $d\vec{l}$ совпадает с направлением тока I) в точке, определяемой вектором \vec{r} . В скалярном виде это выражение принимает вид (здесь α — угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r}):

$$dB_I = \frac{\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Величина индукции магнитного поля в центре кольцевого проводника радиуса R находится интегрированием формулы (2) с учетом того, что угол α равен $\pi/2$:

$$B_I = \int dB_I = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I dl}{4\pi R^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi} dl = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (3)$$

Если электрический ток течет по кольцевому проводнику, состоящему из n витков, то его магнитное поле возрастает в n раз.

$$B_I = \frac{\mu_0 In}{2R} \quad (4)$$

Тогда значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли определяется как:

$$B_{\text{сА}} = \frac{B_I}{\text{tg}\alpha} = \frac{\mu_0 I \cdot n}{2R \cdot \text{tg}\alpha} \quad (5)$$



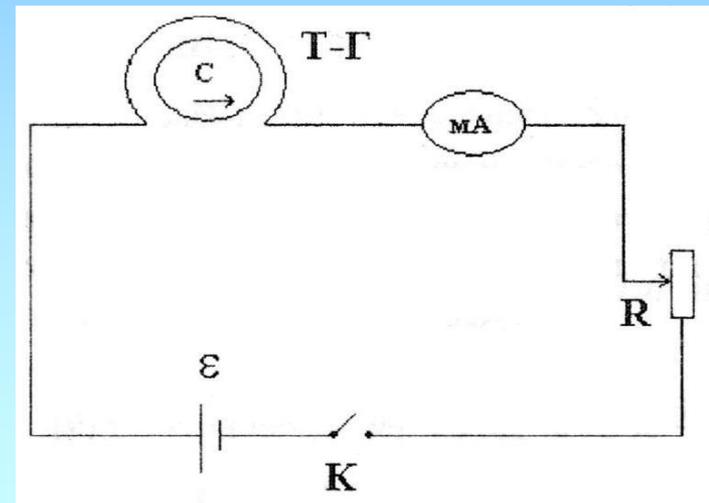
Описание установки



Прибор, используемый в данной работе для определения величины горизонтальной составляющей магнитного поля Земли называется тангенс-гальванометром. Он состоит из каркаса кольцевой формы на внешней стороне которого намотаны витки провода. В центре кольцевого каркаса расположен компас с магнитной стрелкой и круговой шкалой

Электрическая схема экспериментальной установки:

\mathcal{E}	источник тока
Т-Г	тангенс-гальванометр
С	магнитная стрелка
мА	миллиамперметр
R	реостат
К	выключатель



Порядок выполнения работы

Необходимо установить кольцевой каркас тангенс-гальванометра так, чтобы магнитная стрелка располагалась в его вертикальной плоскости и соединить приборы по схеме, представленной на [слайде 8](#). При этом движок реостата устанавливается так, чтобы сопротивление реостата было максимальным.

После проверки схемы лаборантом включается ток и измеряется угол отклонения магнитной стрелки относительно своего первоначального положения. Данное измерение проводится не менее пяти раз для различных значений силы тока.

Затем изменением полярности подключения источника тока меняется направление прохождения тока в тангенс-гальванометре на противоположное и проводятся измерения углов отклонения стрелки при тех же значениях силы тока, что и в первой серии измерений.

Далее находят средние значения углов отклонения при одинаковой силе тока и вычисляются значения $B_{3Г}$ и $H_{3Г}$.

Результаты измерений и вычислений записываются в таблицу. Оценивается погрешность результатов.



Обработка результатов эксперимента

Расчет величин векторов $B_{ГЗ}$ и $H_{ГЗ}$ производят исходя из формул:

$$B_{\zeta\bar{A}} = \frac{\mu_0 I \cdot n}{2R \cdot \operatorname{tg}\alpha} \quad \text{и} \quad H_{\zeta\bar{A}} = \frac{I \cdot n}{2R \cdot \operatorname{tg}\alpha}$$

Относительная погрешность определения $B_{ГЗ}$ и $H_{ГЗ}$ находится как:

$$\frac{\Delta H_{\zeta\bar{A}}}{H_{\zeta\bar{A}}} = \frac{\Delta B_{\zeta\bar{A}}}{B_{\zeta\bar{A}}} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{2 \cdot \Delta\alpha}{\sin 2\alpha}, \quad \text{где величина } \Delta\alpha \text{ измеряется в радианах.}$$

В данной работе погрешность измерения составляют:

$$\Delta R = 0.1 \text{ см};$$

$$\Delta n = 10 \text{ витков};$$

$$\Delta\alpha = 1^\circ = 0.017 \text{ рад};$$

класс точности миллиамперметра 1.5.

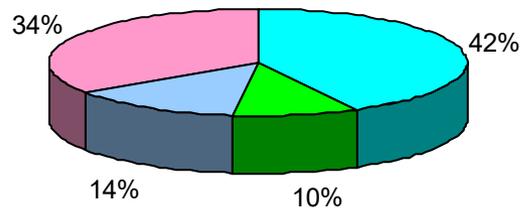


Обработка результатов эксперимента

Ниже приведен краткий анализ источников погрешности определения величины горизонтальной составляющей магнитного поля Земли для типичного тока в цепи. Для данной установки наибольший вклад в общую погрешность дают неточности в определении силы тока в цепи и угла поворота тангенс-гальванометра.

Тип данных	1		2		3		4	
Описание	сила тока		число витков		радиус катушки		угол поворота	
Величины и погрешности	I, mA	$\Delta I, \text{mA}$	$n, \text{витки}$	$\Delta n, \text{витки}$	$R, \text{см}$	$\Delta R, \text{см}$	$\alpha, \text{рад}$	$\Delta \alpha, \text{рад}$
Значения	1.8	0.075	1030	10	7.5	0.1	0.785	0.017
Относительная погрешность, %		4.2		1.0		1.3		3.4

Относительный вклад ошибок измерений в общую погрешность определения величины горизонтальной составляющей магнитного поля Земли



Контрольные вопросы

1. Чем создается магнитное поле Земли?
2. В чем состоит закон Био-Савара-Лапласа?
3. Как из закона Био-Савара-Лапласа определить направление магнитного поля?
4. Как формулируется принцип суперпозиции для магнитного поля?
5. Какой формулой определяется напряженность магнитного поля в центре кольцевого проводника?
6. В каких единицах в системе СИ измеряются вектора \mathbf{B} и \mathbf{H} ?
7. Выведите формулы погрешностей для величин $\mathbf{B}_{3Г}$ и $\mathbf{H}_{3Г}$.
8. Опишите метод определения значений $\mathbf{B}_{3Г}$ и $\mathbf{H}_{3Г}$.



Лабораторная работа № 32

«Определение удельного заряда электрона по отклонению в магнитном поле Земли»

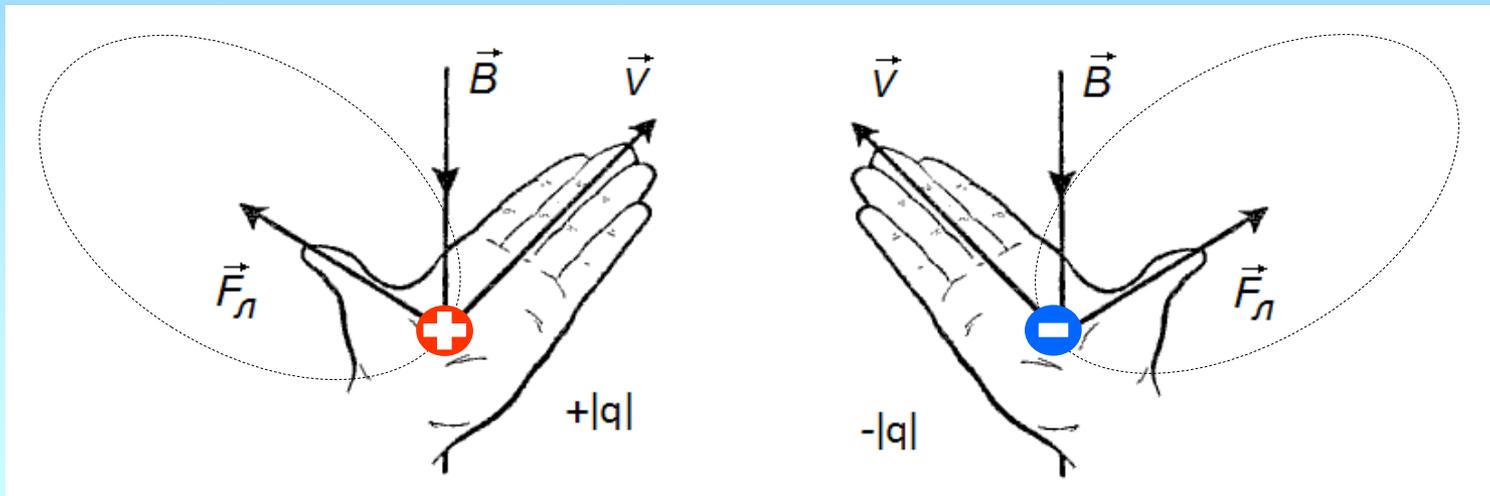
Целью данной работы является определение удельного заряда электрона.

Удельным зарядом электрона называется отношение заряда электрона e к его массе m . В основе экспериментальных методов определения удельного заряда электрона e/m лежит исследование движения электрона в электрических и магнитных полях.

Рассмотрим случай, когда электрон, предварительно ускоренный, влетает в область однородного магнитного поля. В магнитном поле на электрон действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_L = e[\vec{v}\vec{B}]$$

где \vec{v} – вектор скорости электрона, а \vec{B} – индукция магнитного поля. Направление силы Лоренца определяется правилом левой руки для положительных зарядов, и правилом правой руки для отрицательных. Если вектора \vec{v} и \vec{B} взаимно перпендикулярны, то заряженная частица под действием силы Лоренца движется по окружности:



Расчет удельного заряда электрона по отклонению в магнитном поле Земли

При движении электрона по окружности сила Лоренца выступает в качестве центростремительной силы, так что можно записать:

$$\frac{mv^2}{R} = evB,$$

где R — радиус окружности, по которой движется электрон. Отсюда:

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{BR}.$$

Скорость электрона может быть найдена исходя из известной разности потенциалов U ускоряющего электрического поля:

$$\frac{mv^2}{2} = eU, \text{ откуда находим } \frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}.$$

В данной работе электроны ускоряются в электронно-лучевой трубке, а магнитным полем, действующим на них, является магнитное поле Земли.

Радиус R можно выразить из геометрических параметров электронно-лучевой трубки и наблюдаемой величины отклонения электронов магнитным полем Земли:

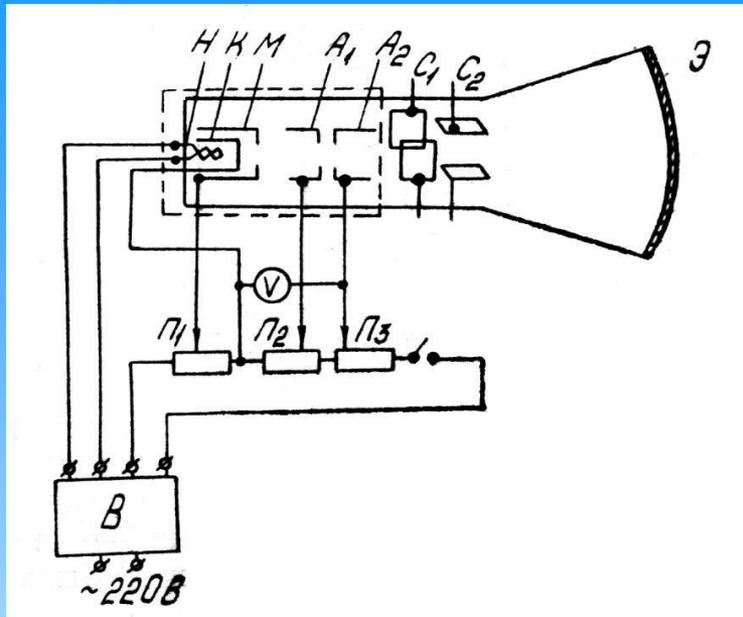
$$R = \frac{l^2}{2s},$$

где l — расстояние от электронной пушки до экрана, а s — отклонение пятна на экране от центрального положения. Учитывая, что $B = \mu\mu_0 H$, можно записать окончательный результат:

$$\frac{e}{m} = \frac{8s^2 U}{\mu_0^2 H^2 l^4}$$



Устройство электронно-лучевой трубки и схема установки



На рисунках показаны схематическое устройство и фотография электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Она состоит из электронной пушки (выделена пунктиром), отклоняющих пластин C_1 и C_2 (которые не используются в данной работе) и флюоресцирующего экрана Э. Электронной пушкой называется часть трубки, дающая пучок ускоренных электронов. В ее состав входят: катод (К), подогреваемая нить накала (Н), являющийся источником электронов; металлический цилиндр М с отрицательным по отношению к катоду потенциалом, регулирующий количество электронов, движущихся к экрану; первый (фокусирующий) анод A_1 и второй (ускоряющий) анод A_2 , представляющие собой цилиндры или диски с отверстиями в центре. Питание ЭЛТ осуществляется от выпрямителя В через систему потенциометров Π_1, Π_2, Π_3 . Вольтметр контролирует ускоряющее напряжение на аноде A_2 , которое может быть установлено до 1000 в.



Порядок выполнения работы

Электрическая схема, представленная на слайде [15](#), собрана на установке. В начале выполнения работы в сеть включается выпрямитель, который подает напряжение на нить накала и аноды. На экране появляется светящееся зеленое пятно.

Ручкой «регулировка напряжения» устанавливается некоторое напряжение U . Ручками яркость и фокусировка добиваются яркого и четкого пятна на экране. Трубку ставят перпендикулярно направлению горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли. В этом положении смещение пятна от центра будет максимальным. По вертикальной шкале на экране определяется положение пятна n_1 .

Затем трубку поворачивают на 180 градусов и находят положение n_2 . Величина s находится как $s = |n_2 - n_1|/2$.

Опыт повторяется пять раз для различных значений напряжения U . Далее вычисляется удельный заряд электрона, находится его среднее значение и погрешность его определения.



Обработка результатов эксперимента

Расчет величины удельного заряда электрона производится по формуле:

$$\frac{e}{m} = \frac{8s^2U}{\mu_0^2 H^2 l^4}$$

Относительная погрешность определения удельного заряда электрона находится как:

$$\frac{\Delta\left(\frac{e}{m}\right)}{\left(\frac{e}{m}\right)} = 2\frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta U}{U} + 2\frac{\Delta H}{H} + 4\frac{\Delta l}{l}.$$

Используемые в данной работе расчетные параметры и погрешности измерения составляют:

$$l = 30 \pm 0.1 \text{ см};$$

$$\Delta s = 0.5 \text{ мм};$$

$$H = 12 \pm 0.5 \text{ А/м};$$

класс точности вольтметра 1.5.



Контрольные вопросы

1. Как определяется величина и направление силы Лоренца?
2. Чему равна работа силы Лоренца?
3. Опишите движение электрона влетающего в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции и влетающего под углом α к направлению поля.
4. Как зависит скорость электрона от величины ускоряющего напряжения?
5. Расскажите об устройстве электронно-лучевой трубки.
6. Выведите расчетную формулу для определения удельного заряда электрона.



Список рекомендованной литературы

1 Валишев, М.Г. Курс общей физики [Текст]: учебное пособие для вузов / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — 2-е изд., стер. — СПб, М., Краснодар : Лань, 2010. — 573 с.

2 Введение в физический практикум. Обработка результатов измерений [Текст]: учебное пособие для заочного отделения / Б.Б. Болотов, В.В. Благовещенский, В.В. Кашмет, Н.Г. Москвин; СПб ГТИ (ТУ). Каф. общей физики. — СПб., 2009. — 15 с.

3 Савельев, И.В. Курс общей физики [Текст]. В 5-и тт. Т.2. Электричество и магнетизм: учебн. пособие для вузов / И.В. Савельев — М.: Наука: Физматлит, 2002. — 336 с.

4 Зисман, Г.А. Курс общей физики [Текст]. В 3-х тт. Т.2. Электричество и магнетизм: учебн. пособие для вузов / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. — 7-е изд., стер. — СПб, М., Краснодар: Лань, 2007. — 352 с.

5 Детлаф, А.А. Курс физики [Текст]: Учебное пособие для вузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. — 5-е изд., стер. — М.: Academia, 2005. — 720 с.

