

Определяне специфичният заряд на електрона - e/m

1. Цели

- Изследване на катодни лъчи.
- Изследване на Лоренцова сила.
- Изследване на отклонението на електрони в магнитно поле по кръгова орбита.
- Определяне на магнитното поле, като функция на ускоряващия потенциал U на електроните при постоянен радиус r .
- Определяне на специфичния заряд на електрона.



Фигура 1

2. Исторически бележки

Дж. Дж. Томсън първи определя специфичният заряд на електрона e/m през 1897. В своя експеримент (фиг. 2), Дж. Дж. Томсън е открил заредени частици, които са имали специфичен заряд две хиляди пъти по-голям от този на водородния йон, най-леката частица известна през 1897. След като измерва заряда на частиците той могъл да се каже със сигурност, че те са две хиляди пъти по-леки от водорода. Това обяснява по какъв начин те биха могли да преминават през тънки листа от злато. Частици с такъв размер може да преминават между атомите на твърдите тела.

Дж. Дж. Томсън. използва алуминий, като материал за изготвянето на повечето си електроди. Той повторил опитите си с

катоди, изработени от различни метали, включително желязо и платина, и установил, че специфичният заряд не се променя. Той изказал твърдението, че катодните лъчи се състоят от малки заредени частици, и чрез използване на различни видове катоди разбира, че тези частици съществуват в много различни атоми. На базата на тези резултати той прави заключение, че частиците, които той нарича 'corpuscles', са една универсална съставна част на материята - те са част от всички атоми във Вселената. Ние вече познаваме, тези частици като електрони.

За работата си той получава Нобелова награда за физика през 1906 г.



Фигура 2

3. Опитна постановка и теоретична подготовка

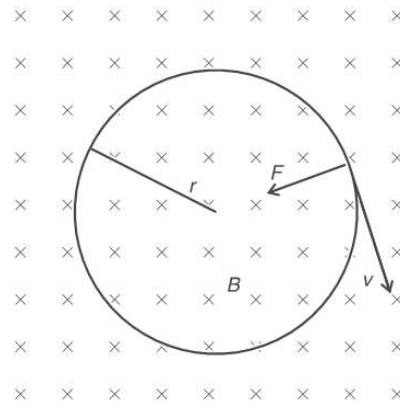
В опитната постановка се използва двойка Хелмхолцови намотки за изучаване на поведението на електронен сноп в магнитно поле, перпендикулярно на траекторията на електрона, което се визуализира посредством флуоресценция на газа, с който е напълнена тръбата.

Тръбата притежава аксиална скала, оформена като стълба. Тази скала се използва, за да стане възможно диаметъра на траекторията на електроните да бъде измерен точно с цел да се определи специфичния заряд на електрона e/m . След като се вакуумира, тръбата се пълни с аргон, с налягане около 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar). Това остатъчно налягане на инертния газ играе важна роля при фокусирането на електронния сноп. Движейки се по траекторията си, електроните се удрят в молекулите на газа и ги йонизират и лъчът става видим благодарение на луминесценцията от рекомбинацията на аргона.

Всяка Хелмхолцова намотка е навита от медна нишка в 14 слоя, всеки от 11 навивки, даващи $n = 154$ (брой на навивките).

Електрони, движещи се в магнитно поле са подложени на действието на сила, перпендикулярна на посоката на полето и перпендикулярна на посоката на движението. Големината на силата е пропорционална на заряда e и скоростта $\vec{v}$ на електроните, както и на плътността на магнитния поток $\vec{B}$. Ако тръбата е поставена в магнитното поле на Хелмхолцовите пръстени така, че лъчът излиза от електронната пушка перпендикулярно на посоката на полето, силата $\vec{F}$, действаща върху електроните се дава с:

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



Фигура 3

Под въздействието на тази сила лъчът се деформира в дъга от кръг и се извива в пълен кръг с радиус r , когато магнитното поле е достатъчно силно. Силата F трябва да е равна на центробежната сила

$$\frac{mv^2}{r}$$

$$evB = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

Трансформирането на това уравнение дава следния израз за скоростта на електрона

$$v = \frac{e}{m} Br \quad (2)$$

От закона за запазване на енергията $\frac{1}{2} mv^2 = eU$ директно следва, че скоростта на електроните зависи от големината на ускоряващото напрежение U :

$$v = \sqrt{\frac{e}{m}} \sqrt{2U} \quad (3)$$

Заместването на уравнение (3) в уравнение (2) дава следния израз за специфичния заряд на електрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad (4)$$

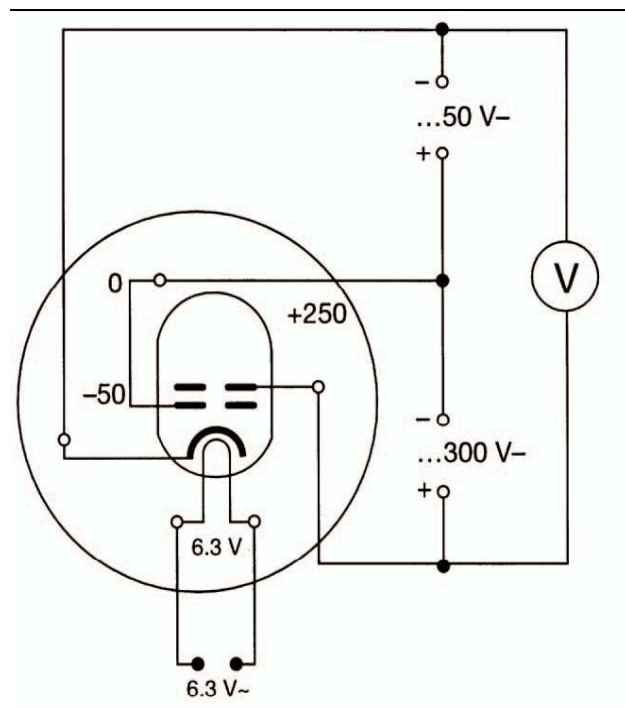
Тъй като всички величини от дясната част на уравнението (4) могат да бъдат определени чрез измерване, става възможно изчисляването на специфичния заряд на електрона.

Плътноста на магнитния поток в такава хелмхолцова система може да бъде изчислена от средния радиус на пръстена R , броя на намотките n на пръстена и тока I в пръстена

$$B = 0.715 \mu_0 \frac{n \cdot I}{R} \quad (5)$$

Това предполага, че токът в двата пръстена е еднакъв ($\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ T m/A}$).

$R = 19,5 \text{ cm}$



Фигура 4

4. Задачи за изпълнение

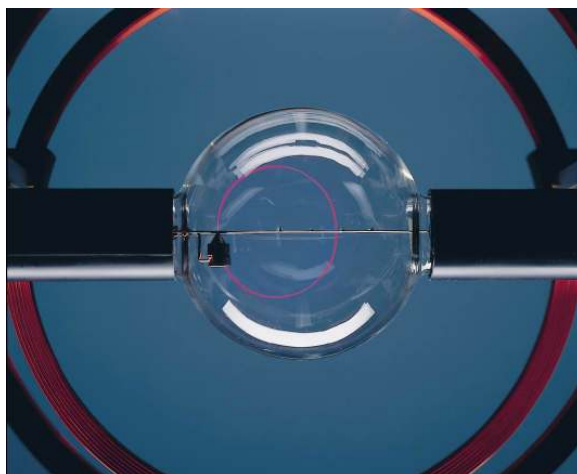
За определяне на специфичния заряд на електрона могат да бъдат приети следните експериментални процедури.

1. След времето за загряване (1-2 минути) лъчът се настройва подходящо и се избира определено ускорително напрежение.
2. Включва се токът в хелмхолцовите пръстени и се наблюдава кръговата траектория, описана от лъча под действието на хомогенното магнитно поле. (максимално разрешен постоянен ток 3A).
3. Тръбата се завърта в скобите така, че лъчът да напуска пушката точно перпендикулярно на посоката на магнитното поле и да описва пълен кръг, когато силата на магнитното поле е достатъчна.
4. Токът в намотката се нагласява така, че лъчът да бомбардира единия от четирите измерителни пръстена. По този начин може да се постигне пълен кръг с радиус 2,3,4 и 5 см.
5. Токът в намотката I , нужен за да се получи пълен кръг с радиус r при ускорително напрежение U измерено с волтметъра вече се отчита от амперметъра и специфичния заряд e/m на електрона се

изчислява чрез заместване на тези измерени стойности в уравнения (4) и (5). (Експерименталните резултати да се представят в табличен вид).

6. Тока през намотките I (A) е функция на ускоряващото напрежение U (V). Представете графично зависимостта на ускоряващото напрежение от квадрата на тока (за $r = 3, 4$ и 5 cm).

От литературата е известно, че: $\frac{e}{m_e} = 1.76 \cdot 10^{-11} \frac{A \cdot s}{kg}$ ($e = 1.6 \cdot 10^{-19} A \cdot s$;
 $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} kg$)



Фигура 5