# 19. mérés

## **Az elektron fajlagos töltése**

### **Jegyzőkönyv**

**Mérés időpontja: 2020. szeptember 9, délelőtt**

**Mérést végezték: Bonevácz Bianka és Pálfi Krisztina**

#### Mérés célja

A laboratóriumi mérésünk célja, hogy a J. J. Thomson által használt kísérleti összeállítás segítségével megmérjük az elektron fajlagos töltését, azaz töltésének és tömegének hányadosát:

#### Mérés során használt eszközök

* Kis feszültségű DC tápegység
* Nagy feszültségű tápegység
* Digitális multiméter
* Hall szonda
* Katódsugárcső
* Helmholtz-tekercsek
* Wehnelt henger
* Tükrös vonalzó

#### Mérés rövid leírása – elméleti bevezető

Az elektronok az elektroncsövön belül, az izzókatódon termikus elektronemisszióval gerjesztődnek. A katódhoz közel az elektronnyalábot körbeveszi egy Wehnelt henger, melynek célja, hogy csak azokat az elektronokat engedje tovább az anód irányába, amelyek átjutnak a rajta lévő lyukon. Ez lényegében egy elektrosztatikus lencseként működik, az elektronnyalábot szabályozza. Azokat az elektronokat, melyeket átengedett a Wehnelt henger, a katód és az anód közötti nagy feszültségű elektromos tér felgyorsítja. Mivel a katódsugárcsőben nagy vákuum van, így a nagy reakcióképességük ellenére sem nyelődnek el és szóródnak olyan gyorsan. A gyorsításukra fordított munkát az előbb említett anód és katód közt elhelyezkedő elektromos mező végzi, így a munkatétel értelmében:

Ahol : anód feszültsége, : elektronon végzett munka, : elektron töltése, : elektron tömege és : elektron sebessége.

Az elektroncsövet Helmholtz-tekercsek veszik körül, melyek a (jó közelítéssel homogén) mágneses teret biztosítják. Ennek hatására az elektronokra Lorentz-erő hat, mely körpályán tartja a részecskéket.

Ahol : Lorentz-erő, : elektron-körpálya sugara, : homogén mágneses tér.

A fenti két egyenlet jobb oldalai egyenlőek, így adódik:

Ha az (1) egyenletből kifejezzük a sebességet, majd azt behelyettesítjük a (2) egyenletbe;

Négyzetre emelve mindkét oldalt, majd leegyszerűsítve a fajlagos töltéssel, végül a következő összefüggésre jutunk:

Az elektroncsőben lévő kisnyomású vízgőznek köszönhetően az elektronok ütköznek a hidrogénatomokkal, mely halványlila fénykibocsátással jár. Ily módon vizsgálhatjuk az elektron-körpálya sugarát, hiszen a saját szemünkkel is láthatóvá válik.

**Mérés menete**

1.) A mérésünket a Helmholtz-tekercsek kalibrálásával kezdtük. A Hall szonda segítségével megmérhető az arány a tekercspár áramerősségének nagysága és az elektroncsőben mérhető mágneses tér nagysága között.

Ez az arány;

Megmértük a mágneses teret és közti tekercsáramok mellett pontban, majd egy reprodukálhatósági mérést is elvégeztünk áramerősségnél. Ezek az adatok az és táblázatban láthatóak.

2.) Következő feladatként három különböző gyorsítófeszültség mellett megmértük a körpálya átmérőjét több tekercsáram esetében is. A laboratóriumi jegyzet azt az instrukciót adta, hogy mindhárom esetben és között mérjünk, de ettől néhol egy kevéssé eltértünk, mert úgy tapasztaltuk, hogy a körpálya egyes áramerősségeknél túl nagy átmérőjűvé vált, és nehézkessé tette a pontos méretének leolvasását. Ezeket az adatokat (illetve az ezekből továbbszámolt értékeket) a és táblázat tartalmazza. Az elektron-körpálya átmérőjét egy tükrös vonalzóval mértük meg úgy, hogy a fénylő kör tükörképét, magát a kört és a vonalzó nóniuszát egy vonalba hoztuk, majd leolvastuk a körpálya két szélének helyzetét.

Végül itt is készítettünk reprodukálhatósági mérést az elektron-körpálya sugaraira. Ezek az adatok a táblázatban olvashatóak.

#### Mérési adatok és kiértékelésük

1.) A Helmholtz-tekercsek kalibrálásakor az áramerősség fokozatos növelése mellett felvettük a Hall-feszültség adatait. Mivel tudjuk, hogy a Hall-feszültség és a mágneses tér között a (3) kapcsolat áll fenn, így az egyes pontokban kiszámolhatjuk a mágneses tér nagyságát, ahogy azt az alábbi táblázatban fel is tüntettük;

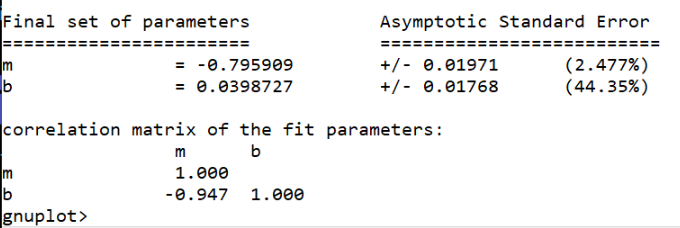
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 0,4 | -3,5 | -0,2957 |
| 0,5 | -4,2 | -0,357 |
| 0,6 | -5 | -0,425 |
| 0,7 | -6 | -0,51 |
| 0,8 | -6,9 | -0,5865 |
| 0,9 | -7,8 | -0,663 |
| 1,0 | -8,9 | -0,7565 |
| 1,1 | -10,3 | -,8755 |
| 1,2 | -10,7 | -0,9095 |
| 1,3 | -11,6 | -0,986 |

1. táblázat: állandó meghatározásához szükséges mért és számolt értékek

Ha ábrázoljuk az indukált mágneses teret az áramerősség függvényében, majd a pontokra egyenest illesztünk, annak meredeksége megadja a állandót, melynek meghatározása szintén a laborgyakorlat egyik feladata. Az adatpontok és a rájuk történő illesztés grafikonja az ábrán látható.

Az illesztett egyenes egyenlete;

Tehát az áram és az általa gerjesztett mágneses tér közti arányossági tényező nagysága;





1. ábra: Gnuplot-tal történő egyenesillesztés ábrája a állandó meghatározásához

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Reprodukálhatósági mérés I = 1,1 A mellett | | | | | átlag | szórás |
| -10,3 mV | -9,9 mV | -9,9 mV | -9,8 mV | -9,9 mV | -9,96 mV |  |

2. táblázat: Helmholtz-tekercs kalibrációja során felvett reprodukálhatósági adatok

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 0,8 | 2,7 | 11,6 | 8,9 | 4,45 |
| 0,85 | 2,7 | 11,1 | 8,4 | 4,2 |
| 0,9 | 2,7 | 9,4 | 6,7 | 3,35 |
| 0,95 | 2,7 | 9,3 | 6,6 | 3,3 |
| 1,0 | 2,7 | 9,2 | 6,5 | 3,25 |
| 1,05 | 2,7 | 8,8 | 6,1 | 3,05 |
| 1,1 | 2,7 | 8,5 | 5,8 | 2,9 |
| 1,15 | 2,7 | 8 | 5,3 | 2,65 |

2.) Az elektron-körpálya sugarak mérési eredményei alább láthatóak;

3. táblázat: elektron-körpálya sugarának mérése **U = 120 V mellett**, különböző áramerősségek esetén

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 1,00 | 2,7 | 11,7 | 9 | 4,5 |
| 1,05 | 2,7 | 11,1 | 8,4 | 4,2 |
| 1,10 | 2,7 | 10,8 | 8,1 | 4,05 |
| 1,15 | 2,7 | 10,6 | 7,9 | 3,95 |
| 1,20 | 2,7 | 10,2 | 7,5 | 3,75 |
| 1,25 | 2,7 | 9,5 | 6,8 | 3,4 |
| 1,30 | 2,7 | 9,1 | 6,4 | 3,2 |
| 1,35 | 2,7 | 8,6 | 5,9 | 2,95 |

4. táblázat: elektron-körpálya sugarának mérése **U = 170 V mellett**, különböző áramerősségek esetén

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 1,10 | 2,7 | 10,9 | 8,2 | 4,1 |
| 1,15 | 2,7 | 10,3 | 7,6 | 3,8 |
| 1,20 | 2,7 | 9,8 | 7,1 | 3,55 |
| 1,25 | 2,7 | 9,5 | 6,8 | 3,4 |
| 1,30 | 2,7 | 8,9 | 6,2 | 3,1 |
| 1,35 | 2,7 | 8,6 | 5,9 | 2,95 |
| 1,40 | 2,7 | 8,6 | 5,9 | 2,95 |
| 1,45 | 2,7 | 8,4 | 5,7 | 2,85 |

5. táblázat: elektron-körpálya sugarának mérése **U = 200 V mellett**, különböző áramerősségek esetén

Ezen adatok felhasználásával, és az előbb már használt (3) összefüggés ismeretében előállíthatóak a következő adatpontok;

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U = 120 V-nál | | U = 170 V-nál | | U = 200 V-nál | |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

6. táblázat: elektron fajlagos töltésének meghatározásához szükséges adatpontok táblázata

Ha a kapott pontokból az függvényre egyenest illesztünk, annak meredeksége megadja az elektron fajlagos töltésének nagyságát. Az adatpontok, és az illesztett egyenesek egy közös grafikonon ábrázolva így néznek ki;



2. ábra: Gnuplot-tal történő egyenesillesztések az elektron fajlagos töltésének meghatározásához

Az adatsorokra illesztett egyenesek egyenletei a következőek:

Az elektron fajlagos töltésének irodalmi értéke . Mindhárom egyenes meredekségének értéke ebbe a nagyságrendbe esik, de legjobban a 200 V feszültség mellett felvett adatpontok közelítik meg, aminek szemmel látható oka például az lehet, hogy az általunk mért adatok szebben „ráfekszenek” egy egyenesre, valószínűleg itt volt a legkevesebb a mérési- és/vagy leolvasási hibánk.

Ennek értéke: .

A három kapott érték átlaga: .

Egy másik feladat volt, hogy ebből számoljuk ki az elektron tömegét. Ez a fenti értékek ismeretében így alakul;

#### Hibaszámítás

A mérés során különböző hibaforrásokat kell figyelembe vennünk. Egyrészt a saját reprodukálhatósági méréseinkből is látható mérési/leolvasási hibáinkat, a műszerek mérési hibáit és a számolt értékeknél az illesztési hibákat.

A gyorsítófeszültség mérése során a mérési hiba: .

A Hall-feszültségre vonatkozó reprodukálhatósági mérés alapján (2. táblázat) a Hall-feszültség hibája:, vagyis SI egységekben .

Az elektron-körpálya sugarára vonatkozó reprodukálhatósági mérésünk adatai a következők voltak:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Reprodukálhatósági mérés I = 1,15 A és U = 200 V mellett | | | | | | átlag [cm] | szórás [cm] |
|  | 10,4 | 10,4 | 11 | 10,3 | 10,6 | 10,54 | 0,279285 |
|  | 3,85 | 3,85 | 4,15 | 3,8 | 3,95 | 3,92 | 0,139642 |

7. táblázat: elektron-körpálya sugarának reprodukálhatósági mérése

Tehát az elektron-körpálya sugarának leolvasási hibája: , vagyis SI egységekben .

A mágneses térerősség hibáját kiszámíthatjuk a , vagy a képletből, de mivel az áramerősség leolvasási hibáját elfelejtettük feljegyezni, így a másodikra hagyatkozunk.

Ebből .

Végül a fajlagos töltés hibáját is meghatározhatjuk, mivel már minden szükséges adatot ismerünk hozzá.

Mivel ez a hiba kisebbnek adódik, mint a fentebb már meghatározott egyenesillesztés hibája , így a nagyobb értéket választjuk a hiba megadásához.

#### Diszkusszió

Sikerült meghatároznunk az áramerősség és az általa indukált mágneses tér között fennálló arányossági tényezőt, illetve az elektron fajlagos töltésére is hibahatáron belüli értéket kaptunk, így a laboratóriumi mérés eredményesnek tekinthető.

(A laboratórium során külön élveztük, hogy az elektroncsőben szemmel látható volt az elektron-körpálya, és ha elforgattuk az üveget, az általunk vártnak megfelelően spirál alakra módosult a pályája az elektronoknak. Jó volt nem csak papíron látni a számolások eredményét, de saját szemünkkel konstatálni is a jelenséget.)