

## 【实验目的】

- ① 了解用霍尔效应法测量磁场的原理, 掌握 FBS11 型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪的使用方法.
- ② 了解载流圆线圈的轴向磁场分布情况.
- ③ 测量载流圆线圈和亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布.
- ④ 两平行线圈的间距改变为  $d=R$  和  $d=2R$  时, 测定其轴线上时的磁场分布.

## 【实验原理】(电学、光学画出原理图)

### ① 载流圆线圈磁场

如图, 半径为  $R$  的  $N_0$  匝圆线圈通有电流  $I$ , 轴线上到圆心  $O'$  距离为  $x$  处的磁感应强度为  $B = \frac{N_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$  (1)

其中  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ , 磁场分布图如图.

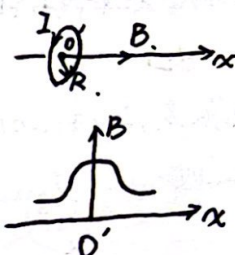


图1 载流圆线圈磁场

### ② 亥姆霍兹线圈

两个如图1所示的线圈平行共轴放置, 间距为  $R$  时, 两线圈合磁场在中心轴线(两线圈圆心连线)附近较大范围内是均匀的. 这样的一对线圈称为亥姆霍兹线圈.

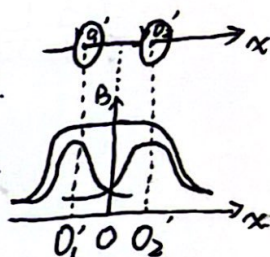


图2 亥姆霍兹线圈磁场

### ③ 利用霍尔效应测磁场

如图, 厚度为  $d$  的矩形半导体薄片垂直磁场  $B$  放置, 通有电流  $I$ . 载流子在洛伦兹力的作用下运动方向发生改变, 发生横向偏转, 在边界积累产生横向电场  $E$ . 直到  $E$  产生的  $F_E$  作用与洛伦兹力  $F_B$  抵消, 即:

$$q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) = q \cdot \vec{E} \quad (2)$$

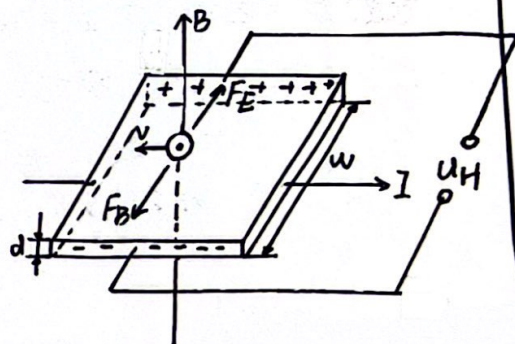
时, 电荷不再偏转.

由于  $I = nqsv = nqw dv$ , 则  $v = \frac{I}{nqw d}$  (3), (4) ( $n$  为载流子浓度).

代入 (2) 式有  $E = \frac{IB}{nqw d}$ , 则  $U_H = \frac{IB}{nqd}$  (5), (6)

记霍尔系数  $R_H = \frac{1}{nq}$ , 霍尔元件的灵敏度  $K_H = \frac{R_H}{d} = \frac{1}{nqd}$

则  $U_H = K_H IB$ . (7)





## 【实验内容】（重点说明）

### ① 测量载流圆线圈轴线上磁场的分布。

正确连接仪器，调节励磁电流  $I=0.000\text{A}$ ，在线圈磁感应强度为0的条件下，将微特斯特拉计调零（消除地磁场、环境中其他干扰磁场、不平衡电势的影响），这样微特斯特拉计就较准好了。

松开固定线圈用的螺栓，平行移动线圈至5cm（即  $\frac{R}{2}$ ）处固定。使励磁电流  $I=0.400\text{A}$ ，以圆电流线圈中心为坐标原点，每1.0cm测一个B值。记录数据并画出B-x曲线。

### ② 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布。

$d=R=10\text{cm}$ ，串联两个励磁线圈，调节励磁电流  $I=0.400\text{A}$ ，以两个圆线圈中心连线上的中点为坐标原点，每隔1.0cm测量一个数据，记录数据并画出B-x曲线。

### ③ 测量载流圆线圈沿z轴的磁场分布。

将传感器探头移动到一圆线圈中心，轴线D的夹角为 $0^\circ$ ，径向移动探头，每移动1.0cm测量一个数据，按正方向测到6cm为止，记录数据并作出B-y曲线。

## 【实验器材及注意事项】

① 实验器材：FB511型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪。

② 注意事项：（1）在励磁电流为0的情况下，通过补偿电位器，对微特斯特拉计进行补偿调零。在实验过程中测试架位置要保持不变，若有变动，微特斯特拉计要重新补偿调零。（2）实验室中磁场实验仪较多，应注意实验仪之间不要靠得太近，以免互相影响。





### 【数据处理与结果】

#### ① 测量载流圆线圈轴线上磁场的分布

$$\begin{aligned} \alpha=0 \text{ 时, 相对误差} &= \frac{978-1005}{1005} \times 100\% = 2.7\% \\ \alpha=3 \text{ 时, 相对误差} &= \frac{883-883}{883} \times 100\% = 2.6\% \\ \alpha=5 \text{ 时, 相对误差} &= \frac{719-719}{719} \times 100\% = 2.9\% \end{aligned}$$

轴向距离 $x/\text{cm}$	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	358	396	461	533	615	697	783	861	926	963	978
轴向距离 $x/\text{cm}$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	
磁感应强度 $B/\text{mT}$	963	920	860	783	698	613	533	461	397	337	

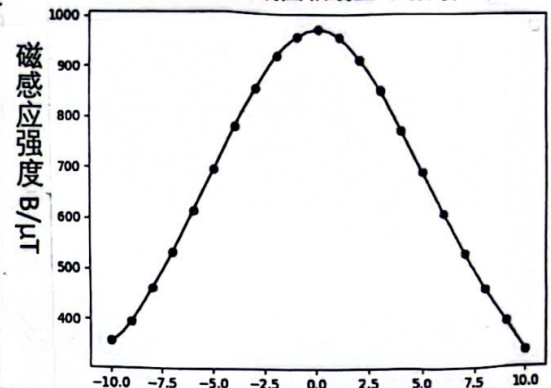
$$\alpha=0 \text{ 时 } B_{\text{理论}} = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + \alpha^2)^{3/2}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 400 \times 400 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot (0.1\text{m})^2}{2(0.1\text{m})^3} = 1005 \mu\text{T}$$

$$\alpha=\pm 3 \text{ 时 } B_{\text{理论}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 400 \times 400 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot (0.1\text{m})^2}{2[(0.1\text{m})^2 + (0.03\text{m})^2]^{3/2}} = 883 \mu\text{T}$$

$$\alpha=\pm 5 \text{ 时 } B_{\text{理论}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 400 \times 400 \times 10^{-3} \text{ A} \cdot (0.1\text{m})^2}{2[(0.1\text{m})^2 + (0.05\text{m})^2]^{3/2}} = 719 \mu\text{T}$$

$B-x$  图像如右图, 可见载流圆线圈轴线上磁场分布左右对称且由中间向两边递减

测量载流圆线圈轴线上磁场的分布



#### ② 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布

轴向距离 $x/\text{cm}$	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	920	1027	1132	1231	1318	1387
轴向距离 $x/\text{cm}$	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00	1.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1427	1449	1461	1463	1464	1464
轴向距离 $x/\text{cm}$	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1462	1448	1426	1386	1322	1240
轴向距离 $x/\text{cm}$	8.00	9.00	10.00			
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1142	1032	921			

$B-x$  图像如右图, 可见亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布比较均匀

$$B_{\text{理论}} = 2 \times B_{\text{理论}} = 2 \times 719 \mu\text{T} = 1438 \mu\text{T}$$

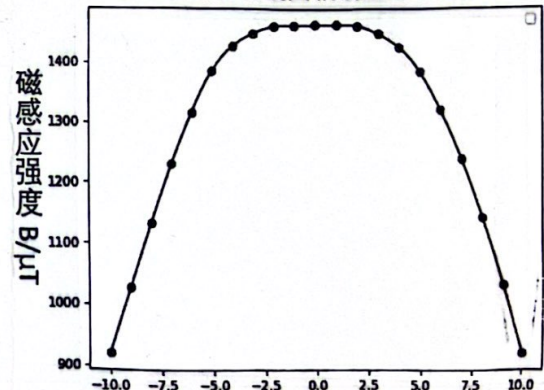
$$\text{相对误差} = \frac{1464-1438}{1438} \times 100\% = 1.8\%$$

#### ③ 测量载流圆线圈沿径向方向上的磁场分布

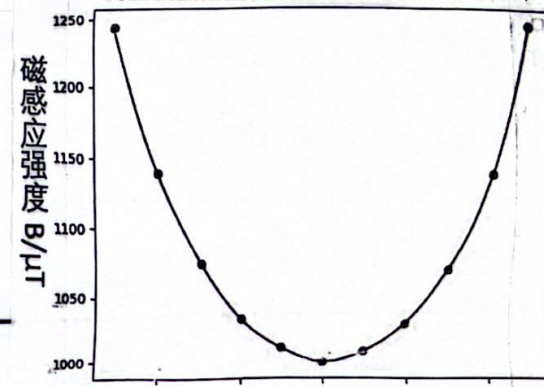
径向距离 $y/\text{cm}$	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1243	1140	1075	1032	1009	998
径向距离 $y/\text{cm}$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1006	1028	1070	1140	1246	

$B-y$  图像如右图, 可见载流圆线圈沿径向方向上的磁场分布左右对称, 且由两边向中间递减

测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布



测量载流圆线圈沿径向方向上的磁场分布





## 【误差分析】

- ①注意到从  $x=0.00\text{cm}$  到  $x=15.00\text{cm}$  测量再回到  $x=0.00\text{cm}$  时,两次在原点读到的  $B$  不同。这可能是由于环境中磁场发生变化,尤其是邻近的其他实验仪器如向造成的。
- ②实验中对原点(中心点)两侧进行测量时,两侧读到的  $B$  值虽明显呈对称,但有一定误差。除了第条提到的问题外,还有可能是因为线圈放置并非完全竖直,因而两侧水平方向上磁场分布并非完全对称。
- ③调整时会有  $\pm 2\text{mT}$  的跳动,不能稳定。这同样说明测量时的值也会存在波动。事实也确是如此。
- ④调节霍尔元件位置时可能有视觉误差,尤其是调节到线圈正后方时很难观测。这可能会带来误差。

## 【实验心得及思考题】

## ①实验心得

本次实验我深入了解了用霍尔效应法测量磁场的原理,了解到载流线圈的绕向、纵向磁场分布情况,了解了细霍尔线圈的磁场分布,整体的实验过程较为简单,也比较顺利,实验数据也较为理想。

## ②思考题

Q: 在磁场测量过程中为什么要保持霍尔片工作电流及螺线管励磁电流的大小不变?

A: 霍尔片输出电压正比于磁场和工作电流的乘积,只有工作电流恒定,输出电压才与磁场成正比,而螺线管的励磁电流决定了其产生的磁场强度。如果励磁电流不稳定,会导致磁场强度的波动,从而影响到霍尔片的测量结果。





【数据记录及草表】

理论值:  $0, \pm 3, \pm 5$

① 测量载流圆线圈轴线上磁场的分布.

轴向距离 $x/\text{cm}$	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	697	783	861	926	963	978	963	920	860	783	698

② 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布.

轴向距离 $x/\text{cm}$	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	920	1027	1132	1231	1318	1387	1427	1449	1461	1463	1464
轴向距离 $x/\text{cm}$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1464	1462	1448	1426	1386	1322	1240	1142	1032	921	

③ 测量载流圆线圈沿径向方向上的磁场分布.

径向距离 $y/\text{cm}$	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
磁感应强度 $B/\text{mT}$	1243	1140	1075	1032	1009	998	1006	1028	1070	1140	1246

补: 测量载流圆线圈轴线上磁场的分布

轴向距离 $x/\text{cm}$	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	
磁感应强度 $B/\text{mT}$	358	396	461	533	615	613	533	461	397	337	

教师签字:

