

# 浙 江 大 学

## 物 理 实 验 报 告

实验名称：用霍尔法测直流同线圈与亥姆霍兹线圈磁场

指导教师：刘 才 明

信 箱 号：18



## 【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. 了解载流圆线圈的径向磁场分布情况
3. 测量载流圆线圈和亥姆霍兹线圈上的轴线上的磁场分布
4. 两平行线圈的间距改变为  $d=R$  和  $d=2R$  时, 测定其轴线上的磁场分布

## 【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

### 1. 载流圆线圈与亥姆霍兹线圈的磁场

(1) 载流圆线圈: 半径为  $R$ , 电流为  $I$  的线圈, 其轴线上离中心距离为

$$x \text{ 处的磁感应强度表达式为: } B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

上式中  $N$  为线圈匝数,  $x$  为轴上某一点到圆心  $O$  距离,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  图1 载流圆线圈的磁场分布

磁场的分布如图1所示, 是一条单峰的关于  $Y$  轴对称的曲线

本实验取  $N=400$  匝,  $I=0.400 \text{ A}$ ,  $R=0.100 \text{ m}$ , 在圆心  $O'$  处  $x=0$ , 可算得磁感应强度为  $B=1.0053 \times 10^{-3} \text{ T}$

(2) 亥姆霍兹线圈

两个完全相同的圆线圈彼此平行且共轴, 通以同方向电流  $I$ , 线圈间距等于线圈半径  $R$  时, 从磁感应强度分布曲线可以看出: 两线圈合磁场在中心轴线上 (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, 如图2所示。从分布曲线可以看出, 在两线圈中心连线一段, 出现一个平台, 这说明该处是匀强磁场。

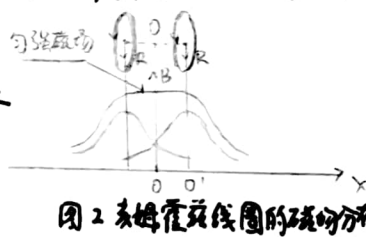


图2 亥姆霍兹线圈的磁场分布

### 2. 利用霍尔效应测磁场的原理

霍尔元件的作用如图3所示, 若电流  $I_H$  流过厚度为  $d$  的矩形半导体薄片, 且磁场  $B$  垂直作用于该半导体, 由于洛伦兹力作用电流方向会发生改变, 这一现象称为霍尔效应, 在薄片两个横向面  $a, b$  之间产生的电势差称为霍尔电势。该电势同时垂直于电流  $I_H$  及磁场  $B$  方向。

霍尔电势产生原因: 当电流  $I_H$  通过霍尔元件 (假设为  $P$  型) 时, 空穴有一定漂移速度  $v$ , 垂直磁场对运动电荷产生一个洛伦兹力:  $F_B = q \cdot (v \times B)$  ② 图3 霍尔元件

式中  $q$  为电子电荷, 洛伦兹力使电荷产生横向的偏转, 由于样品有边界, 所以偏转的载流子将在边界积累起来, 产生一个横向电场  $E$ , 直到电场对载流子的作用力  $F_E = q \cdot E$  与磁场作用的洛伦兹力相抵消为止, 即

$$q \cdot (v \times B) = q \cdot E$$

这时电荷在样品中流动时不再偏转, 由此建立霍尔电势差。如果是  $N$  型样品, 则横向电场与前者相反

设  $P$  型样品的载流子浓度为  $p$ , 宽度为  $w$ , 厚度为  $d$ , 则通过样品的电流为  $I_H = p q \cdot w \cdot d \cdot v$ , 则空穴速度为  $v = \frac{I_H}{p q w d}$ , 代入 (3) 式有  $E = |v \times B| = \frac{I_H B}{p q w d}$ , 又可得  $U_H = \frac{I_H B}{p q d}$  ④

其中  $R_H = \frac{1}{p q}$  称为霍尔系数, 在应用中一般写成:  $U_H = K_H \cdot I_H \cdot B$

比例系数  $K_H = \frac{R_H}{d} = \frac{1}{p \cdot q \cdot d}$  称为霍尔元件的灵敏度, 单位为  $\text{mV/(mA} \cdot \text{T)}$ 。一般要求  $K_H$  愈大愈好。  $K_H$  与载流子浓度  $p$  成反比, 半导体内载流子浓度远比金属载流子浓度小, 所以都用半导体材料作为霍尔元件,  $K_H$  与材料片厚  $d$  成反比, 为了增大  $K_H$  值, 霍尔元件都做得很薄。由 ④ 式可得, 知道霍尔片的灵敏度  $K_H$ , 只要分别测出霍尔电流  $I_H$  及霍尔电势差  $U_H$  就可以算出磁场  $B$  的大小, 这就是霍尔效应测量磁场原理



## 【实验内容】（重点说明）

1. 测量载流圆线圈轴线上磁场的分布
  - (1) 按载流圆线圈的要求, 把 FBS11 型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪与测试架正确连接, 调节电流使励磁电流  $I = 0.000 \text{ A}$ , 再在线圈磁场强度为 0 的条件下把微特斯拉计调零, 以此把微特斯拉计校准好, 消除地磁场和其他环境杂散干扰磁场及不平衡电势的影响
  - (2) FBS11 型磁场实验仪测试架左边的线圈为固定线圈, 固定在刻度尺零点 (即  $0 \text{ cm}$  处), 把右边的可动线圈移动到合适的位置 (中心作为坐标原点)
  - (3) 使励磁电流  $I = 0.400 \text{ A}$ , 以圆电流线圈中心为坐标原点, 每隔  $1.0 \text{ cm}$  测一个  $B$  值, 测量过程中注意保持励磁电流值不变
  - (4) 把测试数据记录列表 1 中, 在方格纸上画出  $B \sim x$  曲线。
2. 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场分布
  - (1) 参照上面步骤, 移动线圈使二线圈间距  $d = R$  (即  $R$  处  $10 \text{ cm}$ ), 这时两个圆线圈中心连线的几何中心在测试平台水平刻度尺  $5 \text{ cm}$  处
  - (2) 把两个圆电流线圈串联起来 (注意极性不要接反), 接到磁场测试仪的输出端钮。调节电流输出使励磁电流  $I = 0.400 \text{ A}$ , 以两个圆线圈中心连线上的中点为坐标原点, 每隔  $1.0 \text{ cm}$  测一个  $B$  值。
  - (3) 把测试数据记录列表 2 中。在方格纸上画出  $B \sim x$  曲线。
3. 测量载流圆线圈沿“径向”的磁场分布:
 

按实验内容 2 的要求, 把传感器探头移动到 -2 线圈中心, 轴线  $O$  的夹角为  $0^\circ$ , 径向移动探头, 每移动  $1.0 \text{ cm}$  测量一个数据, 按正反方向测到  $6 \text{ cm}$  为止, 把数据记录列表 3, 作出磁场分布  $B \sim y$  曲线图。
4. 改变线圈间距, 重复步骤 2.3. (选做)

## 【实验器材及注意事项】

实验仪器: 1. FBS11 型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪器  
2. 测试架 1 台

- 注意事项:
1. 每套仪器的集成霍尔传感器探头与微特斯拉计是编号的, 出厂已配对调好, 不可互调, 否则会造成测量结果不准确
  2. 在励磁电流等于 0 条件下, 通过补偿电位器, 对微特斯拉计进行补偿调节。
  3. 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场分布时, 把两个圆电流线圈串联起来时注意极性不要接反。
  4. 实验室中磁场仪器较多, 为避免相互影响, 应注意不要靠太近。
  5. 测量过程中注意保持励磁电流值不变



## 【数据处理与结果】

### 1. 载流圆线圈轴线上磁场的分布的测量数据记录

表1 载流圆线圈轴线上磁场的分布的数据

刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
轴向距离 $X$ ( $10^{-2}m$ )	-10.0	-9.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0
磁感应强度 $B$ (mT)	0.435	0.489	0.553	0.625	0.707	0.770	0.877	0.955	1.017	1.060	1.073
理论磁感应强度 $B$ (mT)	0.355	0.413	0.479	0.553	0.634	0.719	0.805	0.883	0.947	0.990	1.005
相对误差 %	22.5	18.4	15.5	13.1	11.6	9.9	9.0	8.2	7.3	7.1	6.8
刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	
轴向距离 $X$ ( $10^{-2}m$ )	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
磁感应强度 $B$ (mT)	1.062	1.017	0.983	0.880	0.793	0.707	0.626	0.556	0.489	0.432	
理论磁感应强度 $B$ (mT)	0.990	0.948	0.883	0.805	0.719	0.634	0.553	0.479	0.413	0.355	
相对误差 %	7.3	7.3	8.0	9.4	10.3	11.9	13.2	16.0	18.4	21.7	

将实验测得数据填入表中. 并由  $B_0 = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$  计算得理论磁感应强度.

再由  $E = \frac{|B_0 - B|}{B_0} \times 100\%$  计算相对误差. 填入表中. 由结果和图可得, 单个载流圆线圈磁场的分布关于  $Y$  轴对称, 且中心处磁感应强度最大, 向两端递减. 且实验曲线与理论曲线大致符合. 相对理论值偏大.

### 2. 亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布的测量数据记录

表2 亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布数据

刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
轴向距离 $X$ ( $10^{-2}m$ )	-10.0	-9.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0
磁感应强度 $B$ (mT)	0.937	1.047	1.153	1.256	1.340	1.400	1.446	1.473	1.480	1.486	1.487
刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	
轴向距离 $X$ ( $10^{-2}m$ )	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
磁感应强度 $B$ (mT)	1.487	1.487	1.479	1.468	1.440	1.358	1.279	1.186	1.085	0.967	

将实验测得数据填入表中. 由数据和图像发现, 其与预期相符. 且其磁场的分布关于  $Y$  轴对称, 两线圈的磁感应强度在中心处最大. 且在一定范围内均匀. 随着距离增大, 磁感应强度向两端递减. (在  $X$  从  $-10cm$  到  $10cm$  处大致均匀)

### 3. 测量载流线圈轴向磁场的分布

表3 载流圆线圈中心平面内轴向磁场的分布数据记录

径向距离 $Y$ ( $10^{-2}m$ )	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$B$ (mT)	1.287	1.183	1.118	1.081	1.064	1.058	1.065	1.084	1.136	1.203	1.317

将实验测得数据填入表中. 由数据和图像发现, 其与预期大致相符. 且其磁场的分布关于  $Y$  轴对称. 而中心处磁感应强度最小. 磁感应强度随着径向距离的绝对值的增大而增大.



【误差分析】实验测得数据和所做图像与预期大致符合,但仍有一定误差,误差分析。

1. 地球磁场会对磁本实验造成干扰,即使将微特斯特拉计调零后,仍未排除在不同位置处地球磁场的干扰。
2. 人为读数存在误差,在读取径向或轴向距离时,定的位置由于观测原因存在误差。
3. 实验仪器的测量误差,仍存在一定的偏差,由理论曲线和实际曲线可以看出存在特定方向偏差。
4. 载流线圈磁场分布不严格左右对称,可能受到其他仪器设备的干扰,或者载流线圈本身并不是严格对称,仍存在一定的误差,这个可由实验看出, X轴左侧数据普遍比右侧小。
5. 由实验1相对误差可以看出,在中心处相对误差较小,可见在磁场强度大的地方,误差对实验的影响小。
6. 亥姆霍兹线圈两个线圈中心并不严格在同一条水平线上,这个可能产生误差。

## 【实验心得及思考题】

实验心得:

本次实验让我了解了霍尔效应测量磁场的原理,并实际测量了载流线圈的磁场分布与亥姆霍兹线圈的磁场分布。虽然此实验的实际操作并不复杂,但其与理论知识相联系,加深了我对载流线圈磁场分布的理解与认识,同时在简单实验中,我们也要胆大心细,尽可能地避免误差,减小测量误差。同时要学会作图以及分析误差产生的原因。

思考题:

1. 因为地球磁场是一个恒定的直流磁场,会对载流线圈产生的磁场进行干扰,且因为载流线圈产生的磁场相对地球磁场来说较小,所以地球磁场的影响不可忽略。
2. 载流线圈轴线上距离中心越远,磁场强度越小,且磁场分布关于OY轴中心对称,中心处磁场最大,向两端递减。
3. 亥姆霍兹线圈由两个相同的平行且共轴的线圈组成,通以相同方向的电流。当线圈间距等于线圈半径时,两个载流线圈的总磁场在轴上中心点附近较大范围内是均匀的。改变两线圈间距后,当间距增大,则磁场分布将出现两个峰,间距减小时则中心位置不会出现均匀无变化的磁场分布。
4. 当探测器探头与磁场方向垂直时示数最大。
5. 霍尔元件的安装不精确,使用时间过长都会对结果产生误差,同时环境中也可能存在干扰的磁场。



【数据记录及草表】

表1 载流圆单线圈轴线上磁场分布的数据记录

刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
轴向距离 $x$ ( $10^{-2}m$ )	-10.0	-9.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0
磁感应强度 $B$ (mT)	0.455	0.489	0.553	0.625	0.707	0.790	0.877	0.955	1.017	1.060	1.073
理论磁感应强度 $B$ (mT)	0.355	0.413	0.479	0.553	0.634	0.719	0.805	0.883	0.948	0.990	1.005
相对误差 %	22.5	18.4	15.5	13.1	11.6	9.9	9.0	8.3	7.3	7.3	6.8
刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	
轴向距离 $x$ ( $10^{-2}m$ )	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
磁感应强度 $B$ (mT)	1.062	1.017	0.953	0.880	0.793	0.709	0.626	0.556	0.489	0.432	
理论磁感应强度 $B$ (mT)	0.990	0.948	0.883	0.805	0.719	0.634	0.553	0.479	0.413	0.355	
相对误差 %	7.3	7.3	8.0	9.4	10.3	11.9	13.2	16.0	18.4	21.7	

表2 亥姆霍兹线圈轴线上磁场分布数据记录

刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
轴向距离 $x$ ( $10^{-2}m$ )	-10.0	-9.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0
磁感应强度 $B$ (mT)	0.937	1.047	1.153	1.256	1.340	1.400	1.446	1.473	1.480	1.486	1.487
刻度尺读数 ( $10^{-2}m$ )	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	
轴向距离 $x$ ( $10^{-2}m$ )	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
磁感应强度 $B$ (mT)	1.487	1.487	1.477	1.458	1.420	1.358	1.279	1.186	1.085	0.987	

表3 载流圆线圈中心平面内径向磁场分布数据记录

径向距离 $y$ ( $10^{-2}m$ )	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$B$ (mT)	1.287	1.183	1.118	1.081	1.064	1.058	1.065	1.084	1.136	1.203	1.317

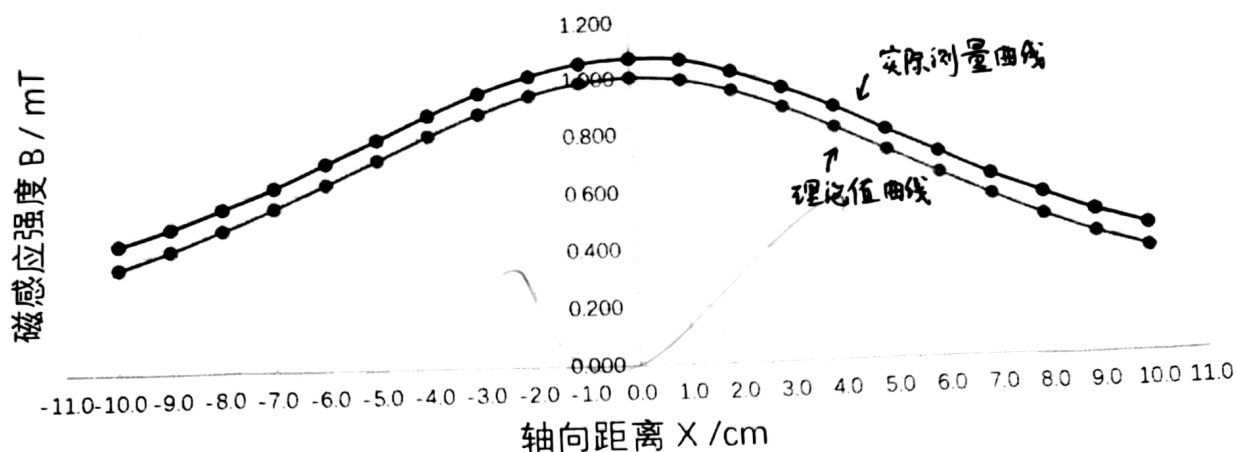
教师签字:

吴敏

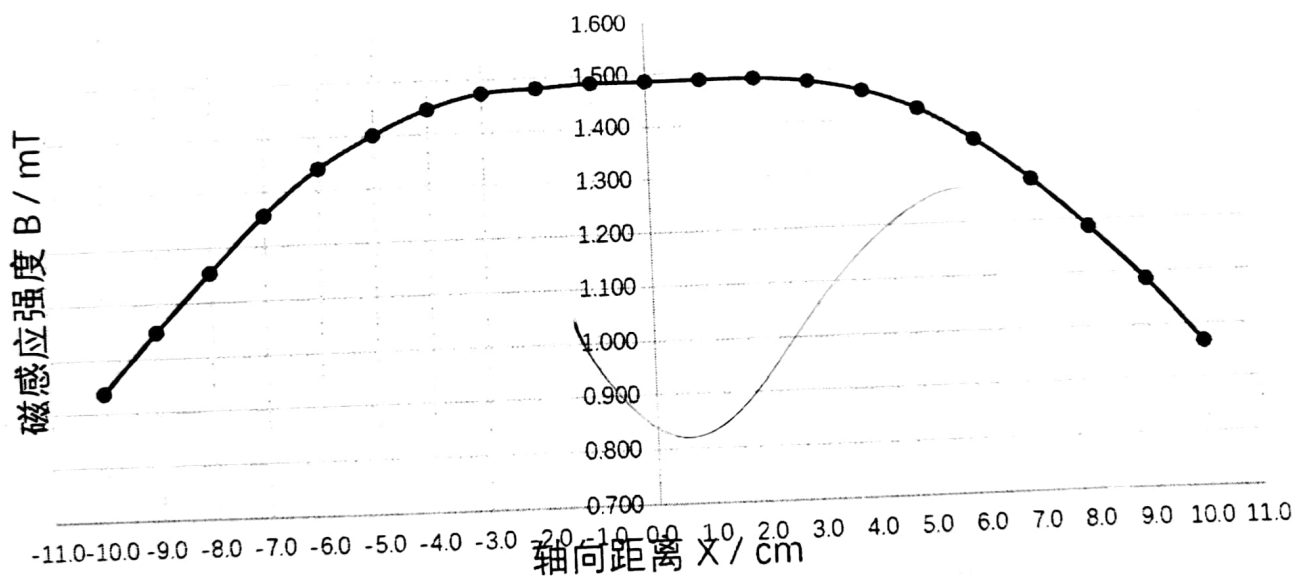




载流圆线圈轴线上的磁场分布



亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布



载流圆线圈沿径向的磁场分布曲线

