

基础物理实验

圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场



物理国家级实验教学示范中心（复旦大学）



欢迎大家修读本课程，请注意以下事项：

1. 课程有班级群，请注意加群，以便跟老师联系；
2. 本课程为必修课，若没通过，没有补考，只有重修；
3. 课程评分由平时成绩和期末成绩组成，请出席每一次实验课并提交报告，如特殊原因无法出席，请务必请假并联系老师申请补做；
4. 实验前认真预习并完成预习报告，没有预习报告，不允许做实验；
5. 诚实守信，不允许篡改、伪造或抄袭别人的数据，不允许带着别人的实验报告来实验室做实验，一经发现，该实验为 0 分。

圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场

丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted)发现电流的磁效应以后,人们改变了把电与磁截然分开的看法,开始了探索电、磁内在联系的新时期。与电相互作用一样,磁相互作用也是通过场来传递的,这种场就是磁场。20世纪末随着半导体工业的发展,集成霍尔传感器因其测量灵敏度高,体积小,易于在磁场中移动和定位的特性,在科研和工业中被广泛应用于磁场测量。

实验目的

1. 学习使用集成霍尔传感器测量磁场的方法。
2. 了解圆线圈的磁场和亥姆霍兹线圈产生均匀磁场的特性,验证磁场叠加原理。

实验原理

1. 圆线圈

根据毕奥-萨伐尔定律,载流线圈在轴线(通过圆心并与线圈平面垂直的直线)上某点的磁感应强度为

$$B = \frac{\mu_0 \bar{R}^2}{2(\bar{R}^2 + x^2)^{3/2}} NI \quad (1)$$

式中 N 为线圈的匝数, I 为通过线圈的电流强度, \bar{R} 为线圈平均半径, x 为圆心到该点的距离, μ_0 为真空磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$)。而圆心处的磁感应强度 B_0 为

$$B_0 = \frac{\mu_0}{2\bar{R}} NI \quad (2)$$

轴线外的磁场分布计算公式较复杂,这里简略。

2. 亥姆霍兹线圈

亥姆霍兹线圈是一对彼此平行且连通的共轴圆形线圈,每一线圈 N 匝。两线圈内的电流方向一致,大小相同。线圈之间距离 d 正好等于圆形线圈的半径 R 。这种线圈的特点是能在其公共轴线中点附近产生较广的均匀磁场区(一般定义磁场变化小于 1% 的范围为均匀区),故在生产和科研中有较大的实用价值,也常用于弱磁场的计量标准。

设 z 为亥姆霍兹线圈中轴线上某点离中心点 O 处的距离,则亥姆霍兹线圈轴线上任一点的磁感应强度为

$$B' = \frac{1}{2} \mu_0 N I R^2 \left\{ \left[R^2 + \left(\frac{R}{2} + z \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[R^2 + \left(\frac{R}{2} - z \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (3)$$

而在亥姆霍兹线圈轴线上中心 O 处磁感应强度 B_0 为

$$B'_0 = \frac{\mu_0 N I}{R} \frac{8}{5\sqrt{2}} \quad (4)$$

实验前应回答的问题

1. 写出载流圆线圈在轴线上各点的磁感应强度计算公式(1)。若 $N=500$, $R=10.00\text{cm}$, $I=100\text{mA}$, 计算圆心处的磁感应强度理论值。
2. 什么是亥姆霍兹线圈? 它有什么特点?
3. 为什么每测一点,毫特计必须事先调零?

实验仪器

圆线圈和亥姆霍兹线圈实验平台(包括两个圆线圈、固定夹、不锈钢直尺等),亥姆霍兹线圈磁场测定仪(主要包含高灵敏度毫特计和数字式直流稳流电源),闸刀式开关1个,导线若干。

1. 实验平台

两个圆线圈各500匝,圆线圈的平均半径 $R=10.00\text{cm}$ 。实验平台的台面应在两个对称圆线圈轴线上,台面上有相间 1.00cm 的均匀刻线。

2. 高灵敏度毫特计

它采用两个参数相同的95A型集成霍尔传感器(关于霍尔传感器请阅《基础物理实验》实验5-10),配对组成探测器,经信号放大后,用三位半数字电压表测量探测器输出信号。该仪器量程 $0-2.000\text{mT}$,分辨率为 $1\times 10^{-6}\text{T}$ 。

3. 数字式直流稳流电源

它由直流稳流电源、三位半数字式电流表组成。当两线圈串接时,电源输出电流为 $50-200\text{mA}$ 连续可调。数字式电流表显示输出电流的数值。

实验内容

一、 必做部分:

1. 将线圈a和线圈b之间间距调节到与线圈半径相等,即 $d=R$ 。检查双线圈的位置,确保满足亥姆霍兹线圈的条件。
2. 在轴线上某点转动毫特计探头,观察一下该点磁感应强度的方向:转动探测器观测毫特计的读数,读数最大时传感器法线方向,即是该点磁感应强度方向。
3. 用导线和开关将线圈a和线圈b与磁场测定仪分别连接,测量当电流 $I=100\text{mA}$ 时,线圈a和线圈b单独通电时轴线上各点的磁感应强度值 $B(a)$ 和 $B(b)$,每隔 1.00cm 测1个数据。实验中,应注意毫特计探头沿线圈轴线移动。每测量一个数据,必须先使直流电源输出电路断开时($I=0$)调零,再闭合电路并记录磁感应强度值。
4. 将测得的圆线圈中心点的磁感应强度与理论公式(2)计算结果进行比较。
5. 测亥姆霍兹线圈在通同样电流 $I=100\text{mA}$ 时,在轴线上各点的磁感应强度值 $B(a+b)$ 。
6. 改变双线圈间距,测量轴线上各点磁感应强度:分别把双线圈间距调整为 $d<R$ 和 $d>R$,测量在电流为 $I=100\text{mA}$ 时,轴线上各点磁感应强度值。

二、 选做部分:

1. 作 $B(a)\sim Z$ 、 $B(b)\sim Z$ 、 $B(a)+B(b)\sim Z$ 、 $B(a+b)\sim Z$ 四条曲线(可自带坐标纸),考察 $B(a)+B(b)\sim Z$ 与 $B(a+b)\sim Z$ 曲线,验证磁场叠加原理,即载流亥姆霍兹线圈轴线上任一点磁感应强度 $B(a+b)$ 是两个载流单线圈在该点上产生磁感应强度之和 $B(a)+B(b)$ 。
2. 作间距 $d<R$ 和 $d>R$ 时,双线圈轴线上磁感应强度 B 与位置 z 之间关系图即 $B\sim z$ 图(可自带坐标纸),并与亥姆霍兹线圈轴线上磁感应强度分布规律进行比较。

参考文献

1. 沈元华, 陆申龙, 基础物理实验, 高等教育出版社, 2003, 201-204。
2. 贾起民, 郑永令, 陈暨耀, 电磁学, 高等教育出版社, 2010, 122-136
3. 贾玉润等, 大学物理实验, 复旦大学出版社, 1987: 262-266。
4. 鲁绍曾主编.现代计量学概论, 中国计量出版社, 1987: 492-495。
5. 复旦天欣科技仪器公司.FD-HM-1 型圆线圈和亥姆霍次线圈磁场测定仪产品说明书, 2000.7。

圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场操作指南

实验平台：

两个圆线圈各 500 匝、圆线圈的平均半径 $R=10.00\text{cm}$ ，实验平台的台面应在两个对称圆线圈轴线上，台面上有相间 1.00cm 的均匀刻线。

线圈位置调节：

每一个线圈由一对金属固定架固定在实验平台上，拧松固定架上方的旋钮，将两线圈分别移动到 $\pm 5.00\text{cm}$ 位置，并确保线圈关于平台中轴线前后对称，拧紧固定架上的旋钮。

注意：固定架侧面的旋钮请勿随意调节，若发现两线圈高低不齐，请在老师的指导下调节。

接线和预热：

先将仪器电流输出调节旋钮左旋至最小，然后接线，单刀双向开关应接入线圈通电回路中用于电流通断，检查无误后才能开机进行预热，建议 10 分钟后进行实验。

调零：

每次测量某一点的磁感应强度值，先确保传感器置于测量点，使用单刀双向开关断开线圈电路，在电流为零时调节毫特计读数为零，然后接通线圈电路，记录磁感应强度值。每一点都必须调零。

调零的作用是抵消地磁场的影响及对其他不稳定因素的补偿（例如外界磁场的影响）。

数据记录参考表格

线圈位置：（ Z 为实验平台标尺刻度值）

电流 $I =$ _____ mA

$d = R$ 时 $Z_a =$ _____ cm, $Z_b =$ _____ cm

$d < R$ 时 $Z_a =$ _____ cm, $Z_b =$ _____ cm

$d > R$ 时 $Z_a =$ _____ cm, $Z_b =$ _____ cm

Z/cm	$d = R (10.00\text{cm})$				$d < R$	$d > R$
	$B(a)/\text{mT}$	$B(b)/\text{mT}$	$B(a)+B(b)/\text{mT}$	$B(a+b)/\text{mT}$	$B(a+b)/\text{mT}$	$B(a+b)/\text{mT}$
-10.0						
-9.0						
-8.0						
-7.0						
-6.0						
-5.0						
-4.0						
-3.0						
-2.0						
-1.0						
0.0						
1.0						
2.0						
3.0						
4.0						
5.0						
6.0						
7.0						
8.0						
9.0						
10.0						

