

浙江大学

物理实验报告

用霍尔法测直流圆线圈

实验名称: _____与亥姆霍兹线圈磁场_____

实验桌号: _____3_____

指导教师: _____潘佰良_____

班级: _____

姓名: _____

学号: _____

实验日期: 2025 年 12 月 11 日 星期 四 下午

一、预习报告 (10 分)

1. 实验综述 (5 分)

(自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。)

1. 载流圆线圈与亥姆霍兹线圈的磁场

如图 1 所示，一半径为 R ，通以直流电流 I 的 N_0 匝圆线圈，其轴线上离圆线圈中心距离为 x 米处的磁感应强度的表达式为：

$$B(x) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

如图 2 所示，两个完全相同的圆线圈彼此平行且共轴，通以同方向电流，线圈间距等于线圈半径 R 时，两线圈合磁场在中心轴线上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。

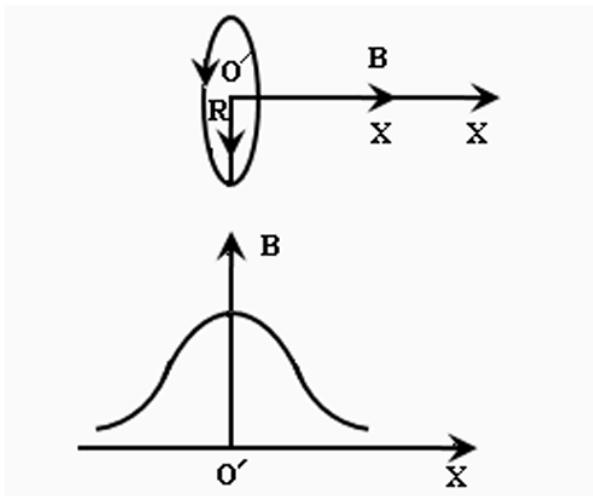


图 1

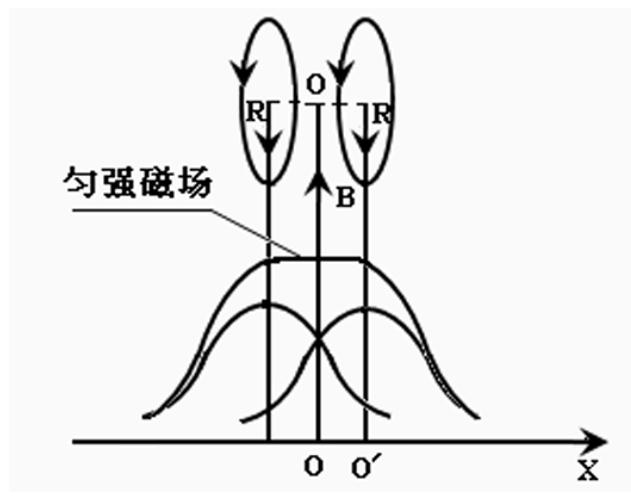


图 2

2. 利用霍尔效应测磁场的原理

霍尔效应是指当载流导体或半导体置于垂直于电流方向的磁场中时，在垂直于电流和磁场方向上产生电势差的现象。利用霍尔效应可以测量磁场强度。

根据计算可以得到： $U_H = K_H \cdot I_H \cdot B$

其中 U_H 为霍尔电压， $K_H = \frac{R_H}{d}$ 称为霍尔元件的灵敏度， R_H 为霍尔系数， d 为霍尔片厚度， I_H 为通过霍尔元件的电流， B 为磁感应强度。

实验中使用 FB511 型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪，测量载流圆线圈和亥姆霍兹线圈在轴线上和径向的磁场分布。实验步骤包括调节励磁电流、校准微特斯拉计、移动线圈位置并记录磁场数据。通过实验，可以验证载流圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场分布理论，并分析不同线圈间距对磁场均匀性的影响。

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点，不超过 100 字。)

本实验的重点在于掌握霍尔效应法测量磁场的原理，理解载流圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场分布规律。通过实验，学生需要学会使用 FB511 型实验仪，正确调节励磁电流，校准微特斯拉计，并准确测量磁场强度。此外，实验还要求学生能够分析不同线圈间距对磁场分布的影响，理解亥姆霍兹线圈产生均匀磁场的条件。

3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

本实验的难点在于如何准确测量磁场强度并消除外界干扰。首先，霍尔元件的灵敏度较高，容易受到地磁场和环境杂散磁场的影响，因此在测量前必须对微特斯拉计进行调零。其次，实验过程中需要保持励磁电流的稳定，避免电流波动对测量结果的影响。此外，线圈位置的精确调节和固定也是实验中的难点，尤其是在改变线圈间距时，需要确保线圈的共轴性和间距的准确性。

二、原始数据（20 分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析（60 分）

1. 数据处理与结果（30 分）

（列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。）

实验中，线圈参数： $R = 10\text{cm}$, $N_0 = 400$, 电流 $I = 400\text{mA}$ 。

1. 测量直流圆线圈轴向磁场分布

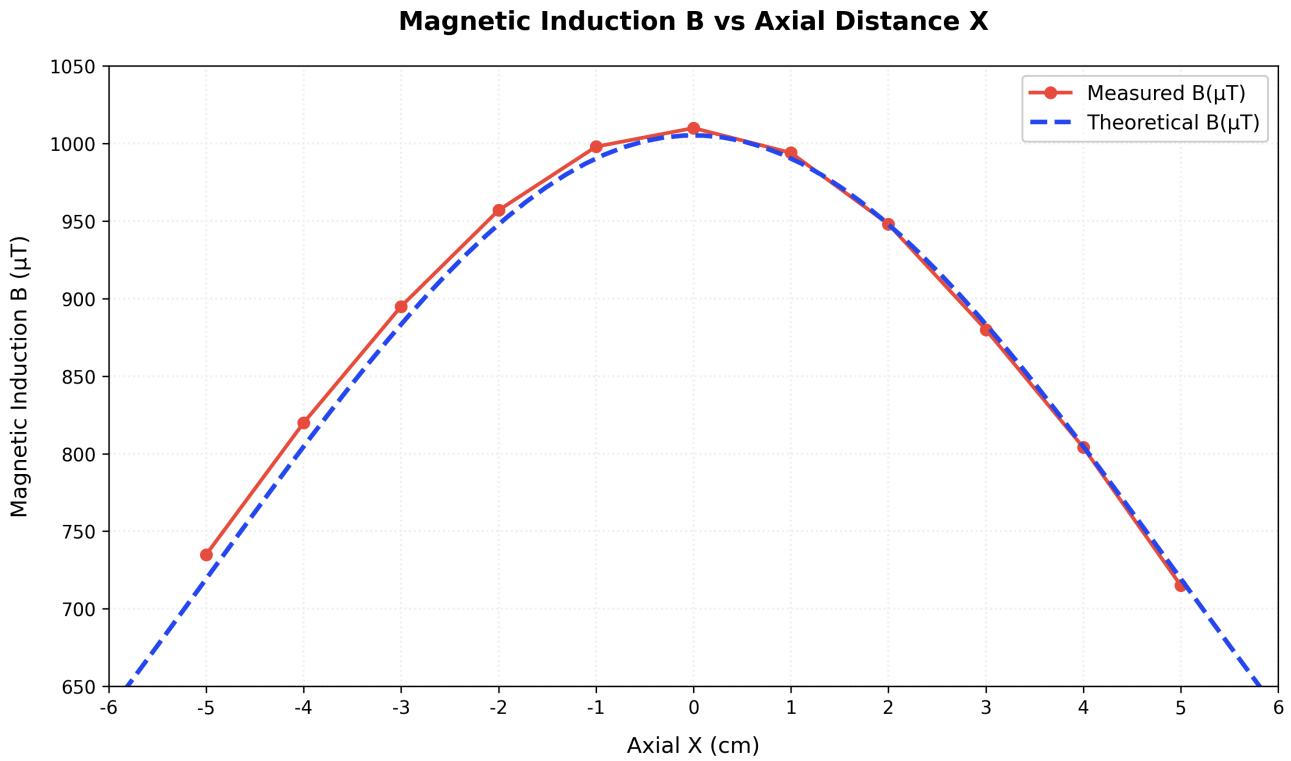
实验中线圈位于 $x_0 = 15\text{cm}$ 处。

根据公式 $B(x) = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$ 计算 B 的理论值并计算相对误差，得到下表：

| | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 刻度尺读数(cm) | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 |
| 轴向距离 $x(\text{cm})$ | -5.00 | -4.00 | -3.00 | -2.00 | -1.00 | 0.00 |
| 磁感应强度 $B(\mu\text{T})$ | 735 | 820 | 895 | 957 | 998 | 1010 |
| B 理论值(μT) | 719 | 805 | 883 | 948 | 990 | 1005 |
| 相对误差 E | 2.2% | 1.9% | 1.4% | 0.9% | 0.8% | 0.5% |
| 刻度尺读数(cm) | 16.00 | 17.00 | 18.00 | 19.00 | 20.00 | |
| 轴向距离 $x(\text{cm})$ | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | |
| 磁感应强度 $B(\mu\text{T})$ | 994 | 948 | 880 | 804 | 715 | |
| B 理论值(μT) | 990 | 948 | 883 | 805 | 719 | |
| 相对误差 E | 0.4% | 0 | 0.3% | 0.1% | 0.6% | |

平均相对误差 $\bar{E} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} E_i = 0.8\%$

利用 Python 绘制实验曲线与理论曲线，得到下图：



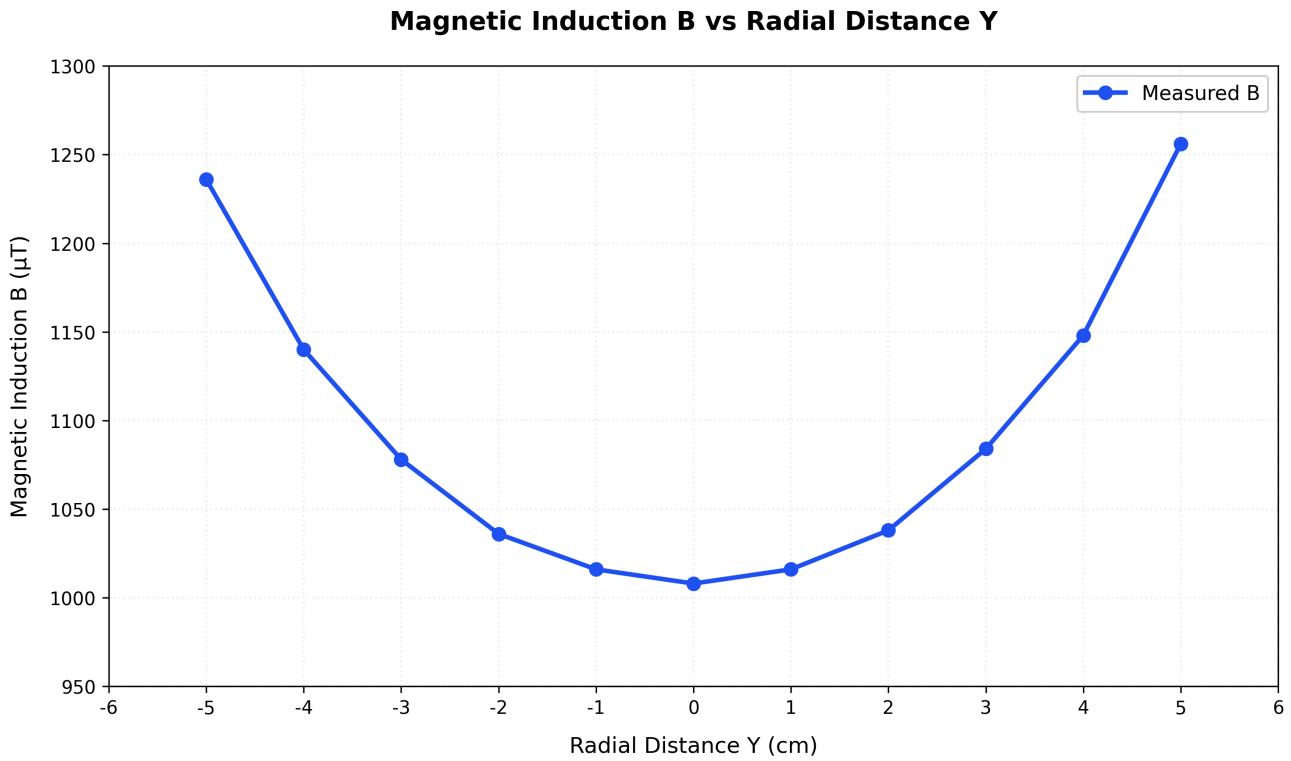
由图可知， B 的理论值和实际值均和轴向距离 x 的绝对值成负相关，在 $x = 0$ 时出现 B 的极值点。

2. 测量直流圆线圈径向磁场分布

记录数据如下表：

| | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 径向距离 $y(cm)$ | -5.00 | -4.00 | -3.00 | -2.00 | -1,00 | 0.00 |
| 磁感应强度 $B(\mu T)$ | 1236 | 1140 | 1078 | 1036 | 1016 | 1008 |
| 径向距离 $y(cm)$ | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5,00 | |
| 磁感应强度 $B(\mu T)$ | 1016 | 1038 | 1084 | 1148 | 1256 | |

利用 Python 绘制曲线，得到下图：



由图可知， B 的实际值和径向距离 y 的绝对值成正相关，在 $y = 0$ 时出现 B 的极小值点。

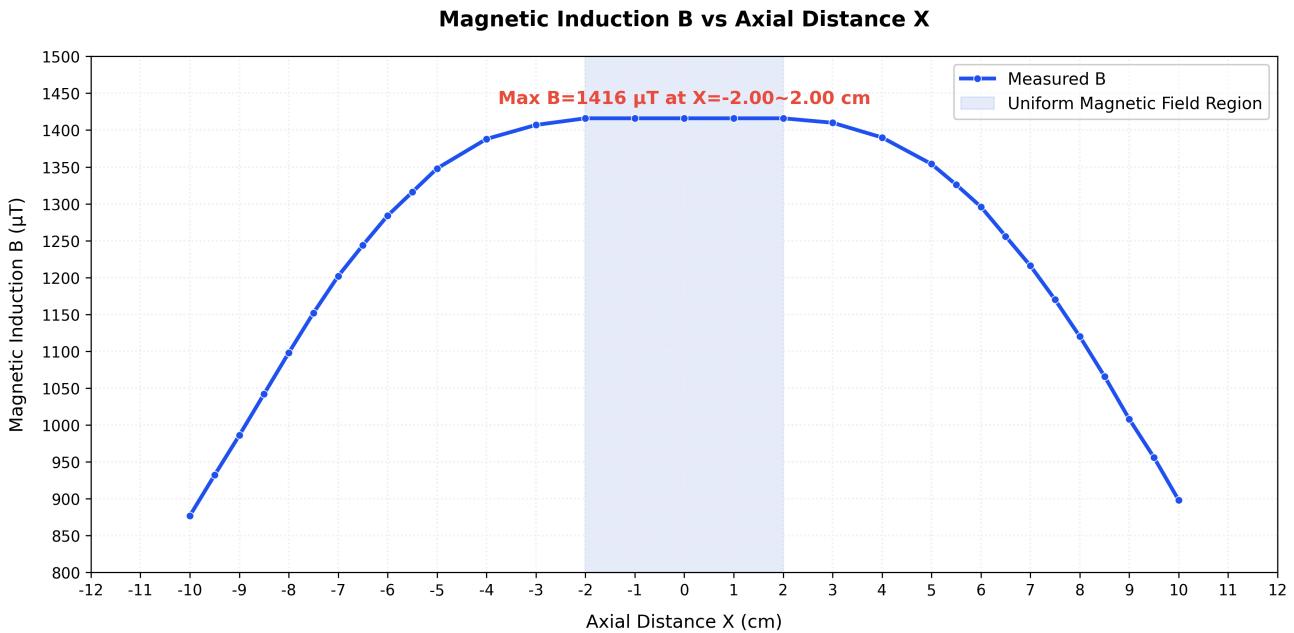
3. 测量亥姆霍兹线圈轴向磁场分布

实验中两个线圈分别位于 $x_1 = 10\text{cm}$ 与 $x_2 = 20\text{cm}$ 处，间距为线圈半径 $R = 10\text{cm}$ 。

以两线圈位置中点作为坐标原点，得到数据如下表：

| | | | | | | | | |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 刻度尺读数(cm) | 5.00 | 5.50 | 6.00 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 |
| 轴向距离 $x(\text{cm})$ | -10.00 | -9.50 | -9.00 | -8.50 | -8.00 | -7.50 | -7.00 | -6.50 |
| 磁感应强度 $B(\mu\text{T})$ | 877 | 932 | 986 | 1042 | 1098 | 1152 | 1202 | 1244 |
| 刻度尺读数(cm) | 9.00 | 9.50 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 |
| 轴向距离 $x(\text{cm})$ | -6.00 | -5.50 | -5.00 | -4.00 | -3.00 | -2.00 | -1.00 | 0.00 |
| 磁感应强度 $B(\mu\text{T})$ | 1284 | 1316 | 1348 | 1388 | 1407 | 1416 | 1416 | 1416 |
| 刻度尺读数(cm) | 16.00 | 17.00 | 18.00 | 19.00 | 20.00 | 20.50 | 21.00 | 21.50 |
| 轴向距离 $x(\text{cm})$ | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.00 | 5.50 | 6.00 | 6.50 |
| 磁感应强度 $B(\mu\text{T})$ | 1416 | 1416 | 1410 | 1390 | 1354 | 1326 | 1296 | 1256 |
| 刻度尺读数(cm) | 22.00 | 22.50 | 23.00 | 23.50 | 24.00 | 24.50 | 25.00 | |
| 轴向距离 $x(\text{cm})$ | 7.00 | 7.50 | 8.00 | 8.50 | 9.00 | 9.50 | 10.00 | |
| 磁感应强度 $B(\mu\text{T})$ | 1216 | 1170 | 1120 | 1066 | 1008 | 956 | 898 | |

利用 Python 绘制曲线，得到下图：



由图可知，当 $|x| > 2.00\text{cm}$ 时，磁场强度 B 和 $|x|$ 成负相关，当 $|x| \leq 2.00\text{cm}$ 时，亥姆霍兹线圈在中心轴线上产生了一个较大范围的均匀磁场区域，磁感应强度 $B = 1416\mu\text{T}$ 。

$x = 0$ 时，理论值应为实验1中 $x = 5.00\text{cm}$ 处的两倍，即 $B = 1438\mu\text{T}$ ，计算相对误差：

$$E = \frac{|1416 - 1438|}{1438} \times 100\% = 1.5\%$$

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。)

(1) 实验结果分析

三个实验测得的数据所绘制的图像均符合理论预期。

实验1测得的轴向各点磁场与理论值的相对误差平均为0.8%，说明实验数据较为准确，验证了载流圆线圈轴向磁场分布的理论公式。

实验3测得的亥姆霍兹线圈中心轴向磁场强度与理论值的相对误差为1.5%，说明实验数据较为准确，验证了亥姆霍兹线圈产生均匀磁场的理论预期。

(2) 误差原因分析

1. 圆线圈的位置由人手动放置，仅有一侧有刻度尺，且固定不够牢固，可能导致线圈位置与方向的偏差，影响磁场测量结果。
2. 实验过程中，相邻的其他磁场仪器可能对实验仪器的磁场产生干扰，造成示数的偏差。
3. 仪器本身存在一定的测量误差，可能导致最终结果的偏差。
4. 环境温度的变化可能会影响霍尔元件的灵敏度，进而影响测量结果。

3. 实验探讨 (10 分)

(对实验内容、现象和过程的小结，不超过100字。)

本次实验利用 FB511 型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪，测量了载流圆线圈和亥姆霍兹线圈的磁场分布。实验结果表明，载流圆线圈的轴向磁场符合理论预期，且亥姆霍兹线圈在中心轴线上产生了均匀磁场区域。实验加深了对霍尔效应以及线圈磁场分布规律的理解，过程比较顺利。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

- 为什么在测量直流磁场时，必须考虑地球磁场对被测磁场的影响？

地磁场水平分量的量级为 $10^{-5}T$ ，实验测量结果精确到 $10^{-6}T$ ，可见地磁场对测量结果有影响，必须通过调零消除地磁场的影响。

- 载流圆线圈轴线上磁场的分布规律如何？

载流圆线圈轴线上磁场强度 B 随轴向距离 x 的变化规律为：
$$B(x) = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$
，中心点磁场最强，磁感应强度随轴向距离 $|x|$ 的增大而减小，呈负相关关系。

- 亥姆霍兹线圈是怎样组成的？其基本条件有哪些？它的磁场分布特点又怎样？

亥姆霍兹线圈由两组完全相同的圆线圈组成，线圈间距等于线圈半径 R ，且通以同方向电流。其基本条件是两线圈必须共轴且间距为 R 。亥姆霍兹线圈在中心轴线上产生一个较大范围的均匀磁场区域，磁感应强度在该区域内变化较小。

- 霍尔元件放入磁场时，不同方向上特斯拉计指示值不同，哪个方向最大？

当霍尔元件放入磁场时，特斯拉计指示值最大的方向是垂直于霍尔元件平面的方向，即与电流方向和磁场方向均垂直的方向。这是因为霍尔效应产生的电势差最大时，磁场与电流方向垂直。

- 试分析载流圆线圈磁场分布的理论值与实验值的误差产生的原因？

载流圆线圈磁场分布的理论值与实验值的误差可能由以下几个方面产生：线圈位置和方向的偏差：线圈由人手动放置，可能导致位置和方向的误差；外界磁场干扰：实验过程中，其他磁场仪器可能对实验仪器的磁场产生干扰；仪器测量误差：实验仪器本身存在一定的测量误差；环境因素：温度变化等环境因素可能影响霍尔元件的灵敏度和测量结果。

- 注意事项：

- 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
- “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
- “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内查询。
- 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。