

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 用霍尔法测直流线圈与亥姆霍兹线圈磁场

实验桌号: _____

指导教师: _____

班级: cc98

姓名: Hydrofoil

学号: 324010

实验日期: 2025年11月19日星期三上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告

1.1 实验综述

(自述实验现象、实验原理和实验方法, 不超过 500 字, 5 分)

载流圆线圈与亥姆霍兹线圈的磁场:

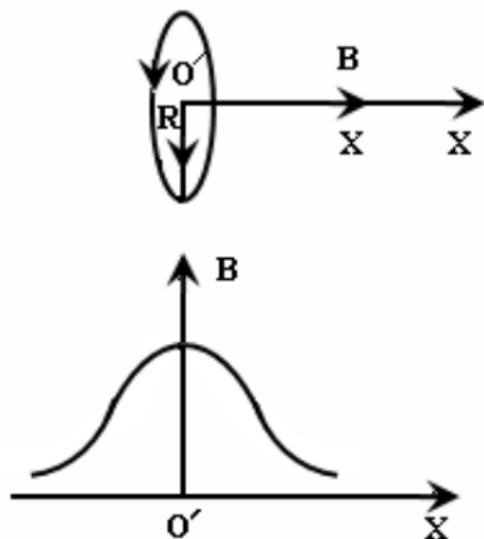
(1) 载流圆线圈磁场

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N_0 \cdot I \cdot R^2}{2 \cdot (R^2 + X^2)^{\frac{3}{2}}}$$

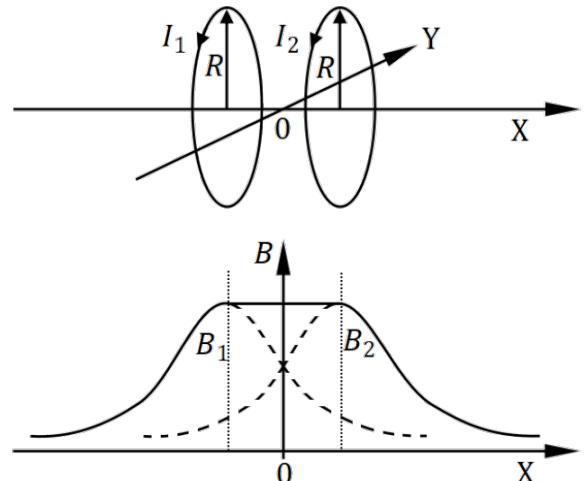
式中 N_0 为圆线圈的匝数, X 为轴上某一点到圆心 O' 的距离, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$, 本实验取 $N_0 = 400$, $I = 0.400 A$, $R = 0.100 m$, 在 O' 处 $X = 0$, 可计算得: $B = 1.0053 \times 10^{-3} T$ 其磁场的分布图是一条单峰的关于 Y 轴对称的曲线。

(2) 亥姆霍兹线圈

定义: 两个完全相同的圆线圈彼此平行且共轴, 通以同方向的电流 I , 线圈间距等于线圈半径 R 时, 这样的一对线圈称为亥姆霍兹线圈。其磁场分布曲线在两线圈中心连线一段出现一个平台, 说明此处为匀强磁场。



(a) 载流圆线圈的磁场分布



(b) 亥姆霍兹线圈的磁场分布

利用霍尔效应测磁场的原理:

(1) 霍尔效应: 若电流 I 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, 由于洛伦兹力的作用, 载流子会发生横向偏转, 在两横向面 a 、 b 之间产生电势差, 称为霍尔电势, 其方向同时垂直于 I 与 B 方向。

(2) 产生原理: I 通过元件时, 空穴有一定漂移速度 v , 其垂直于 B 运动时, 产生洛伦兹力 $F_B = q \cdot (v \times B)$ (q 为电子电荷), 洛伦兹力使电荷产生横向偏转, 偏转的载流子在边界积累, 产生横向电场 E , 直到 $F_E = F_B$, 即 $q \cdot E = q \cdot (v \times B)$ 。

设 P 型样品的载流子浓度为 p , 宽度为 w , 厚度为 d , 通过样品的电流 $I_H = p \cdot q \cdot v \cdot w \cdot d$, 则空穴的速度 $v = \frac{I_H}{p \cdot q \cdot w \cdot d}$, 代回得 $E = |v \times B| = \frac{I_H \cdot B}{p \cdot q \cdot w \cdot d}$, 两侧同乘 w 得

$$U_H = E \cdot w = \frac{R_H \cdot I_H \cdot B}{d} \quad (R_H \text{ 称霍尔系数})$$

应用中一般令 $k_H = \frac{R_H}{d} = \frac{1}{p \cdot q \cdot d}$, 称为霍尔元件的灵敏度, 灵敏度越大越好。

由上式可知, 若已知霍尔片的灵敏度 k_H , 只要分别测出霍尔电流 I_H 和霍尔电势差 U_H , 即可算出磁场 B 的大小, 此即霍尔效应测场强的原理。

测量载流圆线圈轴线上磁场的分布:

- (1) 正确连接 FB5 型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪与测试架, 校准微特斯拉计;
- (2) 测试架左边的线圈为固定线圈, 固定在 0cm 处, 把右边的可动线圈移到合适位置;
- (3) 使励磁电流 $I = 0.400A$, 以圆电流线圈中心为坐标原点, 每隔 1.0cm 测一个 B 值, 保持励磁电流不变;
- (4) 记录数据, 在方格纸上画出 $B - X$ 曲线。

测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布:

- (1) 移动线圈使两线圈间距 $d = R = 10cm$, 此时两个圆线圈中心连线的几何中心距测试平面 5cm;
- (2) 将两圆电流线圈串联起来, 接到磁场测试仪的输出端钮, 调节电流输出, 使励磁电流 $I = 0.400A$, 以两个圆线圈中心连线上的中点为坐标原点, 每隔 1.0cm 测一个 B 值;
- (3) 记录数据, 在方格纸上画出相应的 $B - X$ 曲线。

测量载流圆线圈沿“径向”的磁场分布:

将传感器探头移动到一线圈中心, 与线圈平面的夹角为 0° , 径向移动探头, 每移动 1.0cm 测量一个数据, 按正反方向测到 6cm 为止, 记录数据, 作出磁场分 $B - Y$ 曲线。

1.2 实验重点

(简述本实验的学习重点, 不超过 100 字, 3 分)

1. 了解用霍尔效应法测量磁场的原理, 掌握 FB511 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的轴线上的磁场分布;
4. 两平行线圈的间距改变为 $d = \frac{1}{2}R$ 及 $d = 2R$ 时, 测定其轴线上的磁场分布。

1.3 实验难点

(简述本实验的实现难点, 不超过 100 字, 2 分)

1. 需精准校准微特斯拉计, 实验中测试架位置变动后需重新调零;
2. 霍尔传感器轴向、径向移动需精准控制, 每 1cm 测一个数据, 操作繁琐;
3. 磁场易受环境干扰, 探头摆放方向偏差会导致测量误差;
4. 数据处理需绘制多组 B-X 曲线, 需保证数据对称性以分析规律。

二、原始数据

(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, 20 分)

① 地磁场：

序号	1	2	3	4	5
B _Z (mT)	46	45	48	47	45
B _Y (mT)					

② 单向流动(圆)轴线上磁场分布

角度及深度 s (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
B _Z (mT)	312	371	442	511	600	671	778	854	900	951	971
B _Y (mT)	-403	-462	-538	-602	-675	-747	-842	-916	-975	-1017	-1049

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B _Z	959	925	860	780	699	619	533	465	389	308
B _Y	-108	-990	-920	-850	-780	-680	-599	-519	-463	-401

X	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
B _Z	837	926	103	113	1249	1318	1269	1357	1412	1419	1410	1412	1408	1396
B _Y	-887	-117	-101	-120	-127	-136	-1415	-1442	-1460	-1463	-1460	-1458	-1456	-1450

X	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
B _Z	1518	1621	173	1344	1326	1316	1323	1339	1367	1428	1516
B _Y	-1557	-1461	-1411	-1388	-1368	-1340	-1316	-1301	-1282	-1405	-1462

图 2: 实验数据

三、结果与分析

3.1 数据处理与结果

(列出数据表格、选择数据处理方法、给定测量或计算结果, 30 分)

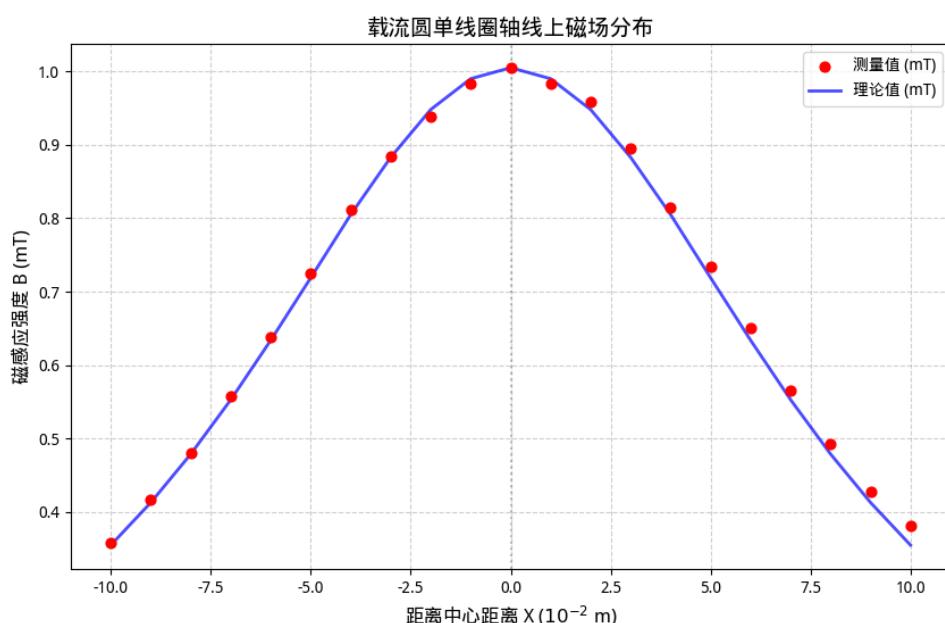
整理载流圆单线圈轴线上磁场分布的数据, 得出如下表格:

表 1: 单载流线轴线上磁场分布数据 ($X < 0$)

位置 X (cm)	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
$B_{\text{正}} (\mu T)$	312	371	442	511	600	671	779	854	900	951	971
$B_{\text{反}} (\mu T)$	-403	-462	-518	-602	-675	-779	-842	-916	-975	-1017	-1039
实测 $B = \frac{ B_{\text{正}} + B_{\text{反}} }{2}$ (mT)	0.358	0.417	0.480	0.557	0.638	0.725	0.811	0.885	0.938	0.984	1.005
$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$ (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%	0.85	0.97	0.21	0.72	0.63	0.83	0.75	0.23	1.05	0.61	0.00

位置 X (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$B_{\text{正}} (\mu T)$	959	925	860	780	699	619	533	465	389	338
$B_{\text{反}} (\mu T)$	-1008	-990	-930	-850	-769	-682	-599	-519	-466	-426
实测 $B = \frac{ B_{\text{正}} + B_{\text{反}} }{2}$ (mT)	0.984	0.958	0.895	0.815	0.734	0.651	0.566	0.492	0.428	0.382
$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$ (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%	0.61	1.05	1.36	1.24	2.09	2.68	2.35	2.71	3.63	7.61

将测量值和理论值拟合成曲线, 绘制于同一个坐标系上, 如下图:



整理亥姆霍兹线圈轴线上磁场分布的数据，得出如下表格：

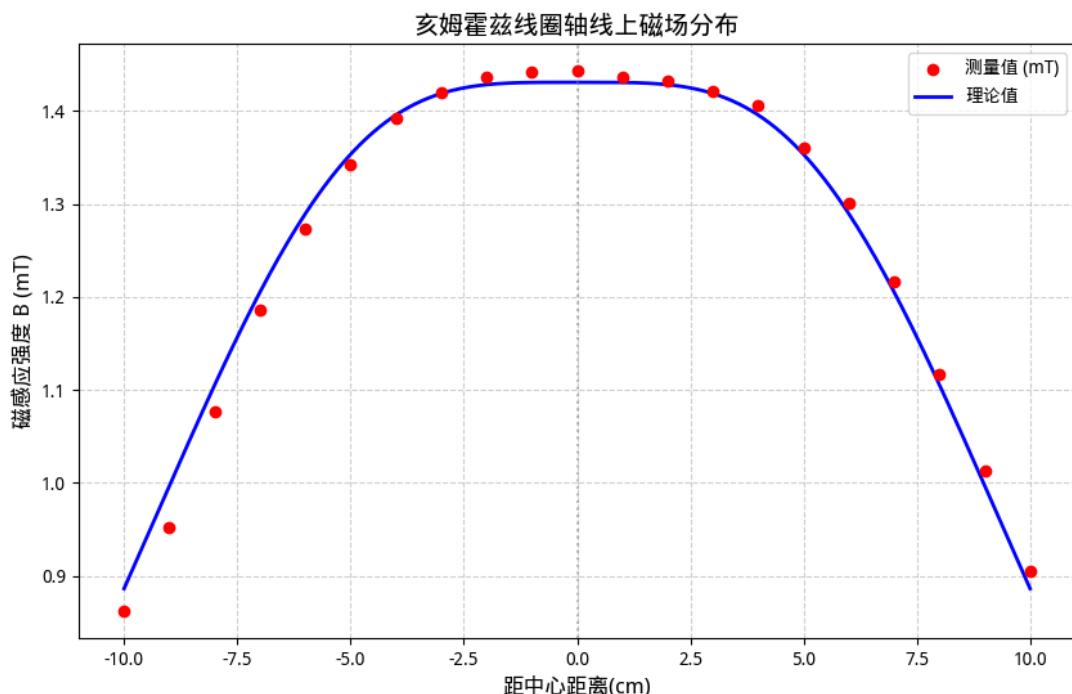
表 2: 亥姆霍兹线圈磁场分布测量数据

位置 X (cm)	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4
$B_{\text{正}} (\mu T)$	837	926	1053	1163	1249	1318	1369
$B_{\text{反}} (\mu T)$	-887	-977	-1101	-1209	-1297	-1366	-1415
实测 $B = \frac{ B_{\text{正}} + B_{\text{反}} }{2}$ (mT)	0.862	0.952	1.077	1.186	1.273	1.342	1.392

位置 X (cm)	-3	-2	-1	0	1	2	3
$B_{\text{正}} (\mu T)$	1397	1412	1419	1418	1412	1408	1396
$B_{\text{反}} (\mu T)$	-1442	-1460	-1464	-1469	-1462	-1458	-1448
实测 $B = \frac{ B_{\text{正}} + B_{\text{反}} }{2}$ (mT)	1.420	1.436	1.442	1.444	1.437	1.433	1.422

位置 X (cm)	4	5	6	7	8	9	10
$B_{\text{正}} (\mu T)$	1381	1337	1275	1192	1089	983	872
$B_{\text{反}} (\mu T)$	-1432	-1384	-1326	-1241	-1144	-1044	-937
实测 $B = \frac{ B_{\text{正}} + B_{\text{反}} }{2}$ (mT)	1.407	1.361	1.301	1.217	1.117	1.014	0.905

将测量值和理论值拟合成曲线，绘制于同一个坐标系上，如下图：

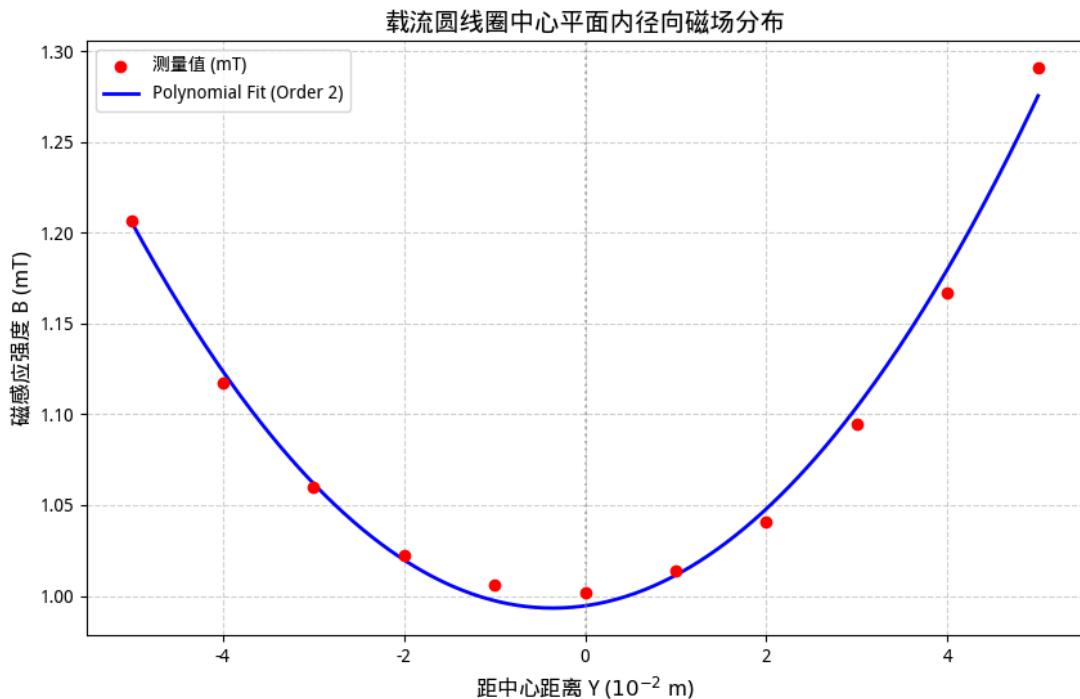


整理载流圆线圈中心平面内径向磁场分布的数据，得出如下表格：

表 3: 磁场径向分布测量数据 (Y 轴方向)

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
$B = \frac{ B_{\text{正}} + B_{\text{反}} }{2}$ (mT)	1.207	1.117	1.060	1.022	1.006	1.002	1.014	1.041	1.095	1.167	1.291

将测量值和理论值拟合成曲线，绘制于同一个坐标系上，如下图：



实验结论:

- (1) 载流圆单线圈的轴向磁场分布关于线圈中心对称，且中心处磁感应强度最大，沿轴向距中心越远，磁感应强度越小；
- (2) 亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布关于中心对称，且当两线圈间距 $d = R$ 时，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，图像上呈现出一段平台期；
- (3) 载流圆单线圈中心平面内径向磁场分布关于中心对称，且中心处磁感应强度最小，沿径向距中心越远，磁感应强度越大。

3.2 误差分析

(运用测量误差、相对误差、不确定度等分析实验结果，20 分)

1. 由于磁场易受到环境影响，测出的磁感应强度与计算得到的理论值存在一定的误差；
2. 测量各个点的磁感应强度时，探头的摆放方式与方向存在少许偏差，故每一点的测量都会因方向不同而产生不同程度的误差；

3. 调零时会有 ± 2 T 的示数浮动，测量时的值也会存在浮动，不够稳定；
4. 调节霍尔元件位置时，可能存在视觉误差，且仪器整体结构存在松动情况，会造成一定误差。

3.3 实验探讨

(对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字，10 分)

本次实验操作相对较简单，但需测量较多数据，极大地锻炼了我的观察能力、数据处理能力，提高了我的实验综合素养，可谓收获颇丰！

四、思考题

(解答教材或讲义或老师布置的思考题，10 分)

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？

答：地球磁场是一个恒定的直流磁场，磁场与磁场之间会产生相互干扰，且通电导线产生的磁场较小，故地球磁场不可忽略。

载流圆线圈轴线上磁场的分布规律如何？

答：距离中心越远，磁场强度越小，且其关于中心对称，在中心处的磁场强度最大。

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？改变两圆线圈间距后，线圈轴线上的磁场分布情况如何？

答：亥姆霍兹线圈为两个相同的线圈彼此平行且共轴，通以同方向电流 I 而构成；基本条件是线圈完全相同、平行共轴、通同方向电流，且间距等于线圈半径 R；磁场分布特点是轴上两线圈圆心连线附近较大范围内为匀强磁场；若减小间距，中心轴线上的均匀磁场区域会缩小，中心点的磁场强度增加；若增大间距，中心轴线上的均匀磁场区域会扩大，中心点的磁场强度减少（若间距过大，两线圈的磁场效应变得相对独立，中心点附近磁场均匀性会变差）。

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？

答：探测器探头与磁场方向垂直时示数最大。

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？

答：霍尔元件可能因使用时间过长导致测量数据不准；环境中可能存在其它电磁场，进而产生干扰。

注意事项：

1. 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。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”的本课程的对应实验项目的“作业”模块内。
3. “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。
4. 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，教学评价必须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制