

课程编号 1800450085

得分	教师签名	批改日期

深圳大学实验报告

课程名称：大学物理实验（二）

实验名称：霍尔效应及其应用

学 院：数学与统计学院

指导教师：倪燕翔、李颖贞

报告人：王曦 组号：20

学号 2021192010 实验地点 致原楼 214

实验时间：2022 年 11 月 17 日

提交时间：2022 年 11 月 24 日

一、实验目的

1. 了解产生霍尔效应的物理原理.
2. 学习控制变量法和对称测量法.
3. 测量霍尔器件的输出特性.
4. 利用霍尔元件测量长直螺线管的轴向磁场分布(霍尔效应的应用).

二、实验原理

1. 霍尔效应

1.1 霍尔电势

洛伦兹力

$$f_m = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1),$$

静电场力

$$f_e = qE = q\frac{V_H}{l} \quad (2),$$

电流

$$I = nqvdl \quad (3),$$

由二力平衡:

$$V_H = K_H IB = \frac{IB}{nqd} \quad (4),$$

其中 V_H 为霍尔电动势, K_H 为霍尔器件的灵敏度, $R_H = \frac{1}{nq}$ 为材料的霍尔系数.

1.2 样品的导电类型

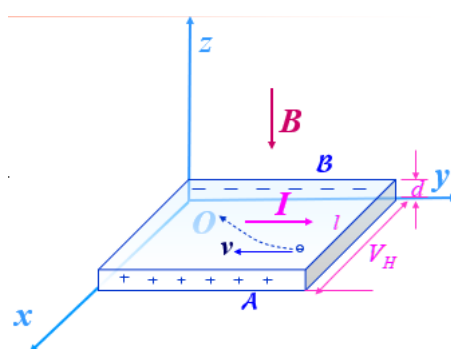


图 1:N 型导体与 P 型导体

在如上图所示的条件下:

- (1)N 型:电势 A 点高于 B 点.
- (2)P 型:电势 B 点高于 A 点.

2. 霍尔元件的输出特性测量

2.1 控制变量法

$$V_H = K_H IB \quad (5)$$

(1)控制 B 不变,研究 V_H 与工作电流 I 的关系.

(2)控制工作电流 I 不变,研究 V_H 与磁感应强度 B 的关系.

2.2 附加电动势

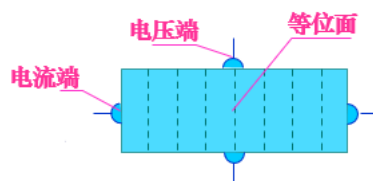


图 2:附加电动势

(1)电热:爱廷豪森效应.

(2)温差:能斯特效应、里纪勒杜克效应.

(3)不等电位差:零位误差.

2.3 对称测量法消除附加电动势

通过改变磁场的方向或改变霍尔电流的方向,即分别测量四组不同方向的 I_S 和 B 组合的 $V_{AA'}$ 后求平均

$$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$$

能斯特效应引起的 V_N 的方向仅与 B 的方向有关.

$+I_{S'} + B$:

$$V_1 = V_H + V_N \quad (6),$$

$-I_{S'} + B$:

$$V_2 = -V_H + V_N \quad (7).$$

3. 霍尔器件的应用

3.1 测量螺线管的磁场分布

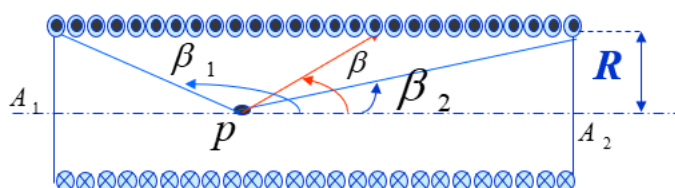


图 3: 螺线管的磁场分布

$$B = \frac{1}{2} \mu n I (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) \quad (8).$$

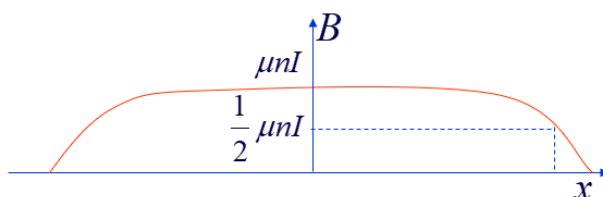


图 4:螺线管的磁感应强度与距离螺线管中心的距离的关系图象

三、实验仪器：

霍尔器件输出特性测量仪器.

仪器操作注意事项：

- (1) 测试仪开关机前将 I_S 和 I_M 旋钮逆时针转到底,防止输出电流过大.
- (2) I_S 和 I_M 接线不可颠倒,防止烧坏霍尔片.
- (3) 式样应置于螺旋线圈/铁芯气隙内磁场均匀处(即尽量处于中心).
- (4) 电压表调零.

四、实验内容与步骤

4.1 霍尔器件输出特性测量

4.1.1 测绘 $V_H - I_S$ 曲线

试验仪双刀开关倒向 V_H ,测试仪功能选择置于 V_H ,调节 $I_M = 0.5 \text{ A}$.

4.1.2 测绘 $V_H - I_M$ 曲线

保持 I_S 值不变,调节 $I_S = 3.00 \text{ mA}$.

注意记录电磁铁规格数值 K ,单位为千高斯/安(KGs/A).

4.2 测量螺线管轴线上的磁场分布

先调零,然后设定励磁电流、工作电流,将霍尔片从螺线管右端移到左端,记录数据.

注意记录线圈的霍尔灵敏度 K_H ,单位 $\text{mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$.

五、数据记录:

组号: 20 ; 姓名 王曦

5.1 测量霍尔片的输出特性, 确定样品的霍尔系数

5.1.1 保持励磁电流 $I_M = 0.500 \text{ A}$ 不变, 将实验仪双刀开关倒向“ V_H ”, 测试仪功能选择置于“ V_H ”, 测绘 $V_H - I_S$ 曲线.

励磁线圈参数 $K = 4.03 \text{ KGS} \cdot \text{A}^{-1}$

霍尔片厚度 $d = 0.5 \text{ mm}$

I_S/mA	V_1/mV	V_2/mV	V_3/mV	V_4/mV	$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4} / \text{mV}$
	$+B, +I_S$	$-B, +I_S$	$-B, -I_S$	$+B, -I_S$	
1.00	2.39	-2.43	2.43	-2.40	2.413
1.50	3.59	-3.64	3.64	-3.59	3.615
2.00	4.79	-4.86	4.86	-4.79	4.825
2.50	6.01	-6.09	6.09	-6.01	6.050
3.00	7.19	-7.28	7.29	-7.18	7.235
3.50	8.41	-8.52	8.52	-8.41	8.465
4.00	9.60	-9.73	9.73	-9.59	9.662

以 $I_S = 1.00 \text{ mA}$ 时为例, 此时

$$V_H = \frac{|2.39| + |-2.43| + |2.43| + |-2.40|}{4} \text{ mV} = 2.413 \text{ mV} \quad (8).$$

5.1.2 测绘 $V_H - I_M$ 曲线

I_M/A	V_1/mV	V_2/mV	V_3/mV	V_4/mV	$V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4} / \text{mV}$
	$+B, +I_S$	$-B, +I_S$	$-B, -I_S$	$+B, -I_S$	
0.300	4.31	-4.38	4.38	-4.28	4.338
0.400	5.72	-5.82	5.83	-5.72	5.772
0.500	7.18	-7.28	7.29	-7.18	7.232
0.600	8.62	-8.72	8.73	-8.62	8.672
0.700	10.07	-10.18	10.18	-10.07	10.125
0.800	11.50	-11.60	11.60	-11.50	11.550

以 $I_M = 0.300 \text{ A}$ 时为例,此时

$$V_H = \frac{|4.31| + |-4.38| + |4.38| + |-4.28|}{4} \text{ mV} = 4.338 \text{ mV} \quad (9).$$

5.2 用霍尔片测量螺线管轴线上的磁场分布

霍尔片工作电流 $I_S = 3.00 \text{ mA}$

励磁电流 $I_M = 0.500 \text{ A}$

霍尔元件灵敏度 $K_H = 173 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{T})$

x/mm	V_1/mV	V_2/mV	V_3/mV	V_4/mV	V_H/mV	$B = \frac{V_H}{K_H I_S} / \text{T}$
	$+B, +I_S$	$-B, +I_S$	$-B, -I_S$	$+B, -I_S$		
0	-0.24	0.86	-0.86	0.21	0.542	0.00105
0.5	-0.44	1.03	-1.05	0.42	0.735	0.00142
1	-0.74	1.33	-1.36	0.70	1.033	0.00199
1.5	-1.16	1.73	-1.77	1.12	1.445	0.00278
2	-1.63	2.20	-2.24	1.60	1.917	0.00369
3	-2.25	2.83	-2.85	2.20	2.532	0.00488
5	-2.68	3.24	-3.26	2.63	2.952	0.00569
7	-2.78	3.35	-3.38	2.75	3.065	0.00591
11	-2.83	3.40	-3.43	2.82	3.120	0.00601
15	-2.78	3.36	-3.38	2.75	3.067	0.00591
17	-2.62	3.20	-3.22	2.59	2.908	0.00560
0.019	-2.05	2.64	-2.65	2.01	2.337	0.00450
20	-1.22	1.79	-1.82	1.17	1.500	0.00289
21	-0.47	1.07	-1.08	0.44	0.765	0.00147
21.5	-0.26	0.85	-0.88	0.24	0.557	0.00107
22	-0.12	0.72	-0.75	0.09	0.420	0.00081
22.5	-0.03	0.61	-0.64	-0.01	0.323	0.00062

23	0.05	0.54	-0.59	-0.09	0.318	0.00061
----	------	------	-------	-------	-------	---------

以 $x = 0 \text{ mm}$ 时为例,此时

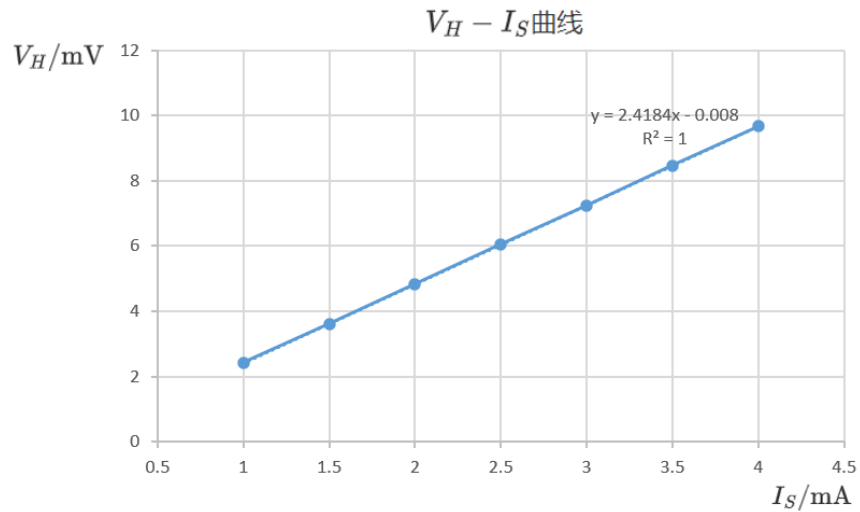
$$V_H = \frac{|-0.24| + |0.86| + |-0.86| + |0.21|}{4} = 0.542 \text{ mV} \quad (10),$$

$$B = \frac{V_H}{K_H I_S} = \frac{0.542}{173 \times 3.00} \text{ T} = 0.00105 \text{ T} \quad (11).$$

六、数据处理

6.1 测量霍尔片的输出特性, 确定样品的霍尔系数

6.1.1 测绘 $V_H - I_S$ 曲线.

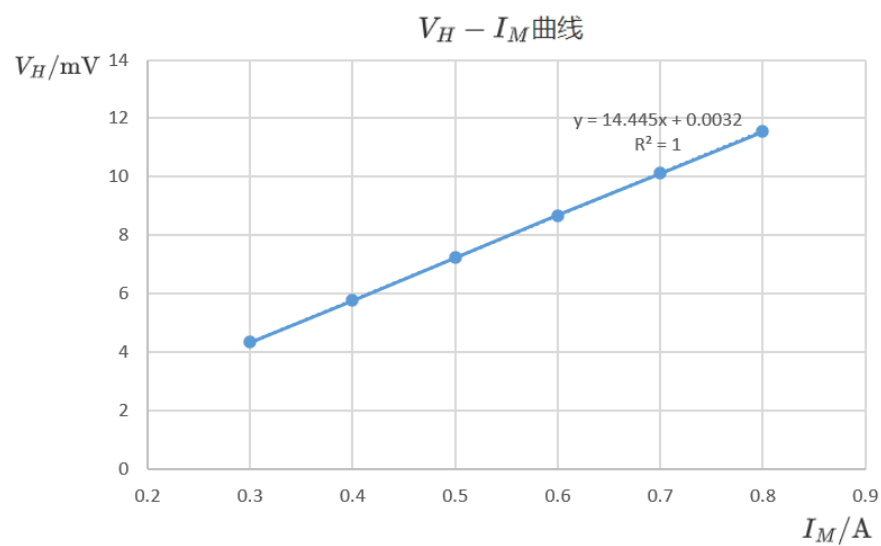


由上图知:斜率 $k = 2.4184 \text{ V/A}$.

霍尔系数:

$$R_H = \frac{V_H d}{k I_M I_S} = \frac{2.413 \times 10^{-3} \times 0.5 \times 10^{-3}}{2.4184 \times 0.5 \times 1.00 \times 10^{-3}} \text{ m/A} = 9.978 \times 10^{-4} \text{ m/A} \quad (12).$$

6.1.2 测绘 $V_H - I_M$ 曲线.



由上图知:斜率 $k = 14.445 \text{ mV/A}$.

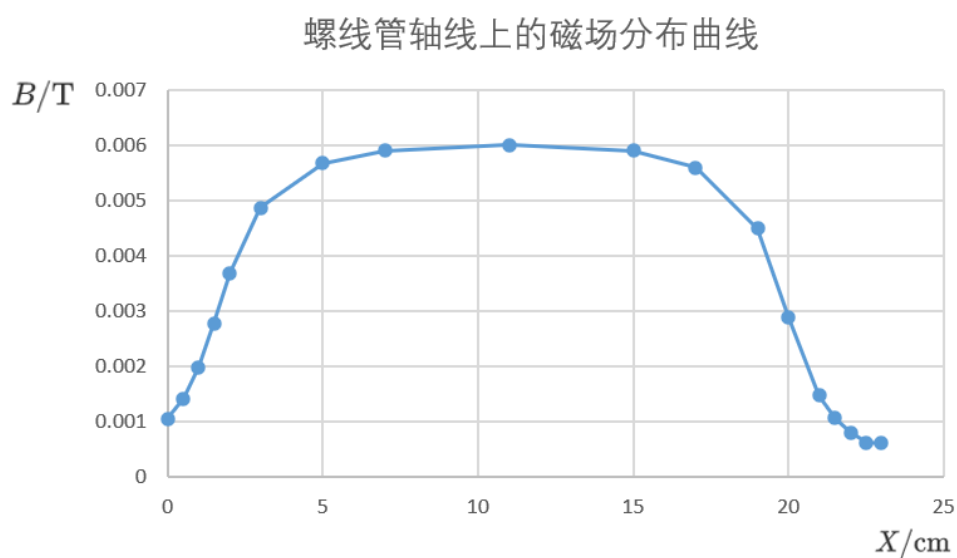
霍尔系数:

$$R_H = \frac{V_H d}{k I_M I_S} = \frac{4.338 \times 10^{-3} \times 0.5 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}{14.445 \times 10^{-3} \times 0.300 \times 3 \times 10^{-3}} \text{ m/A} = 1.6684 \times 10^{-3} \text{ m/A} \quad (13).$$

两结果取平均:

$$\overline{R_H} = \frac{R_{H1} + R_{H2}}{2} = \frac{9.978 \times 10^{-4} + 1.6684 \times 10^{-3}}{2} \text{ m/A} = 1.3331 \times 10^{-3} \text{ m/A} \quad (14).$$

6.2 用霍尔片测量螺线管轴线上的磁场分布



七、结果陈述：

7.1 实验测得样品的霍尔系数为 $1.3331 \times 10^{-3} \text{ m/A}$.

7.2 螺线管轴线上的磁场在中间取得最大值 0.006 T ,并从中向两边递减.

八、实验总结与思考题

8.1 实验总结.

(1) 本实验用“对称测量法”，通过改变电流 I 和磁感应强度 B 的方向,消除副效应产生的附加电动势.

8.2 思考题.

(1) 若磁感应强度 B 不垂直于霍尔片,对测量结果有何影响?如何由实验判断 B 与霍尔片是否垂直?

若磁感应强度 B 不垂直于霍尔片,求得的磁感应强度是磁场在垂直于霍尔片的分量,故测量结果偏小.
将霍尔片绕轴线方向左右旋转,观察电压示数大小变化,示数最大时即垂直.

(2) 霍尔效应有哪些应用, 举一例并阐述其原理.

测量微小位移. 若令霍尔元件的工作电流保持不变. 而使其在一个均匀梯度磁场中移动, 它输出的霍尔电压 U_H 值只由它在该磁场中的位移量来决定. 产生梯度磁场的磁系统及其与霍尔器件组成的位移传感器, 将它们固定在被测系统上, 可构成霍尔微位移传感器.

指导教师批阅意见：

成绩评定：

预习 (20分)	操作及记录 (40分)	数据处理与结果陈述 30分	思考题 10分	报告整体 印象	总分