

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242

第一部分 数据记录和数据处理

1 本实验中使用的仪器不确定度

$$\sigma_{I_H} = e_{I_H}/\sqrt{3} = (0.005I_H + 0.004mA)/\sqrt{3} \quad (1)$$

$$\sigma_{I_M} = e_{I_M}/\sqrt{3} = (0.015I_M + 0.003A)/\sqrt{3} \quad (2)$$

$$\sigma_{V_H} = e_{V_H}/\sqrt{3} = (0.0005V_H + 0.03mV)/\sqrt{3} \quad (3)$$

$$\sigma_B = e/\sqrt{3} = (0.01B + 0.2mT)/\sqrt{3} \quad (4)$$

2 验证霍尔电压和霍尔电流的线性关系,并作图

使用 U_1, U_2, U_3, U_4 分别表示霍尔电流正向, 磁场正向; 霍尔电流反向, 磁场正向; 霍尔电流反向, 磁场反向; 霍尔电流正向, 磁场反向时的测量结果, 本实验中固定励磁电流, 并为消除副效应, 采用下列公式得到霍尔电压:

$$U_H = \frac{U_1 - U_2 + U_3 - U_4}{4} \quad (5)$$

$$I_M = (0.600 \pm 0.007)A \quad (6)$$

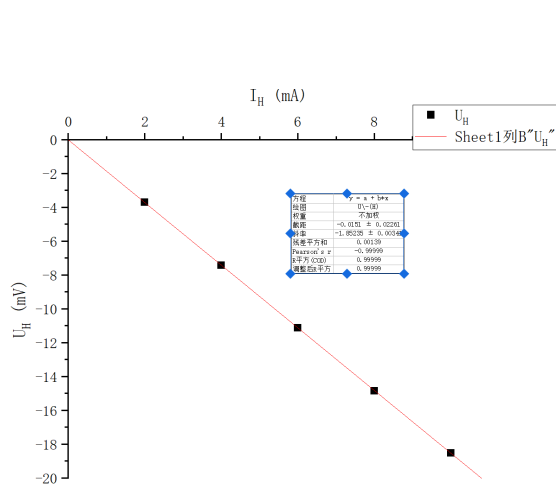
由于各测量量的不确定度受到其读数影响, 因此在本表中的记录结果里记录了不确定度的值:

表 1: 测定霍尔电压和霍尔电流关系数据表(含不确定度)

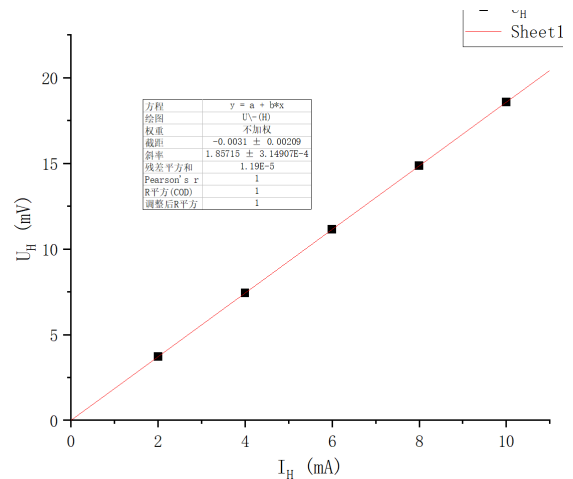
组数	I_H/mA	a. I_H 从 12 端输入 (单位:mV)					b. I_H 从 34 端输入 (单位:mV)				
		U_1	U_2	U_3	U_4	U_H	U_1	U_2	U_3	U_4	U_H
1	2.000 ± 0.008	-3.70	3.68	-3.73	3.72	-3.71 ± 0.02	3.74	-3.73	3.69	-3.68	3.71 ± 0.02
2	4.000 ± 0.014	-7.39	7.38	-7.47	7.46	-7.43 ± 0.02	7.47	-7.46	7.39	-7.39	7.43 ± 0.02
3	6.000 ± 0.020	-11.09	11.09	-11.19	11.19	-11.14 ± 0.02	11.19	-11.17	11.10	-11.09	11.14 ± 0.02
4	8.000 ± 0.025	-14.80	14.79	-14.92	14.92	-14.86 ± 0.02	14.91	-14.90	14.81	-14.80	14.86 ± 0.02
5	10.00 ± 0.03	-18.50	18.50	-18.53	18.53	-18.52 ± 0.02	18.60	-18.60	18.54	-18.53	18.57 ± 0.02

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242



(a) I_H 从 12 端输入



(b) I_H 从 34 端输入

观察拟合结果，线性拟合精确度很高，对两组数据其相关系数都达到了 0.99999。两组实验的结果略有区别，可能是由于磁场分布不均匀，霍尔片制作时存在误差使两个方向得到的等效厚度不同，边缘效应不同，以及霍尔电阻和接触电阻不同造成的调节误差等原因带来的微小差异

3 验证霍尔电压和磁场线性关系，计算霍尔元件的灵敏度及其不确定度

固定霍尔电流从 12 端输入，其大小为：

$$I_H = (10.00 \pm 0.03) \text{mA} \quad (7)$$

本实验使用特斯拉计小心伸入霍尔片位置测量磁场，计算各个数据不确定度后，测量结果如下：

表 2: 测定霍尔电压和磁场关系数据表 (含不确定度)

组数	I_M/A	B/mT	U_1/mV	U_2/mV	U_3/mV	U_4/mV	U_H/mV
1	0.000 ± 0.002	1.0 ± 0.1	0.00	0.02	0.00	0.01	-0.008 ± 0.017
2	0.100 ± 0.003	-35.7 ± 0.3	2.99	-2.96	3.20	-3.18	3.083 ± 0.018
3	0.200 ± 0.003	-70.7 ± 0.5	6.11	-6.08	6.24	-6.21	6.160 ± 0.019
4	0.300 ± 0.004	-105.9 ± 0.7	9.19	-9.16	9.37	-9.35	9.268 ± 0.020
5	0.400 ± 0.005	-141.1 ± 0.9	12.15	-12.13	12.51	-12.50	12.323 ± 0.021
6	0.500 ± 0.006	-174.7 ± 1.1	15.34	-15.32	15.62	-15.60	15.470 ± 0.022
7	0.600 ± 0.007	-214.6 ± 1.4	18.46	-18.44	18.73	-18.70	18.583 ± 0.023
8	0.700 ± 0.008	-251.3 ± 1.6	21.58	-21.57	21.77	-21.74	21.665 ± 0.024
9	0.800 ± 0.009	-286.0 ± 1.8	24.53	-24.51	24.87	-24.84	24.688 ± 0.024
10	0.900 ± 0.010	-318.7 ± 2.0	27.59	-27.57	27.93	-27.91	27.750 ± 0.025
11	1.000 ± 0.010	-358.0 ± 2.2	30.69	-30.67	30.79	-30.77	30.730 ± 0.026

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
 姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242

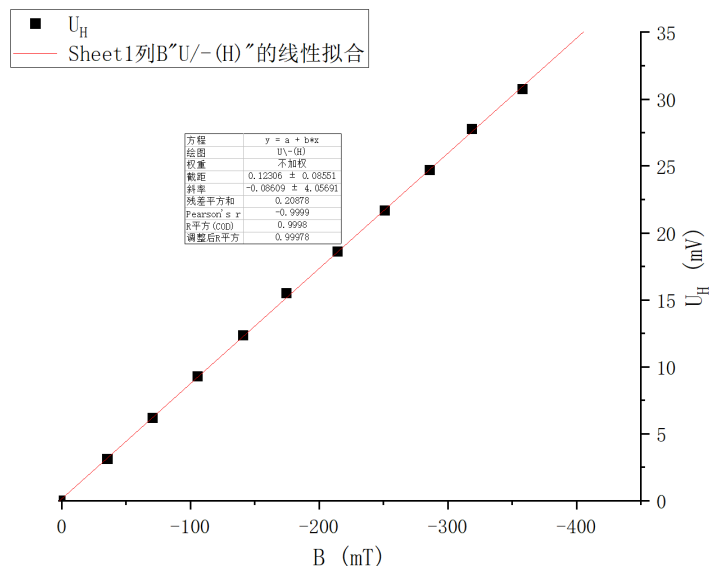


图 1: 测定霍尔电压和磁场关系数据图

作 $U_H \sim B$ 图线, 发现图线线性性质良好, 线性拟合得到:

$$k = -0.086086V/T \quad (8)$$

$$r = -0.99990 \quad (9)$$

$$\sigma_k^{(r)} = k \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 4.06 \times 10^{-4}V/T \quad (10)$$

$$\sigma_{kB} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=11} ((\sigma_{B_i} \frac{\partial k}{\partial B_i})^2 + (\sigma_{U_{H_i}} \frac{\partial k}{\partial U_{H_i}})^2)} = 1.3 \times 10^{-3}V/T \quad (11)$$

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_k^{(r)2} + \sigma_{kB}^2} = 1.4 \times 10^{-4}V/T \quad (12)$$

$$k = -(0.0860 \pm 0.0014)V/T \quad (13)$$

$$K_H = |k/I_H| = 8.6086V/(TA) \quad (14)$$

$$\sigma_{K_H} = K_H \sqrt{(\sigma_k/k)^2 + (\sigma_{I_H}/I_H)^2} = 0.14V/(TA) \quad (15)$$

$$K_H = (8.61 \pm 0.14)V/(TA) \quad (16)$$

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242

4 根据 2 中计算的霍尔电压和灵敏度, 计算磁场, 作出磁化曲线图

根据霍尔效应公式和测量结果:

$$B = \frac{U_H}{K_H I_H} \quad (17)$$

$$B = 11.61 T/V \cdot U_H \quad (18)$$

表 3: 测定磁化关系数据表

组数	I_M/A	B/mT
1	0.000	0.1
2	0.100	35.8
3	0.200	71.5
4	0.300	107.6
5	0.400	143.1
6	0.500	179.6
7	0.600	215.7
8	0.700	251.5
9	0.800	286.6
10	0.900	322.2
11	1.000	356.8

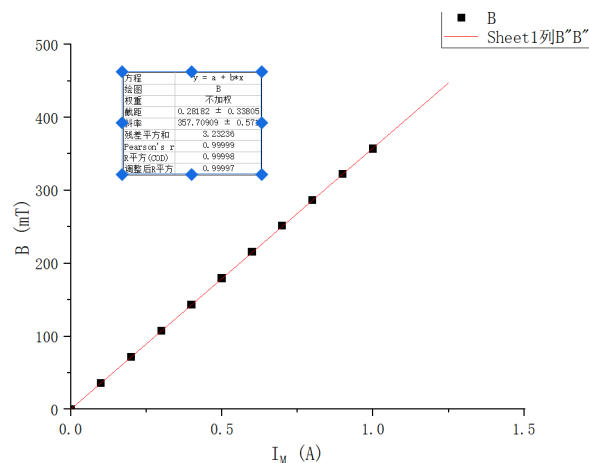


表 4: 磁化关系数据图

- 观察数据结果, 发现电磁铁的磁化线性程度很好, 而使用霍尔电压测量磁场具有测量稳定性较好, 灵敏度和精确度较高, 人为主观测量带来的随机误差较小的特点, 因此可以得到更理想的 B 的结果, 是一种更好的间接磁场测量方法。
- 测量时发现对于没有通电的电磁铁, 仍然有霍尔电压存在, 这可能是因为环境磁场, 仪器误差, 电磁铁有剩磁, 和不等位电势差等效应带来的结果。

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242

5 测量水平方向上的磁场分布,并作图

表 5: 测定水平方向磁场分布数据表

组数	x/mm	$U_H = U_1/mV$	B/mT	组数	x/mm	$U_H = U_1/mV$	B/mT
1	41.0	18.66	216.6	15	75.0	10.35	120.2
2	44.7	18.63	216.3	16	76.0	8.67	100.7
3	50.8	18.60	215.9	17	77.0	7.26	84.3
4	55.6	18.57	215.6	18	78.0	6.19	71.9
5	59.9	18.54	215.2	19	79.0	5.31	61.6
6	65.0	18.52	215.0	20	80.1	4.62	53.6
7	66.5	18.50	214.8	21	81.0	4.18	48.5
8	67.8	18.44	214.1	22	83.0	3.42	39.7
9	69.0	18.29	212.3	23	84.9	2.93	34.0
10	70.0	17.96	208.5	24	87.0	2.57	29.8
11	71.0	17.23	200.0	25	90.0	2.15	25.0
12	72.1	15.82	183.7	26	95.0	1.70	19.7
13	73.0	14.51	168.5	27	100.0	1.35	15.7
14	74.0	12.34	143.3				

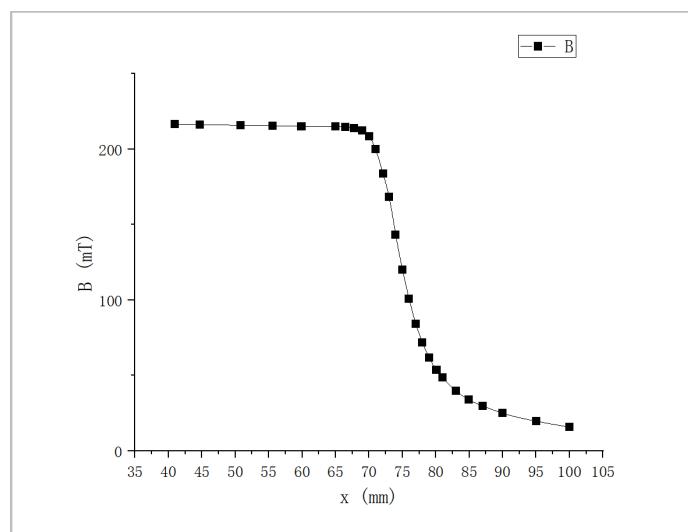


图 2: 水平方向磁场分布数据图

作图后,发现磁场水平方向的分布情况可以简单的描述为:稳定——边缘处发生转换-近似线性地快速下降——边缘处发生转换——近似指数方式缓慢下降。观察发现两次转换的边缘点大概是霍尔片开始离开磁铁中间间隙区域和完全离开的位置,这说明这个电磁铁漏磁较少,且外部磁场区域分布近似为指数下降。

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242

第二部分 分析、讨论、收获与感想

本实验过程中结果在第一部分已经完成了一部分分析工作,下面分析其他有关问题

1 计算出各种副效应的值,并考察副效应对霍尔电流和外磁场的依赖关系。

- 考察各个副效应的值时,需要分别考察两类副效应,即固定磁场方向不变,改变霍尔电流方向带来的副效应(主要是不等位电势差)和保持霍尔电流不变,改变磁场方向可以观察到的副效应(这里主要包含了里吉-勒杜克效应和能斯特效应),前者可以通过 $\frac{|U_1+U_2+U_3+U_4|}{4}$ 得到,后者可以通过 $\frac{|U_1-U_2-U_3+U_4|}{4}$ 得到。
- 使用第一和第二个实验的结果观察各种副效应的情况,得到下面的结果:
- 观察第一种效应时,发现其值大约在 0.01mV 左右,这个值明显小于测量的不确定度,因此不能作为对这个效应准确大小的合理估计,但是由于其大小和符号始终相对稳定,可以作为对不等位电势差方向较为可信的定性估计,验证测量过程中的调控相对比较准确。
- 观察第二种效应,发现定性上,其方向对磁场方向的依赖很明显,基本不依赖于电流方向,因此一开始对两种效应的区分是合理的,关于这个效应具体大小对 B, I 大小的依赖关系,猜测具有线性关系,但使用线性拟合后发现拟合效果并不好,这一方面可能是实验精度的原因(因为副效应的大小和不确定度量级接近),另一方面,画图观察后,发现无论对于增大 I 还是增大 B 过程中,此类副效应的变化方式都是先以线性方式增大,到达一定量级后增长较为平缓甚至不增长。
- 对第二类效应绝对值大小变化方式一种可能的解释是:由于第二类效应包含的两种效应都与温度差和热流有关,因此,可能其只能在较小范围内保持线性特征,在温度差较大时,向环境的散热,包括和空气和基片的热交换使温差变化变小,副效应的值因此达到相对稳定。
- 埃廷斯豪森效应由于始终和霍尔电压方向的改变方式相同,故通过本实验中的补偿方法无法消除埃廷斯豪森效应,测得的霍尔电压实际是霍尔电压和埃廷斯豪森电压的和,上网查数据得到埃廷斯豪森效应相对于霍尔效应的大小在本实验中较小,故可以近似认为补偿后的结果就是霍尔电压

2 思考题(3)答案

这可能是环境磁场,仪器误差,电磁铁有剩磁,和不等位电势差等因素带来的结果

《普通物理实验》实验报告

实验名称 霍尔效应测量磁场 实验日期 2023 年 12 月 15 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 242

3 实验中测量误差来源分析和减小误差的方法

- 实验 2 中使用特斯拉计无法得到霍尔片位置处的准确磁场,存在较大误差,因此为了减小误差,在测量前应事先把霍尔片调整到磁场较为均匀且最大的位置,测量时只需要把特斯拉计放在其附近的位置就可以得到比较准确的结果。
- 仪器允差:本实验中,各电表,特斯拉计等都有仪器允差,测量时应该注意选用合适的量程和允差的仪器测量对应物理量。
- 电流调节不够精确:由于存在霍尔磁阻,接触电阻等效应,在改变各个开关方向时,霍尔电流大小会发生改变,此时需要重新调节电阻箱得到固定的霍尔电流,这个过程中由于调节无法做到完全精确可能带来误差。
- 仪器零点差:各电表可能存在零点误差,测量前应该注意把仪器示数调零。

4 收获与感想

- 实验过程中,应当注意用电安全,否则容易造成触电
- 针对不同特点的误差,可以选定不同的解决方案来减小实验测量过程中的误差,尽可能减小不确定度的主要来源
- 对于精确的测量,人为测量一般会带来较大的主观误差,因此质量往往不如固定仪器间接测量得到的结果
- 实验调节过程中应当注意保持原有的不变量不变,防止调节过程破坏原先固定好的量,否则应该重新调节以保证其稳定
- 使用仪器完成各种测量时,应当注意在其合适的工作区和物理系统稳定的工作区域进行,对于变化剧烈奇异的区间,要注意增大数据密度精细测量