

霍尔效应实验报告

北京大学物理学院

吴熙楠

2021 年 3 月 21 日

摘要

固体材料中的载流子在外加磁场中运动时，因为受到洛伦兹力的作用而使轨迹发生偏移，并在材料两侧产生电荷积累，形成垂直于电流方向的电场，最终使载流子受到的洛伦兹力与电场斥力相平衡，从而在两侧建立起一个稳定的电势差即霍尔电压。这个就叫“霍尔效应”。在此次实验过程中，我们将学习霍尔效应测量磁场。

关键词：载流子、洛伦兹力、霍尔电压

目录	2
----	---

目录

1 实验目的	3
2 实验器材	3
3 实验过程及数据整理	3
3.1 测量霍尔电流 I_H 和霍尔电压 U_H 的关系	3
3.1.1 电流从 1,2 端流入, $I_M = 0.600A$	3
3.1.2 电流从 3,4 端流入, $I_M = 0.600A$	4
3.2 测量霍尔元件灵敏度 K_H	5
3.3 做出磁化曲线图	7
3.4 测量电磁铁磁场的水平分布	8
4 思考题	9
5 分析与讨论	9
6 收获与感想	9

1 实验目的

- (1) 了解霍尔效应的基本原理；
- (2) 学习用霍尔效应测量磁场。

2 实验器材

霍尔效应仪，稳流电源，稳压电源，电流表，毫安表，功率函数发生器，特斯拉计，数字多用表，电阻箱，导线

3 实验过程及数据整理

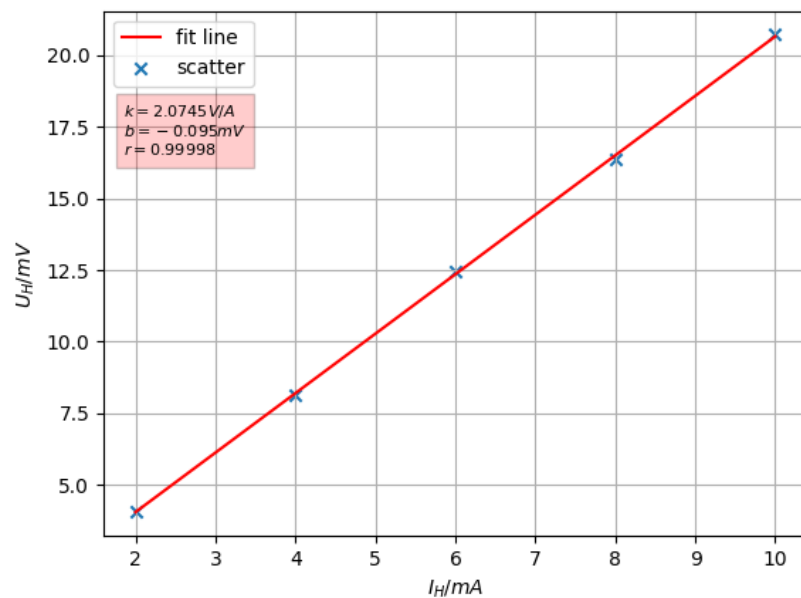
3.1 测量霍尔电流 I_H 和霍尔电压 U_H 的关系

$$U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4)$$

3.1.1 电流从 1,2 端流入， $I_M = 0.600A$

表 1: 测量数据 (电流从 1,2 端流入， $I_M = 0.600A$)

$I_H(mA)$	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000
$U_1(mV)$	4.31	8.61	13.17	17.27	21.78
$U_2(mV)$	-4.34	-8.65	-13.25	-17.42	-22.02
$U_3(mV)$	3.82	7.64	11.67	15.34	19.43
$U_4(mV)$	-3.84	-7.66	-11.75	-15.45	-19.61
$U_H(mV)$	4.08	8.14	12.46	16.37	20.71

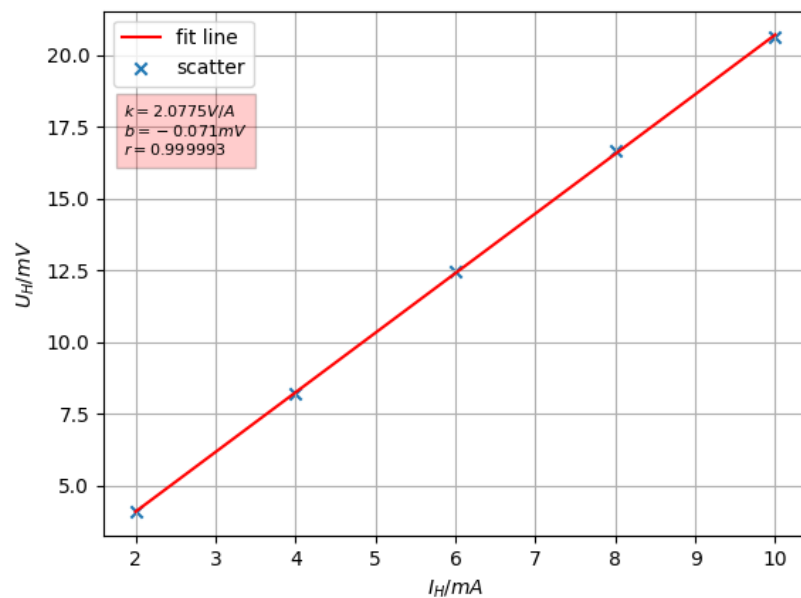
图 1: 霍尔电流 I_H 和霍尔电压 U_H 的关系图

由图可知，霍尔电流 I_H 与霍尔电压 U_H 呈线性关系，相关系数 $r = 0.99998$ 也可以佐证其线性关系。

3.1.2 电流从 3,4 端流入， $I_M = 0.600\text{A}$

表 2: 测量数据 (电流从 3,4 端流入， $I_M = 0.600\text{A}$)

$I_H(\text{mA})$	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000
$U_1(\text{mV})$	3.82	7.69	11.68	15.67	19.42
$U_2(\text{mV})$	-3.83	-7.73	-11.76	-15.81	-19.29
$U_3(\text{mV})$	4.31	8.65	13.11	17.46	21.77
$U_4(\text{mV})$	-4.32	-8.70	-13.20	-17.73	-21.96
$U_H(\text{mV})$	4.07	8.19	12.44	16.66	20.61

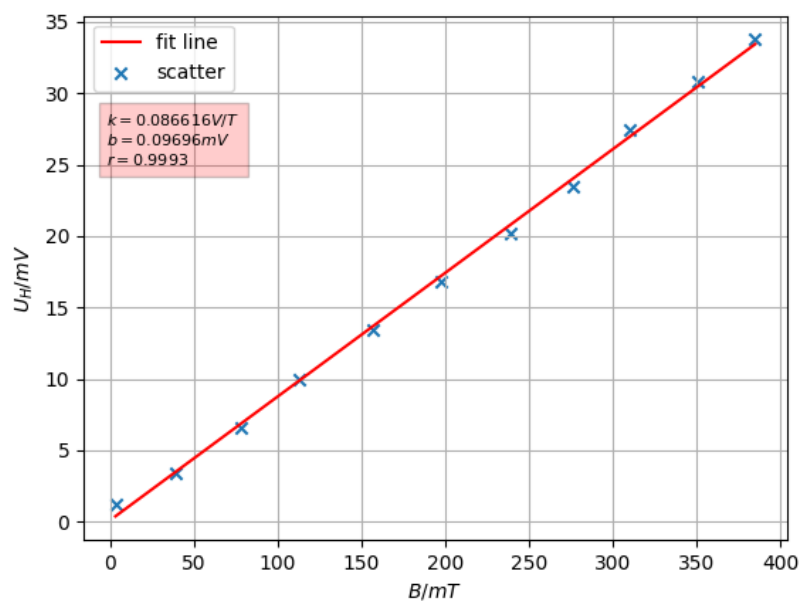
图 2: 霍尔电流 I_H 和霍尔电压 U_H 的关系图

由图可知，霍尔电流 I_H 与霍尔电压 U_H 呈线性关系，相关系数 $r = 0.999993$ 也可以佐证其线性关系。

3.2 测量霍尔元件灵敏度 K_H

表 3: 测量数据 (电流从 1,2 端流入, $I_H = 10.000\text{mA}$)

$I_M(\text{A})$	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
$B(\text{mT})$	3.4	39.2	78.4	113.1	156.6	197.2	239.2	276.3	310.0	350.7	385.0
$U_1(\text{mV})$	1.22	4.40	7.60	10.94	14.42	17.76	21.20	24.42	28.42	31.81	34.65
$U_2(\text{mV})$	-1.42	-4.61	-7.78	-11.12	-14.61	-17.96	-21.41	-24.63	-28.63	-32.01	-34.82
$U_3(\text{mV})$	0.94	2.21	5.49	8.85	12.28	15.59	19.03	22.38	26.25	29.68	32.70
$U_4(\text{mV})$	-1.14	-2.43	-5.66	-9.03	-12.46	-15.78	-19.23	-22.59	-26.45	-29.92	-32.88
$U_H(\text{mV})$	1.18	3.41	6.63	9.99	13.44	16.77	20.22	23.51	27.44	30.86	33.76

图 3: $U_H - B$ 图

由图可知，霍尔电压 U_H 与磁感应强度 B 呈线性关系，相关系数 $r = 0.9993$ 也可以佐证其线性关系。

考察斜率的不确定度，随机误差造成的部分为：

$$\sigma_k = k \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 1.08 \times 10^{-3} \text{T/A}$$

我们认为霍尔电流 I_H 存在允差为 0.1mA ，则：

$$\sigma_{I_H} = \frac{e}{\sqrt{3}} = 0.0578\text{mA}$$

因此计算 $K_H = \frac{k}{I_H} = 8.66\text{V}/(\text{T} \cdot \text{A})$

不确定度为：

$$\sigma_{K_H} = K_H \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_H}}{I_H}\right)^2} = 0.12\text{V}/(\text{T} \cdot \text{A})$$

因此霍尔灵敏度 $K_H = (8.66 \pm 0.12)\text{V}/(\text{T} \cdot \text{A})$

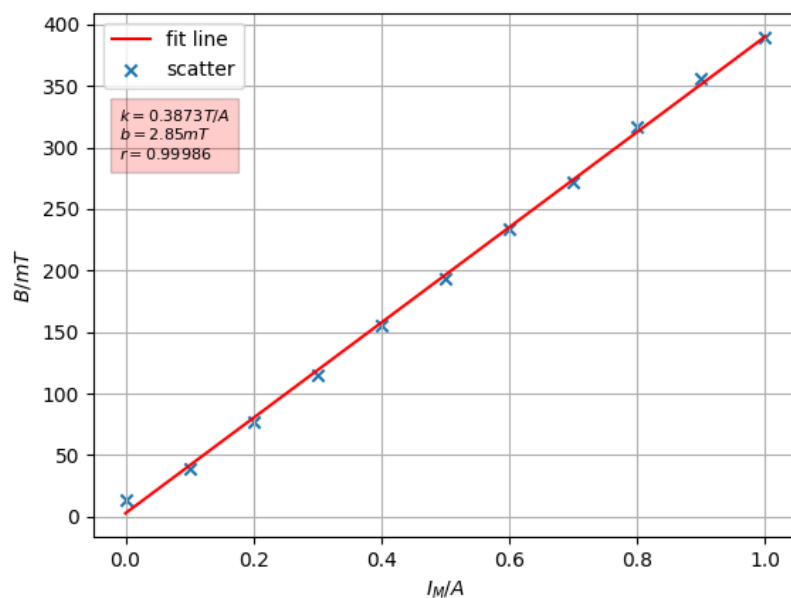
3.3 做出磁化曲线图

我们由上一问求得的 K_H 可以通过 $B = \frac{U_H}{K_H I_H}$ 计算出磁感应强度 B 的值：

表 4: $B - I_M$ 数据表

$I_M(A)$	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
$B(mT)$	13.6	39.4	76.5	115.3	155.2	193.6	233.4	271.4	316.8	356.3	389.8

图 4: 磁化曲线图

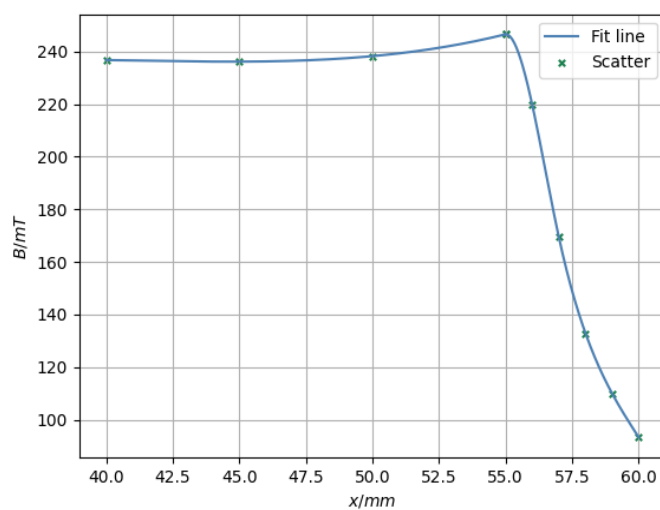


3.4 测量电磁铁磁场的水平分布

表 5: $B-x$ 数据表 ($I_H = 10.000\text{mA}$, $I_M = 0.600\text{A}$)

$x(\text{mm})$	$U_1(\text{mV})$	$U_2(\text{mV})$	$U_3(\text{mV})$	$U_4(\text{mV})$	$U_H(\text{mV})$	$B(\text{mT})$
40.00	21.41	-21.62	19.39	-19.57	20.50	236.7
45.00	21.36	-21.57	19.33	-19.53	20.45	236.1
50.00	21.53	-21.74	19.52	-19.72	20.63	238.2
55.00	22.32	-22.54	20.20	-20.35	21.35	246.5
56.00	20.02	-20.23	17.90	-17.98	19.03	219.7
57.00	15.61	-15.81	13.55	-13.72	14.67	169.4
58.00	12.43	-12.63	10.40	-10.57	11.51	132.9
59.00	10.44	-10.63	8.43	-8.62	9.53	110.0
60.00	8.99	-9.17	7.00	-7.17	8.08	93.3

图 5: 电磁场水平分布 (一半)



我们观察到磁感应强度 B 的值随着距离变化会在中心位置比较平缓，在边缘处下降比较陡峭。

4 思考题

Q: 在测量 $B - I_M$ 曲线中, $I_M = 0$ 时 U_H 测量端仍有较小的电压, 这是为什么?

A: 因为 $I_M = 0$ 的时候会有众多的副效应, 比如不等位效应, 埃廷豪森效应, 能斯特效应, 里吉勒杜克效应, 就算没有磁场 B , 也会存在电势差; 而且有可能存在磁滞现象, 即可能就算 $I_M = 0$, 但磁感应强度 B 并不等于 0。因此这样测量端仍然会有较小的电压。

5 分析与讨论

(1)Q: 比较实验内容 4.1 中 (a)(b) 两种接法观测的结果, 并解释现象?

A: 我们交换接法后测量的结果发现 (a) 接法中 U_1 和 U_2 与 (b) 接法中 U_3 和 U_4 接近; (a) 接法中 U_3 和 U_4 与 (b) 接法中 U_1 和 U_2 接近; 但虽然接近, 却不完全一致, 因为会有很多的环境影响因此不会完全相同; 而接近的原因是两种接法相当于电流方向反向, 因此我们改变电流方向与改变接法是等效的, 因此接近。

(2)Q: 说明实验内容 4.3 中为什么用计算的 B 作磁化曲线比用直接测量的 B 更好?

A: 因为我们直接测量的磁感应强度 B 只测量了一次, 随机误差较大, 可能对于线性比较不合理, 而用计算的磁感应强度 B 完全反映线性结果, 更适合拿来观察线性趋势。

(3)Q: 实验中观测到的各种曲线有什么主要特征, 如何解释?

A: (1) 霍尔电流 I_H 和霍尔电压 U_H 线性正相关, 因为霍尔电流 I_H 越大, 则力平衡需要的电场越大, 即霍尔电压 U_H 越大。(2) 励磁电流 I_M 越大, 磁感应强度 B 越大, 霍尔电压 U_H 也越大, 大致呈线性关系因为励磁电流越大, 产生磁感应强度越大, 同理力平衡需要的电场强度越大, 即霍尔电压越大。(3) 电磁铁磁场水平分布在中心最大, 且变化比较平缓, 然后改变较快, 在边缘处大致变为中心磁感应强度的 $\frac{1}{2}$, 因为在中心处大概我们可以将其视为无限长螺线管, 在边缘处大致为半无限长螺线管, 因此中心处磁场大致为边缘处磁场的 $\frac{1}{2}$ 。

6 收获与感想

在我们本次实验中, 我们通过老师的讲解, 了解了霍尔效应的基本原理, 同时通过使用活片效应的仪器学习了使用霍尔效应测量磁场的方式。为我们以后将要从事凝聚态物理的同学学习量子霍尔效应, 分数霍尔效应, 量子反常霍尔效应等霍尔效应的衍生效应打下了基础, 做好了铺垫。