

基础物理实验报告

霍尔效应

姓 名：仇 是

学 号：2200011630

指导教师姓名：李源

序 号：7 组 1 号

二〇二三年 11 月

一、数据处理

1、分别测量不同电流接口流入时的四次霍尔电压，并比较数据

参量设置：本部分实验控制恒流源 $I_M = 0.600A$,

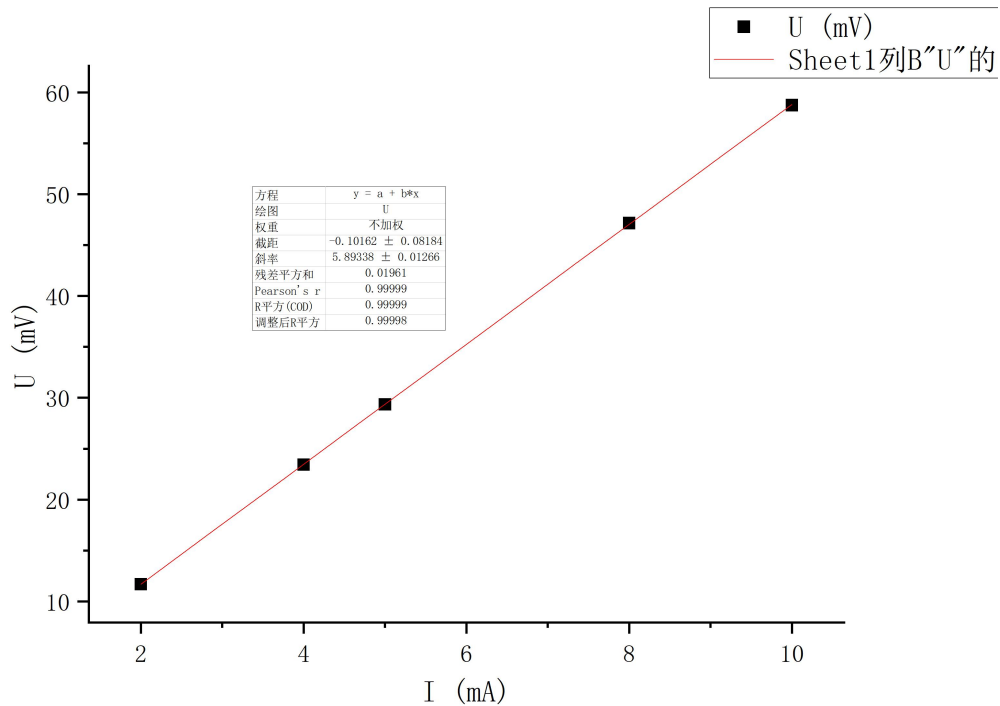
表 1. 电流从 1.2 端接口通入时的 $U_1 - I_H$ 图

I_H/mA	U_1/mV	U_2/mV	U_3/mV	U_4/mV	\bar{U}/mV
2.000	11.61	-11.77	-11.62	11.74	11.69
4.000	23.24	-23.56	-23.79	23.16	23.44
5.000	29.19	-29.43	-29.46	29.31	29.35
8.000	46.94	-47.23	-47.34	47.12	47.16
10.000	58.30	-59.02	-58.93	58.80	58.76

其中 $\bar{U} = \frac{U_1 - U_2 - U_3 + U_4}{4}$

使用 Origin 软件导入，作图并线性拟合，得到如下结果：

图 1.1,2 端输入时霍尔电压-电流数据与拟合曲线对照图



皮尔逊相关系数的平方值 $r^2 = 0.99998$, 可见 U_H 与 I_H 基本满足线性关系。

改变电流通入接口至 3.4 接口，测量数据如下：

表 2. 电流从 3.4 端接口通入时的 $U_1 - I_H$ 图

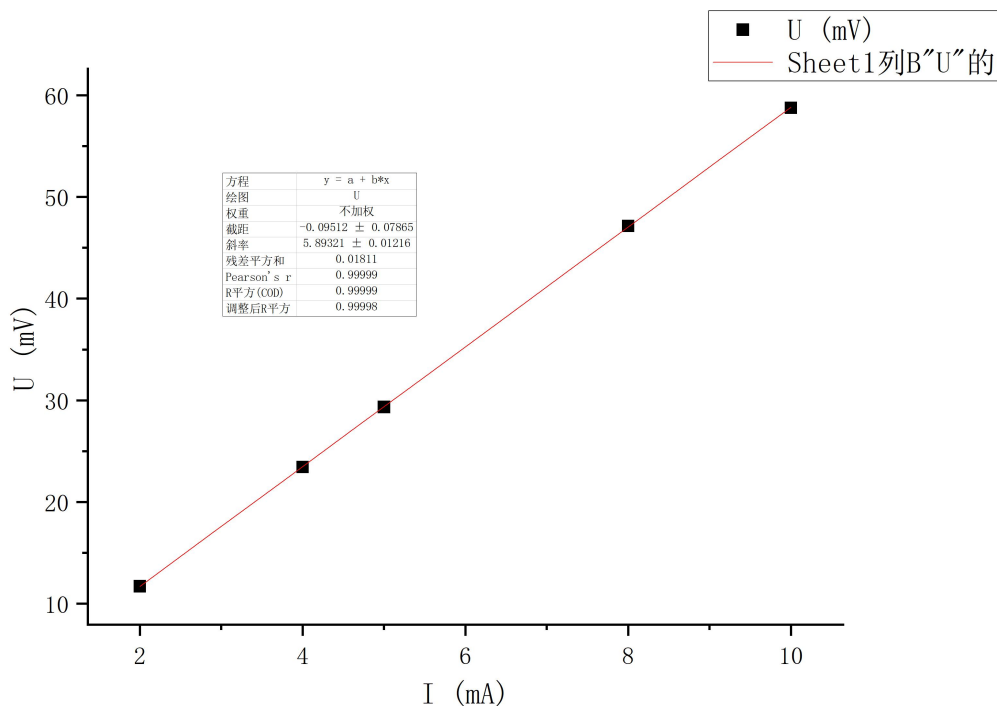
I_H/mA	U_1/mV	U_2/mV	U_3/mV	U_4/mV	\bar{U}/mV
2.000	11.61	-11.77	-11.62	11.74	11.69
4.000	23.24	-23.56	-23.79	23.16	23.44
5.000	29.19	-29.43	-29.46	29.31	29.35
8.000	46.94	-47.23	-47.34	47.12	47.16
10.000	58.30	-59.02	-58.93	58.80	58.76

(注：这里的 U_2 、 U_3 相对换向，按照与表 1 每列相对最接近的数据来填表，方便数据分析。)

其中依然取 $\bar{U} = \frac{U_1 - U_2 - U_3 + U_4}{4}$

使用 Origin 软件导入，作图并线性拟合，得到如下结果：

图 1.1,2 端输入时霍尔电压-电流数据与拟合曲线对照图



皮尔逊相关系数的平方值 $r^2 = 0.99998$ ，可见更改电流通入接口后的

U_H 与 I_H 也基本满足线性关系。

数据对比分析：

(1)：比较 a,b 两种接法所得的拟合直线斜率，前者为 5.8933，后者为 5.8932，两者仅相差 0.0001，误差范围在 0.01%以内。这说明霍尔电压确实基本与样品接入电流的方向无关，而且本实验器具的设置比较理想。

(2)：表中数值平均差异基本在 1%~5%之间，除去仪器精确性及读数问题，励磁电流换向以及霍尔元件通电流换向导致的相关温差电动势比例系数仍然有一定差异，及同时存在的副效应依旧存在且不可忽略。这也反映换向法测量霍尔电压是必要的。

2、调整 $I_H = 10.000mA$ ，测量不同 I_M 下的霍尔电压及磁场

I_M/A	U_1/mV	U_2/mV	U_3/mV	U_4/mV	\bar{U}/mV	B/mT
0.000	-0.37	-0.35	0.28	0.26	-0.01	0.5
0.100	9.67	-10.16	-9.96	10.05	9.96	30.8
0.200	19.21	-20.02	-19.48	19.78	19.6225	60.0
0.300	29.14	-29.71	-29.35	29.30	29.375	89.7
0.400	39.00	-39.38	-39.26	39.34	39.245	119.0
0.500	48.59	-49.24	-48.84	48.80	48.8675	148.2
0.600	58.32	-58.67	-58.90	58.70	58.6475	178.1
0.700	67.84	-68.53	-68.08	68.02	68.1175	207.2
0.800	77.47	-77.93	-77.80	77.93	77.7825	236.9
0.900	86.81	-87.22	-87.02	87.01	87.015	264.6
1.000	95.82	-96.42	-95.96	96.65	96.2125	293.7

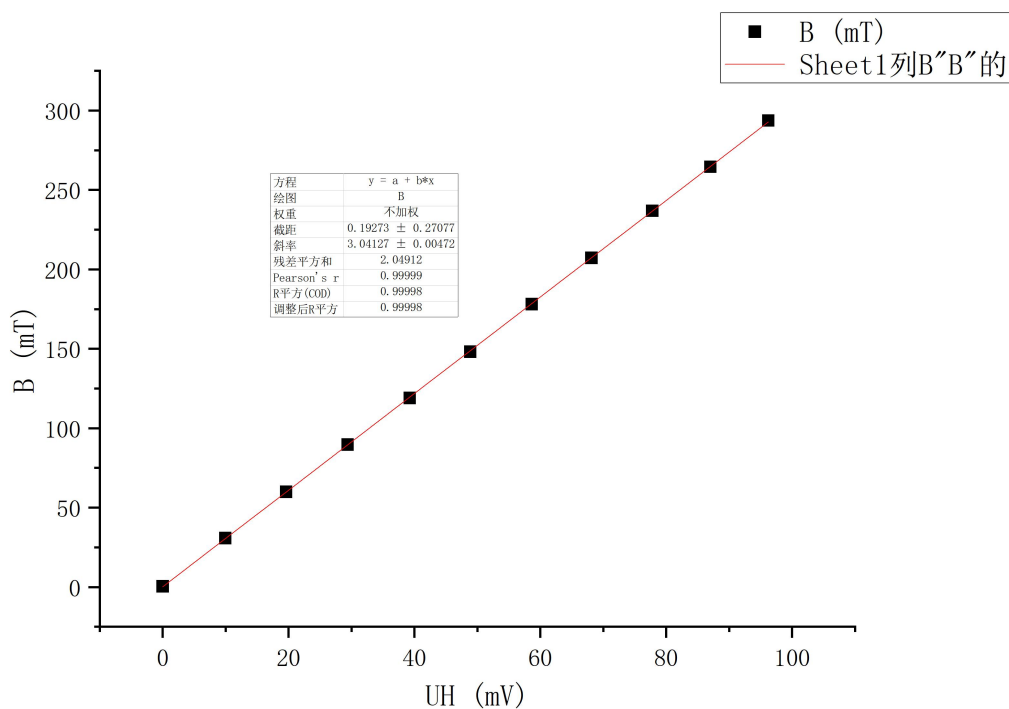
表 3 测量 KH 实验数据表

测量霍尔元件灵敏度的实验参数是： $I_H = 10.000\text{mA}$ ，电流从 1,2 端输入。

其中 $\bar{U} = \frac{U_1 - U_2 - U_3 + U_4}{4}$

用 Origin 作 U_H - B 图并线性拟合：

图 3 霍尔电压-磁场测量数据与拟合曲线对照图



数据分析：

(1)、皮尔逊相关系数的平方值 $r^2 = 0.99998$ ，说明二者呈明显的线性关系。

(2)、数据表中第一组数据正负号的顺序与后面的数据不同，正好说明在励磁电流为 0 时，励磁电流换向对霍尔电压正负性无影响。

相关参数计算：

$$K_H = \frac{k}{I_H} = 30.4127\text{V}/(\text{A} \cdot \text{T})$$

先考虑斜率的不确定度，首先是拟合带来的不确定度：

$$\sigma_H = k \sqrt{\frac{\frac{1}{r^2} - 1}{n - 2}} = 1.23 \times 10^{-3}\text{V/T}$$

考虑各仪器的允差：

取测量电压平均约 35mV 计算万用表电压档允差：

$$\sigma_U = \frac{35 \times 0.05\% + 0.03}{\sqrt{3}} mV = 0.027 mV$$

取磁场测量值平均约 100mT 计算毫特斯拉计的允差：

$$\sigma_B = \frac{100 \times 1\% + 0.2}{\sqrt{3}} mT = 0.69 mT$$

因此计算得：

$$\sigma_{kU} = \frac{\sigma_U}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}} = 1.186 \times 10^{-4} V/T$$

$$\sigma_{kB} = \frac{k \sigma_B}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}} = 1.00 \times 10^{-3} V/T$$

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k1}^2 + \sigma_{kU}^2 + \sigma_{kB}^2} = 1.69 \times 10^{-3} V/T$$

再考虑 I_H 带来的不确定度：

$$\sigma_{I_H} = \frac{10 \times 0.5\% + 0.004}{\sqrt{3}} mA = 3.1 \times 10^{-5} A$$

则由不确定度合成公式推知：

$$\sigma_{K_H} = K_H \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_H}}{I_H}\right)^2} = 0.197 V/(A \cdot T)$$

因此霍尔元件灵敏度测量结果为：

$$K_H \pm \sigma_{K_H} = (30.41 \pm 0.20) V/(A \cdot T)$$

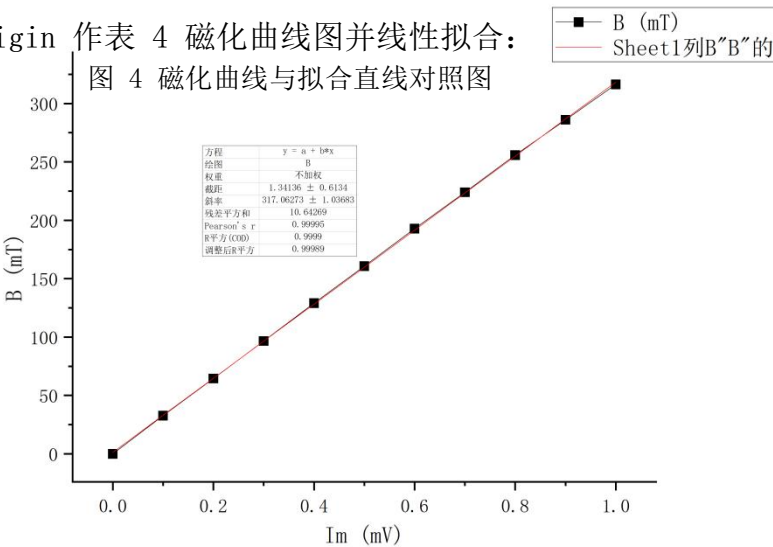
3. 根据 $B = \frac{U_H}{I_H K_H}$ 计算出每个励磁电流对应的 B，列出数据表如下：

表 4 磁化曲线数据表

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	-0.03	32.75	64.52	96.59	129.04	160.68	192.84	223.98	255.76	286.11	316.36

下面用 Origin 作表 4 磁化曲线图并线性拟合：

图 4 磁化曲线与拟合直线对照图



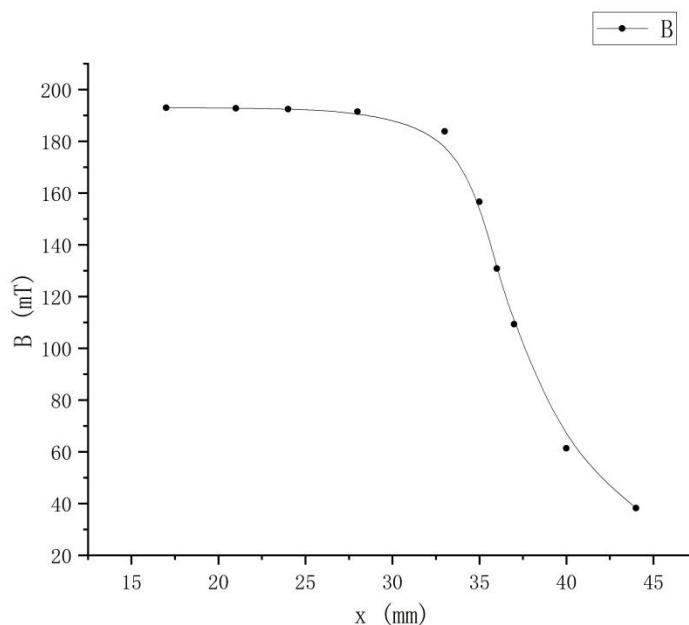
皮尔逊相关系数 $r=0.99999$ ，说明在 $0-1A$ 的励磁电流下，装软铁芯的电磁铁的磁感应强度与励磁电流呈明显的线性关系。

4. 计算出测量电磁铁水平方向磁场分布的霍尔电压对应的磁场
实验参数：控制恒流源 $I_M = 0.600A$, $I_H = 10.000mA$
本部分实验并没有消除副效应。

x/mm	17.0	21.0	24.0	28.0	33.0
U_H/mV	58.68	58.61	58.52	58.23	55.89
B/mT	192.94	192.71	192.41	191.46	183.77
x/mm	35.0	36.0	37.0	40.0	44.0
U_H/mV	47.63	39.76	33.24	18.64	11.63
B/mT	156.61	130.73	109.29	61.29	38.24

依据表 5 用 Origin 作 B-x 图：

图 5 电磁铁磁场沿水平方向分布图

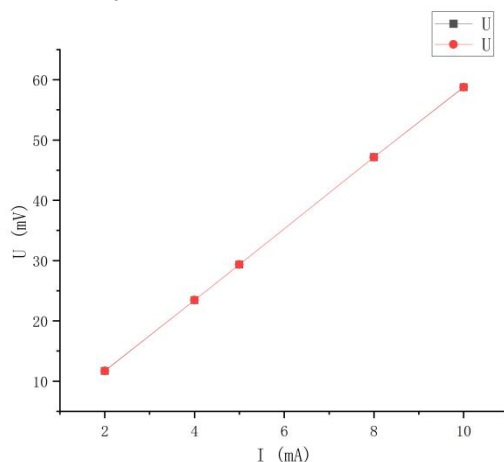


从电磁铁磁场沿水平方向分布测量结果可以看出，实验室的电磁铁中间区域是近似匀强的磁场，在边缘处迅速衰减，接着平稳趋于 0。

二、分析与讨论

1、副效应分析

(1) 不等位电势差 U_0 :



由曲线拟合对比图可见，两条曲线吻合得相当完美，实验前预测当电流增大时，不等位电势差会相应增大，而曲线显示不等位电势差依旧可以忽略不计。这说明 1 号位的实验仪器相当理想。这也与之前各组拟合的顺利有着不可分割的联系。

在测量灵敏度的实验中，保持 I_M 不变，所以 U_0 基本不变，个别波动可能是由测量中的温差、电表前后读数差别等引起的。

(2) 能斯特效应和里吉-勒迪克效应产生的 $U_N + U_R$:

不改变磁场方向只改变电流方向时，采用公式

$$|U_N + U_R| = \frac{|U_1 + U_2 - U_3 - U_4|}{4}$$

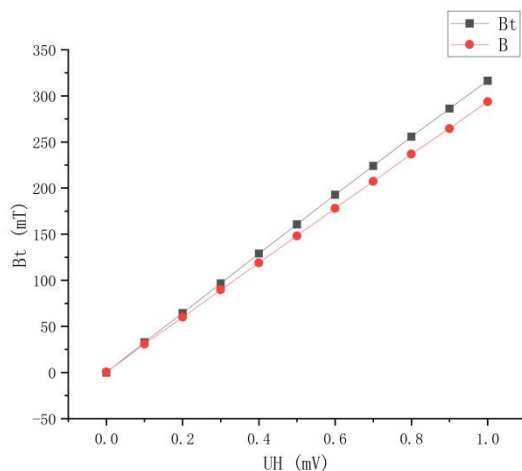
计算得 $|U_N + U_R| \approx 0$ ，这表明该效应在实验中可忽略。

(3) 灵敏度与 U_E : U_E 在实验中与 U_H 完全绑定，只有在不同接入方式的对比中才能看出一点区别，因此测得的灵敏度其实包含了 U_E 的影响，但由于计算磁场时等式两端相除使得 U_E 的影响被消去，所以这并没有为磁场测量引入系统误差。

2、测量霍尔元件灵敏度实验中相关误差分析

(1) 理论计算的磁感应强度与实测磁感应强度对比:

将由霍尔元件灵敏度 K_H 计算得到的理论磁感应强度 B_t 与实测磁感应强度 B 描点作图对比，结果如下:



在实验中就可以发现，用特斯拉计测量磁场强度时，单个测量量的不确定度较大，通过多组数据线性拟合后会使得最终计算出来的灵敏度相对不确定度更小。

根据这个与电压、电流数据（测量时允差均很小）计算磁场强度，可以使重新计算出的磁场强度不确定度比直接测量的小，因此使绘制的磁化曲线更加准确。

具体分析特斯拉计测量磁场时的不确定度与误差来源：

[1]电磁铁缝隙窄，碰到铁芯等会对磁场读数产生很大干扰

[2]用特斯拉计测量磁场强度很依赖探头的位置与角度，很难保证测得的磁场就是霍尔片所在位置的磁场。

特别讨论零点处的曲线特性：无论是理论值还是实测值的磁场均不为 0，这是由于励磁电流为 0 时，铁芯本身有个小磁场，所以会有霍尔电压，霍尔电流一直存在，所以有不等位电势差，因此这时读数无法为 0。

3、一些实验现象的分析：

（1）电火花：实验中观察发现，在 $I_M \geq 0.5V$ 时，断开励磁线圈的开关有明显的电火花出现，这是因为励磁线圈电感很大，在断开电路瞬间电流突变，导致电路两端会产生瞬时极高的电动势，因此在做实验时还应注意安全问题。

（2）万用表示数跳动现象：实验中观察发现，在测量霍尔元件灵敏度时，一开始很难控制 I_M 恒定，万用表示数会产生较大范围的波动。经探讨发现，可能由两方面原因引起：

[1]电路接线板上的双掷开关不建议压至最底端使用。该开关的保持电路通畅的基本原理是通过开关片与接口的大面积接触使得电路通路，压到最底端反而会产生较大的接触电阻，也在一定程度上减小了接触面积，带来一定的电流波动。

[2]电路连接处接触不良、导线交叉乱绕等。经检查发现电路存在两处接触不良以及一处导线缠绕现象，这些都会造成严重的电流示数波动及测量值偏小等后果。

经改动后，电流表示数基本维持稳定。

三、感想与收获

（一）课堂实录：李源老师的课堂讲述非常细致入微，其中有点思考及结论非常有启发意义，记录于下：

（1）单纯将半导体中的空穴等效理解为正电子，或者理解为电子的空缺与反向移动都会导致理论结果与实际结果相反。而实际上在固体物理的相关研究中，每一小段能级中的粒子能量--动量曲线都存在局部最大值，可以近似处理为很多段开口向下的抛物线，这样处理便可以使加速度或者移动方向的反向得到合理解释。

（2）关于对称性破缺的相关深入理解：讨论对称性与其破缺都是在某一层级的世界中进行展开的。如果讨论体系层次改变，自然也会带来体系内相关整体物理规律的改变。例如，如果将时间反演，那么傅科摆在北半球的偏转方向将会是向左，变为逆时针旋转；然而如果在地球外观察时间反演下的反转地球体系，该科里奥利力的基础研究实验理论基础重新得到修正。

（二）实验报告过程：

（1）导入及处理数据时，首先使用 excel 软件进行辅助数据处理。在这一步我遇到了许多操作困窘，包括行列互换、公式计算等基本步骤。（简而言之，源于我对 excel 软件的不熟悉）特别感谢罗同学手把手教我基本的 excel 运算，这节省了一大部分重复的数据处理时间。

（2）利用 origin 软件进行曲线拟合时，关于选取 B-fit 曲线还是样例 B 曲线时遇到了一些问题，特别感谢牟同学对我的相关建议与解惑。