

《基础物理实验》实验报告 分组号：01—9

实验名称 磁场的测量 指导教师 陈涛
姓 名 王华强 学号 2016K8009929035 专 业 计算机科学与技术
同组人员 无
实验日期 2017 年 11 月 13 日 实验地点 教 708 成绩评定

第一部分：

用霍尔效应测量磁场

实验名称

用霍尔效应测量磁场

实验目的

1. 了解霍尔效应基本原理；
2. 学习用霍尔效应测量磁场；

实验仪器与用具

霍尔效应实验仪（包括提供励磁电流和霍尔电流的电源，电流表，电压表，霍尔元件）。函数发生器，特斯拉计，导线，数字多用表。

霍尔效应实验仪主要技术指标如下：

- 1) 电磁铁励磁电流 I_M ：0~1.2 A，连续可调，调节精度1 mA；
- 2) 霍尔元件的工作电流 I_H ：0~11mA，连续可调，调节精度0.01 mA；
- 3) 励磁电流数字表：量程为0-1.999 A

- 4) 霍尔电流数字表：量程为0-10.00 mA
- 5) 霍尔电压数字表：量程为0-199.9 mV
- 6) 霍尔元件材料和灵敏度：N型砷化镓，灵敏度 K_H ： $> 10 \text{ V/A} \cdot \text{T}$
- 7) 电磁铁气隙中心位置磁感应强度： $> 0.15 \text{ T}$ ($I_M=1.0 \text{ A}$)
- 8) 不等位电位差： $< 1 \text{ mV}$ （在工作电流1 mA，磁感应强度0.1 T时）

实验原理(详见附件 1 讲义上的内容)

实验内容与数据处理

1. 测量霍尔电流与霍尔电压的关系

将霍尔片置于电磁铁中心处，励磁电流 $I_M=0.6 \text{ A}$ ，调节霍尔电流 I_H 依次为 2 mA，4 mA，6 mA，8 mA，10 mA（如果电流加不到 10 mA，加到最大即可），测出相应的霍尔电压，每次消除副效应。测量相应的霍尔电压。作 $U_H - I_H$ 图，验证 I_H 与 U_H 的线性关系。

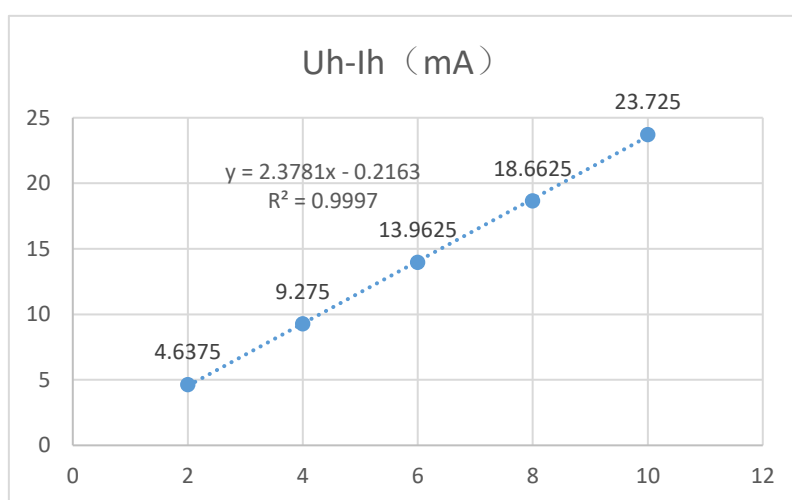
表 1.1 直流电源霍尔电流与霍尔电压数据记录

霍尔电流： I_H (mA)	霍尔电压： U_H (mV)				
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_H
2	-4.9	4.8	-4.5	4.35	4.6375
4	-9.8	9.6	-8.9	8.8	9.275
6	-14.75	14.5	-13.4	13.2	13.9625
8	-19.7	19.4	-17.9	17.65	18.6625
10	-24.6	24.2	-22.3	22.0	23.725
霍尔电流输入接 1,2 端					
励磁电流： $I_M = 0.6 \text{ (A)}$					

表 1.2 线性拟合原始数据数据记录

I _h	2	4	6	8	10
U _h	4.6375	9.275	13.9625	18.6625	23.725

图 1.2 直流电源霍尔电流与霍尔电压线性拟合



R² 达到 0.9997，线性程度很高。

2. 测量 K_H.

霍尔电流保持 $I_H = 10 \text{ mA}$ 。由 1, 2 端输入。将特斯拉计的探头小心地伸入电磁铁间隙中心处，励磁电流 I_M 从 0~1 A，每隔 0.1 A 分别测出磁场 B 的大小（磁场方向要与探头霍尔片垂直）和样品的霍尔电压 U_H ，每次消除副效应。用最小二乘法算出相应的 K_H ，并求出 K_H 的不确定度。

表 2-1 测量 K_h 时的实验数据

磁场强度: B (mT)	励磁电流: I_m (A)	霍尔电压: U_H (mV)				
		U_1	U_2	U_3	U_4	总计
-0.3	0	-1.2	0.85	-0.85	1.025	0.98125
14.9	0.1	-5.1	4.75	-2.85	3.8	4.125
29.9	0.2	-8.9	8.55	-6.7	7.625	7.94375
44.7	0.3	-12.8	12.4	-10.6	11.5	11.825
59.9	0.4	-16.65	16.3	-14.4	15.3625	15.678125
75.1	0.5	-20.6	20.2	-18.3	19.275	19.59375
89.7	0.6	-24.55	24.15	-22.2	23.2	23.525
104.8	0.7	-28.25	27.95	-26.1	27.0875	27.346875
120.1	0.8	-32.3	31.9	-29.9	30.925	31.25625
134.3	0.9	-36.2	35.8	-33.85	34.85	35.175
150	1	-40	39.6	-37.8	38.725	39.03125
霍尔电流: $I_H = 10$ (mA)						

表 2-2 U_H-I_m 线性拟合时所用的实验数据

I_m (A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
U_H (mV)	1.025	3.8	7.625	11.5	15.3625	19.275	23.2	27.0875	30.925	34.85	38.725

图 2-3 U_H-I_m 线性拟合结果

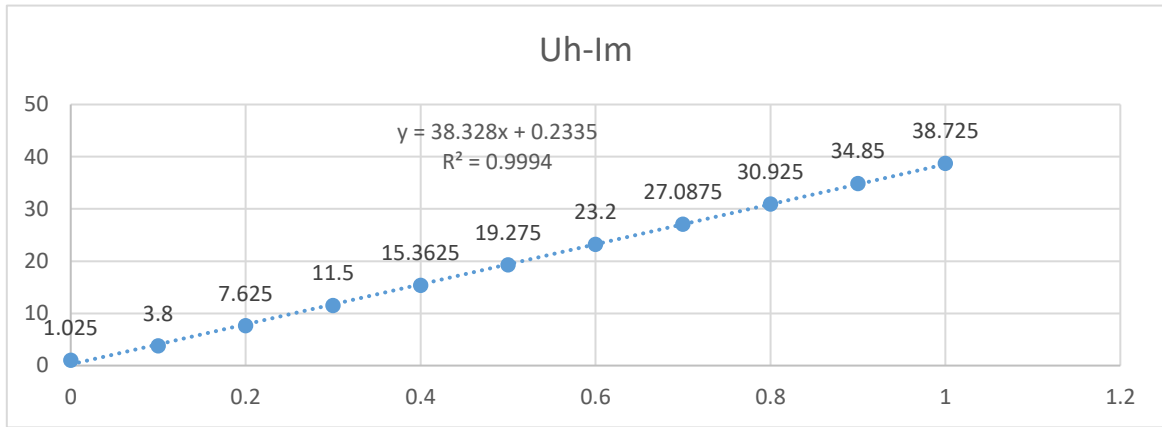
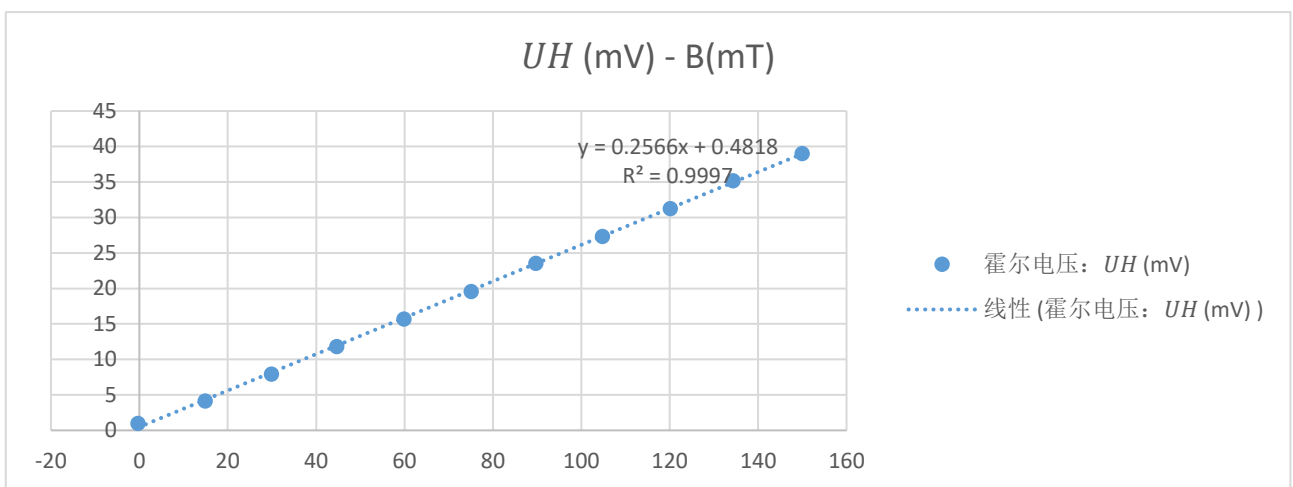


图 2-3 U_H (mV) - B (mT) 线性拟合结果



$$K_h = \frac{U_h}{I_h B}$$

计算得 $K_h = 25.66 \text{ V/A} \cdot \text{T}$

参考以下不确定度计算公式：

测量结果的正确表达

被测量 X 的测量结果应表达为： $X = \bar{X} \pm U$ (单位)

其中 \bar{X} 是测量值的平均值， U 是不确定度。

例如：

用最小分度为 1 mm 的直尺测量一长度最终结果为： $L = (0.750 \pm 0.005) \text{ m}$ 。

测量金属丝杨氏模量的最佳结果为： $E = (1.11 \pm 0.07) \times 10^{11} \text{ Pa}$ 。

1. 不确定度的计算方法

直接测量不确定度的计算方法

$$U = \sqrt{S^2 + \Delta_{\text{仪}}^2}$$

其中： $S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ 为标准差；

$\Delta_{\text{仪}}$ 是仪器误差，一般按仪器最小分度的一半计算，但是将标尺尺和游标按最小分度计算，也可按仪器说明书计算或查表。

间接测量不确定度的合成方法

间接测量 $N = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的平均值公式为： $\bar{N} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$

不确定度合成公式为： $U_N = \sqrt{\left(\frac{\partial N}{\partial x_1}\right)^2 U_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial N}{\partial x_2}\right)^2 U_{x_2}^2 + \left(\frac{\partial N}{\partial x_3}\right)^2 U_{x_3}^2 + \dots}$

也可根据表 1 中的公式计算间接测量的不确定度。

表 1 常用函数不确定度合成公式		
函数表达式	合成公式	备注
1. $N = aX \pm bY \pm cZ$	$U_N = \sqrt{a^2 U_X^2 + b^2 U_Y^2 + c^2 U_Z^2}$	
2. $N = \frac{X^2 Y^2}{Z^2}$	$\frac{U_N}{N} = \sqrt{4 \left(\frac{U_X}{X}\right)^2 + 4 \left(\frac{U_Y}{Y}\right)^2 + \left(\frac{U_Z}{Z}\right)^2}$	
3. $N = \sin X$	$U_N = \cos X U_X$	

注：

1. 在函数关系是乘除法时，先计算相对不确定度 $\frac{U_N}{N}$ ，比较方便，例如表中第二行的公式。

2. 不确定度合成公式可以联合使用。

例如：若 $\tau = \frac{\sin \theta}{3\phi}$ ，令 $U = \sin \theta$ ， $v = 3\phi$ 则 $\tau = \frac{U}{v}$ 。

根据表中第二行公式，有： $\frac{U_\tau}{\tau} = \sqrt{\left(\frac{U_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{U_v}{v}\right)^2}$ 。

根据表中第一行公式，有： $U_U = \sqrt{3^2 U_\theta^2} = 3U_\theta$ 。

根据表中第三行公式，有： $U_v = |\cos \theta| U_\phi$ 。

所以： $U_\tau = \tau \sqrt{\left(\frac{|\cos \theta| U_\theta}{\sin \theta}\right)^2 + \left(\frac{U_\phi}{3\phi}\right)^2} = \tau \sqrt{\left(\frac{|\cos \theta| U_\theta}{\sin \theta}\right)^2 + \left(\frac{U_\phi}{3\phi}\right)^2}$ 。

K_h 的不确定度：

认为 K_h 的不确定度为 K_h 的统计标准差：

由于 $K_h = \frac{U_h}{I_h B}$, 可以由单点值估计 K_h

磁场强度： B (mT)	霍尔电压： U_H (mV)	单点估计: K_h	IH=0.06
-0.3	0.98125	-327.0833333	
14.9	4.125	27.68456376	
29.9	7.94375	26.56772575	
44.7	11.825	26.4541387	
59.9	15.678125	26.17383139	
75.1	19.59375	26.09021305	
89.7	23.525	26.22630992	
104.8	27.346875	26.09434637	
120.1	31.25625	26.02518734	
134.3	35.175	26.19136262	
150	39.03125	26.02083333	

发现由第一个点的估计会造成很大偏差：舍去后求样本方差： K_h 估计为 0.500825

3. 测量磁化曲线

由步骤 2 测得的 U_H 和求出的 K_H 计算每个 I_M 对应的磁场 B 的大小, 从而得到磁场与励磁

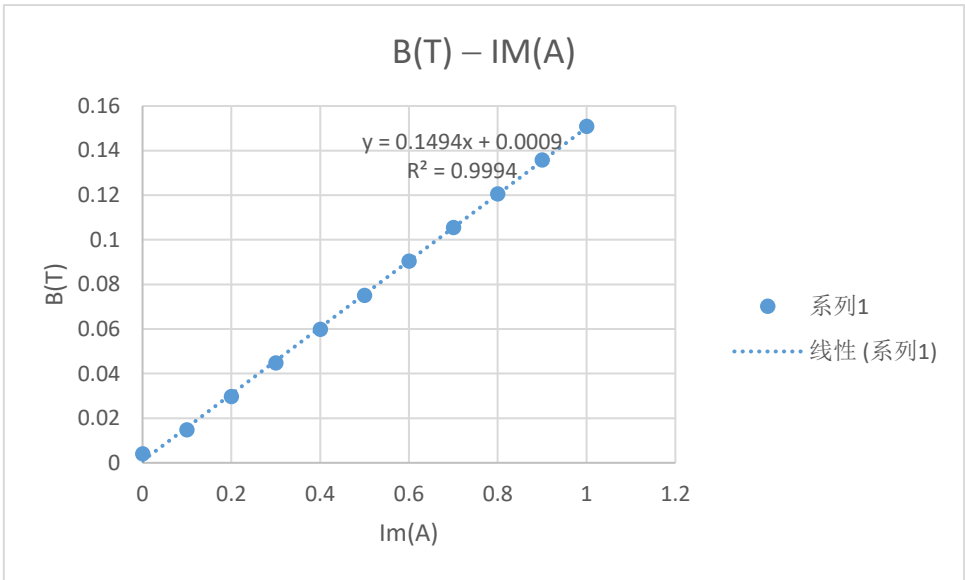
电流的关系 B – IM 曲线.

$$\text{由} B_h = \frac{U_h}{I_h K_h}$$

表 3-1 B – IM 曲线原始数据

Uh(mV)	1.025	3.8	7.625	11.5	15.3625	19.275	23.2	27.0875	30.925	34.85	38.725
Im(A)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
B(T)	0.003995	0.014809	0.029716	0.044817	0.059869	0.075117	0.090413	0.105563	0.120518	0.135814	0.150916

图 3-2 B – IM 曲线



由图可知 B 与 Im 有良好的线性关系，且计算出的结果和实际测出的结果差别很小.

4. 用交流霍尔电流测磁场

用函数发生器代替直流稳压电源 E2 ，使 f=500 Hz，调节输出电压使交流霍尔电流保持 Ih=10 mA，由 1，2 端输入。交流霍尔电流可用多用表的交流 mA 挡测量。霍尔电流设定好后，将 函数发生器输出直接接 1，2 端。用多用表测量霍尔电压 UH 。电磁铁的励磁电流依次为 0.2 A， 0.4 A， 0.6 A， 0.8 A， 1.0 A。算出相应的磁场，作 B – IM 图。

由 $B_h=\frac{U_h}{I_mK_h}$, 算得

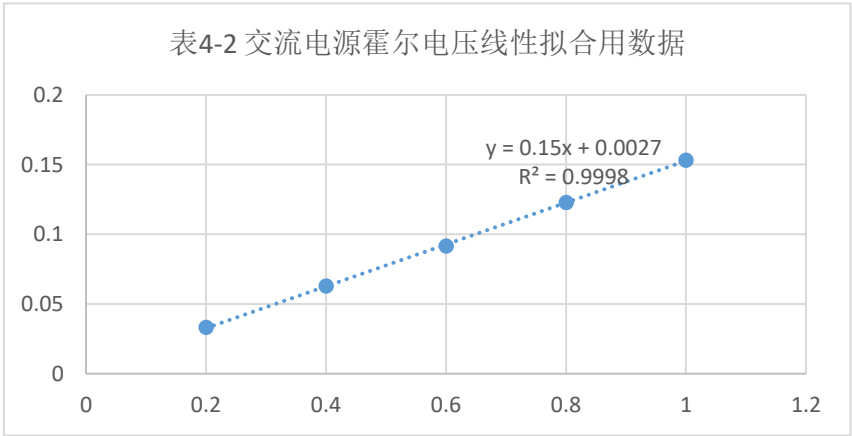
表 4-1 交流电源霍尔电压数据记录

励磁电流： I_M (A)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
霍尔电压： U_H (mV)	8.5	16.1	23.5	31.5	39.3
磁场强度： B (mT)	33.12548714	62.7436	91.5822	122.759	153.157
交流电源接 1,2 端 交流电源频率：f = 500 (Hz) 霍尔电流： I_H = 10 (mA)					

表 4-2 交流电源霍尔电压线性拟合用数据

励磁电流： I_M (A)	0.2	0.4	0.6	0.8	1
磁场强度： B (T)	0.033125487	0.06274	0.09158	0.12276	0.15316

表 4-2 交流电源霍尔电压线性拟合



实验结论

1. 测量霍尔电流与霍尔电压的关系

经验证两者成很好的线性关系。由于器材所限，不能比较两种接法的不同结果。

2. 测量 K_h

在使用特斯拉计测量磁场强度时，由于难以确保最优角度而仅仅能够尽量接近，故所求的 B 可能略小于实际值，此处可能引起较大的测量误差。

测出多组数据后消除副效应，用最小二乘法线性拟合，求出 K_h

3. 用交流霍尔电流测磁场

在确保=500 Hz 的同时，要调节输出电压使交流霍尔电流保持 $I=10\text{ mA}$ ，因此，每次改变励磁电流，交流霍尔电流同时也会有对应的改变，此时要调整输出电压，保证电流不变。

思考题

分析本实验主要误差来源，计算磁场 B 的合成不确定度（分别取 $I_M=1.0\text{ A}$ ， $I_H=10\text{mA}$ ）。

测量 B 时的误差：因为不能保证完全是最优角度， B 可能略小于实际值

测量 B 时的误差：特斯拉计在普通室内和不加励磁电流的线圈内时示数不同，而数值计算时没有处理其影响，此效应因此可能引起误差。

副效应(热磁电位差,不等位电势差)的消除可能不到位。

B 的合成不确定度计算公式为
$$u(B)^2 = \left(\frac{\partial B}{\partial K_H} u(K_H)\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial I_H} u(I_H)\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial U_H} u(U_H)\right)^2,$$

解出 K_h 的方差：， K_h 的仪器误差：，测量不确定度：

解出 I_h 的方差：， I_h 的仪器误差：，测量不确定度：

解出 U_h 的方差：, U_h 的仪器误差：, 测量不确定度：

代入上式, 测得不确定度：

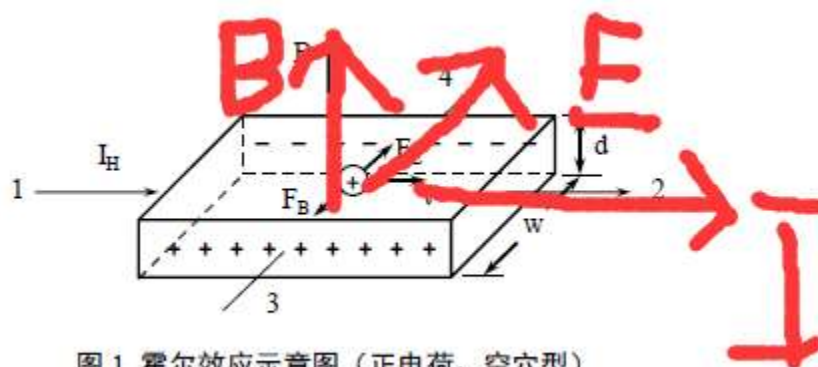
问题? K_h 的合成不确定度如何算?

1. 以简图示意, 用霍尔效应法判断霍尔片上磁场方向。

$$\text{由 } -q(v \cdot B) = qE$$

测出 E 的方向, I 的方向, 已知载流子类型(无妨设为空穴), 则 I 的方向 $= v$ 的方向, 由向量外积的运算,

可以得出 B 的方向.



示意图如下:

图 1 霍尔效应示意图 (正电荷、空穴型)

2. 如何测量交变磁场, 写出主要步骤。

使用规格已知的霍尔片, 将霍尔片放入磁场中待测量的点, 分别绕两个相互垂直的轴旋转霍尔片, 使得测出的电流(对应磁场示数)最大, 记下此时的数值大小, 计算求得磁场大小 并用上题中的方法判断磁场方向.

若有交变磁场特斯拉计和已知参数的探头, 则在调 0 之后同上旋转, 直接读出最大值, 并记下此时探头方向. 直接可以得出磁场大小和方向.

第二部分

亥姆霍兹线圈与电磁感应法测磁场

实验名称 亥姆霍兹线圈与电磁感应法测磁场

实验目的

1. 了解单独线圈周围的磁场分布(轴向及径向)
2. 了解亥姆霍兹线圈周围的磁场分布(轴向及径向)
3. 体会亥姆霍兹线圈产生匀强磁场的能力

实验器材与用具

亥姆霍兹线圈架

二个励磁线圈：线圈有效半径 105mm

单个线圈匝数 400 匝

二线圈中心间距 105mm

移动装置：轴向可移动距离 250mm，径向可移动距离 70mm

距离分辨率 1mm

DH4501 亥姆霍兹磁场测量仪：

频率范围：20~200Hz，频率分辨率：0.1Hz，测量误差：0.1%

正弦波：输出电压幅度：最大 20V，输出电流幅度：最大 200mA

数显毫伏表电压测量范围：0~20mV，测量误差：1%

电源：220V \pm 10%

实验原理

实验原理

--电磁感应法测磁场

设由交流信号驱动的线圈产生的交变磁场，它的磁场强度的瞬时值为：

$$B = B_m \sin \omega t$$

式中 B_m 为磁感应强度的峰值，其有效值记作 B ， ω 为角频率。磁场中一探测线圈的磁通量为：

$$\Phi = NSB_m \cos \theta \sin \omega t$$

式中： N 为探测线圈的匝数， S 为该线圈的截面积， θ 为 B 与线圈法线夹角。线圈产生的感应电动势为：

$$\begin{aligned}\varepsilon &= -\frac{d\Phi}{dt} = NS\omega B_m \cos \theta \cos \omega t \\ &= -\varepsilon_m \cos \omega t\end{aligned}$$

$$\varepsilon_m = NS\omega B_m \cos \theta$$

式中 $\varepsilon_{\max} = NS\omega B_m$ 是线圈法线和磁场成 θ 角时，感应电动势的幅值。当 $\theta = 0$ ，这时的感应电动势的幅值最大。如果用数字式毫伏表测量此时线圈的电动势，则毫伏表的示值（有效值） U_{\max} 为 $\frac{\varepsilon_{\max}}{\sqrt{2}}$ ，则：

$$B_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max}}{NS\omega} = \frac{\sqrt{2}U_{\max}}{NS\omega} \quad (11)$$

可计算出 B_m 来。 B 为磁场感应有效值， B_m 为磁场感应强度的峰值：

$$B = \frac{B_m}{\sqrt{2}}$$

实验中由于磁场的不均匀性，探测线圈又不可能做得很小，否则会影响测量灵敏度。一般设计的线圈长度 L 和外径 D 有 $L = \frac{2}{3}D$ 的关系，线圈的内径 d 与外径 D 有 $d \leq 3/D$ 的关系(本实验室选 $D = 0.012\text{ m}$ ， $N = 1000$ 匝的线圈)。线圈在磁场中的等效面积，经过理论计算： $S = \frac{13}{108}\pi D^2$

这样的线圈测得的平均磁感强度可以近似看成是线圈中心点的磁感应强度。本实验励磁电流由专用的交变磁场测试仪提供。

$$B = \frac{54}{13\pi^2 N D^2 f} U_{\max} \quad (12)$$

将不同的频率 f 代入上式就可以得出 B 。

[本实验的 $D = 0.012\text{ m}$ ， $N = 1000$ 匝。如 $I = 60\text{ mA}$ ， $f = 120\text{ Hz}$ ，交流毫伏表读数为 5.95 mV ，则根据式 (12) 求得单个线圈的磁感应强度 $B = 0.145\text{ mT}$]。

实验内容

在开机前先将工作电流 I_S 和励磁电流 I_M 调节到最小，即逆时针方向将电位器调节到最小。以防冲击电流将霍尔传感器损坏。

一、测量单个通电圆线圈轴线上的磁感应强度

测量前将亥姆霍兹线圈 Y 向导轨，Z 向导轨均置于 0，并紧固相应的螺母，这样使霍尔元件位于亥姆霍兹线圈轴线上。

测量单个通电圆线圈中磁感应强度。

用连接线将励磁电流 I_M 输出端连接到圆线圈，霍尔传感器的信号插头连接到测试架后面板的专用四芯插座。其它连接线一一对应连接好。

开机，预热 10 分钟。用短接线将数显毫伏表输入端短接，或者调节 I_S 、 I_M 电流均为零，再调节面板上的调零电位器旋钮，使毫伏表显示为 0.00。

调节工作电流，调节励磁电流，移动X，记录线上的各点处的霍尔电压，可以每隔10mm测量一个数据。

将测得的圆线圈轴线上（X 向）各点的磁感应强度与理论公式计算的结果相比较。

同理测量亥姆霍兹线圈上各位置的磁场分布。

实验过程与数据处理

1. 测量圆电流线圈轴线上磁场的分布



按图连接。调节频率调节电位器，使频率表读数为 120Hz。调节磁场实验仪的电流调节电位器，使励磁电流有效值为 $I=60\text{mA}$ ，以圆电流线圈中心为坐标原点，每隔 5.0 mm 测一个 U_{max} 值，测量过程中注意保持励磁电流值不变，并保证探测线圈法线方向与圆电流线圈轴线 D 的夹角为 0° 。

由于 0° 和 180° 都是最大值，但在实验中往往不相等，所以将两个数据都测出对比一下，若正反方向测量误差不大于 2%，则只做一个方向数据即可。否则取平均值。

表 4 圆电流线圈轴线上磁场分布测量数据记录

轴向 距离 X (mm)	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	---	---	----	----	----	----	----	----

U _max(mV)	5.17	5.38	5.57	5.74	5.87	5.98	6.04	6.06	6.04	5.98	5.89	5.74	5.6	5.42	5.2
测量 值 (mT) :	0.12 6062	0.13 1182	0.13 5815	0.13 996	0.14 313	0.14 5812	0.14 7275	0.14 7763	0.14 7275	0.14 5812	0.14 3618	0.13 996	0.13 6547	0.13 2158	0.12 6793
计算 值 (mT)	0.12 262 1	0.12 766 8	0.13 221 5	0.1 361 4	0.13 932 9	0.14 168 4	0.14 312 9	0.14 361 6	0.14 312 9	0.14 168 4	0.13 932 9	0.1 361 4	0.13 221 5	0.12 766 8	0.12 262 1

$$B = \frac{2.926}{f} U_{max} (mT) \quad \text{测量值计算公式}$$

$$B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}} (mT) \quad \text{计算值计算公式}$$

$$f = 120 \text{ Hz}, I = 60 \text{ mA}, N_0 = 1000, R = 105 \text{ mm} \quad \text{条件: 其中 } N_0 \text{ 应}=400$$

综上，计算值与测量值符合的很好.

2. 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布

在励磁电流为零的情况下将磁感应强度清零。

把磁场实验仪的两个线圈串联起来，接到磁场测试仪的励磁电流两段。

调节频率电位器，使频率表读数为 120Hz。

调节磁场测量仪的电流调节电位器，使励磁电流有效值为 60mA。

以亥姆霍兹线圈中心为坐标原点，每隔 5.0 mm 测一个 U_{max} 的值，测量过程中注意保持励磁电流值不变。

表 5 亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布

轴向距 离 X (mm)	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	---	---	----	----	----	----	----	----

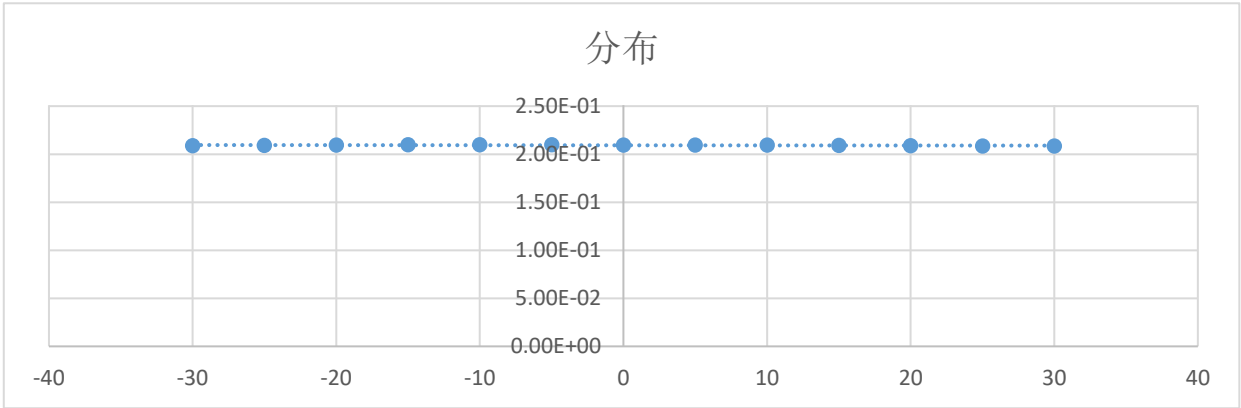
U_max(mV)	8.55	8.58	8.6	8.6	8.6	8.6	8.59	8.59	8.59	8.59	8.59	8.58	8.57	8.54	8.5
测量值:	2.0848E-01	2.0921E-01	2.0970E-01	2.0970E-01	2.0970E-01	2.0970E-01	2.0945E-01	2.0945E-01	2.0945E-01	2.0945E-01	2.0945E-01	2.0921E-01	2.0897E-01	2.0823E-01	2.0726E-01
f = 120 Hz $B = \frac{2.926}{f} U_{max} (mT)$															

3. 测量亥姆霍兹线圈沿径向的磁场分布

固定探测线圈法线方向和圆电流线圈轴线 D 的夹角为 0°，转动探测线圈径向移动手轮，每移动 5 mm 测量一个数据，按正、负方向测到边缘，记录数据并作出磁场分布曲线。

表 6 亥姆霍兹线圈磁场径向分布测量数据记录

径向距离 X (mm)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
U_max(mV)	8.56	8.58	8.59	8.6	8.6	8.6	8.59	8.59	8.59	8.58	8.57	8.55	8.552
测量值:	2.09E-01	2.09E-01	2.09E-01	2.10E-01	2.10E-01	2.10E-01	2.09E-01	2.09E-01	2.09E-01	2.09E-01	2.09E-01	2.08E-01	2.09E-01
f = 120 Hz													



4. 验证公式 $\varepsilon_m = NS\omega B_m \cos \theta$

当 $NS\omega B_m$ 不变时， ε_m 与 $\cos \theta$ 成正比。按照实验要求，把探测线圈沿轴线固定在某一位置上，让探测线圈法线方向与圆电流线圈轴线 D 的夹角从 0°开始，逐步旋转到 90°，180°，270°，再回到 0°。每改变 10°测一组数据。

探测线圈转角 θ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U (mV)	8.59	8.45	7.99	7.37	6.55	5.46	4.17	2.77	1.37	0
计算值: $U = U_{max} \cdot \cos\theta$	8.59	8.4595	8.072	7.4392	6.5803	5.5215	4.295	2.938	1.4916	5E-16
探测线圈转角 θ	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
U (mV)	1.45	2.9	4.1	5.32	6.4	7.33	7.92	8.35	8.51	8.42
计算值: $U = U_{max} \cdot \cos\theta$	-	-	-	-5.522	-6.58	-7.439	-	-	-8.59	-
	1.49	2.938	4.295				8.072	8.459		8.459
探测线圈转角 θ	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
U (mV)	8.07	7.52	6.68	5.55	4.42	2.92	1.58	0	1.41	2.96
计算值: $U = U_{max} \cdot \cos\theta$	-	-	-6.58	-5.522	-4.295	-2.938	-	-2E-15	1.4916	2.938
	8.07	7.439					1.492			
探测线圈转角 θ	300	310	320	330	340	350	360			
U (mV)	4.42	5.59	6.7	7.52	8.15	8.49	8.59			
计算值: $U = U_{max} \cdot \cos\theta$	4.295	5.5215	6.5803	7.4392	8.072	8.4595	8.59			
f=120Hz U_max=8.59(mV)										

显然, 计算值与测量值符合的很好

5. 励磁电流大小对磁场强度的影响

把探测线圈固定在亥姆霍兹线圈中心点，其法线方向与圆电流线圈轴线 D 的夹角为 0°，并保持不变。调节磁场测试仪输出电流频率，在 20 Hz ~ 150 Hz 范围内，每次频率改变 10 Hz，逐次测量感应电动势的数值并记录。

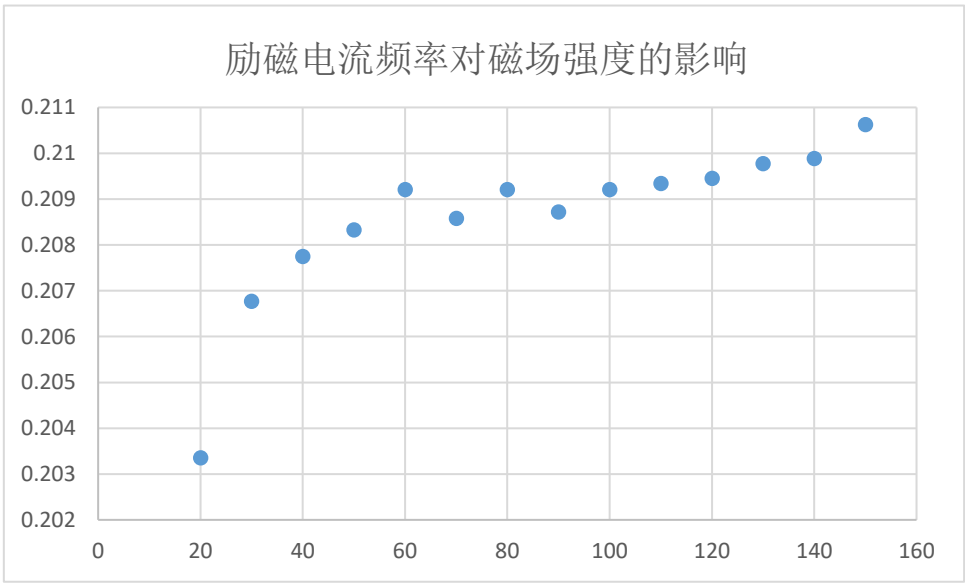
励磁电 流频率 f (Hz)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
U_m (mV)	1.3 9	2.1 2	28.4	3.5 6	4.29	4.99	5.72	6.42	7.15	7.87	8.59	9.32	9.44	9.52
测量 值:	0.2 033 57	0.2 067 7	0.20 775	0.2 083 3	0.20 921	0.20 858	0.20 921	0.208 72	0.209 21	0.20 934	0.209 45	0.209 77	0.20 9889 362	0.21 0627 75

I = 60 mA $B = \frac{2.926}{f} U_{max} (mT)$

注意最后 f=140,150Hz 时，此时 I 无法达到 60mA,

测出此时 I 为 56.4, 52.9mA，用原公式结果*60/56.4(or 52.9)

做出散点图如下:



可以发现, B 几乎处于一个不变的状态，在误差允许的范围内，我们证明了：其他条件一定时，励磁电
流频率对磁场强度没有影响.

实验结论

综上所述我们得出了导电单线圈周围的磁场分布，以及亥姆霍兹线圈周围的磁场分布，验证了亥姆霍兹线圈产生匀强磁场的能力。同时，在误差允许的范围内，我们证明了：其他条件一定时，励磁电流频率对磁场强度没有影响。

思考题

1. 单线圈轴线上磁场的分布规律如何？亥姆霍兹线圈是怎样组成的？其基本条件有哪些？它的磁场分布特点怎样？

单线圈轴线上磁场的分布：从中心到远处减小。由毕奥—萨伐尔定律，实际公式为：

$$1. \quad B_x = \frac{\mu_0 R^2 NI}{2 (R^2 + x^2)^{3/2}}$$

亥姆霍兹线圈是由彼此平行且共轴的一对相同的载流圆线圈，令线圈间距等于线圈半径，通以同方向电流所组成的。

亥姆霍兹线圈两个载流线圈的总磁场在轴的中点附近的较大范围内是均匀的。

在亥姆霍兹线圈两线圈外以及单线圈轴线上，磁场强度由中间向外递减。

2. 探测线圈放入磁场后，不同方向上毫伏表指示值不同，哪个方向最大？如何测准 U_{\max} 值？指示值最小表示什么？

在单线圈和亥姆霍兹线圈中，均是沿轴线方向磁场最大。

由于沿轴线方向最大，因此测量时测量轴线方向即可，但是，由于测量角度可能有微小的偏差，测量时要在轴线方向的两侧进行调整。

在测量时测量 0 和 180 度，由于 0° 和 180° 都是最大值，但在实验中往往不相等，所以将两个数据都测出对比一下，若正反方向测量误差不大于 2%，则只做一个方向数据即可。否则取平均

值。

指示值最小应为 0, 代表此方向无磁场.

3. 分析圆电流磁场分布的理论值与实验值的误差的产生原因。

猜测右侧的未通电线圈影响了空间中的磁场分布, 除此之外可能还有外界磁场的影响.

此外探测线圈可能歪斜, 角度, 位置刻度可能不准确.

但主要的影响应该还是来自右侧的未通电线圈.

2017. 11. 14-王华强-1 班 9 组-助教陈涛-测量磁场