

一、预习报告

1. 实验综述

实验原理：

(1) 载流圆线圈磁场：半径为 R , 直流电流 I 的 N0 圆线圈, 其轴线上离圆线圈中心距离为 X 米处的磁感应强度的表达式为: $B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$, 其磁场的分布图是一条单峰的关于Y轴对称的曲线。

(2) 亥姆霍兹线圈：两个完全相同的圆线圈彼此平行且共轴，通以同方向电流 I , 线圈间距等于线圈半径 R 时，两线圈合磁场在中心轴线上（两线圈圆心连线）附近较大范围内是均匀的，这样的一对线圈称为亥姆霍兹线圈。

(3) 霍尔效应测磁场：电流 I 流过厚度为 d 的矩形半导体薄片，磁场 B 垂直作用于该半导体，洛伦兹力作用使电流方向改变，在薄片两个横向面之间产生霍尔电势。该电势同时垂直于电流 I 及磁场 B 方向，平衡时 $F_B = qvB = qE$ 。P型样品的载流子浓度为 p , 宽度为 w , 厚度为 d , 通过样品的电流: $I_H = pqvwd$, 代入可得 $U_H = Ew = R_H \cdot \frac{I_H \cdot B}{d}$, $R_H = \frac{1}{p \cdot q}$ 称为霍尔系数，比例系数 $K_H = R_H/d = 1/(pqd)$ 称为霍尔元件的灵敏度。

实验方法： 正确连接仪器后，磁感应强度为 0 下将微特斯拉计调零（消除地磁场和其他环境杂散干扰磁场以及不平衡电势的影响）。磁场实验仪测试架左边固定线圈，右边可动线圈移动到合适的位置，励磁电流 $I = 0.400A$ ，以圆电流线圈中心为坐标原点，每隔 $1.0cm$ 测一个 B 值，最后作出 $B \sim X$ 曲线。

实验现象： 观察到在不同距离位置所测量到的磁场大小不一样，但在对称位置的磁场大小成对称分布。

2. 实验重点

- (1) 学会推导利用霍尔法测量磁场的计算公式，了解其计算原理。
- (2) 了解并学习霍尔效应实验仪的使用方法，操作流程及事项。
- (3) 准确测量不同位置和条件下的霍尔电压和磁场强度数据，注意测量的重复性和准确性。

3. 实验难点

- (1) 实验过程中可能始终会受到外界微弱的磁场的干扰。

(2) 特斯拉计等测量仪器需要校准，校准过程对环境和设备要求高，环境的变化可能影响后续实验过程数据的准确性。

(3) 实验使用的仪器自身也是电学仪器，在测量过程中会发热或产生磁场改变等影响。

二、原始数据

1. 单线圈轴向									
刻度尺(cm)	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
距离(cm)	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00
B(μT)	424	492	565	645	728	810	886	945	988
刻度尺(cm)	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00
距离(cm)	0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
B(μT)	1000	985	942	883	805	725	639	561	491
刻度尺(cm)	24.00	25.00	26.00						
距离(cm)	9.00	10.00	11.00						
B(μT)	424	367	318						
2. 单线圈径向分布									
径向距离Y(cm)	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0	1.00	2.00	3.00
B(μT)	1224	1125	1064	1025	1009	1003	1012	1036	1080
径向Y(cm)	4.00	5.00							
B(μT)	1146	1250							
3.亥姆霍兹线圈B-X $d=R=10\text{cm}$									
刻度尺(cm)	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00
轴向距离(cm)	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00
B(μT)	1224	1125	1064	1025	1009	1003	1012	1036	1080
刻度尺(cm)	8.94	10.04	11.09	12.08	12.95	13.59	14.01	14.23	14.37
轴向(cm)	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00
B(μT)	1440	1441	1443	1439	1429	1405	1360	1294	1206
刻度尺(cm)	23.00	24.00	25.00						
轴向(cm)	8.00	9.00	10.00						
B(μT)	1109	1002	892						

三、结果与分析

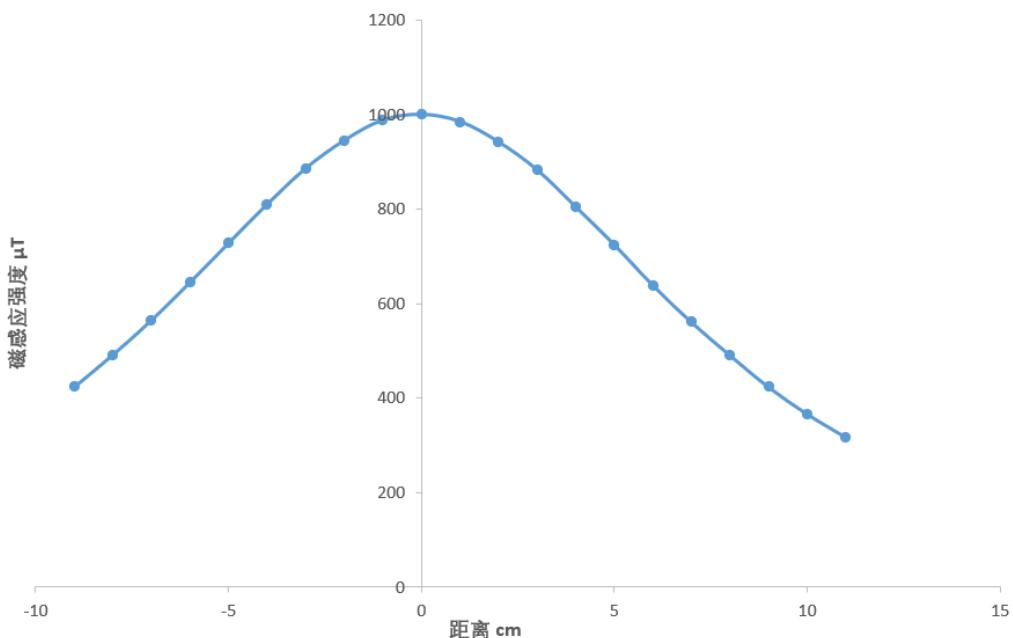
1. 数据处理与结果

(1) 测绘单线圈轴向 $B \sim X$ 曲线, 根据实验记录数据列出表格 (表一) 如下: 本实验取 $N_0 = 400$ 匝, $I = 0.400A$, $R = 0.100m$, 由此代入可分别算出每种情况下的理论值, 理论值单位同样选取 μT . 再根据表格数据可以绘制出单线圈轴向磁感应强度分布图 (图一), 根据曲线图知, 单线圈轴向磁场分布呈左右对称形, 中间磁感应强度最大, 且此次测量结果误差保持在 5.00% 以内, 测量质量相对较好。

表一

轴向距离(cm)	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00	1.00
磁感应强度(μT)	424	492	565	645	728	810	886	945	988	1000	985
$B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$	412	479	553	634	719	805	883	948	990	1005	990
相对误差(%)	2.91	2.71	2.17	1.74	1.25	0.621	0.340	-0.316	-0.202	-0.498	-0.505
轴向距离(cm)	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	
磁感应强度(μT)	942	883	805	725	639	561	491	424	367	318	
$B = \frac{\mu_0 N_0 I R^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$	948	883	805	719	634	553	479	412	355	306	
相对误差(%)	-0.633	0.00	0.00	0.834	0.789	1.45	2.50	2.91	3.38	3.92	

图一 单线圈轴向 $B \sim X$ 曲线

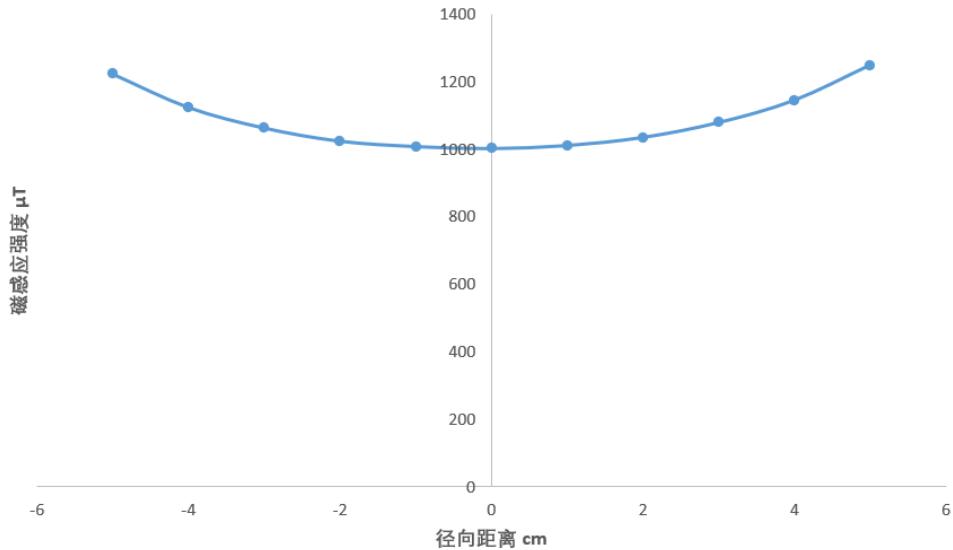


(2) 测绘单线圈径向磁场分布, 根据实验记录数据列出表格 (表二) 如下: 根据表格数据可以绘制出单线圈径向磁感应强度分布图 (图二), 根据径向磁场分布可知其也呈现明显对称分布, 径向距离越远, 磁感应强度越大, 在最中间时径向磁感应强度最小。

表二

径向距离(cm)	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
磁感应强度(μT)	1224	1125	1064	1025	1009	1003	1012	1036	1080	1146	1250

图二 单线圈径向磁感应强度分布

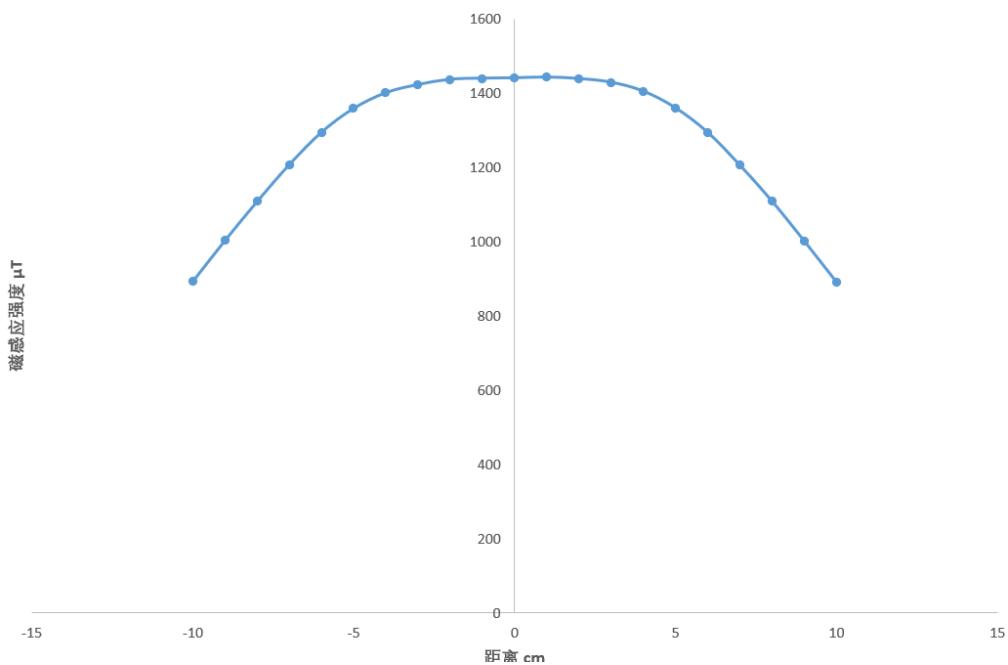


(3) 测绘亥姆霍兹线圈轴向 $B \sim X$ 曲线, 根据实验记录数据列出表格 (表三) 如下, 同时对数据作图可得图三, 可见亥姆霍兹线圈轴向的磁场仍然对称分布, 且在两线圈中间-2.00 到 2.00 的区域内轴向磁场几乎保持不变, 可以近似看为匀强磁场, 随着轴向远离线圈, 磁感应强度又逐渐下降。

表三

轴向距离(cm)	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00
磁感应强度(μT)	894	1004	1109	1208	1295	1359	1401	1423	1437	1440	1441
轴向距离(cm)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	
磁感应强度(μT)	1443	1439	1429	1405	1360	1294	1206	1109	1002	892	

图三 亥姆霍兹线圈轴向B~X曲线



2. 误差分析

- 1) 实验过程中磁感应强度的读数始终处于微小波动的状态，难以保持某一确定值，因此读数存在误差。
- 2) 实验过程中线圈并非完全垂直，有一定微小的倾斜角导致霍尔元件没有始终在轴向上移动，而是有一定的偏角。
- 3) 摆放的仪器在多次调节刻度尺位置时可能存在一定的移动，导致又受到地磁场的影响。
- 4) 越远离线圈相对误差越大，可能是周围环境磁场影响或者是边缘效应的存在。
- 5) 实验中电流可能也存在一定的波动，导致霍尔电压波动，影响磁场测量的准确性。
- 6) 实验中仪器内部电学元件使用过程发热，导致霍尔元件灵敏度可能变化，使测量的霍尔电压产生误差，最终影响磁场测量结果。
- 7) 实验前调零时始终会有 $1\sim2 \mu\text{T}$ 的波动，因此测量值也处于浮动状态。

3. 实验探讨

本次实验通过对单线圈和亥姆霍兹线圈在轴向和径向方向磁感应强度的测量，让我对带电线圈周围磁场的分布和叠加有了更深刻的印象。同时实验中对亥姆霍兹线圈位置的变化导致中

间的磁场分布也不一样，当距离等于线圈半径时产生匀强磁场，这也让我对匀强磁场的产生有了更全面的认识。

四、思考题

1、分析霍尔效应法测磁场的误差来源。

答：霍尔元件的性能受到温度影响，而实验过程中会发热，温度会有变化，引起测量误差。也有可能存在外界磁场或者测量的磁场自身不均匀从而导致误差。同时霍尔元件自身就存在一定的测量误差范围，这也会导致误差产生。

2、在磁场测量过程中为什么要保持霍尔片工作电流及励磁电流的大小不变？

答：根据霍尔效应可知 $U_H = Ew = R_H \cdot \frac{I_H \cdot B}{d}$ ，在保持电流大小不变的情况下可以得到不同磁感应强度 B 下的霍尔电压，而当电流也在变化时也会引起电压变化，因此导致无法通过测量霍尔电压来准确反映磁场的变化。同样地，只有保持励磁电流不变，才能保证待测磁场稳定，进而测量出霍尔电压计算出磁场强度。

3、分析用霍尔效应测量磁场时，当流过线圈中的电流为 0 时，显示的磁场值不为 0 的原因？

答：可能是环境中存在的磁场叠加在霍尔元件周围，导致测量仪器显示的磁场值不为 0。也有可能是仪器内部电学元件存在磁场干扰影响霍尔元件测量。或者长期使用导致仪器本身所测量的零点略微发生变化，导致显示出磁场值不为 0.

4、地磁场对实验有影响吗？

答：由于地磁场较弱和实验开始前会将仪器进行微特斯拉计的校准调零，因此实验中地磁场的影响几乎可以忽略不计。但是如果实验过程中仪器位置发生了较大的方向改变，那么仍然会受到地磁场的影响。