

1. 霍尔效应法测量磁场的原理

霍尔效应从本质上说是定向运动的带电粒子在磁场中受到洛伦兹力的作用而引起的偏转。当带电粒子在磁场中受到洛伦兹力的作用而引起的偏转。当带电粒子(电子或空穴)被约束在固体材料中时,这种偏转就导致在垂直于由电流和磁场所构成平面的方向上产生正负电荷的聚积,从而形成附加的横向电场。现用金属自由电子模型进行定量分析。当霍尔电场与磁场作用力达到平衡时,有: $eE_H = eBv$, 其中 E_H 为霍尔电场强度, v 是载流子在电流方向上的平均漂移速度。

设试样的宽为 b , 厚度为 d , 载流子浓度为 n , 则: $I_s = nevbd$ 。因此平衡状态下可以得到 $E_H b = \frac{1}{ne} \cdot \frac{I_s B}{d} = R_H \frac{I_s B}{d}$, 而 $E_H b$ 为 U_H , 所以霍尔电压与 $I_s B$ 乘积成正比, 与试样厚度 d 成反比。比例系数 $R_H = \frac{1}{ne}$ 为霍尔系数, 是反应材料霍尔效应强弱的重要参数。

霍尔器件就是利用上述原理制成的电磁转化元件。对于成品的霍尔器件, 其 R_H, d 已知, 因此在实验中就将上式写为 $U_H = K_H I_s B$ 。其中 $K_H = \frac{R_H}{d}$ 称为霍尔器件的灵敏度, 它表示在单位工作电流和单位磁感应强度下输出的霍尔电压。所以若 K_H 已知, 而 I_s 由实验取定, 则只要测出 U_H 就可以求得未知磁感应强度 B 。

2. 霍尔电压 U_H 的对称测量法

在产生霍尔效应同时, 因伴随着各种副作用, 以致实验测得的 P、S 两电极之间的电压并不等于真实的 U_H 值, 而是包含着各种副效应引起的附加电压。消除附加电压的做法是保持 I_s 和 B 的大小不变, 设定电流, 磁场正方向后, 依次测量下列电流, 磁场状态下的两板电压: $U_1 (+I_s, +B)$, $U_2 (+I_s, -B)$, $U_3 (-I_s, -B)$, $U_4 (-I_s, +B)$, 则 $U_H = \frac{1}{4}(U_1 - U_2 + U_3 - U_4)$, 通过此对称测量法求得的 U_H 误差很小。

3. 载流长直螺线管内的磁感应强度理论值

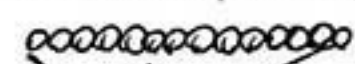
根据毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律(载流导线在空间某点的磁感应强度 $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Idl \times r}{r^3}$)和磁场的叠加原理可求得通有电流 I_m 的长直螺线管轴线上某点的磁感应强度为 $B = \frac{1}{2} \mu_0 n I_m (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$

图及下文见附纸

【实验目的】

1. 加深了解产生霍尔效应的物理过程。
2. 学习用霍尔器件测绘长直载流螺线管轴向磁场分布方法。
3. 学习用于消除系统误差的对称测量。
4. 学习用霍尔器件测绘亥姆霍兹线圈磁场分布

当螺线管内径远小于其长度时, 对于管中部 $\alpha_1 \rightarrow \pi, \alpha_2 \rightarrow 0$, 因此螺线管中部磁感应强度为:
 $B = \mu_0 n I_m$, 螺线管两端点磁感应强度为 $B = \frac{1}{2} \mu_0 n I_m$. ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, n 为螺线管单位长度上的匝数)



螺线管剖视图.



4. 霍尔器件中副效应及其消除方法分析

① P、S 两极之间会有电阻 r , 因此通电流时就存在 $U_0 = I_s r$ 产生, 所以测量 U_H 时就叠加了 U_0 , 但可以用改变 I_s 方向予以消除

② 温差电效应引起的附加电压 U_E : 若速度为 v 的载流子所受洛伦兹力与霍尔电场力平衡, 则速度大于或小于 v 的载流子在电场磁场作用下将各自朝对立偏转, 从而在 y 方向上引起温差 $T_p - T_s$, 由此产生温差电效应, 引入了附加电压 U_E , 且 $U_E \propto I_s B$ 所以不能通过改变 I, B 方向消除, 但其引入的误差很小, 可以忽略.

③ 热磁效应直接引起的附加电压: 由于输入电流端引线的焊接点的接触电阻不等, 通电后发热程度不同, 导致 x 方向上有温度梯度, 引起载流子沿样片方向而产生热扩散电流, 热流 Q 在 z 方向磁场作用下, 在 y 方向产生附加 $U_{W0} \propto Q B$, 可通过改变 B 方向消除.

④ 热磁效应产生的温差引起的附加电压 U_R , 原理同 ②, 只不过是热扩散电流的载流子速度大小不一, 可通过改变 B 方向消除

$U_2 (+I_s, -B), U_3 (-I_s, -B), U_4 (-I_s, +B)$, 则 $U_H = \frac{1}{4} (U_1 - U_2 + U_3 - U_4)$, 通过此对称测量法求得的 U_H 误差很小.

3. 载流长直螺线管内的磁感应强度理论值

根据毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律 (载流导线在空间某点的磁感应强度 $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Idl \times r}{r^3}$) 和磁场叠加原理可求得通有电流 I_m 的长直螺线管轴线上某点的磁感应强度为 $B = \frac{1}{2} \mu_0 n I_m (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$
 图及下文见附纸

【实验内容】（重点说明）

1. 测量载流圆线圈轴线上磁场的分布

(1) 按照载流圆线圈的要求, 把FB511型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪与测试架正确连接集成霍尔传感器探头固定在测试架移动平台上。调节FB511型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪的电流调节, 使励磁电流 $I = 200\text{mA}$, 在线圈磁场强度等于零的条件下, 把微特斯拉计调零, 进行校准。

(2) 测试架左边线圈为固定线圈, 固定在零刻度处。可松开固定右侧可移动线圈的滚花螺栓使其平行移动至合适的位置。

(3) 使励磁电流为 0.400A , 以线圈中心为原点, 按照微特斯拉计示数的变化程度选取测量点, 注意过程中保持电流不变。

(4) 记录数据并绘制曲线。

2. 测量亥姆霍兹线圈轴线上磁场的分布

(1) 参考1步骤, 移动右线圈使其二间距为 R 。

(2) 把线圈串联起来, 其它步骤同1。

(3) 记录数据并绘制曲线。

3. 按照上述实验要求, 把传感器探头移动到一只线圈中心, 轴线 D 的夹角为 0° , 径向移动探头选取测量点, 记录数据。

4. 改变线圈间距重复步骤2。

间距选择为 $d = \frac{R}{2}$ 与 $d = R$

记录数据并绘制曲线

【实验器材及注意事项】

实验中使用的是TH-S型螺线管磁场测试仪

FB511型霍尔法亥姆霍兹线圈磁场实验仪

注意事项:

① 实验前要校准, 否则之后的数据不信

② 在进行轴线磁场测量时要把传感器探头移动到线圈中心

③ 如果测量过程中改变了测试架方向, 需重复调零步骤。

④ 进行磁场测量时需将手机、计算机等有源器件远离仪器

⑤ 测量记录前最好用传感器探头沿轴向(径向)扫一遍以便知道数据的
变化范围与趋势

【误差分析】

误差

实验1的各项数据相对平均值计算为20.77%。然而方差很小，因此可以断定是系统误差为主。

原因：

- ① 有干扰磁场强度的物件放置在仪器旁，使所测得数据均有一定量的偏移。
- ② 仪器不精密，经过计算当线圈匝数为48400匝时，理论数据与实验数据吻合很好，因此合理猜测是各线圈匝数真正为500匝。

【实验心得及思考题】

实验心得：

即便是实验的讲义，与实际进行的实验操作也有可能存在对不上号的情况。我们不能一味地照搬实验讲义上的步骤说明和数据采集方式进行实验。有时器件型号可能就不符合。因此恰当的方法是首先进行一个预实验，通过预实验得到我们数据所落在的大致的位置区间，并了解本实验所用仪器的参考数和测量限度，然后我们根据这些所获取的信息再制订一套符合本实验器材环境、条件的实验方案，这样实验才能更有效、准确且直观地反映实验结果。

课后思考题：

1. 磁场具有叠加性，在地面附近就有比较明显的地磁场，因此要考虑这一因素的影响。
2. 在线圈中心处强度最大，远离中心时两侧磁场对称分布且随距离增大而减小。
3. 由两个相同的线圈同心平行放置并用导线串联组成，完全相同彼此共轴，串联是基本条件（串联保证电流方向相同）。分布特点为两线圈磁场的叠加，中间磁场强度大小恒定，改变间距后中间不再恒定会出现峰值或谷值。
4. 当其内部电流方向垂直与磁场方向时示数最大 5. 见上表误差分析