



合肥工业大学

Hefei University of Technology

一、实验导入

二、实验目的

三、实验原理与实验仪器

四、实验内容与步骤

五、数据记录及处理要求

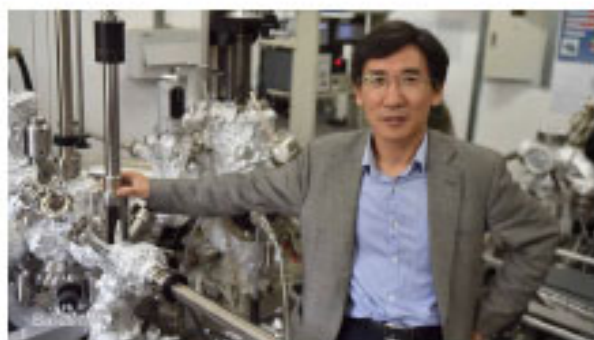
六、注意事项及误差分析





一、实验导入

- ◆量子霍尔效应 (Quantum Hall Effect) : 低温强磁场, 霍尔电阻与磁场不再呈现线性关系, 出现量子化平台。
- ◆量子反常霍尔效应 (Quantum anomalous Hall effect) : 2013年, 清华大学薛其坤院士领衔、清华大学物理系和中科院物理研究所团队, 实验观测到量子反常霍尔效应。2020年获得菲列兹·伦敦奖。



薛其坤院士

实验首次观测到量子反常霍尔效应



1982年美籍华裔物理学家崔琦
分数量子霍尔效应
1998年的诺贝尔物理学奖





二、实验目的

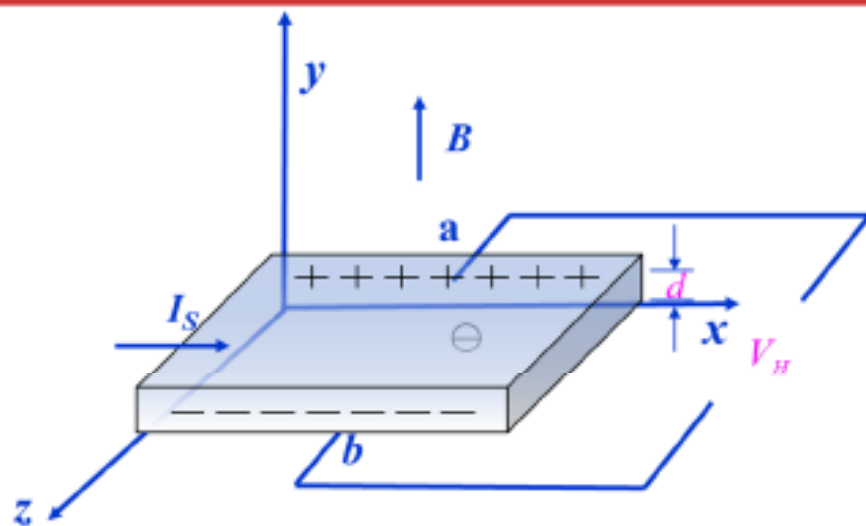
- 1.掌握用霍尔效应法测量磁场的原理
- 2.测量螺线管线圈中心轴线的磁感应强度的分布
- 3.研究霍尔电势差与磁感应强度、霍尔元件的工作电流关系
- 4.了解负效应产生及消除的方法
- 5.霍尔效应的应用





三、实验原理与实验仪器

霍尔效应



如图所示：电流流过垂直放置在磁场中的半导体薄片时，电荷的流向由于洛伦茨力的作用而发生改变，导致在薄片两个横向面之间产生与电流、磁场垂直的电势差，这一现象称为霍尔效应，电势差称为霍尔电压。

➤ N型、P型半导体横向电场方向不同，因此霍尔电势差有不同的符号，据此可以判断霍尔元件的导电类型

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \vec{F}_E = q\vec{E}_H$$

$$\vec{F}_m = \vec{F}_E$$

$$V_H = \frac{1}{nqd} I_s B = K_H I_s B \quad B = \frac{V_H}{I_s K_H}$$

霍尔系数：

$$R_H = \frac{1}{nq}$$

霍尔元件灵敏度：

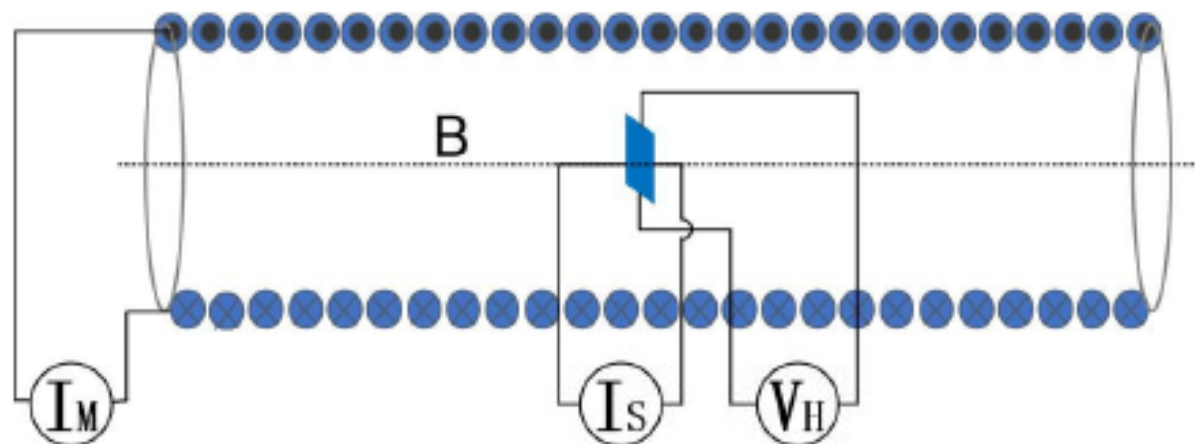
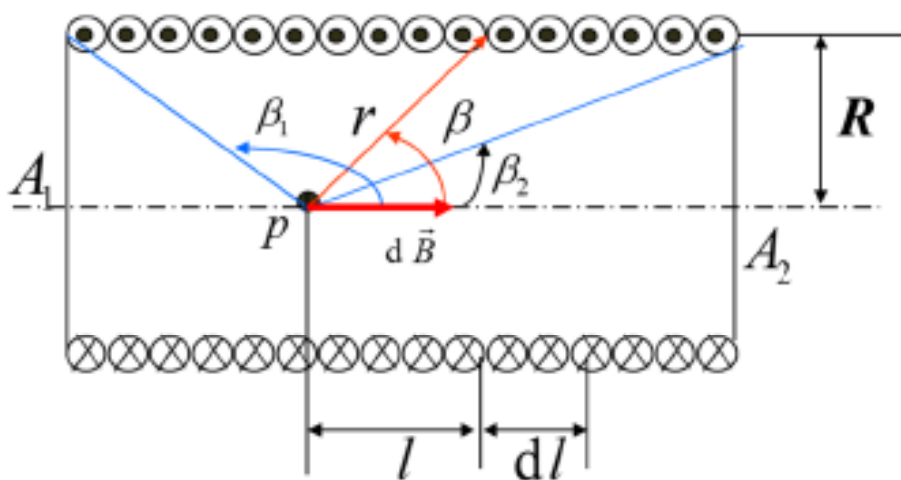
$$K_H = \frac{1}{nqd}$$





三、实验原理与实验仪器

螺线管线圈中心轴线磁感应强度



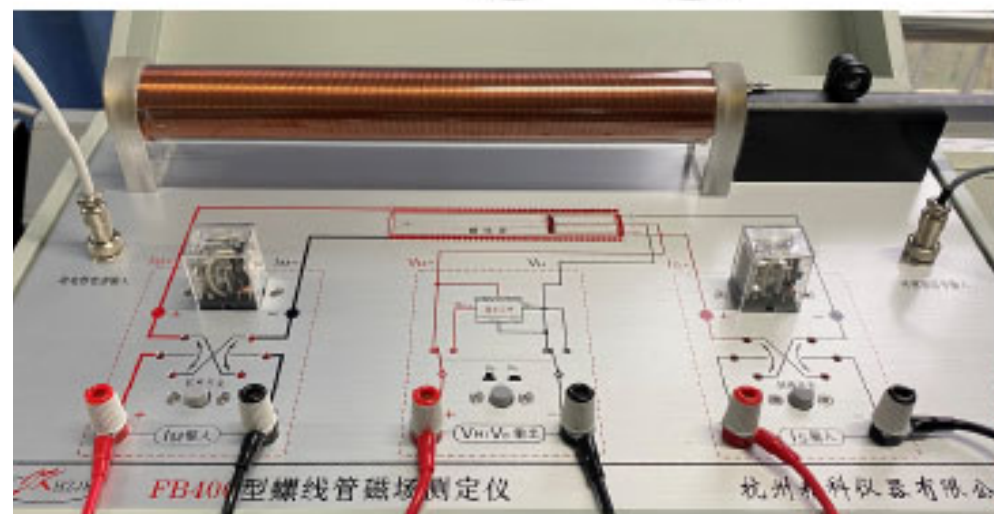
螺线管中心处的磁场强度: $B_{\text{中心}} = \frac{\mu_0 N_{\text{总}} I_M}{\sqrt{L^2 + D^2}}$

$N_{\text{总}}$: 螺旋管总匝数

L : 螺线管长度

μ_0 : 介质磁导率

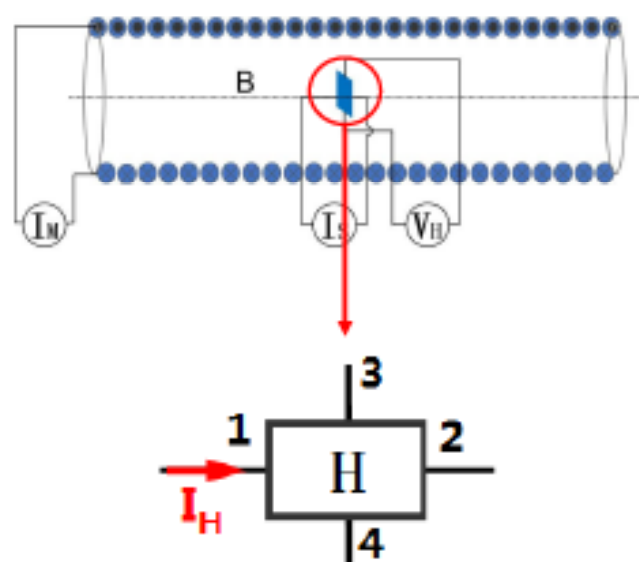
D : 螺线管的平均直径





三、实验原理与实验仪器

螺线管线圈中心轴线磁感应强度



霍尔效应
$$B = \frac{V_H}{I_S K_H}$$

霍尔电压的测定，并非理想 V_H ，有附加效应

1. 埃廷斯豪森效应—温差电动势 V_E
2. 能斯特效应 V_N
3. 里纪-勒杜克效应 V_R
4. 不等位效应 V_0

注意：不同附加效应与磁场、电流关系

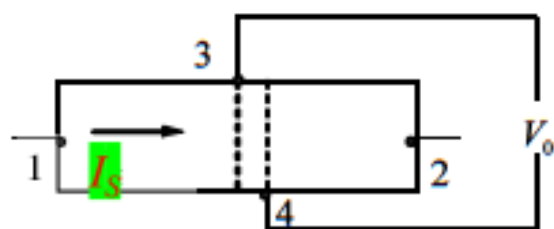




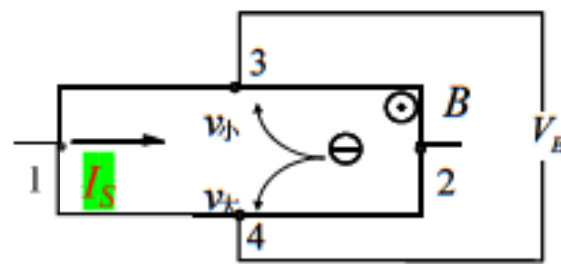
三、实验原理与实验仪器

附加效应

引线不在等势面上



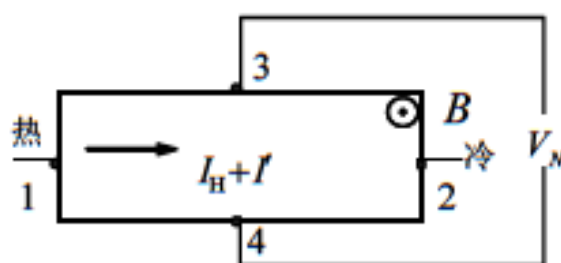
1、不等位电势差 I_S



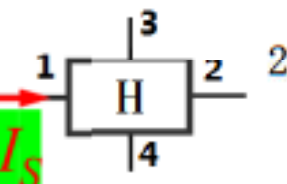
2、爱廷豪森效应 B, I_S

运动速率分布

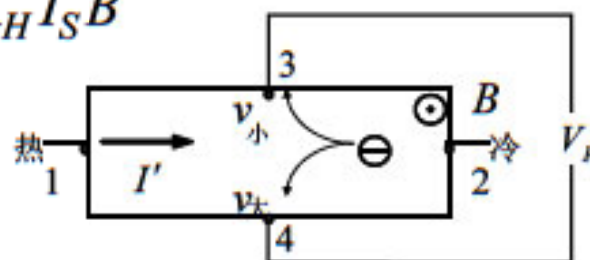
引线接触电阻热效应



3、能斯特效应 B



$$V_H = K_H I_S B$$



4、里纪-勒杜克效应 B

能斯特热电流的爱廷豪森效应





三、实验原理与实验仪器

附加效应

1. 埃廷豪森效应 V_E	$+I, +B$	$V_1 = V_H + V_0 + V_N + V_L + V_E$
2. 能斯脱效应 V_N	$+I, -B$	$V_2 = -V_H + V_0 - V_N - V_L - V_E$
3. 里纪-勒杜克效应 V_L	$-I, -B$	$V_3 = V_H - V_0 - V_N - V_L + V_E$
4. 不等位效应 V_0	$-I, +B$	$V_4 = -V_H - V_0 + V_N + V_L - V_E$

$$\frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4} = V_H + V_E \xrightarrow{V_E \ll V_H} V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$$

$$V_H = (|V_1| + |V_2| + |V_3| + |V_4|) / 4$$

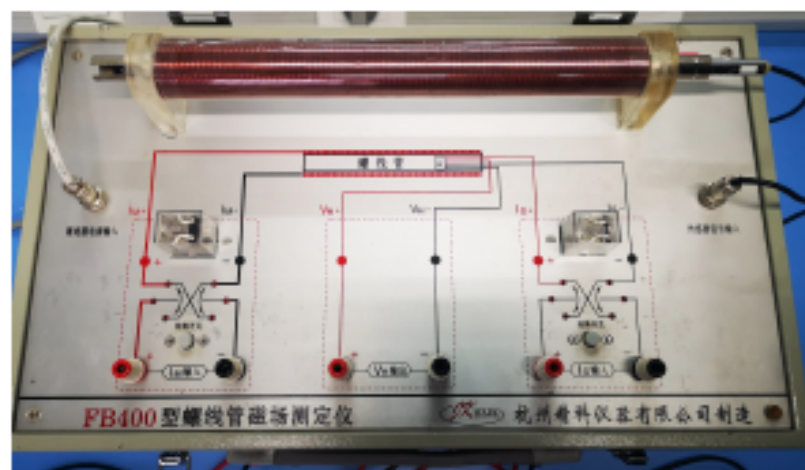
每次改变一个参数，测量值正负改变一次， V_E 和 V_N 始终方向相同，所以无法通过换向法消除





三、实验原理与实验仪器

螺线管实验装置、测试架



JK50电压测量、双路恒流电源



FB400型螺线管磁场测定仪

- 1) 砷化镓霍尔传感器, N型半导体材料
- 2) 双刀双向继电器换向开关
- 3) 螺线管 $L=280\text{mm}$, $D_{\text{内}}=14\text{mm}$, $D_{\text{外}}=34\text{mm}$, $N=2700$ 匝





四、实验内容与步骤

1、调零：断开电路调节 $I_M = 0$ ；调节 $I_S = 0$ ；调节 $V_H = 0$ ，

2、测量通电螺线管轴向磁场分布：

调节励磁电流 $I_M = 500\text{mA}$ ，调节霍尔片电流为 $I_S = 4\text{mA}$ 。根据表1中的要求确定 I_M 和 I_S 的方向。

根据表1中x的数据测量霍尔片在不同位置处的霍尔电压。记下仪器标注的霍尔灵敏度，把霍尔电压换算成磁感应强度，作磁场分布B---X 曲线。计算 $x=0$ 处磁场强度的理论值，并计算相对不确定度。

3、验证霍尔电势差 V_H 与螺线管内磁感应强度成正比：

$I_S = 4\text{mA}$ ，霍尔传感器位于螺线管“轴线中心”（螺线管拉杆上刻度尺为 $X=0$ 处），按表格2依次

改变励磁电流，改变 I_M 和 I_S 的方向测出各励磁电流对应的 V_H 填入表格2中。





五、实验数据与处理

1) 螺线管**轴线**上磁场分布: $I_M = 500\text{mA}$, $I_S = 4\text{mA}$, $B = V_H / (K_H I_S)$

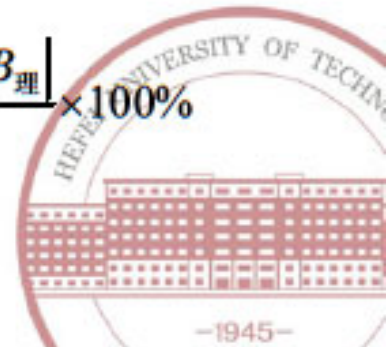
$$K_H = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mV} / (\text{mA} \cdot \text{T})$$

x/cm	V_1/mV	V_2/mV	V_3/mV	V_4/mV	V_H/mV	B/mT
	$+B, +I_S$	$-B, +I_S$	$-B, -I_S$	$+B, -I_S$		
0.0						
2.0						
4.0						
...						
12.0						
12.5						
13.0						
13.5						
14.0						

$$B_{\text{中心}} = \frac{\mu_0 N_{\text{总}} I_M}{\sqrt{L^2 + D^2}}$$

1. 描点作图B-x关系曲线
2. 求出螺线管中点即 $x=0.0\text{cm}$ 处的相对不确定度?

$$A = \frac{|B_{\text{测}} - B_{\text{理}}|}{B_{\text{理}}} \times 100\%$$





五、实验数据与处理

2) 验证霍尔电势差 V_H 与螺线管内磁感应强度成正比: $I_S = 4.00mA$, 霍尔传感器位于螺线管“轴线中心” (螺线管拉杆上刻度尺为 $X=0$)

I_M/mA	V_1/mV $+I_S+I_M$	V_2/mV $+I_S-I_M$	V_3/mV $-I_S+I_M$	V_4/mV $-I_S-I_M$	\bar{V}/mV
0					
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					

1. 作 V_H-I_M 关系曲线, 求出线性关系方程式





六、注意事项及误差分析

- ◆霍尔效应-磁场不太强
- ◆霍尔片电极不对称、结晶不均匀及热磁效应等多种因素引起的副效应，通过改变电流磁场方向来消除。
- ◆ V_E 和 V_H 始终方向相同换向法不能消除 V_E ，在非大电流、非强磁场下， $V_H \gg V_E$
- ◆ I_M 、 I_S 不能接错
- ◆课本P116 温馨提醒

