

测量锑化铟片的磁阻特性

一、实验简介

磁阻概念：材料的电阻会因外加磁场而增加或减少，电阻的变化量称为磁阻 (Magnetoresistance)。物质在磁场中电阻率发生变化的现象称为磁阻效应。磁阻效应是1857年由英国物理学家威廉·汤姆森发现的。它在金属中可以忽略，在半导体中则可能由小到中等。从一般磁阻开始，磁阻发展经历了巨磁阻 (GMR)、庞磁阻 (CMR)、穿隧磁阻 (TMR)、直冲磁阻 (BMR) 和异常磁阻 (EMR)。磁阻应用：目前，磁阻效应广泛用于磁传感、磁力计、电子罗盘、位置和角度传感器、车辆探测、GPS导航、仪器仪表、磁存储 (磁卡、硬盘) 等领域。磁阻器件的特点：灵敏度高、抗干扰能力强。在众多的磁阻器件中，锑化铟 (InSb) 传感器最为典型，它是一种价格低廉、灵敏度高的磁阻器件，在生产生活应用广泛。磁阻分类：若外加磁场与外加电场垂直，称为横向磁阻效应；若外加磁场与外加电场平行，称为纵向磁阻效应。一般情况下，纵向磁感强度不引起载流子偏移，因此一般不考虑纵向磁阻效应。

二、实验原理

如图1所示，当导体处于磁场中时 (电流方向与磁场方向垂直)，导体内的载流子将在洛伦兹力的作用发生偏转，在两端产生积聚电荷并产生霍尔电场。如果霍尔电场作用和某一速度的载流子受到的洛伦兹力作用刚好抵消，则小于此速度的电子将沿霍尔电场作用的方向偏转，而大于此速度的电子则沿相反方向偏转，因而沿外加电场方向运动的载流子数量将减少，即沿电场方向的电流密度减小，电阻增大，也就是由于磁场的存在，增加了电阻，此现象称为磁阻效应。

如果将图1中a、b短路，霍尔电场将不存在，所有电子将向b端偏转，使电阻变得更大，因而磁阻效应更明显。因此，霍尔效应比较明显的样品，磁阻效应就小；霍尔效应比较小的，磁阻效应就大。

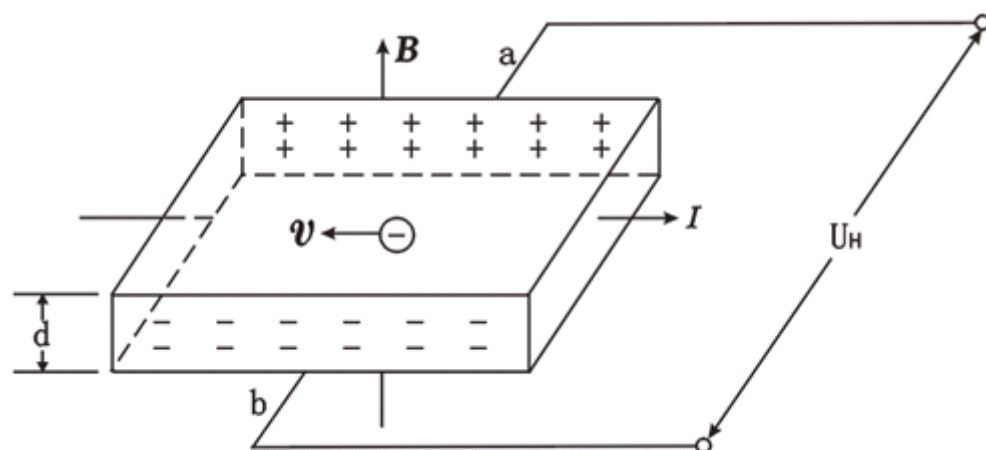


图1 磁阻效应

通常以电阻率的相对改变量来表示磁阻的大小，即用 $\Delta\rho/\rho(0)$ 表示。其中 $\rho(0)$ 为零磁场时的电阻率， $\rho(B)$ 为在磁场强度为 B 时的电阻率，则 $\Delta\rho = \rho(B) - \rho(0)$ 。由于磁阻传感器电阻的相对变化率 $\Delta R/R(0)$ 正比于 $\Delta\rho/\rho(0)$ ，这里 $\Delta R = R(B) - R(0)$ ， $R(0)$ 、 $R(B)$ 分别为磁场强度为0和 B 下磁阻传感器的电阻阻值。因此也可以用磁阻传感器电阻的相对改变量 $\Delta R/R(0)$ 来表示磁阻效应的大小。

许多金属、合金及金属化合物材料处于磁场中时，传导电子受到强烈磁散射作用，使材料的电阻显著增大，称这种现象为磁阻效应。通常以电阻率的相对改变量来表示磁阻，即

$$MR = \frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\rho_B - \rho_0}{\rho_0} \quad (1)$$

式中， ρ_B 和 ρ_0 分别为有磁场和无磁场时的电阻率。

在实际测量中，常用磁阻器件的磁电阻相对改变量 $\Delta R/R$ 来研究磁阻效应，由于 $\Delta R/R$ 正比于 $\Delta\rho/\rho$ ， $\Delta R = R(B) - R(0)$ ，则

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R(B) - R(0)}{R(0)} \quad (2)$$

其中， $R(B)$ 是磁场为 B 时的磁电阻， $R(0)$ 为零磁场时的磁电阻。

观察图2，不难发现：

外加磁场较弱时，电阻相对变化率正比于磁感应强度 B 的二次方

$$\frac{\Delta R}{R} = KB^2 \quad (3)$$

外加磁场较强时，与磁感应强度 B 呈线性函数关系，即：

$$\frac{\Delta R}{R} = aB + b \quad (4)$$

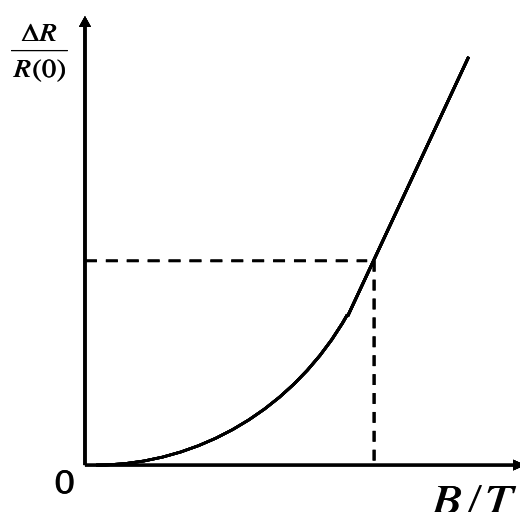


图2 磁阻效应曲线

三、实验内容

1. 根据实验原理，正确进行实验连线；
2. 线路连接好以后，检流计调零；

3. 调节铈化钢片的位置，将其置于电磁铁中的最强均匀磁场处；
4. 选择合适的电阻值并调节电桥平衡；
5. 测量铈化钢电阻与磁场强度之间的变化关系；
6. 记录数据，并处理实验结果。

外加磁场较弱时，电阻相对变化率正比于磁感应强度B的二次方：

$$\frac{\Delta R}{R} = KB^2 \quad (5)$$

求出磁场较弱时，对应的二次系数K。

外加磁场较强时，与磁感应强度B呈线性函数关系：

$$\frac{\Delta R}{R} = aB + b \quad (6)$$

求出磁场较强时，对应的一次系数a和b。

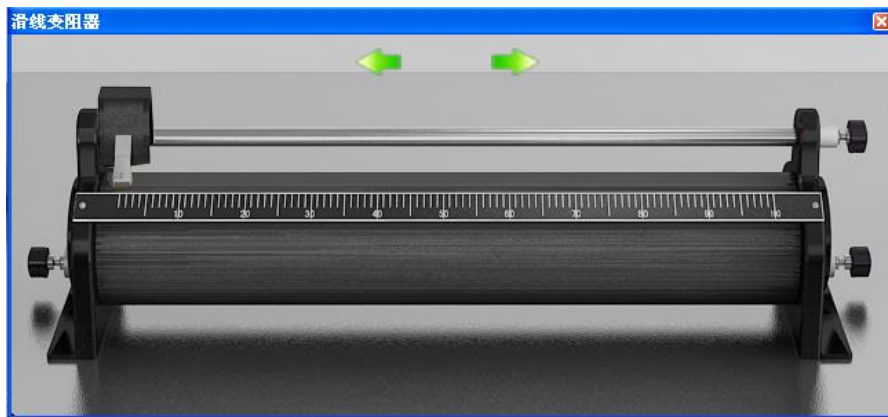
四、实验仪器

测量铈化钢片的磁阻特性实验装置包括：霍尔测试仪、检流计、电压源、滑线式电桥、霍尔实验仪、滑线变阻器、四线电阻箱、单刀开关等，实验场景如下图所示：



实验主场景

滑线变阻器：



滑动变阻器视图

滑动片：可以左右拖动滑动片，粗调滑线变阻器在线路中的电阻值。

微调按钮：点击或按下微调按钮，微调滑线变阻器在电路中的电阻值。

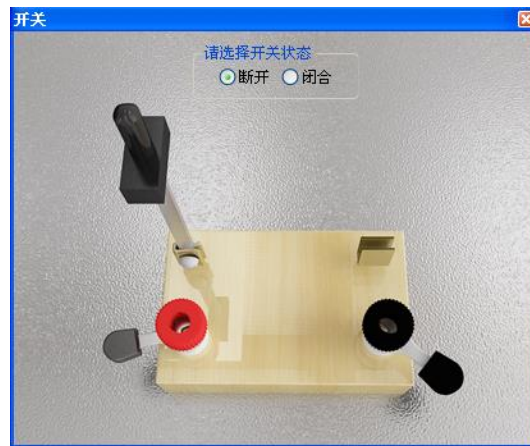
四线电阻箱：



电阻箱视图

为电路提供一定大小的电阻，同时有分压的功能，电阻箱上有六个不同档位的旋钮，依次对应 $0.1\ \Omega$ 档、 $1\ \Omega$ 档、 $10\ \Omega$ 档、 $100\ \Omega$ 档、 $1000\ \Omega$ 档、 $10000\ \Omega$ 档。每个旋钮有0—9，共10个刻度值。左击电阻箱上的旋钮，旋钮顺时针旋转；右击，旋钮逆时针旋转。

单刀开关：



单刀开关视图

单刀开关，控制电路的闭合。界面中有两个开关状态按钮，一个是闭合，一个是断开。点击闭合，开关闭合，显示闭合图片；点击断开，开关断开，显示断开图片。

电压源：

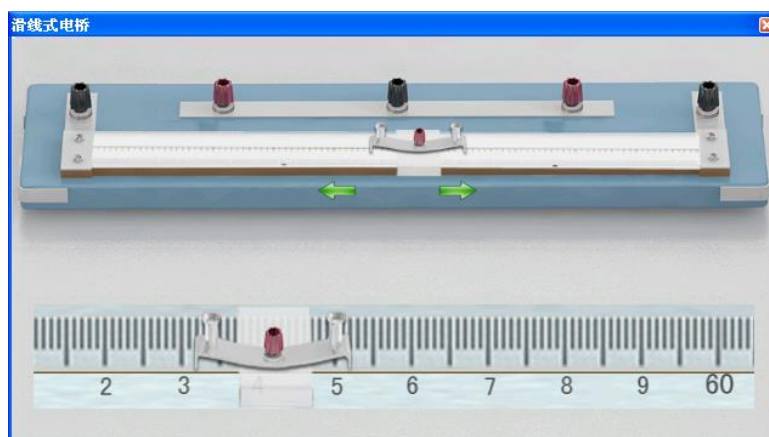


电压源视图

开关按钮：控制电压源的开关

旋转按钮：调节电压大小，左击电压减小，右击电压增大。

滑线式电桥：



滑线式电桥视图

滑动片：可以左右拖动滑动片，粗调滑动片在线路中的位置，使检流计达到平衡。

微调按钮：点击或按下微调按钮，微调滑动片在线路中的位置，使检流计达到平衡。

检流计：



检流计视图

本实验中，检流计用来检测电桥是否达到平衡。

挡位旋钮：档位旋钮主要起保护作用。检流计使用前必须把锁扣拨向白点，让线圈能自由摆动，实验完毕要把锁扣拨向红点，使线圈锁定不动。

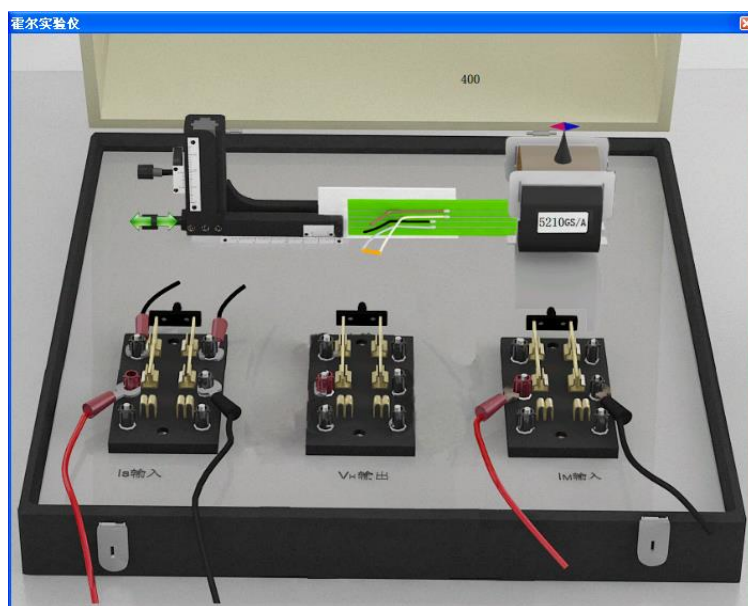
调零旋钮：使用前，若指针的停点不指零，可以旋动零位调节旋钮调零(左击顺时针，右击逆时针)

短路按钮：当检流计的表针摆动到停点时按下短路开关，能使表针很快地停止摆动。

电计按钮：左击进行试触操作，右击则电计按钮被按下。

霍尔实验仪：

通过鼠标可调节铈化铟片的位置，将其置于电磁铁中的最强均匀磁场处(左击向左移动，右击向右移动)



霍尔实验仪视图

霍尔测试仪：

霍尔测试仪用于产生励磁电流。红色按钮为测量选择按钮，弹起显示控制电流，按下显示励磁电流。



霍尔测试仪视图

五、实验指导

实验重点：

在实验开始时，应调节铈化钢片至均匀磁场处。同时测量按钮要按下，确保输出为励磁电流。

实验难点：

1. 惠斯通电桥的原理及使用。
2. 数据处理。

辅助功能介绍：

界面的右上角的功能显示框：当在普通做实验状态下，显示实验实际用时、记录数据按钮、结束实验按钮、注意事项按钮；在考试状态下，显示考试所剩时间。

间的倒计时、记录数据按钮、结束考试按钮、显示试卷按钮(考试状态下显示)、注意事项按钮。

右上角工具箱:各种使用工具,如计算器等。

右上角帮助和关闭按钮: 帮助可以打开帮助文件,关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏:存放实验所需的仪器,可以点击其中的仪器拖放至桌面,鼠标触及到仪器,实验仪器栏会显示仪器的相关信息;仪器使用完后,则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

提示信息栏:显示实验过程中的仪器信息,实验内容信息,仪器功能按钮信息等相关信息,按F1键可以获得更多帮助信息。

实验状态辅助栏:显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出),当前实验内容显示为红色,其他实验内容为蓝色;可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后,实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

实验操作方法:

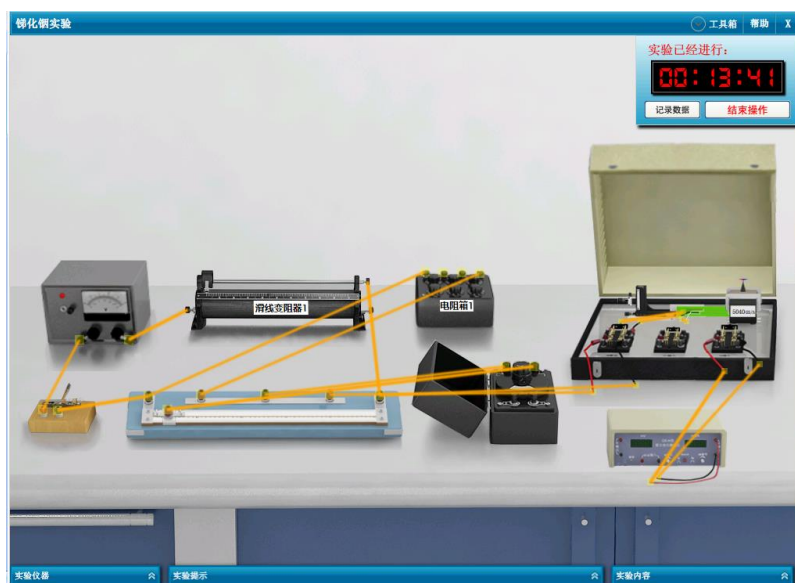
(1)主窗口介绍

成功进入实验场景窗体,实验场景的主窗体如下图所示:



(2)实验连线

当鼠标移动到实验仪器接线柱的上方,拖动鼠标,便会产生“导线”,当鼠标移动到另一个接线柱的时候,松开鼠标,两个接线柱之间便产生一条导线,连线成功;如果松开鼠标的时候,鼠标不是在某个接线柱上,画出的导线将会被自动销毁,此次连线失败。根据实验电路图正确连线,连线操作完成,如下图所示:



(3) 实验仪器初始化

1) 检流计调零

线路连接完毕后，断开电源开关，打开检流计调节界面，按下检流计的电计按钮，旋转检流计的档位旋钮至直接当(白点所在位置)，旋转调零旋钮，并观察检流计的指针，当检流计的指针指向零点，调零成功。如下图所示：



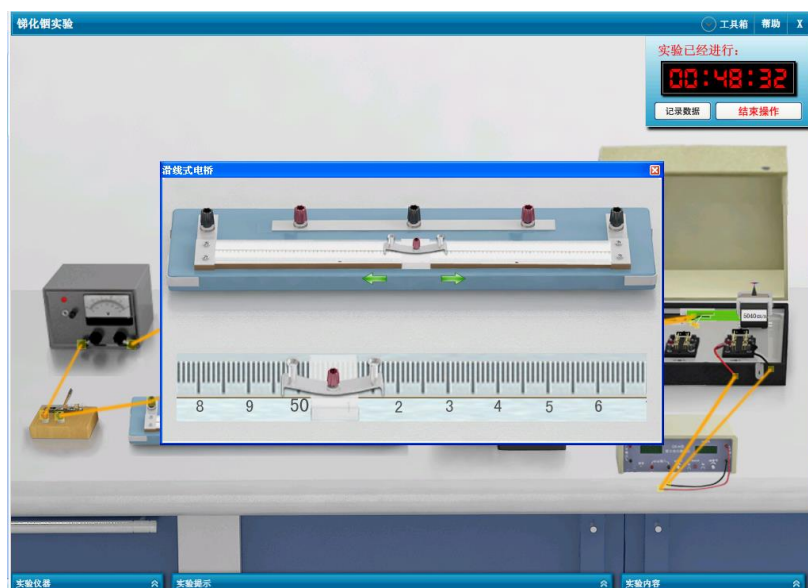
2) 滑动变阻器

双击打开滑动变阻器界面，调节至适当位置。如下图所示：



3) 滑线式电桥

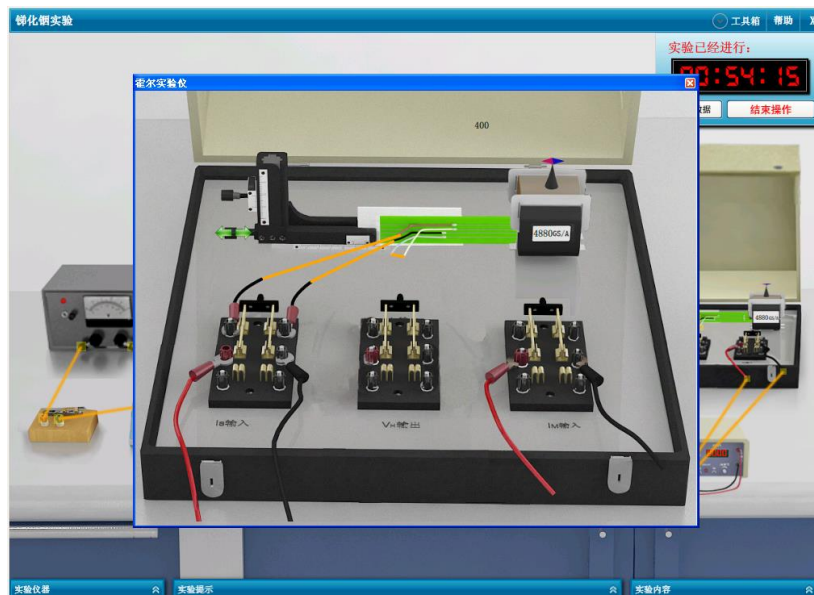
双击打开滑线式电桥界面，调节至适当位置。如下图所示：



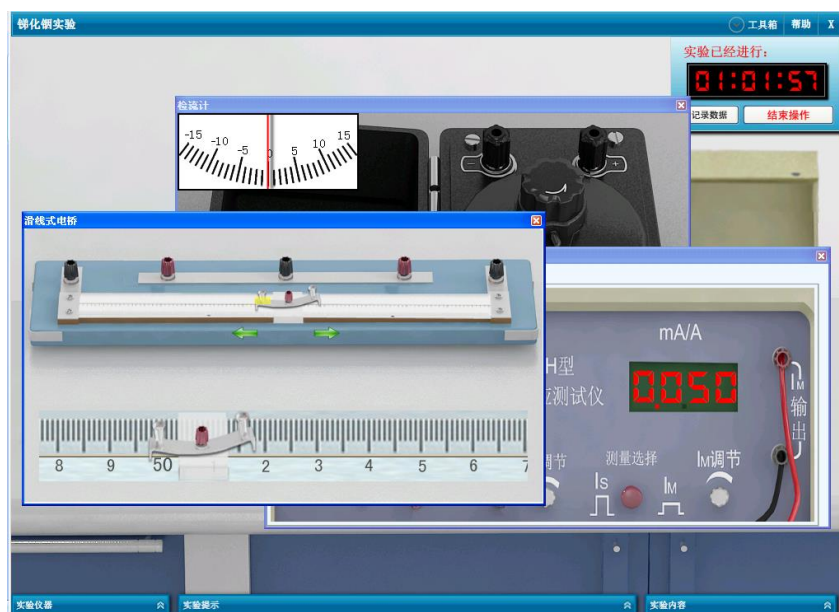
(4) 双击打开电阻箱，调解电阻箱，选取合适的电阻值。如下图所示：



(5) 双击打开霍尔实验仪，调节镧化钢片至均匀磁场处，如下图所示：



(6) 调节励磁电流大小，电流每改变0.05A，调节滑线式电桥使电桥平衡，并记录 L_1 的大小，填入实验表格。如下图所示：



(7) 依据惠更斯电桥的对应比例关系，计算出铽化铟电阻值及电阻变化率的值，并填入实验表格。如下图所示：

实验数据表格

从小到大幅度调节磁铁线圈的励磁电流大小，电流每改变0.05A，调节滑线式电桥使电桥平衡，并记录一次金属丝长度 L_1 （平衡时，划线式电桥零刻度到金属划片的长度），共需记录16组数据。
电磁铁的励磁系数 G (Gs/A)

改变励磁电流的大小值，每次变化0.05

I_m/A	磁场强度 $B(T)$	金属丝长度 $L_1(cm)$	铽化铟电阻值 $R(\Omega)$	电阻变化率 $\Delta R/R(\%)$
0.00				
0.05				
0.10				
0.15				
0.20				
0.25				
0.30				
0.35				
0.40				
0.45				
0.50				
0.55				
0.60				
0.65				
0.70				
0.75				

(8) 根据实验数据，计算磁场较弱时的二次系数 K ；和磁场较强时，对应的一次系数 a 和 b 。如下图所示：

实验数据表格

0.05				
0.10				
0.15				
0.20				
0.25				
0.30				
0.35				
0.40				
0.45				
0.50				
0.55				
0.60				
0.65				
0.70				
0.75				

已知：在外加磁场较弱时，锑化铟片的电阻相对变化率 $(\Delta R/R(0))$ 正比于磁感应强度 B 的二次方 $\Delta R/R(0) = KB^2$ ；随磁场的加强，电阻相对变化率 $(\Delta R/R(0))$ 与磁感应强度 B 呈线性函数关系 $\Delta R/R(0) = aB + b$ ；采用最小二乘法线性拟合。

1. 求出磁场较弱时，对应的二次系数 $K =$ _____

2. 求出磁场较强时，对应的一次系数 $a =$ _____

；对应的一次系数 $b =$ _____

关闭

六、思考题

1. 磁阻效应是怎样产生的？磁阻效应和霍尔效应有何内部联系？
2. 实验时为何要保持霍尔工作电流和流过磁阻元件的电流不变？
3. 不同的磁场强度时，磁阻传感器的电阻值与磁感应强度关系有何变化？
4. 磁阻传感器的电阻值与磁场的极性和方向有何关系？

七、参考资料

1. 谢行恕, 康世秀, 霍剑青主编. 《大学物理实验》第二册 第二版. 高等教育出版社.