



§ e. 6 毕奥-萨伐尔定律验证实验

【实验背景】

磁现象广泛地存在于自然界中。地球, 恒星(如太阳), 星系(如银河系), 行星、卫星, 以及星际空间和星系际空间, 都存在着磁场。在现代科学技术和人类生活中, 处处可遇到磁场, 发电机、电动机、变压器、电报、电话、收音机以至加速器、热核聚变装置、电磁测量仪表等无不与磁现象有关。甚至在人体内, 伴随着生命活动, 一些组织和器官内也会产生微弱的磁场。中国古代就利用磁场发明了指南针。磁悬浮列车是磁场应用的一个非常重要的应用。磁场在生物学中的应用也非常广泛, 如磁场可以治疗一些疾病, 磁场促进某些动植物的生长等。许多动物如蜜蜂、鸽子、鲸鱼等一直依赖先天性的本能在地磁场的指引下辨别方向, 进行秋移春返。

了解给定稳恒电流所激发的稳恒磁场的空间分布, 对于认识磁现象, 加深对“场”概念的理解具有积极的作用。磁场测量常以磁场强度的大小作为度量标准, 针对不同场合下磁场强度的不同, 需要采用不同的测量方法。

本实验介绍 UE-BS- II 型毕-萨实验仪的使用方法, 并测量载流导体的磁感应强度, 验证毕奥-萨伐尔定律。

【实验目的】

1. 测定直导体和圆形导体环路激发的磁感应强度与导体电流的关系。
2. 测定直导体激发的磁感应强度与距导体轴线距离的关系。
3. 测定圆形导体环路激发的磁感应强度与环路半径以及距环路距离的关系。

【实验原理】

根据毕奥-萨伐尔定律, 导体所载电流强度为 I 时, 在空间 P 点处, 由导体线元产生的磁感应强度 B 为:



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot d\vec{l} \times \frac{\vec{r}}{r} \quad (\text{e.6.1})$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Wb}}{\text{Am}} : \text{真空磁导率。}$$

其中：线元长度、方向由矢量 $d\vec{l}$ 表示；从线元到空间 P 点的方向矢量由 $\vec{r}$ 表示（见图 e.6.1）。

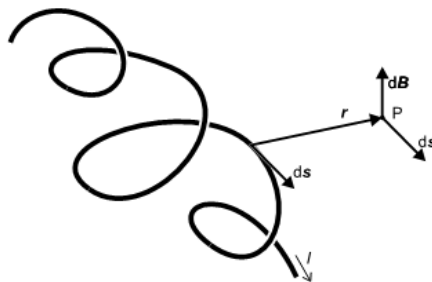


图 e.6.1 导体线元在空间 P 点所激发的磁感应强度

计算总磁感应强度意味着积分运算。只有当导体具有确定的几何形状，才能得到相应的解析解。例如：一根无限长导体，在距轴线 r 的空间产生的磁场为：

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{2}{r} \quad (\text{e.6.2})$$

其磁力线为同轴圆柱状分布（见图 e.6.2）。

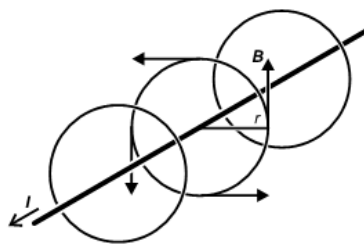


图 e.6.2 无限长导体激发的磁场

半径为 R 的圆形导体回路在沿圆环轴线距圆心 x 处产生的磁场为：

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot 2\pi \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{e.6.2})$$

其磁力线平行与轴线（见图 e.6.3）

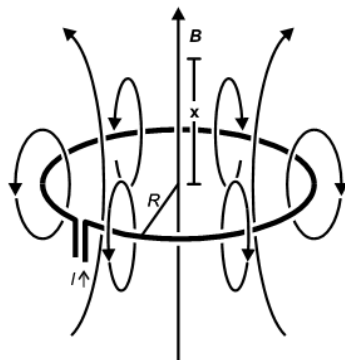


图 e.6.3 圆形导体回路激发的磁场

本实验中，上述导体产生的磁场将分别利用轴向以及切向磁感应强度探测器来测量。磁感应强度探测器件非常薄，对于垂直其表面的磁场分量响应非常灵敏。因此，不仅可以测量磁场的大小，也可以测量其方向。对于直导体，实验测定了磁感应强度 B 与距离 r 之间的关系；对于圆形环导体，测定了磁感应强度 B 与轴向坐标 x 之间的关系。另外实验还验证了磁感应强度 B 与电流强度 I 之间的关系。

【实验仪器】

实验装置见图 e.6.4，毕-萨实验仪由实验仪主机，探头（黑点朝上），电流源，待测圆环（其半径分别为 20mm、40mm、60mm），待测直导线，槽式导轨及支架。

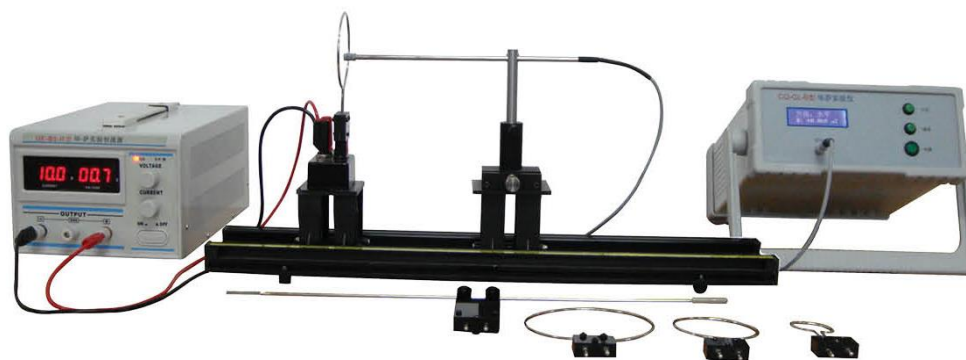


图 e.6.4 毕-萨实验仪

一、实验仪性能指标：



环境温度：5-33℃；相对湿度：20%-80%；工作电压：220V,50HZ；黑色铝合金槽式导轨，导轨长度 60cm；导体支架带双侧读数指针，插线连接，配安全插头；传感器支架三维可调；进口高精度弱磁场双向一体传感器；磁场测量范围：0-5.000mT，液晶显示；磁场测量精度：1μT；响应时间：250ms；电流输出范围：0-10A（稳流）；显示方式：LED 显示，连续可调；电流稳定度：≤0.1%+3mA，负载稳定度≤0.2%+3mA；纹波噪声：≤2mArms；待测圆环：R=20mm，40mm，60mm；直导线 L=40cm。

二、使用方法

恒流源调节：在没有负载的情况下将电压表示数调到 2V 以下。关闭电源接上负载，保持电压不变，正常调节电流。

毕-萨实验仪调节：打开电源，显示屏显示水平方向的磁场大小，见图 e.6.5。按“方向”键可以让显示屏切换显示竖直/水平方向的磁场大小。



图 e. 6. 5 毕-萨实验仪面板

探测器调节：传感器被封装在探测杆内部，其位置在黑点处。测量时黑点向上。探点距长直导体的距离见图 e.6.6，图中 $r_0=1.5\text{mm}$ ， $s_0=3.7\text{mm}$ ， $r=s+r_0+s_0=s+5.2\text{mm}$ ，s 可利用支架底座在导轨上的刻度变化读出。

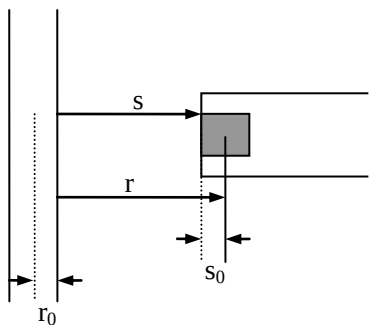


图 e.6.6 长直导体与传感器探点

【实验内容】

一、直导体激发的磁场

1. 将直导线插入支座上。
2. 直导体接至恒流源。
3. 将磁感应强度探测器与毕-萨实验仪连接，方向切换为垂直方向，并调零。
4. 将磁感应强度探测器与直导体中心对准。
5. 向探测器方向移动直导体，尽可能使其接近探测器（距离 $s = 0$ ）。
6. 从 0 开始，逐渐增加电流强度 I ，每次增加 1A，直至 8A。逐次记录测量到的磁感应强度 B 的值在数据表 e.6.1 中。
7. 令 $I = 8\text{ A}$ ，逐步向右移动磁感应强度探测器，测量磁感应强度 B 与距离 r 的关系，并记录相应数值在数据表 e.6.2 中。

表 e.6.1 长直导体激发的磁场 B 与电流 I 的关系 ($s=0\text{mm}$)

I/A	0	1	2	3	4	5	6	7	8
B/mT									



表 e.6.2 长直导体激发的磁场 B 与距离 r 的 ($I=8A$)

r/mm	B/mT
5.2	
6.2	
7.2	
8.2	
10.2	
14.2	
17.2	
21.2	
26.2	
37.2	
55.2	

二、圆形导体环路激发的磁场

1. 将直导体换为 $R=40mm$ 的圆环导体。
2. 圆环导体接至恒流源。
3. 将磁感应强度探测器与毕-萨实验仪连接，方向切换为水平方向，并调零。
4. 调节磁感应强度探测器的位置至导体环中心。
5. 从 0 开始，逐渐增加电流强度 I ，每次增加 1A，直至 8A。逐次记录测量到的磁感应强度 B 的值在数据表 e.6.3 中。

表 e.6.3 $R=40mm$ 圆形导体回路激发的磁感应强度 B 与电流 I 的关系($x=0$)

I/A	0	1	2	3	4	5	6	7	8
B/mT									

6. 令 $I = 8A$ ，逐步向右及向左移动磁感应强度探测器，测量磁感应强度 B 与坐标 x 的关系，记录相应数值在数据表 e.6.4 中。



7. 将 40mm 导体环替换为 60mm 及 20mm 导体环，分别测量测量磁感应强度 B 与坐标 x 的关系，数据在数据表 e.6.4 中。

表 e. 6. 4 圆形导体回路激发的磁感应强度 B 与坐标 x 的关系

x/cm	$B/\text{mT}(R=20\text{mm})$	$B/\text{mT}(R=40\text{mm})$	$B/\text{mT}(R=60\text{mm})$
-10			
-7.5			
-5.0			
-4.0			
-3.0			
-2.5			
-2.0			
-1.5			
-1.0			
-0.5			
0.0			
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.0			
4.0			
5.0			
7.5			
10.0			



三、数据处理

1. 将测得的直导体、圆环导体各点的磁感应强度与理论公式计算结果相比较，看是否一致。
2. 用直角坐标纸作直导体 $B-I$ 、 $B-r$ 、 $1/B-r$ 曲线。
3. 用直角坐标纸作 $R=40\text{mm}$ 圆环导体 $B-I$ 曲线；用直角坐标纸在同一坐标系作不同半径圆环导体的 $B-x$ 曲线。

【注意事项】

1. 仪器测量前需预热 5 分钟；
2. 测量时要使探测器尽量远离电源，避免电源辐射的磁场梯度对测量的影响；
3. 确认导线正确连接，电流值逆时针调到最小后再开关电源；
4. 不要用力拽磁场探测器的导线；
5. 禁止带电插拔待测导体！

【思考题】

1. 在测量圆环导体磁场时，如何确定探测器的位置放到了圆环导体的中心？
2. 直导体 $1/B-r$ 曲线的实际测量结果否为一条直线？为什么？