

磁力摆

本实验要求测量磁针的磁矩，研究两个相同磁针的耦合运动。

实验原理：

悬挂在磁场中磁针的运动方程是：

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{MB}{J}\theta$$

由此得到其摆动周期与磁场的关系：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{MB}}$$

式中 M 是磁针的磁矩， J 是磁针的转动惯量。 B 是磁针处的磁感应强度，它由局域磁场水平分量和线圈磁场 B 叠加而成。当线圈轴线与地磁场水平方向平行时，位于轴线上的磁场水平分量 $B=B_0+B_1$ 。

转动惯量是刚体绕轴转动时惯性的度量，转动惯量 I 定义为：

$$J = \sum m_i r_i^2$$

其中 m_i 是质元质量， r_i 是质元到转轴的距离。

线圈由两个通电线圈组成，两个线圈彼此同轴平行，其圆心连线中点即 O 点附近的磁场大小 B 与线圈通电电流 I 的关系满足：

$$B = k I$$

本实验中， k 的值可通过测量确定。

实验器材：

直流稳压电源、磁场线圈、2 个相同的磁针、秒表、支架、螺帽 2 个 ($m = 0.62$ g)、塑料尺 (20 cm)、高度可调支柱、板尺 (50 cm)、导线若干。

实验内容：

一、测量磁针处局域磁场水平分量的大小

1. 测量磁场大小与线圈电流的关系。
2. 如何判断线圈附加磁场与局域磁场是反向还是同向。
3. 选取适当的测量范围，测量不同电流下磁针的振动周期。通过作图给出局域磁场水平分量的值。

以线圈电流 I 为横坐标， $1/T^2$ 为纵坐标作图，外推计算 $1/T^2$ 为零时的电流，此时的线圈磁场完全抵消轴线方向的外部磁场，由此可以计算局域磁场水平分量的大小。

注意事项：

1. 可通过交换电源连线正负端，改变线圈供电电流的方向。
2. 实验测量过程中不要搬动磁场线圈，以免影响磁场测量结果。
3. 注意保护特斯拉计探针，使用特斯拉计时应清零，探针应处于线圈中心，且应调节与地磁场垂直，此时特斯拉计示数最大。

二、测量磁针的磁矩以及转动惯量

1. 设计实验方案，用以测量磁针的转动惯量以及磁铁的磁矩。方案需包含必要的公式，配重螺帽可视为质点。
2. 测量磁针的转动惯量以及它的磁矩。

三、地磁场中耦合磁针运动的观察

在地磁场中放置两枚相同的磁针，并使它们沿着地磁场方向处于一条直线上。当相邻磁针的磁场不可忽略时，它们构成一个耦合振动系统。由于耦合的存在，磁针的运动形式将更加丰富。

将两个磁针沿着局域磁场的方向共线放置，使它们同相位运动，则磁针共同运动的圆频率为： ω 。将两个磁针沿着局部地磁场的方向共线放置，使它们反相位运动，则磁针共同运动的圆频率为： ω^* 。这两个频率都与单独一个磁针的圆频率 ω_0 不同。

1. 请比较 ω 、 ω^* 、 ω_0 三者的大小。

当两个磁针由静止释放，其中一个磁针的初始角位移为零，另一个磁针则有一个非零的初始角位移。此时会发生两种简振模式的叠加，两个磁针的振幅交替增减，能量互补，形成“拍”运动。此时的拍频由两个简正模式的频率只差决定，即拍频 $f=|\omega-\omega^*|/2\pi$ 。

2. 改变两个磁针之间的距离 L ，观察拍频随 L 的增加如何变化？（变大、变小、不变）

四、地磁场中耦合磁针运动的测量

1. 改变两个磁针之间的距离 L ，测量 ω 、 ω^* 随 L 的变化情况。
2. 确定系数 α 和 β 的值。

已知两个磁针之间的耦合系数 $k' = \alpha \frac{M^2}{L^\beta} = \frac{1}{2}|\omega^2 - \omega^{*2}|$ ，其中 α 和 β 是常数，

M 是磁矩。由以上实验数据确定系数 α 和 β 的值。