

# 实验报告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 6 月 5 日

## 磁力摆实验报告

### 1 实验目的

- 1、通过对小磁针在地磁场中的运动特征研究，测量局域地磁场水平分量；
- 2、设计实验方案测量小磁针的磁矩和转动惯量；
- 3、研究两个相同磁针的耦合运动规律。

### 2 实验原理

#### 2.1 小磁针在外磁场中的运动

将一枚小磁针用一根柔软的细线悬挂起来，置于匀强磁场中，当小磁针偏离平衡位置的角位移  $\theta$  很小时，它受到磁场的磁力矩作用，忽略阻尼因数的影响，小磁针将在其平衡位置附近作简谐振动，构成如图 1 所示的磁力摆。利用磁场中小磁针的运动特性可以确定小磁针的磁矩及局域地磁场的水平分量。

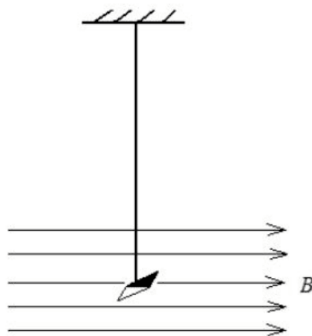


图 1: 磁力摆

当磁力摆偏离平衡位置的角位移  $\theta$  小于  $5^\circ$  时，磁力摆的运动方程为

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{\mu B}{J}\theta.$$

式中  $\mu$  是磁力摆的磁矩， $J$  是磁力摆的转动惯量， $B$  是磁力摆所处位置的磁感应强度。由上式可得磁力摆一级近似的振动周期为

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{\mu B}}.$$

#### 2.2 局域地磁场

地球是一个大磁体，地球本身及其周围空间存在着磁场，即地磁场，其主要部分是一个偶极场，地心磁偶极子轴线与地球表面的两个交点称为地磁极。

# 实验报告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 6 月 5 日

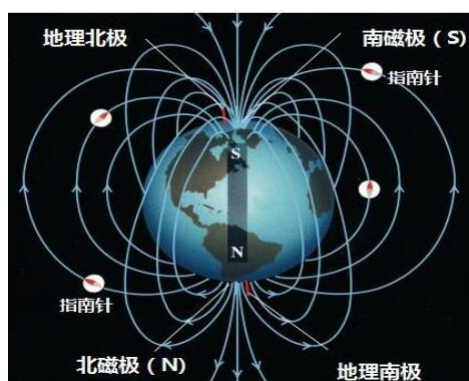


图 2: 地球磁偶极子场

## 2.3 亥姆霍兹线圈磁场

亥姆霍兹线圈是一对彼此平行且连通的共轴圆形线圈组，每组  $N$  匝，两组线圈内的电流方向一致，大小均为  $I$ ，线圈之间的距离  $a$  正好等于圆形线圈的平均半径  $R$  时，两线圈轴线中点附近近似于均匀磁场，如图 3 所示。两线圈轴线中点处的磁感应强度为

$$B_I = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 I}{R} = kI.$$

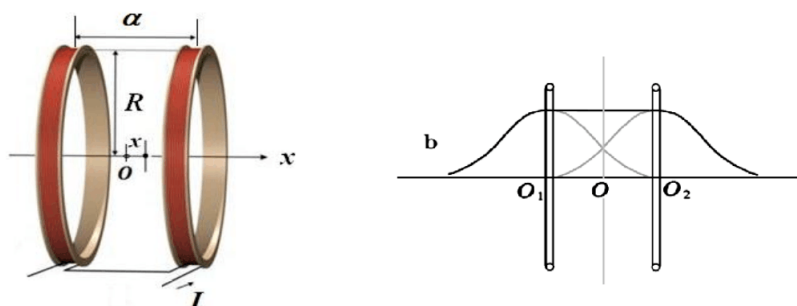


图 3: 亥姆霍兹线圈

## 3 实验器材

高灵敏度特斯拉计、亥姆霍兹线圈、磁力摆、直流电源、配重螺帽、米尺、停表。

## 4 测量记录

### 4.1 测量磁场大小与线圈电流的关系

表 1: 测量磁场大小与线圈电流的关系原始数据

|         |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 线圈电流/A  | 0.1000 | 0.2000 | 0.3000 | 0.4000 | 0.5000 | 0.6000 | 0.7000 | 0.8000 |
| 磁场大小/mT | 0.4807 | 0.9657 | 1.4469 | 1.9392 | 2.3845 | 2.9085 | 3.3936 | 3.8770 |

# 实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 6 月 5 日

## 4.2 测量磁针处局域磁场水平分量的大小

表 2: 测量磁针处局域磁场水平分量的大小原始数据

|            |          |           |           |           |           |           |           |           |
|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 线圈电流 $I/A$ | 0.0100   | 0.0150    | 0.0200    | 0.0250    | 0.0300    | 0.0350    | 0.0400    | 0.0450    |
| 振动周期 $T/s$ | 41.50/60 | 60.44/100 | 53.97/100 | 49.26/100 | 45.81/100 | 42.76/100 | 41.22/100 | 43.23/110 |

注: 振动周期  $x/ys$  表示测量了  $y$  个全周期共用  $xs$ , 下同。

## 4.3 测量磁针的磁矩以及转动惯量

表 3: 测量磁针 3 的磁矩以及转动惯量原始数据

|                  |          |
|------------------|----------|
| 磁针长度 $L/cm$      | 5.25     |
| 螺母质量 $m/g$       | 0.62     |
| 有螺母时振动周期 $T_1/s$ | 55.57/35 |
| 无螺母时振动周期 $T_2/s$ | 41.50/35 |

## 4.4 地磁场中耦合磁针运动的测量

表 4: 地磁场中耦合磁针运动的测量原始数据

|              |          |          |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 两磁针距离 $L/cm$ | 16.50    | 17.50    | 20.20    | 22.20    | 23.00    | 26.00    |
| 同相位振动周期/s    | 45.12/80 | 45.90/70 | 51.78/70 | 57.37/70 | 58.10/70 | 46.43/50 |
| 反相位振动周期/s    | 41.79/50 | 60.64/70 | 68.14/70 | 70.85/70 | 72.40/70 | 54.90/50 |

# 实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 6 月 5 日

## 5 分析与讨论

### 5.1 数据处理

#### 5.1.1 测量磁场大小与线圈电流的关系

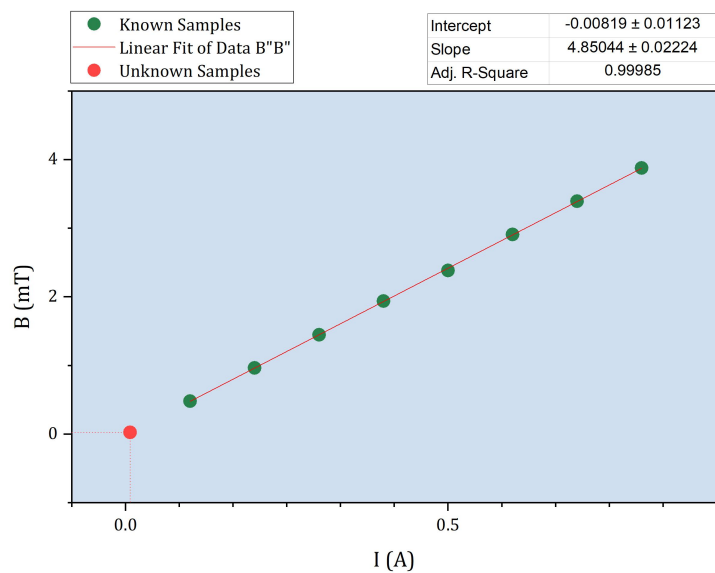


图 4: 磁场大小与线圈电流的关系

可以看出，磁场大小与线圈电流成简单的正比关系。

#### 5.2 测量磁针处局域磁场水平分量的大小

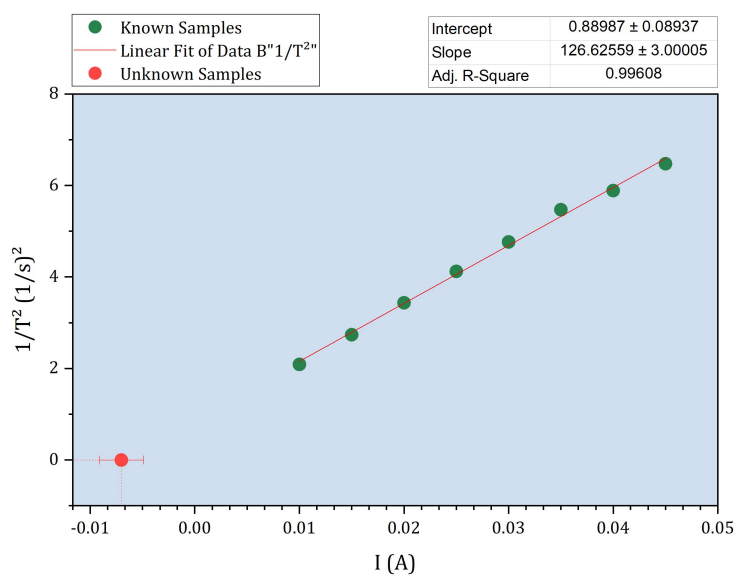


图 5: 磁针处局域磁场水平分量的大小

# 实验报告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 6 月 5 日

当  $\frac{1}{T_2} = 0$  时, 由图线读出此时的电流大小为 0.00703A。(图 5 红点)

代入 5.1.1 中的磁场大小与线圈电流的关系得到局域磁场水平分量的大小为 0.0000259T。(图 4 红点)

## 5.2.1 测量磁针的磁矩以及转动惯量

将式

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{J + 2m(\frac{L}{2})^2}{\mu B}}$$
$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{J}{\mu B}}.$$

联立代入数据求得

$$J = \frac{2m(\frac{L}{2})^2}{(\frac{T_1}{T_2})^2 - 1} = \frac{2 \times 0.00062(\frac{0.0525}{2})^2}{(\frac{55.57}{41.50})^2 - 1} kg \cdot m^2 = 1.1 \times 10^{-6} kg \cdot m^2,$$

$$\mu = \frac{2m(\frac{L}{2})^2}{B((\frac{T_1}{2\pi})^2 - (\frac{T_2}{2\pi})^2)} = \frac{2 \times 0.00062(\frac{0.0525}{2})^2}{0.0000259 \times ((\frac{55.57}{2 \times 3.1416})^2 - (\frac{41.50}{2 \times 3.1416})^2)} A \cdot m^2 = 1.2 A \cdot m^2.$$

## 5.2.2 地磁场中耦合磁针运动的测量

将式

$$\alpha \frac{\mu^2}{L^\beta} = \frac{1}{2} |\omega^2 - \omega^{*2}|$$

两边取对数得

$$\ln |\omega^2 - \omega^{*2}| = -\beta \ln L + \ln 2\alpha\mu^2.$$

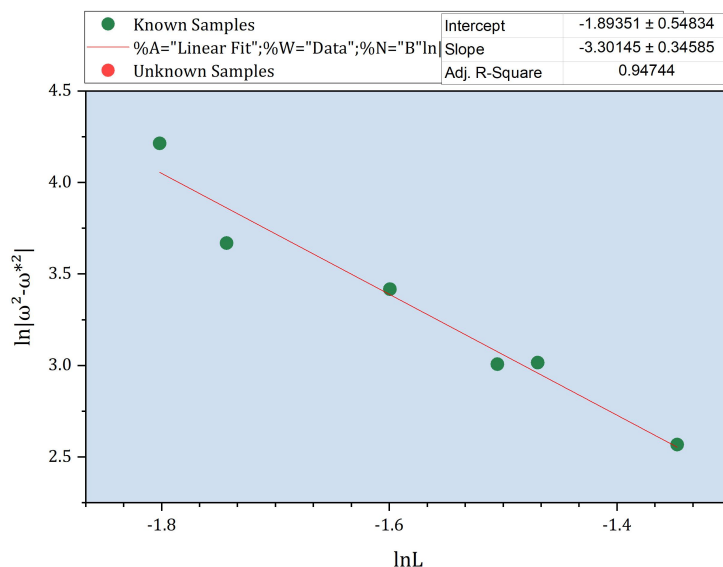


图 6: 耦合系数的的测量

由图线得出

$$\beta = -(-3.301) = 3.301,$$

# 实 验 报 告

11 系 20 级 3 班

郭耸霄 PB20111712

2021 年 6 月 5 日

$$\alpha = \frac{e^{-1.894}}{2 \times 1.3^2} = 0.05225.$$

## 5.3 误差分析

本实验不够精确，各处误差较多，下进行粗略定性分析。

1、测定磁场大小与线圈电流关系时，若特斯拉计探针并未处在线圈中央或未与地磁场垂直，会导致测量数据偏小，使磁场大小测得偏小；

2、测量小磁针的磁矩及转动惯量时，若亥姆霍兹线圈的轴线没有与地磁场方向保持平行，测得的地磁场大小为其分量大小，且两磁场叠加后的磁场会使磁场方向发生偏差，影响拟合效果；

3、测量小磁针的磁矩及转动惯量时，若线圈通入电流过大，会导致小磁针振动过快，难以数清周期数，从而带来误差；

4、小磁针耦合运动的实验中，使用的直尺难以准确测量两磁针中心间距，且随着  $L$  的增大，拍现象愈加明显，对实验产生干扰。由最终的拟合曲线来看， $R=0.94744$ ，线性性不够强，可以初步确定为上述原因。

## 5.4 实验讨论

通过查阅资料，得到常数  $\alpha$  与  $\beta$  的标准值：

$$\alpha = 0.087,$$

$$\beta = 3.$$

测量结果与之接近但误差较大。

实验环境下的磁场十分微弱，测量起来需要十分专注、细心。由于重复操作枯燥乏味，难免会使实验者身心俱疲，造成测量结果误差较大。建议本实验可以两人合作完成。

## 6 思考题

### 6.1 如何利用作图法或最小二乘法求得局域地磁场的水平分量？

利用 Origin2020，以线圈电流为横坐标，磁感应强度为纵坐标，将数据输入到合理的位置，软件会自动做出图线。

### 6.2 说明两小磁针耦合运动“拍频”与哪些物理量有关？

小磁针的磁矩、转动惯量、中心间距、周围磁场强度等。

### 6.3 如何判断线圈附加磁场与局域磁场是反向还是同向？

将小磁针放入线圈磁场，给一个微扰，测量小磁针摆动。再使电流反向，重复上述操作。周期小的为同向，周期大的为反向。