

用 Phyphox 测空气阻力

徐红月 17307130262

一、课题设计：

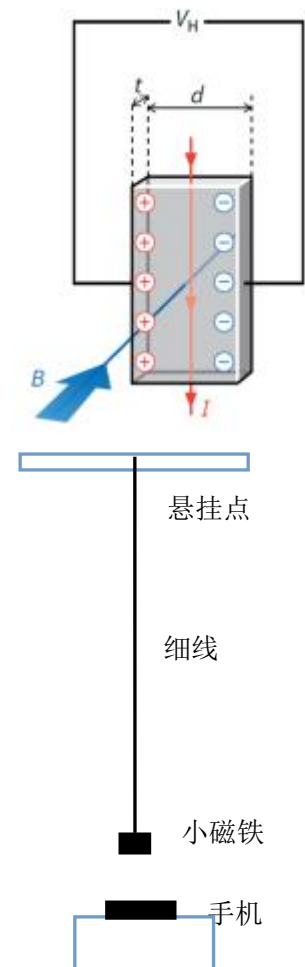
无论是实际生活中还是物理实验中，阻尼现象都非常常见。单摆的摆动振幅也会受到空气阻力的影响而衰减，可以用手机 Phyphox 软件测出单摆摆动时空气阻力的阻尼系数，也可以研究阻尼系数和横截面积的关系。

欠阻尼状况下简谐振子位置随时间变化关系 $x = x_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega t)$ ，每个周期振幅 $A = A_0 e^{-\gamma t}$ ，为保证单摆为小角度摆动，摆长应尽量长。

为了避免手机自身面积对实验的影响，不直接用 Phyphox 的单摆模块，而是使用磁力计，用小磁铁代替手机作为单摆的悬挂物，将手机静置于单摆下方，用磁力计记录手机内磁感应强度大小随时间的变化关系，从而得到单摆所受空气阻力阻尼系数。为探究阻尼系数和面积的关系，在磁铁间吸一硬纸片，通过改变纸片大小改变受力面积。

二、Phyphox 测量原理：

手机常用磁力计为固态霍尔效应传感器。通过传感器的磁感应强度发生变化时，霍尔传感器两端电压也发生变化。从而得到磁感应强度三个方向的分量。



三、实验装置及过程：

小磁铁为圆柱形，直径 5mm ，10 块小磁铁总长度 $(4.68 \pm 0.02)\text{cm}$

单摆静置时悬挂点到小磁铁中心长度 $(104 \pm 1)\text{cm}$ ，小磁铁中心到手机距离 $(9.0 \pm 0.7)\text{cm}$ ，由于手机内磁传感器位置未知，磁铁到手机内磁传感器距离可能导致误差。

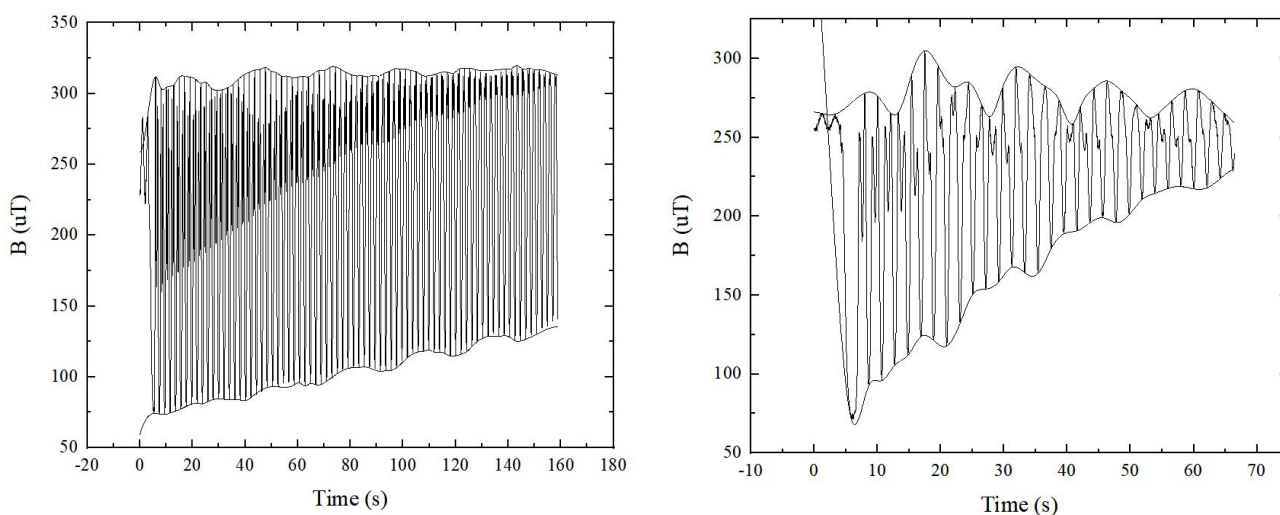


将小磁铁拉起一个小角度，测量磁感应强度随时间变化。

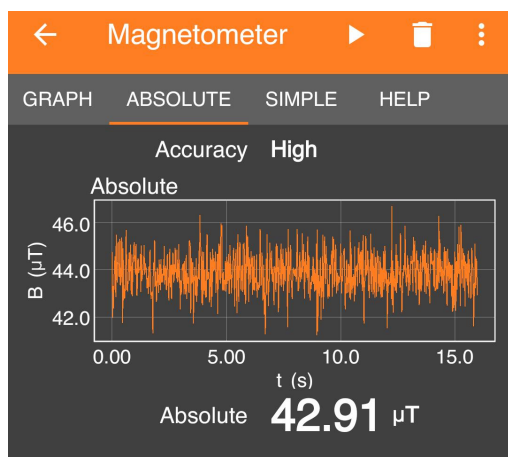
更换小磁铁上所吸纸片为：无纸片、 $s_1 = 14.40\text{cm}^2$ 、 $s_2 = 20.21\text{cm}^2$ 、 $s_3 = 29.25\text{cm}^2$ 、 $s_4 = 40.48\text{cm}^2$ 、 $s_5 = 59.80\text{cm}^2$ ，重复实验。

四、实验结果及分析：

下图为手机传感器测得磁感应强度随时间的变化关系及其上下包络，左侧为无纸片时测得的数据，平滑点数 $N=120$ ，右侧为 $s_5 = 59.80\text{cm}^2$ 时测得的数据，平滑点数 $N=50$ ，上包络表示小磁铁距离手机磁力传感器最近时测得磁感应强度，下包络表示最高点处测得磁感应强度。

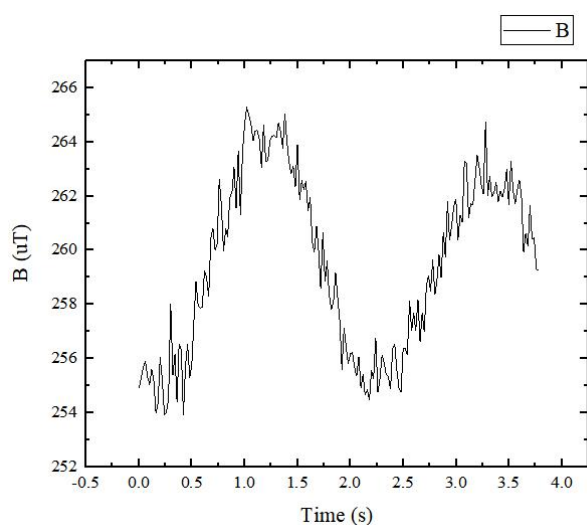


取走小磁铁，保持手机位置不变，测得磁场噪声振幅约 $2\mu\text{T}$ ，噪声的来源可能是手机传感器精度不足，也可能是地磁场的影响。

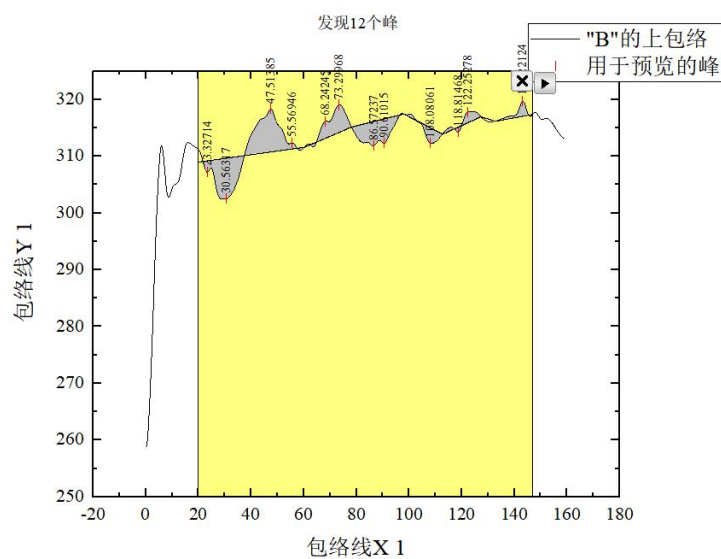


小磁铁除了小角度摆动外还有自身的转动，由于小磁铁中心与手机磁传感器中心不重合，自身转动会导致磁力传感器示数变化。将小磁铁静置于手机正上方，使其只有自

身转动无摆动，磁传感器测得正弦形波动，显著大于噪声。

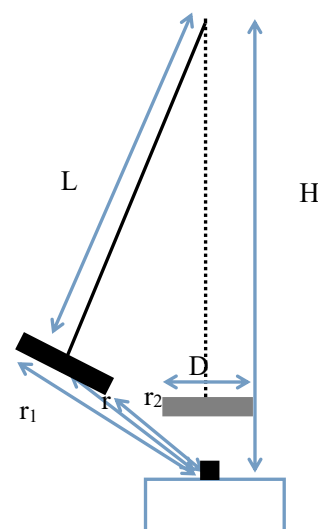


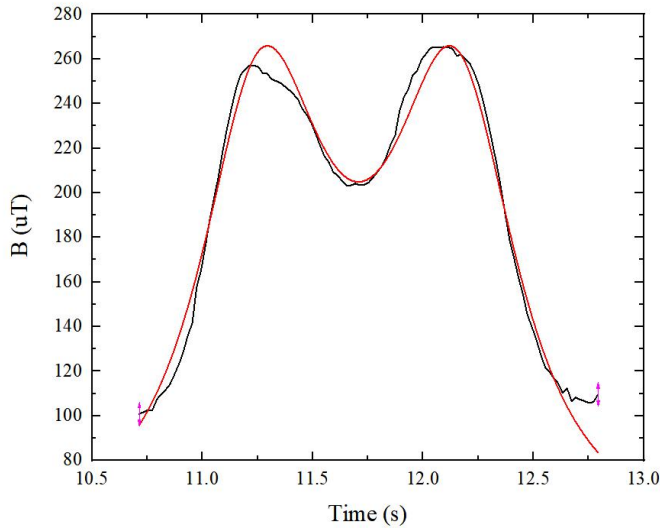
由于小磁铁自身存在转动，转动周期远小于单摆运动周期，上包络呈现正弦形。取上包络，自动寻峰，除去两侧数据点，从中央读几个周期，取平均得到小磁铁自身转动周期。



接下来对小磁铁摆动过程建模分析。小磁铁呈圆柱形，简化为一个线状磁棒，磁场从磁铁的两端发出，相当于两个磁性相反的磁单极子放在磁棒的两端， $B \propto \left(\frac{1}{r_2^2} - \frac{1}{r_1^2}\right) \approx \frac{2rD}{r_1^2 r_2^2}$ 。

用该模型结合单摆小角度近似拟合一个摆动周期内手机传感器测定磁感应强度变化，结果如下图所示。





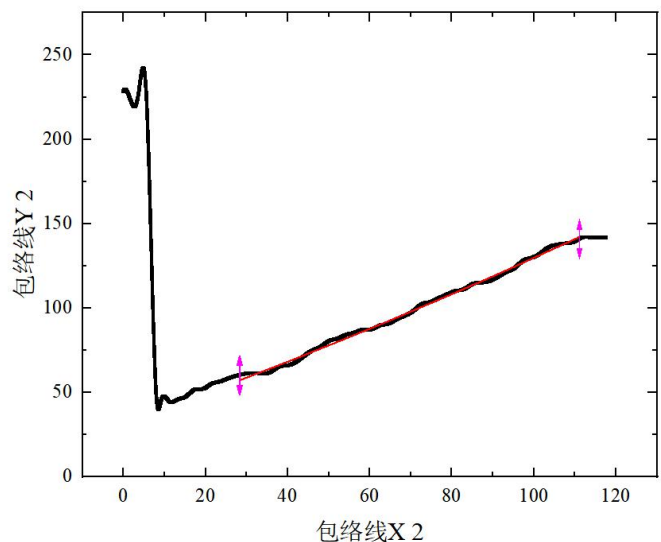
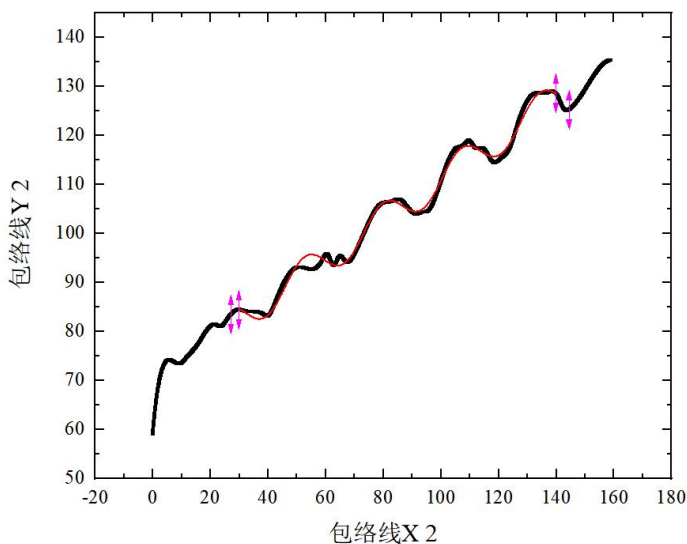
要得到空气阻力的阻尼系数，就要研究摆动过程中的能量衰减，也就是每个周期的振幅变化。振幅 $A = A_0 e^{-\gamma t}$ ， $B \propto \left(\frac{1}{r_2^2} - \frac{1}{r_1^2}\right) \approx \frac{2rD}{r_1^2 r_2^2}$ ，每个周期磁感应强度 B 最小值对应摆

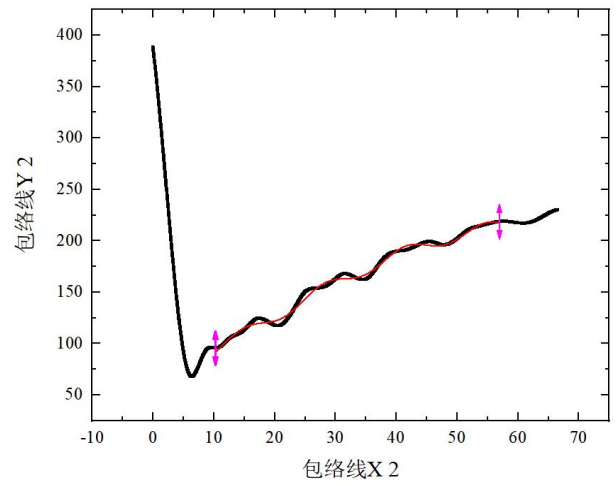
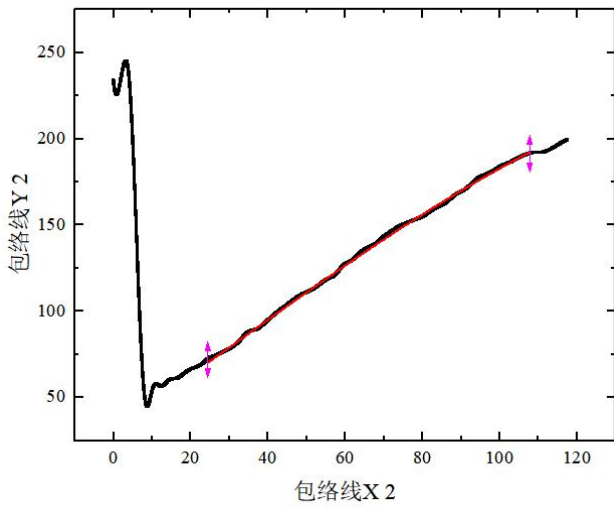
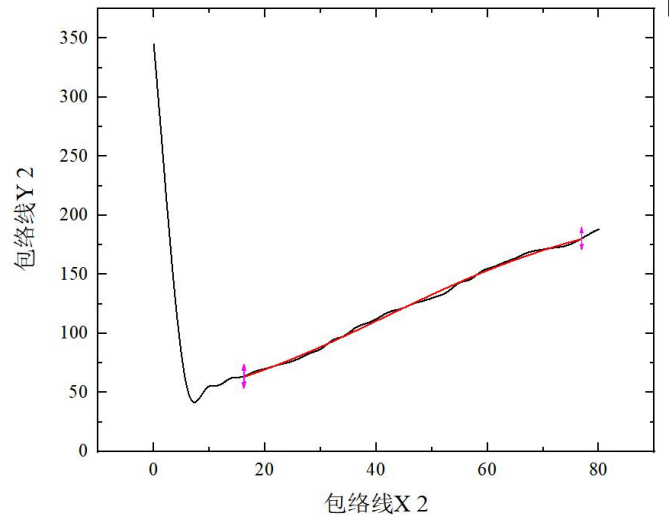
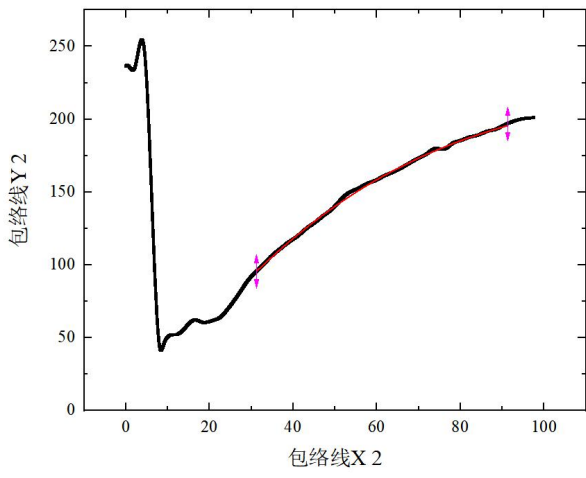
动最高点， $B_{\min} \propto \frac{r_{\max}}{r_{1\max}^2 r_{2\max}^2} \approx \frac{\sqrt{(A_0 e^{-\gamma t})^2 + (H-L)^2}}{((A_0 e^{-\gamma t} - D/2)^2 + (H-L)^2)((A_0 e^{-\gamma t} + D/2)^2 + (H-L)^2)}$ 。由

于 $D/2 \sim A_0/10$ ， $B_{\min} \propto (A_0^2 e^{-2\gamma t} + (H-L)^2)^{-\frac{3}{2}}$ 。

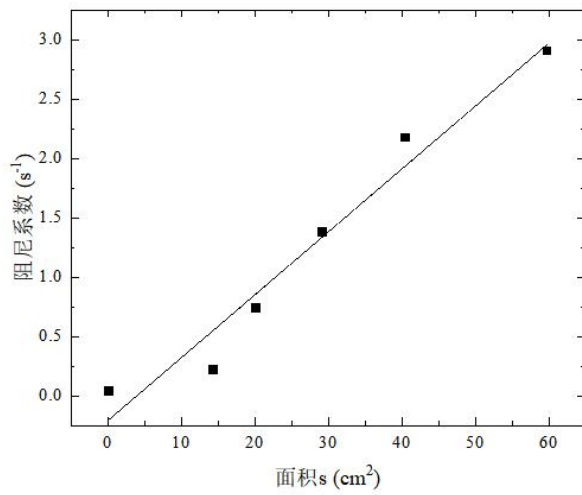
同时考虑由于磁铁自身转动引起的正弦形修正项，对下包络进行拟合，拟合结果如图示。

	1	2	3	4	5	6
$s(\text{cm}^2)$	14.40	20.21	29.25	40.48	59.80	0.2
$\gamma(0.01\text{s}^{-1})$	$(2.2 \pm 0.5) \times 10^{-2}$	0.74 ± 0.02	1.38 ± 0.03	2.17 ± 0.03	2.90 ± 0.08	$(3.975 \pm 0.002) \times 10^{-2}$





对测得面积和阻尼系数作图，线性拟合：



随着受力面积增加，阻尼系数线性增长。误差较大的原因主要包括 1)由于磁铁自身转动引起的受力面积测量偏差 2) 拟合偏差。

五、实验结论：

本次实验测量了单摆运动过程中空气阻力的阻尼系数，并研究了阻尼系数和受力面积的关系。