



大学物理实验

教学安排及要求

2022年8月22日

课程交流群



入群后请修改备注名为：
“学号” “姓名”，如
2020100146徐翊森

教学安排

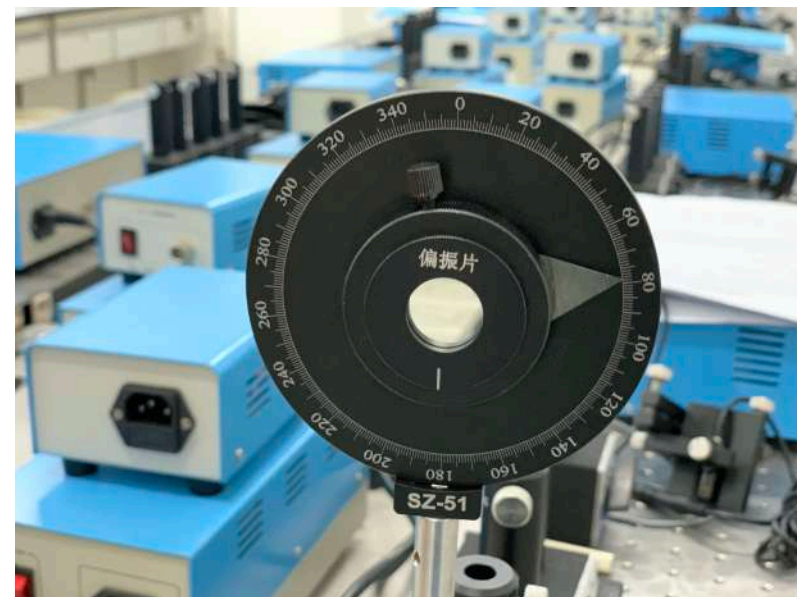
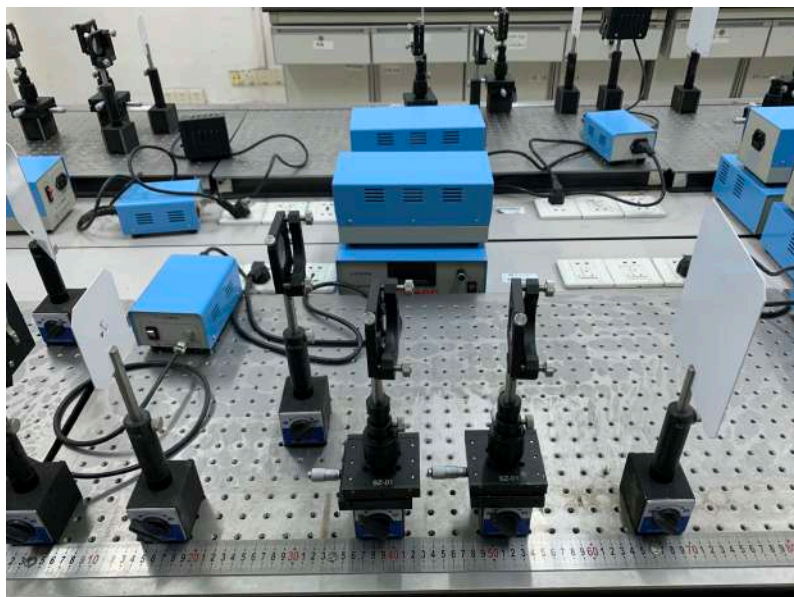
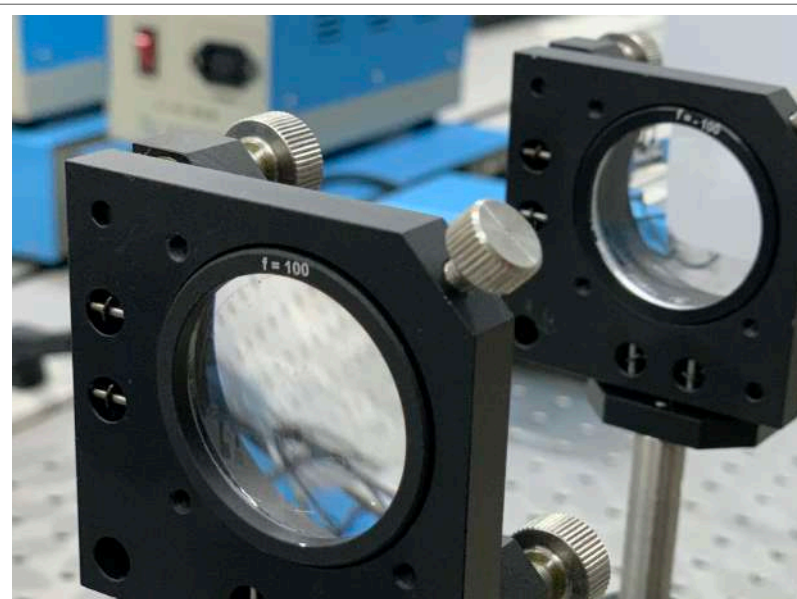
Experiment groups (10:00-12:15)

| Groups | 一 8.22 | 二 8.29 | 三 9.5 | 四 9.12 | 五 9.19 | 六 9.26 | 七 10.3 | 八 10.10 | 九 10.17 | 十 10.24 | 十一 10.31 | 十二 11.7 |
|--|--------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| 黄沅盈 仇俊桀 陈承东 李浚宇 楊錦麟 黄显婷 黎星昆 羅元鴻 曾予良 苏一鸣 Steven Cen Yu 胡国强 冯政杰 戚峻嘉 叶星佑 聂锐驰 | Introduction | EP05 弦振动 | EP06 杨氏 | 放假 Holiday | EP04 二极管 | EP11 霍尔 | 放假 Holiday | EP13 分光计 | EP12 电桥 | EP09 牛顿环 | EP10 示波器 | 考试 Final Exam |
| 王怡丹 付珺琪 李瑞来 罗倩琳 吴超 陈彦彤 余家文 阮子轩 韦纪岚 洪与秦 吴芝冰 陈泓锐 郑杭烜 王营臻 陈钰琴 徐海洋 | | EP06 杨氏 | EP05 弦振动 | | EP11 霍尔 | EP04 二极管 | | EP12 电桥 | EP13 分光计 | EP10 示波器 | EP09 牛顿环 | |

平时成绩 70%
期末考试 30%

循环实验要求

每人一个组内编号，实验室按照编号使用实验设备







实验室要求

1. 考勤

- 迟到 5 分钟内，扣分；迟到超过 5 分钟，按旷课处理；
- 请假要提前告知指导教师，并附上假条；没有请假均按旷课处理；
- 缺课、缺报告 3 篇的同学按重修处理；

2. 实验室规范

- 遵守实验室规则，进入和离开实验室要签到和签离；
- 进入实验室前要完成实验预习报告（实验名称、实验目的、实验设备、实验原理）；没有完成不允许做实验；
- 实验不能当堂完成的，可与指导教师协商时间补作，但该实验成绩会根据具体情况相应削减；
- 完成实验项目，数据记录需要指导教师签字，整理设备后才能离开；



实验报告

报告内容需包含:

1. 实验名称
2. 实验目的
3. 实验设备
4. 实验原理
5. 实验步骤
6. 数据记录
7. 实验数据处理
8. 误差分析及心得
9. 思考题

预习 10分

操作与数据记录 50分

数据处理余结果分析 40分

课程名称: 大学物理实验 成绩评定: 100分

实验项目名称: 转动惯量的测定 指导教师: 张健

实验项目编号: 实验4 实验项目类型: 验证性实验

学生姓名: 张健 学号: 202051301

学院: 物理与光电工程学院 专业: 工程力学

实验时间: 2020年10月10日 实验地点: 物理实验中心

一、实验目的

1. 通过转动惯量的测定实验, 理解转动惯量的概念, 进行转动惯量的测定。
2. 学习使用转动惯量仪。
3. 使用转动惯量仪, 用光电计时器测量物体转动一周的时间, 利用图线法求出物体的转动惯量。
4. 验证平行轴定理。

二、实验原理

转动惯量是反映物体质量分布的一个物理量, 是刚体转动时惯性大小的度量。

1. 通过转动惯量的测定实验, 理解转动惯量的概念, 进行转动惯量的测定。

2. 学习使用转动惯量仪。


3. 使用转动惯量仪, 用光电计时器测量物体转动一周的时间, 利用图线法求出物体的转动惯量。

4. 验证平行轴定理。

三、实验装置

转动惯量仪, 光电计时器, 待测物体, 细线, 砝码。

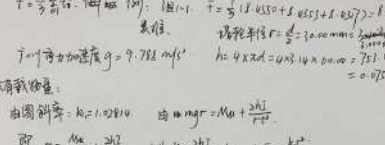
转动惯量仪结构示意图:



转动惯量仪结构示意图

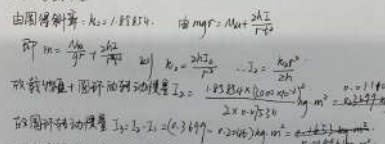
五、实验数据处理与计算

转动惯量仪结构示意图:



转动惯量仪结构示意图

转动惯量仪结构示意图:



转动惯量仪结构示意图

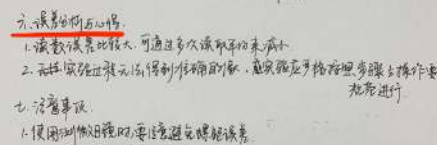
三、实验原理

1. 刚体转动惯量的测定: $M = I_0 + M_0$ 合外力矩。

1. 刚体转动惯量的测定: $M = I_0 + M_0$ 合外力矩。

1. 刚体转动惯量的测定: $M = I_0 + M_0$ 合外力矩。

转动惯量仪结构示意图:



转动惯量仪结构示意图

四、实验步骤

1. 转动惯量的测定: 测定转动惯量。

1. 转动惯量的测定: 测定转动惯量。

1. 转动惯量的测定: 测定转动惯量。

线性拟合 (2019/9/26 21:46:15)

线性拟合 (2019/9/26 21:46:15)

线性拟合 (2019/9/26 21:46:15)

实验项目设计的重点

现象观察

规律获取

精度测量

实验报告纸要用A4大小

普通物理实验II

暨南大学本科实验报告专用纸

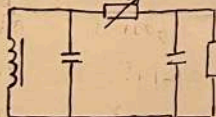
实验项目类型 实验地点 理I楼219 成绩评定

年 月 日 午 月 日 午 温度 $^{\circ}\text{C}$ 湿度 指导教师

一、实验目的: 通过对一种非线性电阻的RLC电路混沌现象的实验分析, 使我们从感性上更加清晰地了解混沌现象产生的机理, 熟悉混沌现象产生条件, 掌握电路中混沌状态的基本规律, 使可对电路中的混沌现象具有更详尽、更形象的认识。

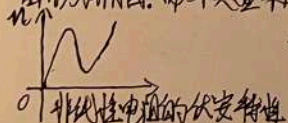
二、实验原理: 由于某些确定的微分方程在某些参数条件下出现复杂行为以及倍周期分岔或序列和混沌区域, 并且找到一些普遍常数, 发现存在有无穷嵌套的自相似结构。其中可通过非线性RLC电路等实际系统的实验研究中, 不断揭示出非平衡相变的丰富行为。并且由它获得的现象较丰富, 并且易于观察和测量, 实验条件便于实现和控制。

2. 非线性RLC电路的非线性器件, 可为电容、电阻与电感等, 本实验将利用到一个RLC振荡电路, 原理图如下:



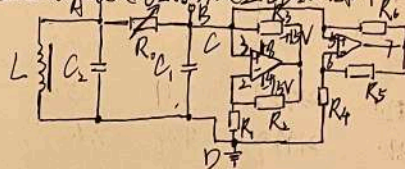
根据电阻、电容、电感上的电压、电流关系, 可得出RLC混沌电路状态方程:
$$\begin{cases} C_2 \frac{dU_{C1}}{dt} = G(U_{C1} - U_{C2}) + I_L \\ C_1 \frac{dU_{C2}}{dt} = G(U_{C2} - U_{C1}) - GU_{C2} \\ L \frac{dI_L}{dt} = -U_{C2} \end{cases}$$
 其中 U_{C1} 、 U_{C2} 是电容 C_1 、 C_2 上的电压, I_L 是电感 L 上的电流, $G=1/R$ 是电导, G 为 R 的伏安特性函数。实验表明, 这三个变量微分方程在一定参数条件下, 会出现倍周期分岔序列、准周期、混沌、混沌中的周期窗。

3. 如果 R 是线性的, G 是常数, 电路则为一般的振荡电路, 得到的解为正弦函数。电阻 R 的作用是调节 C_1 和 C_2 的相位差, 把 C_1 、 C_2 两端的电压分别输入到示波器的 X、Y 轴, 显示的图形为椭圆。而本实验所用的 R 为非线性的, 其伏安特性为:



整体呈现为非线性。

4. 用示波器来观察混沌现象, 非线性电阻 R 是关键, 实验中为一个双运放放大器, 六个电阻组合加以实现的。其实验电路如图所示:



从 C、D 两点来看, 其等效于一个非线性电路, 并且 LC 并联, R 的作用便为分相, 使 A、B 两端输入示波器的信号产生位相差, 可在示波器上得到 X、Y 两个信号的合成图形。其中双运放放大器 TL082 的前级和后级正、负反馈同时存在, 正反馈的强弱与 R_5/R_6 、 R_2/R_3 的比值有关, 负反馈的强弱与 R_4/R_1 、 R_5/R_4 的比值有关。当正反馈大于负反馈时, 电路

5. 基本判断依据有: ① 频谱分析;

② 无穷周期后, 会由于轨道排斥而出现局部不稳定, 才能维持振荡。

③ 奇怪吸引子存在

三、实验装置: 电源、实验接线板、数字万用表、非线性电阻、电容、电感和可调电位器、示波器; 元件参数: $C_1=22\text{nF}$, $C_2=0.1\text{nF}$; $R_1=2\text{k}\Omega$, $R_2=R_3=10\text{k}\Omega$, $R_4=1\text{k}\Omega$, $R_5=R_6=100\Omega$; R 由两个多圈电位器串联组成, 可进行粗调和细调, 500匝线圈一。

四、实验内容: 1. 测量非线性电阻的伏安特性并画出伏安特性图。测量时不用电源, 用电阻箱调, 伏特表并联在非线性的电阻两端, 再和变阻器并联在非线性的电阻两端, 电阻箱在一起来构成回路。对于非线性电阻要尽量多测数据点。

2. 倍周期现象、周期窗口、单吸引子和双吸引子的观察、记录和描述。将电容 C_1 、 C_2 上的电压输入到示波器的 X、Y 轴, 先调 R 调到最小, 示波器屏上可观察到一条直线, 调节 R , 直线变成椭圆, 调至一位置, 图形缩成一点。增大示波器的倍率, 反向微调 R , 可见曲线作倍周期变化, 曲线由一周期为二周期, 再倍增为四周期, 直至一系列难以计数的无穷多的环状曲线, 便是一个单满族吸引子集。再微调 R , 单吸引子变成了双吸引子, 可见环状曲线在两个向外满族吸引子间不断填充与跳跃, 这便是混沌研究文献中所描述的“蝴蝶”图像, 也是一种奇怪吸引子, 其特点为整体上的稳定性和相空间上的不稳定性同时存在。

仔细调节 R , 有时原先的混沌吸引子不是倍周期变化, 却突然出现了个周期窗口, 再微调 R , 又出现混沌吸引子, 此现象称为出现了周期窗口。观察并记录不同周期窗口。

数据记录

经初始 270°

| ④ | 最大位置 | 最大I | 最小位置 | 最小值 |
|-----|-----------------------------|-------|-------|-------|
| 一 | 357.8° | 83.0 | 93.0 | 1.9 |
| 二 | 355.2° | 83.2 | 93.5° | 1.9 |
| 三 | 348.9° 347.5° | 83.8 | 94.2° | 1.8 |
| 平均值 | 354.17 | 83.33 | 93.57 | 1.989 |

| P.转过 | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 15° |
|---------|------|--------------------|------|------|-------|-------|
| 极大值(W) | 15.2 | 3.0 | 20.7 | 83.3 | 163.7 | 47.2° |
| 极小值(W) | 2.1 | 0.5 1.1 | 5.5 | 6.6 | 3.9 | 5.7° |
| 极大值(HW) | 15.7 | 2.8 | 20.4 | 84.1 | 164.2 | 46.9° |
| 极小值(HW) | 2.2 | 1.3 | 5.7 | 6.4 | 3.7 | 4.8° |
| 偏振状态 | 椭圆 | 圆 | 椭圆 | 椭圆 | 绝性 | 椭圆 |

P.转过 15° 时

$$\bar{I}_{min} = \frac{5.7 + 4.8}{2} = 5.25 (W)$$

$$\bar{I}_{max} = \frac{47.2 + 46.9}{2} = 47.05 (W)$$

$$\frac{\bar{I}_{max}}{\bar{I}_{min}} = \frac{47.05}{5.25} = 9.05$$

不做表格

若调节狭缝的方向

六、数据记录

单位: mm

表 2:

| 条位位置 | 1 | 2 | 3 |
|------|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |

狭缝底座位置

狭缝平面位置

狭缝间距

表一: 干涉条纹识别值及计算

数据不足

数据记录

| | |
|-----------------|-------------------|
| 根縫底座位置: 20.00cm | 測數目鏡底座位置: 69.92cm |
|-----------------|-------------------|

| | |
|------------------|------------------|
| 楔形平面修正量: 3.52 cm | 测微组镜筒分划板修正量: 2.7 |
|------------------|------------------|

$$\Rightarrow D = |(20.00 + 3.52) - (69.92 - 2.75)| = 43.65 \text{ cm} = 436.5$$

(2) 测量干涉条纹的间距 Δx 单位: mm

| 条数位置 | 1 | 2 | 3 |
|------|-------|-------|-------|
| 1 | 1.458 | 0.898 | 2.131 |
| 2 | 1.536 | 0.963 | 2.185 |
| 3 | 1.605 | 1.052 | 2.278 |
| 4 | 1.673 | 1.117 | 2.347 |
| 5 | 1.780 | 1.195 | 2.438 |
| 6 | 1.855 | 1.274 | 2.520 |
| 7 | 1.939 | 1.351 | 2.589 |
| 8 | 2.026 | 1.434 | 2.652 |
| 9 | 2.102 | 1.510 | 2.741 |
| 10 | 2.203 | 1.579 | 2.818 |
| 11 | 2.299 | 1.661 | 2.905 |
| 12 | 2.370 | 1.730 | 2.990 |
| 13 | 2.458 | 1.812 | 3.046 |
| 14 | 2.541 | 1.902 | 3.118 |

(3) 测量两光源的间距 d

| 组别) | 水文数据 | | | 备注 |
|-----|--------|--------|-------|-------|
| | 右侧光源位置 | 左侧光源位置 | 旁洞距 | |
| 1 | 3.807 | 1.761 | 1.846 | 2.865 |
| 2 | 3.828 | 2.199 | 1.629 | 3.256 |
| 3 | 4.186 | 2.319 | 1.867 | 3.189 |

虚光源间距平均值 $\bar{d} = 1.232412746 \text{ mm}$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{\bar{\Delta x} \cdot \bar{d}}{D} = \frac{0.079530 \times 1.232412746}{436.5} = 0.00022454$$

—由電阻，電流關係

數據

| 數據 | | V | mA | Ω | V | mA | Ω | V | mA | Ω | V | mA | Ω |
|-----|-------|-------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|-------|----|----------|
| 9.9 | 10.6 | 0.109 | 2699.9 | 8.95 | 3.1724 | 1799.9 | 6.17 | 3.1731 | 1161.9 | 1.52 | 1.315 | | |
| 9.9 | 10.54 | 0.213 | 2499.9 | 8.94 | 3.43 | 1789.9 | 6.47 | 3.1624 | 1161.5 | 1.52 | 1.315 | | |
| 9.9 | 10.52 | 0.266 | 2299.9 | 8.84 | 3.54 | 1779.9 | 6.26 | 3.1525 | 1161.2 | 1.52 | 1.315 | | |
| 9.9 | 10.47 | 0.354 | 2199.9 | 8.78 | 3.66 | 1769.9 | 6.06 | 3.143 | 1160.9 | 1.51 | 1.314 | | |
| 9.9 | 10.38 | 0.523 | 2099.9 | 8.71 | 3.796 | 1759.9 | 5.86 | 3.134 | 1160.5 | 1.51 | 1.31 | | |
| 9.9 | 10.17 | 1.017 | 1999.9 | 8.64 | 3.938 | 1749.9 | 5.68 | 3.124 | 1160.5 | 1.5 | 1.302 | | |
| 9.9 | 10.08 | 1.124 | 1899.9 | 8.56 | 4.086 | 1739.9 | 5.51 | 3.114 | 1159.9 | 1.46 | 1.269 | | |
| 9.9 | 10.01 | 1.458 | 1889.9 | 8.48 | 4.25 | 1729.9 | 5.34 | 3.104 | 1158.9 | 1.37 | 1.192 | | |
| 9.9 | 9.92 | 1.64 | 1879.9 | 8.39 | 4.426 | 1719.9 | 5.19 | 3.096 | 1119.9 | 0.18 | 0.175 | | |
| 9.9 | 9.81 | 1.937 | 1869.9 | 8.38 | 4.444 | 1709.9 | 5.04 | 3.024 | 1059.9 | 0.12 | 0.123 | | |
| 9.9 | 9.66 | 2.365 | 1859.9 | 8.37 | 4.463 | 1699.9 | 4.9 | 2.954 | 1009.9 | 0.06 | 0.075 | | |
| 9.9 | 9.44 | 3.039 | 1849.9 | 8.36 | 4.482 | 1659.9 | 4.79 | 2.888 | 900.9 | 0.04 | 0.055 | | |
| 9.9 | 9.29 | 3.129 | 1839.9 | 8.35 | 4.502 | 1599.9 | 4.76 | 2.65 | 800.9 | 0.02 | 0.046 | | |
| 9.9 | 9.05 | 3.222 | 1809.9 | 8.1 | 4.387 | 1499.9 | 2.98 | 2.359 | 700.9 | 0.01 | 0.028 | | |
| | | | | 7.7 | 4.24 | 1399.9 | 2.41 | 1.996 | 600.9 | 0 | 0.025 | | |
| | | | | 7.49 | 4.104 | 1299.9 | 1.98 | 1.73 | 500.9 | | | | |
| | | | | 7.21 | 3.975 | 1199.9 | 1.63 | 1.526 | 400.9 | | | | |
| | | | | 6.95 | 3.851 | | | 1.372 | 300.9 | | | | |

表格混乱

数据记录

暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

测定阻尼系数 β

121.2

| 序号 | 振幅($^{\circ}$) | 序号 | 振幅($^{\circ}$) | $\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$ |
|---|------------------|---------------|------------------|-------------------------------------|
| θ_1 | 142.728 | θ_6 | 79.983 | 0.565 |
| θ_2 | 125.985 | θ_7 | 77.639 | 0.579 |
| θ_3 | 112.766 | θ_8 | 62.408 | 0.591 |
| θ_4 | 102.919 | θ_9 | 55.257 | 0.602 |
| θ_5 | 92.063 | θ_{10} | 48.797 | 0.613 |
| $\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$ 平均值 | | | | 0.590 |

$$10T = 14.4025 \quad T = 1.44025$$

由公式 $5\beta T = \ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$ 可得

$$\beta = \frac{\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}}{5T} = \frac{0.590}{5 \times 1.440} = 0.08194$$

如数据:

电机频率与中读取值关系列表

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3.125 \times 10^{-4}}$$

| 电机频率 | $\phi(1)$ | $\phi(2)$ | $\phi = \frac{\phi(1)+\phi(2)}{2}$ | 测得阻尼周期T |
|--------|-----------|-----------|------------------------------------|---------|
| 1800Hz | 16 | 12 | 14 | 1.7785 |

| 振幅 θ | 固有周期 T_0 (s) | 振幅 θ | 固有周期 T_0 (s) | 振幅 θ | 固有周期 T_0 (s) | 振幅 θ | 固有周期 T_0 (s) |
|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| 128.0 | 1.584 | 106.3 | 1.584 | 94.8 | 1.584 | 84.4 | 1.584 |
| 127.0 | 1.585 | 105.5 | 1.584 | 94.1 | 1.585 | 83.8 | 1.584 |
| 125.9 | 1.584 | 104.8 | 1.585 | 93.4 | 1.584 | 83.2 | 1.584 |
| 124.9 | 1.585 | 104.0 | 1.584 | 92.8 | 1.584 | 82.6 | 1.583 |
| 123.9 | 1.584 | 103.3 | 1.585 | 92.1 | 1.584 | 82.0 | 1.584 |
| 122.9 | 1.585 | 102.5 | 1.584 | 91.5 | 1.584 | 81.4 | 1.584 |
| 122.9 | 1.584 | 101.8 | 1.585 | 90.8 | 1.584 | 80.8 | 1.584 |
| 121.9 | 1.585 | 101.1 | 1.584 | 90.1 | 1.585 | 80.2 | 1.583 |
| 120.9 | 1.584 | 100.3 | 1.584 | 89.5 | 1.584 | 79.6 | 1.584 |
| 119.9 | 1.585 | 99.6 | 1.585 | 88.9 | 1.584 | 79.0 | 1.585 |
| 111.1 | 1.584 | 98.9 | 1.584 | 88.2 | 1.585 | 78.4 | 1.583 |
| 110.3 | 1.584 | 98.2 | 1.585 | 87.6 | 1.583 | 77.8 | 1.584 |
| 109.5 | 1.585 | 97.5 | 1.583 | 86.9 | 1.584 | 77.3 | 1.584 |
| 108.6 | 1.585 | 96.8 | 1.585 | 86.3 | 1.585 | 76.7 | 1.583 |
| 107.8 | 1.584 | 96.1 | 1.584 | 85.7 | 1.584 | 76.1 | 1.584 |
| 107.1 | 1.585 | 95.5 | 1.585 | 85.0 | 1.584 | 75.5 | 1.583 |

2. 测定阻尼系数 β :

选择“阻尼振荡”实验, 获得的实验数据填入表

| 序号 | 振幅($^{\circ}$) | 序号 | 振幅($^{\circ}$) | $\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$ |
|---|------------------|----|------------------|-------------------------------------|
| 1 | 139.238 | 6 | 77.538 | 0.585 |
| 2 | 122.557 | 7 | 69.202 | 0.571 |
| 3 | 108.876 | 8 | 61.72 | 0.567 |
| 4 | 97.204 | 9 | 54.934 | 0.570 |
| 5 | 86.869 | 10 | 48.936 | 0.573 |
| $\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}$ 平均值 | | | | 0.571 |

数据处理

$$\rho = R \times \frac{\pi d^2}{4l} \quad \ln \rho = \ln R + \ln \pi d^2 - \ln 4l$$
$$\bar{\rho} = 1.15 \times 10^{-7} (\Omega \cdot m)$$

计算过程

$$\lambda = \frac{0.2503 \times 1.231086}{43.8} = 702 \text{ nm}$$

$$\therefore \lambda = \frac{d \cdot \sin \theta}{l} = \frac{1.121 \times 10^{-3} \times 2.47 \times 10^{-4}}{0.5162} = 5.364 \times 10^{-7} \text{ m}$$
$$= 536.4 \text{ nm}$$

不确定度的计算:

结果准确度

$$\approx 1.03 \times 0.0008496$$
$$\approx 0.000875$$

由前计算得 $u_B = 0.00133$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \approx 0.001592$$

$\lambda = \pm$

单位

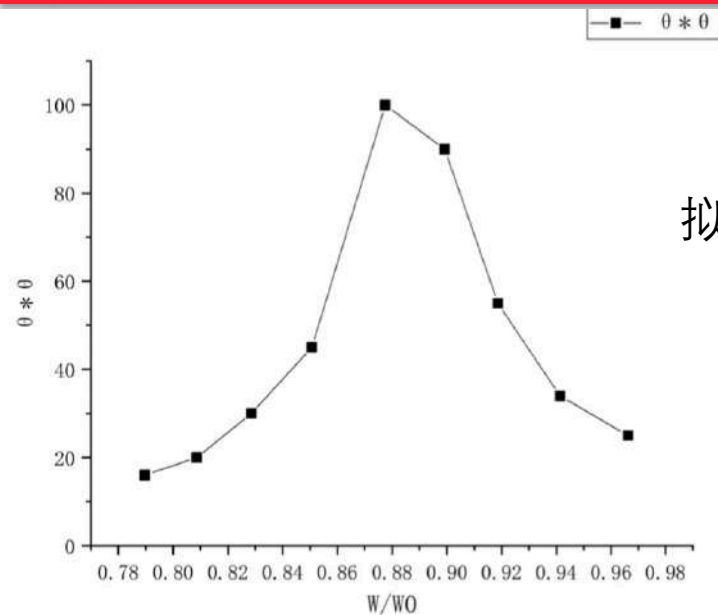
$$\frac{u_A}{\lambda} = \frac{22.24}{599.01} = 0.0371$$
$$u_A \approx 22.24 \text{ nm}$$
$$\therefore \lambda = (599.01 \pm 22.24) \text{ nm}$$

精度及有效数字

$$L = (22.39 \pm 0.03) \times 10^2 \text{ (cm)}$$
$$\rho = 1.43 \times 10^{-7} \pm 0.08 \times 10^{-7} (\Omega \cdot m)$$

科学计数法

作图

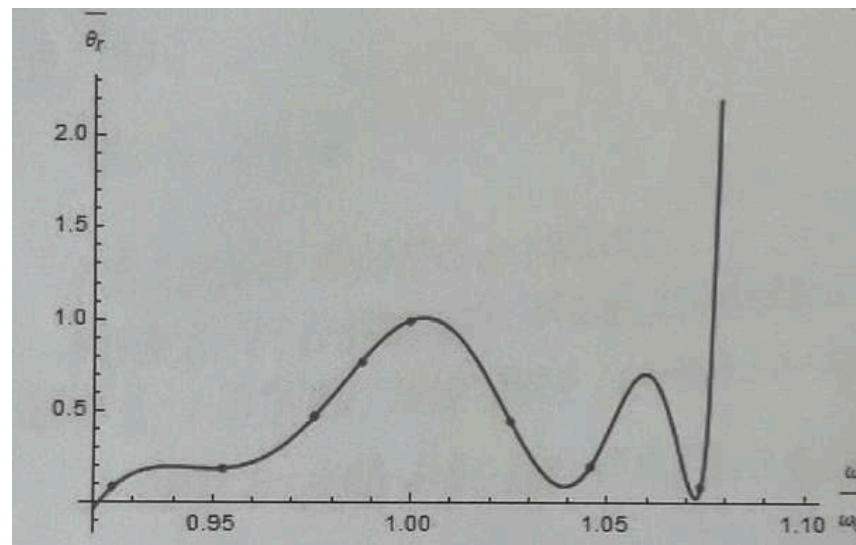
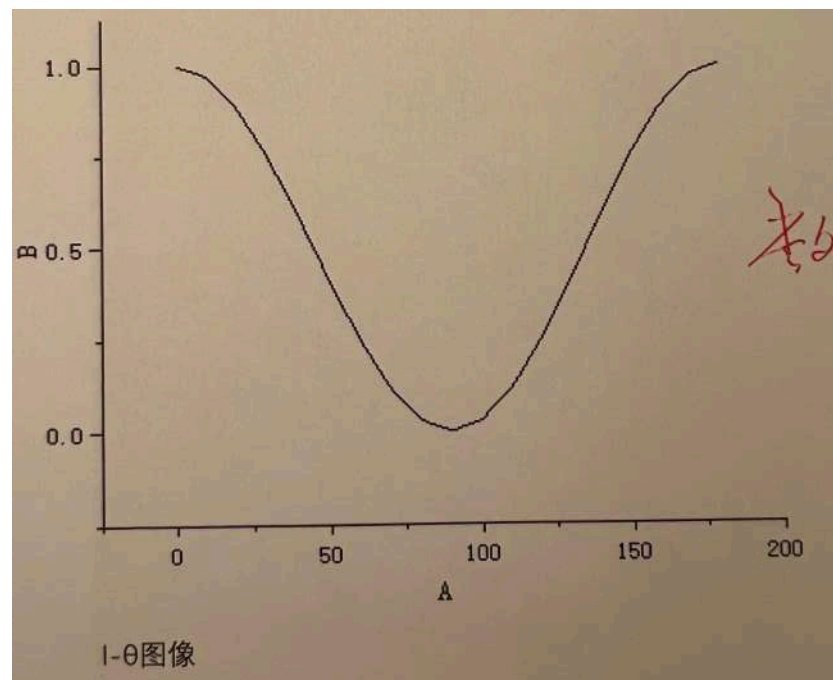
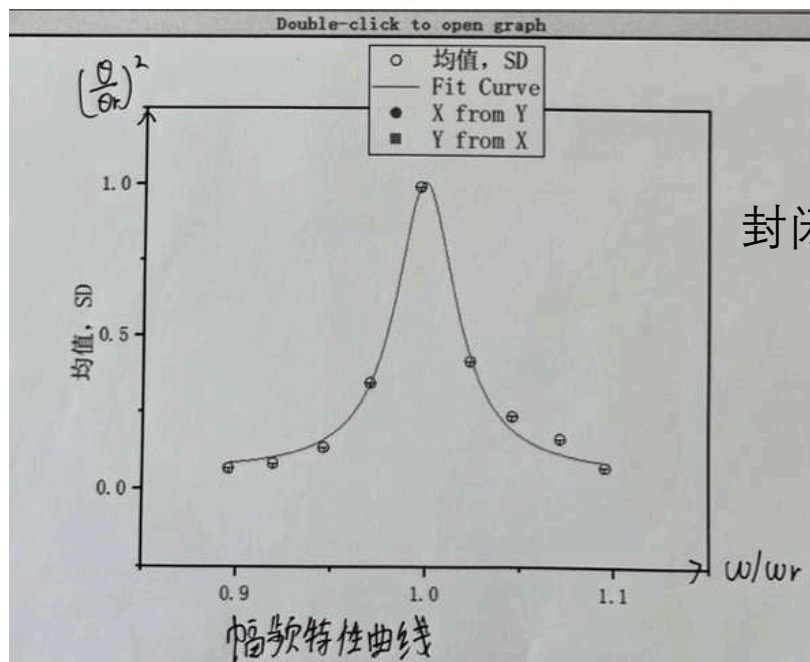


拟合光滑曲线

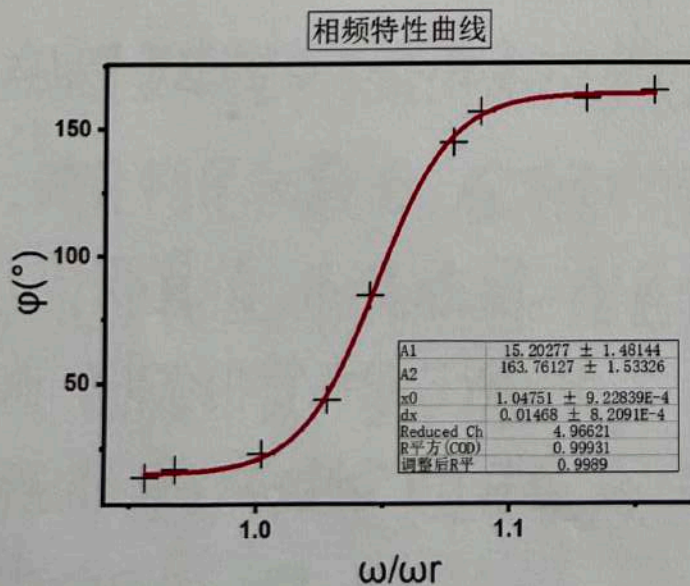
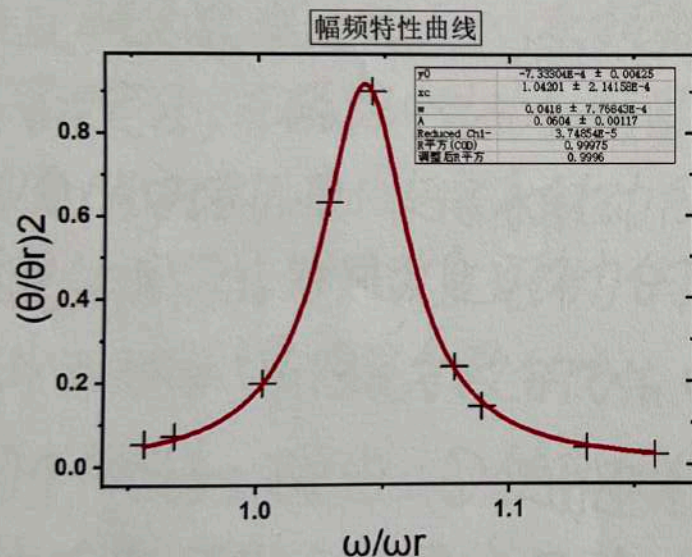
标出数据点

封闭或画坐标轴

符合规律



作图



当 $(\frac{\theta}{\theta_r})^2 = \frac{1}{2}$ 时, 有 $\frac{\omega_1}{\omega_r} = 1.022966$

$\frac{\omega_2}{\omega_r} = 1.061026675$

$\therefore \beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2}$

\therefore 有 $\beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} = (\frac{\omega_2}{\omega_r} - \frac{\omega_1}{\omega_r}) \times \frac{\omega_r}{2}$

$\therefore \omega_r = (3.723 + 3.72 + 3.713 + 3.725 + 3.723 + 3.748 + 3.766 + 3.74 + 3.72) \frac{1}{9}$
 $\approx 3.731 \text{ rad/s}$

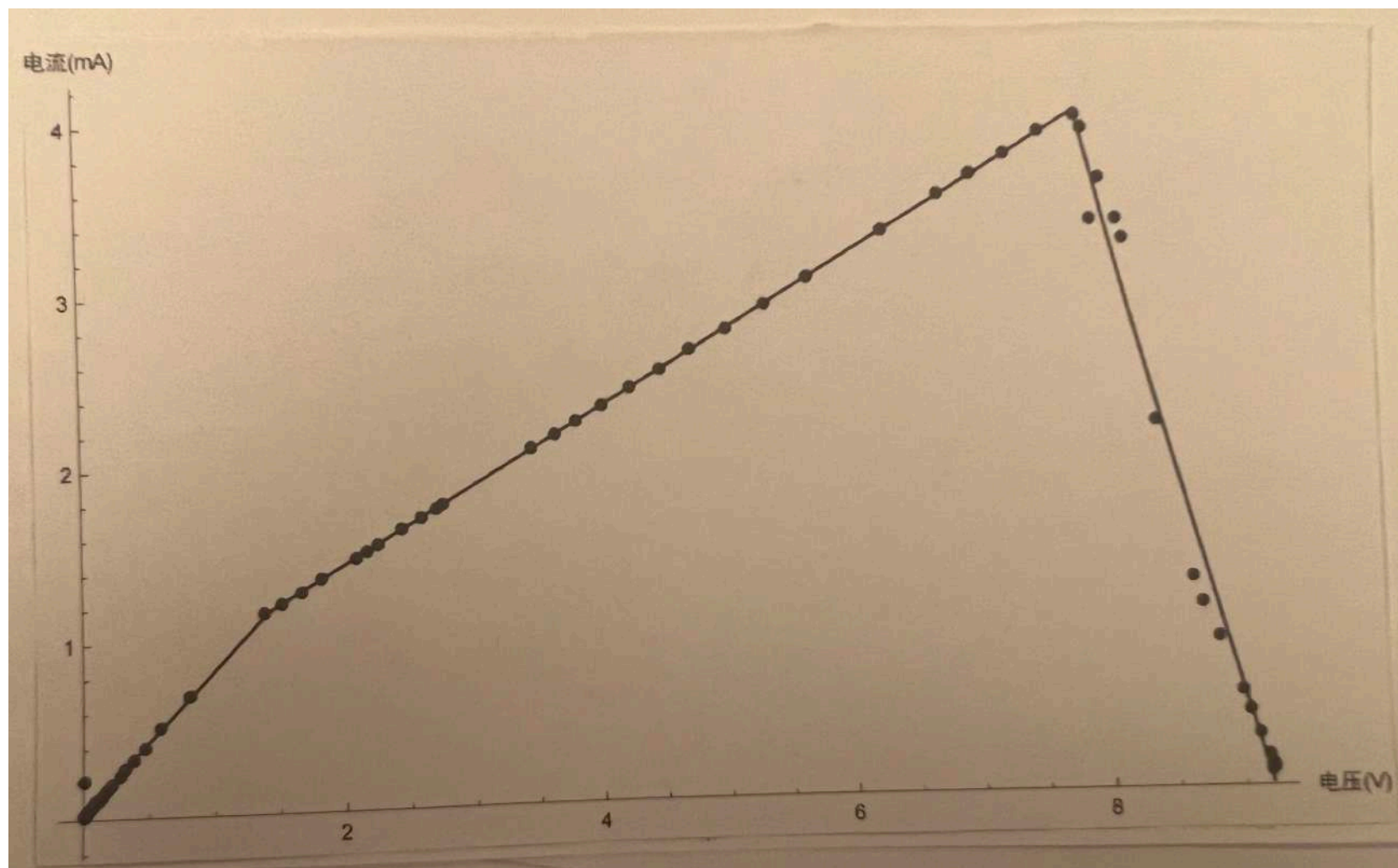
$\Rightarrow \beta = (1.061026675 - 1.022966) \times \frac{3.731}{2}$

≈ 0.0710022

$= 0.07100 \text{ rad/s}$

与内容2所得 $\beta = 0.07813$ 处于同一数量级。

作图



分段拟合

现象描述

| | 243 | 18 | 250 | 15 | |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| | 极大值(μW) | 极小值(μW) | 极大值(μW) | 极小值(μW) | 偏振状态 |
| 15° | 255 | 21 | 251 | 17 | 椭圆偏振光 |
| 30° | 300 | 79 | 293 | 96 | 椭圆偏振光 |
| 45° | 278 | 189 | 266 | 206 | 圆偏振光 |
| 60° | 418 | 121 | 419 | 122 | 椭圆偏振光 |
| 75° | 444 | 26 | 416 | 26 | 椭圆偏振光 |
| 90° | 442 | 1 | 407 | 1 | 线偏振光 |

表5

④ 注意事项及难点:

1. 在多次实验并收集实验数据的过程中需尽量处于黑暗状态下进行(消除其他光源导致的干扰)
2. 在转片收集数据时若出现前后误差过大的情况有可能是手指挡住光源(请注意!)尽量光具座以免其挡住光源

暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

五. 实验数据

| 级数 i | 3 | 2 | 1 | -1 | -2 | -3 |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 到0级距离 x_i (cm) | 0.9 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.9 |
| 空间频率 f_{xi} (Hz) | 6.32×10^3 | 4.21×10^3 | 2.11×10^3 | 2.11×10^3 | 4.21×10^3 | 6.32×10^3 |
| 光栅常数 d_i | 1.58×10^{-4} | 2.37×10^{-4} | 4.75×10^{-4} | 4.75×10^{-4} | 2.37×10^{-4} | 1.58×10^{-4} |

透镜焦距 $F = 22.5$ cm, 激光波长 $\lambda = 632.8 \times 10^{-9}$ m, $f = \frac{x}{\lambda F}$, $f = \frac{1}{d}$

| 光阑要求 | 现象 | 说明原因 |
|---------------|---------------------|---|
| 只有0级通过 | 像变暗, 且非常模糊, 细节丢失. | 光点属于低频点, 无法反映像的细节, 只有轮廓. |
| 通过0级和±1级 | 像相较只有0级通过稍亮, 但仍很模糊. | 光由透镜汇集, 在频谱面上形成平面阵, 某行(列)的点由垂直(水平)的点汇集而成. |
| 继续开大光阑, 与之前比较 | 像逐渐变亮, 且越来越清晰. | 接收到的高频点越来越多, 成像越来越清晰. |
| 挡住±1级 | 无明显变化, 轮廓清晰. | 缺少低频信号. |

| 狭缝要求 | 现象 | 说明原因 |
|------------------|---------|---|
| 仅使中间光轴上的光点通过 | 模糊的像 | 中央光点属于低频点, 无法反映物体细节, 只有轮廓. |
| 仅使中间一列垂直或水平的光点通过 | 横条纹或竖条纹 | 光由透镜汇集, 在频谱上形成平面阵, 某行(列)的点由垂直方向的物象汇集, 因而在像平面的图像与光栅垂直. |
| 狭缝转过45° | 模糊的斜条纹 | 光振动方向和滤波器存在夹角使得清晰度下降. |
| 挡住中央级 | 较宽的条纹 | 低频光丢失使得像的轮廓清晰. |

逻辑与条理

暨南大学本科实验报告专用纸

课程名称 普通物理学实验 成绩评定
实验项目名称 受迫振动 (迈克尔逊) 指导教师 张伟 教授
实验项目编号 2072 实验项目类型 实验 实验地点 207
学生姓名 王强 学号 202003423
学院 理学院 系 物理系 专业 应用物理学
实验时间 2022年3月8日 下午~3月8日 下午 温度 °C 湿度 °C

一、实验目的

①借助迈克尔逊实验研究阻尼振动的基本规律 ②直观地观测不同阻尼对自由振动与受迫振动的影响 ③定量测定机械受迫振动的幅频和相频特性,并观察和判断共振现象的发生。

二、实验设备

1. 由迈克尔逊装置、数据采集器、阻尼电源等组成。
2. 振动装置: ①自由振动: 将杆不动, 将弹簧对摆轮施加与角位移成正比的弹性恢复力矩, 在摆轮下安装有限制线圈, 电流通过线圈产生磁场, 流过电流, 其磁场与线圈磁场作用, 形成与运动速度成正比的电磁阻尼力矩。②受迫振动: 电动机带动偏心轮, 使主动连杆已使摆杆摆动, 通过迈克尔逊装置给摆轮, 产生强迫外力矩, 使其振动。
③驱动信号频率获得电机转速: $f_{电} = 3125 \times 10^4 f_{电}$ 。
④迈克尔逊上读出摆杆相位超前于摆轮相位的数据值, 其负值为相位差 φ 。
3. 数据采集器: ①将振动仪的角度传感器的模拟电压信号经模数转换器转换为数字信号并上传给计算机。
②计算机通过软件控制采集器进行数字信号以及脉冲宽度调制信号输入。
4. 实验电源输出电压 $\approx 30V$, 电流: $\approx 1000mA$, 功率 $30W$ 。

三、实验原理

1. 阻尼运动: 振动系统无外界能量补偿, 振幅将不断减小, 直至振动停止。
2. 受迫振动: 固有频率为 ω_0 、阻尼因子为 β 的系统, 在周期性外力的作用下, 经过足够长的时间后, 维持等幅的简谐振动。
3. 在受迫振动下, 系统物体的位移变化与强迫力的变化是不同相位的。强迫频率与系统的固有频率相同时产生共振, 此时振幅最大, 相位差为 90° 。

4. 受迫振动的特性及其解析的分析

当摆轮受到周期性强迫外力矩 $M = M_0 \cos \omega t$ 时, 在有空气阻尼的电磁阻尼的媒介中运动时有: $J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = -K\theta - b \frac{d\theta}{dt} + M_0 \cos \omega t$ (1)
J 为转动惯量, $K\theta$ 为弹性力矩, M_0 为强迫力矩幅值, ω 为强迫力的圆频率, 令 $\omega_0^2 = \frac{K}{J}$ $2\beta = \frac{b}{J}$ $m = \frac{M_0}{J}$

$$\Rightarrow \frac{d^2 \theta}{dt^2} + 2\beta \frac{d\theta}{dt} + \omega_0^2 \theta = m \cos \omega t \quad (2)$$

当 $m \cos \omega t = 0$ 时, 式(2)为阻尼振动方程, $\beta = 0$ 为无阻尼方程

可得通解: $\theta = \theta_1 \underbrace{e^{\beta t} \cos \omega_0 t}_{\text{阻尼运动}} + \theta_2 \underbrace{\cos \omega t}_{\text{强迫力作用}}$

$$\text{其中 } \theta_2 = \frac{m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \quad \varphi = \arctg \frac{2\beta \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

5. 共振条件

振幅 极值条件: $\frac{\partial \theta_2}{\partial \omega} = 0$ 由(1)式得 $\frac{\partial}{\partial \omega} [(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2] = 0$

当强迫力矩的圆频率 $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ 时产生共振

$$\beta \text{ 有极值时: } \omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \quad \theta_r = \frac{m}{2\beta \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \quad (6) \quad (7)$$

暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

当 β 越小, 共振时圆频率越接近系统的固有频率, θ 也越大
实验内容:

1. 测量自由振动状态下的振幅及与之相对应的频率 (数据表格1)

2. 测定阻尼系数 β (数据表格2)

$$\text{测得振幅数值 } \theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n \quad \ln \frac{\theta_0 e^{\beta t}}{\theta_n e^{\beta n T}} = n \beta T = \ln \frac{\theta_0}{\theta_n} \quad (8)$$

由 $5\beta T = \ln \frac{\theta_0}{\theta_n}$ ($n=0, 1, 2, 3, 4$) 求得 5β 值, 求平均。

3. 测量受迫振动时的幅频特性和相频特性曲线

测定 φ 时, 计算平均值。①做幅频特性 $(\frac{\theta}{\theta_r})^2 \sim \frac{\omega^2}{\omega_0^2}$ 曲线, 由曲线求 β 值。

若阻尼系数满足 $\beta^2 < \omega_0^2$ 时, 在共振位置附近 $(\omega \approx \omega_r)$ 由于 $\omega_0^2 - \omega^2 \approx 2\omega(\omega_r - \omega)$

$$\text{式(4)与(7)可得 } (\frac{\theta}{\theta_r})^2 = \frac{\beta^2}{(\omega - \omega_r)^2 + \beta^2} \quad (9)$$

当 $\theta = \frac{1}{2} \theta_r$ 即 $(\frac{\theta}{\theta_r})^2 = \frac{1}{4}$ 时, $\omega - \omega_r = \pm \beta$ 由此得 $\beta = \frac{\omega_0^2 - \omega_1^2}{2}$

②做相频特性曲线 $\varphi \sim \frac{\omega}{\omega_0}$ (数据表格3)

逻辑与条理

暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

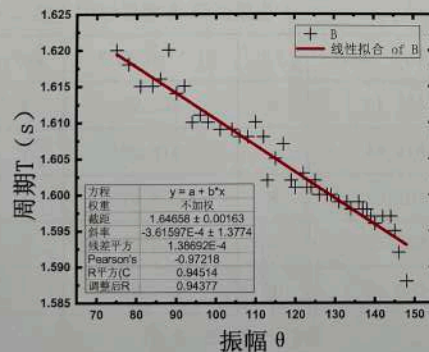
4. 数据处理
与记录

1. 摆轮振幅 θ 与系统固有周期 T 的对应关系

表 1 摆轮振幅 θ 与系统固有周期 T 的对应关系

| 振幅 θ | 周期 T (s) | 振幅 θ | 周期 T (s) | 振幅 θ | 周期 T (s) |
|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 148 | 1.588 | 128 | 1.6 | 106 | 1.608 |
| 146 | 1.592 | 126 | 1.6 | 104 | 1.609 |
| 145 | 1.595 | 125 | 1.602 | 101 | 1.609 |
| 144 | 1.597 | 124 | 1.601 | 98 | 1.61 |
| 142 | 1.597 | 123 | 1.601 | 96 | 1.611 |
| 140 | 1.596 | 122 | 1.603 | 94 | 1.61 |
| 139 | 1.597 | 120 | 1.601 | 92 | 1.615 |
| 138 | 1.598 | 119 | 1.602 | 90 | 1.614 |
| 137 | 1.598 | 117 | 1.607 | 88 | 1.62 |
| 136 | 1.599 | 115 | 1.605 | 86 | 1.616 |
| 134 | 1.598 | 113 | 1.602 | 84 | 1.615 |
| 133 | 1.599 | 112 | 1.608 | 81 | 1.615 |
| 131 | 1.599 | 110 | 1.61 | 78 | 1.618 |
| 129 | 1.6 | 108 | 1.608 | 75 | 1.62 |

表 2 摆轮振幅 θ 与系统固有周期 T 的对应关系与拟合曲线



暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

2. 测定阻尼系数 β

图 2 阻尼导致的振幅衰减

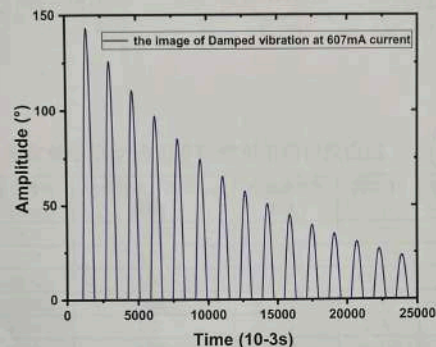


表 2 测定阻尼系数 β 所选数据

| 次数 | 振幅 $\theta_n(^{\circ})$ | 次数 | 振幅 $\theta_n(^{\circ})$ | $\ln \theta_i/\theta_{i+5}$ |
|--------------------------------|-------------------------|----|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | 97.538 | 6 | 51.443 | 0.639 |
| 2 | 85.314 | 7 | 45.416 | 0.631 |
| 3 | 74.618 | 8 | 40.407 | 0.613 |
| 4 | 65.874 | 9 | 35.357 | 0.622 |
| 5 | 58.234 | 10 | 30.985 | 0.631 |
| ln θ_i/θ_{i+5} 平均值 | | | | 0.627 |

注: 以上计算数据已用Excel函数解决

暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 周期 T (s) | 1.613 | 1.613 | 1.602 | 1.596 | 1.613 | 1.607 | 1.607 | 1.596 | 1.602 | 1.602 |
| T 平均 | 1.605 | | | | | | | | | |

注: 以上数据求平均值已用Excel函数解决。

$$\text{由 } 5\beta T = \ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}} \Rightarrow \beta = \frac{\ln \frac{\theta_i}{\theta_{i+5}}}{5T} = \frac{0.627}{5 \times 1.605} \approx 0.07813 \text{ rad/s}$$

3. 测定受迫振动的幅度特性和相频特性曲线 (600 mA 电流下)

| 电机转速 (Hz) | 电机周期 (强迫力矩周期) | 相位差读取值 $\varphi(^{\circ})$ | 读取值 $\theta(^{\circ})$ | 查表 1 得到与振幅对应的固有周期 T_0 |
|-----------|---------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1800 | 1.766 | 14 | 22.796 | 1.618 |
| 1850 | 1.744 | 17 | 29.626 | 1.619 |
| 1900 | 1.689 | 23 | 43.834 | 1.622 |
| 1950 | 1.64 | 44 | 75.75 | 1.617 |
| 2000 | 1.604 | 85 | 112.436 | 1.608 |
| 2050 | 1.566 | 145 | 60.916 | 1.618 |
| 2100 | 1.532 | 157 | 37.87 | 1.601 |
| 2150 | 1.484 | 162 | 26.061 | 1.611 |
| 2200 | 1.459 | 165 | 19.843 | 1.619 |

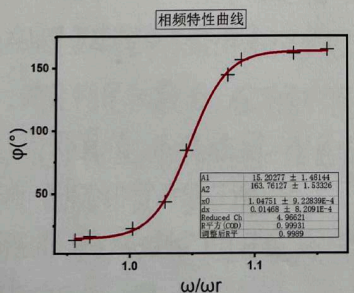
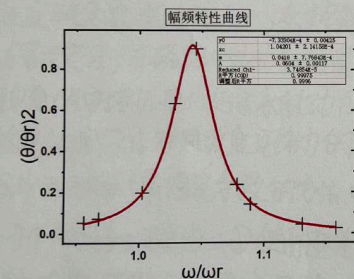
$$\text{由: } \omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$\left(\frac{\theta}{\theta_r}\right)^2 = \frac{4\beta^2 \omega_r^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}$$

可得下表数据 (已用Excel函数计算)

逻辑与条理

| 强迫力 矩周期 (s) | 相位差 读取值 $\phi(^{\circ})$ | 测量值 $\theta(^{\circ})$ | ω_0 | ω | ω_r | ω/ω_r | $(\theta/\theta_r)'$ | $\phi = \arctan(-2\omega\beta)/(\omega_0^2 - \omega^2)$ |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|------------|----------|------------|-------------------|----------------------|---|
| 1.766 | 14 | 22.796 | 3.883 | 3.558 | 3.723 | 0.956 | 0.055 | -40.6 |
| 1.744 | 17 | 29.626 | 3.881 | 3.603 | 3.72 | 0.968 | 0.073 | -47.5 |
| 1.689 | 23 | 43.834 | 3.874 | 3.720 | 3.713 | 1.002 | 0.198 | -83.2 |
| 1.64 | 44 | 75.750 | 3.886 | 3.831 | 3.725 | 1.028 | 0.633 | -172.5 |
| 1.604 | 85 | 112.436 | 3.907 | 3.917 | 3.748 | 1.045 | 0.901 | 260.4 |
| 1.566 | 145 | 60.916 | 3.883 | 4.012 | 3.723 | 1.078 | 0.236 | 99.4 |
| 1.532 | 157 | 37.87 | 3.924 | 4.101 | 3.766 | 1.089 | 0.142 | 76.4 |
| 1.484 | 162 | 26.061 | 3.900 | 4.234 | 3.74 | 1.131 | 0.043 | 43.0 |
| 1.459 | 165 | 19.843 | 3.881 | 4.306 | 3.72 | 1.158 | 0.026 | 34.3 |



当 $(\frac{\omega}{\omega_r})^2 = \frac{1}{2}$ 时, 有 $\frac{\omega_1}{\omega_r} = 1.022966$

$$\frac{\omega_2}{\omega_r} = 1.061026675$$

$$\therefore \beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2}$$

$$\therefore \text{有 } \beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2} = (\frac{\omega_2}{\omega_r} - \frac{\omega_1}{\omega_r}) \times \frac{\omega_r}{2}$$

$$\therefore \omega_r = (3.723 + 3.72 + 3.713 + 3.725 + 3.723 + 3.748 + 3.766 + 3.74 + 3.72) / 9 \approx 3.731 \text{ rad/s}$$

$$\Rightarrow \beta = (1.061026675 - 1.022966) \times \frac{3.731}{2}$$

$$\approx 0.0710022$$

$$= 0.07100 \text{ rad/s}$$

与内容2所得 $\beta = 0.07813$ 处于同数量级。

五、思考题

1. 原理上分析受迫振动的振幅和相位与哪些因素有关?

答: ①与驱动周期和固有周期之比有关, 当电动机频率与物体固有频率接近时, 当受迫振动达到稳定后, 振幅最大, 发生共振。

②与阻尼大小有关, 当阻尼越大时, 物体的共振振幅将越小。

③同时, 当电动机频率与物体固有频率相近时, 相位差接近 90° 。

④相位差与电动机频率大小成正比。

2. 阻尼力用什么方法使阻尼力发生巨变化? 请简述原理?

答: 改变实验电源的电流大小, 来控制摆动装置中的阻尼线圈电流大小。原理: 楞次定律; 在磁场中运动的线圈, 产生感应电动势, 产生感应电流, 感应电流对原电流产生阻力, 形成与原转动方向相反阻力偶矩, 从而出现阻尼作用, 这里的电源电流可改变阻力的大小, 从而使阻尼力发生改变。

3. 实验中两种测量阻尼系数的方法, 哪种更好, 为什么?

答: 第一种中较好; 理由: ①使用逐差法, 消除一定误差。

②第二种系数由拟合曲线决定, 有一定误差, 从而使计算值不准确。

4. 为什么在实验过程中不能任意改变阻尼系数?

答: 原因: 改变阻尼系数后, 在不同转速的驱动下, 会使振幅、相位出现离开偏真值, 不能在同一阻尼的基础上进行实验, 使得到的幅频、相频曲线严重不准确。

②本实验就是为了观测阻尼系数, 若其任意改变, 则无法测量。九、误差分析与实验心得。

暨南大学本科实验报告专用纸(附页)

误差分析: ①使用Origin Pro 2021 取点有一定的测量误差。

②使用Origin Pro 2021 进行曲线拟合有一定的拟合误差, 我们进行了100次迭代, 从而有效减少误差。

③第二部份与第三部份的电流值分别为607mA与600mA, 计算所得的阻尼 $\beta_1 = 0.07813 \text{ rad/s}$ 与 $\beta_2 = 0.07100 \text{ rad/s}$ 正好印证电流与阻尼大小成正比, 这是一个合理的实验、合理的数据处理。

实验心得: ①本次实验, 我深刻理解了阻尼振动的基本规律。

②我认识到不同阻尼对自由振动的影响。

③体会到数学分析与物理数据处理的重要性, 但也使我对物理的选择更加坚定。

教学辅助工具



<https://jnu.drpai.com.cn/drpai/#>

用户名: 学号

初始密码: 123456aA



教师

学生

请选择学校

请选择所属学校

暨南大学

暨南大学 设计实验课程

请输入登录密码

暨南大学 设计实验课程

登录



An aerial photograph of a university campus. In the foreground, a large, paved plaza with a grid pattern leads towards a large, modern university building with a prominent central entrance. The building has a reddish-brown facade and multiple stories. To the left and right of the main building are other campus structures and lush green trees. In the background, a dense urban skyline with numerous high-rise apartment buildings is visible under a clear sky. A large, semi-transparent red rectangular box is overlaid on the left side of the image, containing the text 'THANK YOU!' in white, bold, sans-serif capital letters.

THANK YOU!