

# 1 利用单摆测重力加速度

## 1.1 单摆模型

- 摆线不可延长
- 摆线长远远大于摆球的直径
- 摆球的质量远远大于摆线的质量

## 1.2 原理

当单摆摆角很小 (小于  $10^\circ$ ) 时, 可以假设为简谐运动, 其固有周期为  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , 由公式可得  $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$

## 1.3 问题

- $T^2 - L$  关系曲线不通过原点的原因
  - 摆线长度测量误差
  - 摆角较大
  - 小球体积较大
  - 空气浮力与摩擦阻力

## 2 温度传感器的特性研究

热敏电阻的分类: 负温度系数 (NTC), 临界温度系数 (CTR), 正温度系数 (PTC)

### 2.1 传感器

- NTC 热敏电阻温度传感器

$$R_T = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \quad (T < 450^\circ)$$

$B$  为热敏电阻材料系数, 在小温度范围 ( $T < 450^\circ$ ) 内,  $B$  为常数,  $T_0$  是室温,  $R_0$  为  $0^\circ C$  时的电阻值

- PT100 铂温度传感器

$$R_T = \begin{cases} R_0(1 + AT + BT^2 + CT^3) & -200^\circ C < T < 0^\circ C \\ R_0(1 + AT + BT^2) & 0^\circ C < T < 850^\circ C \\ R_0(1 + A_1 T) & 0^\circ C < T < 100^\circ C \end{cases}$$

$A = 3.90802 \times 10^{-3} / ^\circ C$ ,  $B = -5.80195 \times 10^{-7} / ^\circ C$ ,  $C = -4.27350 \times 10^{-12} / ^\circ C$ ,  $A_1 = 3.85 \times 10^{-3} / ^\circ C$

$R_0 = 100\Omega$ ,  $R_{100} = 138.5\Omega$

- PN 结温度传感器

$$U = Kt + U_{go}$$

$U$  为 PN 结的正向电压,  $t$  为摄氏温度,  $U_{go}$  为半导体材料的参数,  $K$  为 PN 结的结电压温度

- 电流型集成温度传感器 (AD590)

$$I = Bt + I_0$$

## 2.2 问题

- 主要误差来源

安装不当, 绝缘变差, 热惰性, 热阻引起的误差

- NTC 热敏电阻的电流应小于  $300\mu A$

温度升高时, NTC 电阻值变小, 电流增大, 电流大于  $300\mu A$  时 m 接近电阻的最大耐受功率, 再升高电流 m 电阻会烧毁, 影响测量结果. 串联一个电阻解决问题.

## 3 霍尔效应

### 3.1 副效应

- 厄廷豪森效应
- 能斯特效应（热磁效应）
- 里纪-勒杜克效应（热磁效应产生的温差）
- 不等位效应（居首位）

副效应的消除  $V_H = \frac{V_1 - V_2 + V_3 - V_4}{4}$ , 厄廷豪森副效应除外

### 3.2 作图

- $U_H - I_S$   
 $K = \frac{R_H B}{d}$ ,  $U_H = K_H I_S B$ , 从而确定霍尔系数  $R_H$ , 载流子浓度  $n$ , 霍尔灵敏度  $K_H$

### 3.3 问题

- 当外加磁场与霍尔片不垂直时, 如何获得霍尔电压与  $I_S$  的关系  $m$  以及霍尔系数等参数

比实际值偏小, 应计算磁感应强度与霍尔片之间的夹角

## 4 弹簧振子的研究

### 4.1 测量方法

胡克定律: 弹簧在外力作用下将产生形变 (即伸长或缩短). 在弹性限度内, 外力  $F$  和它的变形量成正比.  $F = -ky$

伸长法测弹簧倔强系数  $mg = -ky \Rightarrow y = \frac{mg}{k} = \frac{g}{k}m$

周期法测弹簧倔强系数  $F = -kx = ma \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m+pm_0}{k}}$

$p$  为待定系数, 柱形弹簧越  $\frac{1}{3}$ ,  $pm_0$  为有效弹簧质量

### 4.2 问题

- 在测量任意弹簧的劲度系数时, 若实砝码盘内砝码的质量呈等差级数列, 而所测得的弹簧的伸长量并非等间隔的变化, 分析出现这种结果的原因.

弹簧的劲度系数不确定, 砝码长时间使用后质量不标准, 砝码质量超过了弹簧的极限

## 5 惠斯通电桥测量中值电阻

电桥平衡时, 当闭合  $K$  时,  $G$  中无电流,  $U_{AB} = U_{AD}$ ,  $U_{BC} = U_{DC}$ , 即  $I_1 R_x = I_2 R_4$ ,  $I_1 R_2 = I_2 R_3$ , 由此可得

$$R_x = \frac{R_2}{R_3} R_4$$

即  $R_x R_3 = R_2 R_4$ , 两相对桥臂电阻的乘积相等

### 5.1 影响电桥灵敏度的因素

- 与检流计的电流灵敏度  $S_i$  成正比, 但不是越大越好 (不易稳定, 不易调平衡)
- 与电源的电动势  $E$  成正比
- 与电源的内阻  $r_E$  和串联的限流电阻  $R_E$  有关. 增加  $R_E$  可降低电桥的灵敏度
- 与检流计的内阻  $R_G$  有关,  $R_G$  越小越灵敏

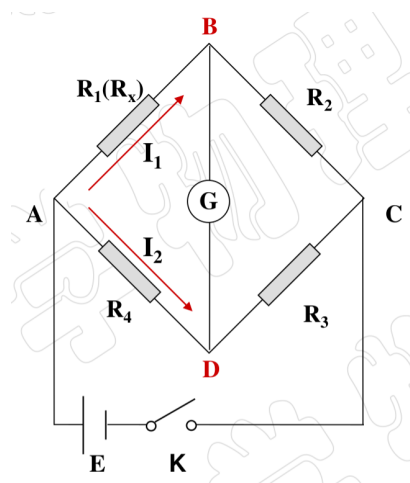


图 5.1: 惠斯通电桥结构

## 6 牛顿环测平面凹透镜曲率半径

光波入射到薄膜, 经薄膜上下表面反射而产生的干涉现象称为薄膜干涉.

### 6.1 条纹类型

**等倾条纹** 薄膜厚度均匀时, 光线入射在薄膜上所才产生的的干涉现象, 即同一条纹相应入射光的**同一倾角**.

**等厚条纹** 薄膜厚度不均匀时, 光线入射在薄膜上所才产生的干涉现象, 即同一条纹相应膜的**同一厚度**.

### 6.2 牛顿环

$k$  级暗环  $r_k = \sqrt{k\lambda R}$

$k$  级明环  $r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)\lambda R}{2}}$

曲率半径  $R$   $R = \frac{(r_m^2 - r_n^2)}{(m-n)\lambda} = \frac{(D_m^2 - D_n^2)}{4(m-n)\lambda}$

### 6.3 问题

- 膜为何要薄?

光的相干长度所限

- 若牛顿环中心是亮斑而不是暗斑, 可能是什么原因造成的? 对测量结果有无影响?

可能原因时空气间隙层有人尘埃附加光程差. 对结果无影响, 附加光程差是恒定的, 可测量暗环消除误差.



## 7 非线性元件的伏安特性

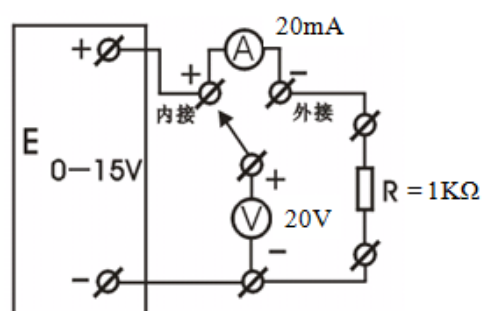


图 7.1: 电路图

## 8 用气垫导轨验证动量守恒定律

动量  $\vec{P} = m\vec{v}$

速度测量  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t_1}$

加速度测量  $a = \frac{\Delta x^2}{2s} \left( \frac{1}{\Delta t_2^2} - \frac{1}{\Delta t_1^2} \right)$

恢复系数  $e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}}$

碰撞  $\begin{cases} \text{完全弹性碰撞, 动量守恒, } e = 1 & \frac{1}{2}m_1v_{10}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{20}^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \\ \text{非完全弹性碰撞, 动能损失一部分, } 0 < e < 1 & \frac{1}{2}m_1v_{10}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{20}^2 > \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \\ \text{完全非弹性碰撞, 动能损失最大, } e = 0 & m_1v_{10} + m_2v_{20} = (m_1 + m_2)v \end{cases}$

### 8.1 问题

- 使用气垫导轨要注意哪些问题, 如何调节气垫导轨水平?

保持气垫导轨表面的平直度和光洁度, 滑块的类表面光洁度, 应严防划伤, 碰坏, 实验过程中不得移动导轨的位置.

粗调和细调

- 恢复系数  $e$  可能小于 0 吗? 为什么?

不可能

- 牛顿第二定律推导出动量守恒定律

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} F_{12} dt &= m_2v_2 - m_2v_{20} \\ \int_{t_1}^{t_2} F_{21} dt &= m_1v_1 - m_1v_{10} \\ \int_{t_1}^{t_2} F_{12} + F_{21} dt &= (m_2v_2 + m_1v_1) - (m_2v_{20} + m_1v_{10}) = 0 \\ (m_2v_2 + m_1v_1) &= (m_2v_{20} + m_1v_{10}) \end{aligned}$$

## 9 扭摆法测定刚体转动惯量

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{K}}$$

$$K = 4\pi^2 \frac{J_{\text{载物盘}}}{T_{\text{载物}}^2 - T_{\text{载物盘}}^2}$$

**平行轴定理** 平行轴定理能够很简易地, 从刚体对于一支通过质心的直轴 (质心轴) 的转动惯量, 计算出刚体对平行于质心轴的另外一支直轴的转动惯量.

$$J_{Z'} = J_Z + ML^2$$

### 9.1 问题

- 为何要测量扭转常数  
每个弹簧不一样

# 10 磁场的描绘

## 载流圆线圈

**亥姆霍兹线圈** 亥姆霍兹线圈由一对半径与匝数均相同的圆线圈组成, 两线圈置于平行且共轴的位置, 线圈间距正好等于其半径, 坐标原点取在两线圈中心轴连线的中央点处.

# 11 示波器的原理和使用

## 11.1 组成

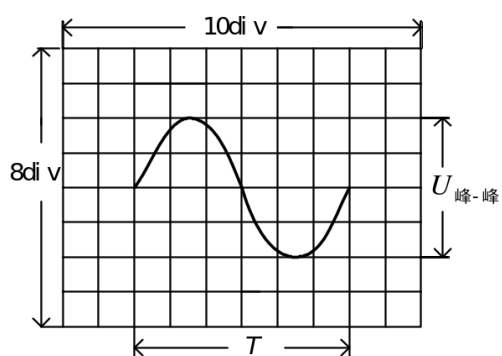
示波管 (CRT), 电子放大系统, 扫描触发系统, 电源

## 11.2 读数

$$U_{pp} = Y \times V/div$$

$$T = X \times T/div$$

### 11.2.1 例子

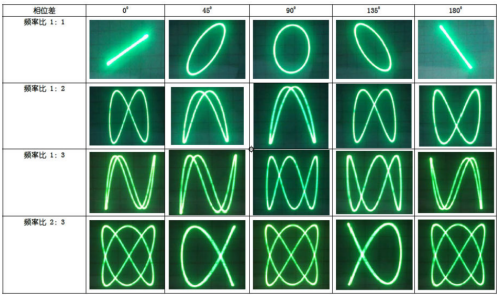


$2V/div, 0.5ms/div$

$$U_{pp} = 2 \times 4 = 8v$$

$$T = 6 \times 0.5 = 3ms$$

# 11.3 李萨如图形



# 11.4 问题

- 打开示波器电源后看不到图像的原因  
亮度不够, 扫描线和光点不在显示区
- 李萨如图形抖动原因  
不是整数倍

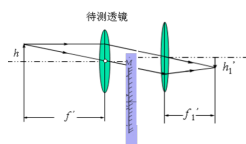
# 12 薄透镜焦距的测定

薄透镜成像公式:  $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

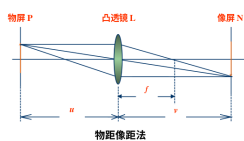
凸透镜成像规律:

$u > 2f$	倒立缩小实像
$u = 2f$	倒立等大实像
$f < u < 2f$	倒立放大实像
$u < f$	正立放大虚像

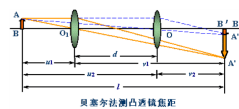
## 12.1 薄凸透镜焦距的测定方法



自准值法 (平面镜法)

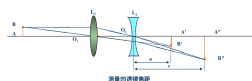


物距像距法



共轭法 (贝塞尔法, 二次成像法, 位移法)

## 12.2 凹透镜焦距的测定



# 13 实验

## 13.1 测量

直接测量, 间接测量

## 13.2 误差

误差是指测量值  $x$  与被测量的真值  $x_0$  之差:  $\delta = x - x_0$

### 13.2.1 误差分类

- 系统误差
  - 仪器误差
  - 环境误差
  - 实验方法误差
  - 人员误差
- 随机误差

### 13.2.2 误差表现形式

- 绝对误差,  $\delta = x - x_0$
- 相对误差,  $E = \frac{\delta}{x}$
- 引用误差 = 绝对误差/测量范围上限

### 13.2.3 误差处理

- 系统误差处理
  - 替代法
  - 补偿法
  - 交换法
  - 随机法
- 随机误差处理



- 随机误差的概率统计
- 随机误差的特性
- 算数平均值与标准偏差

$$\text{列标准误差 } \sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}{n}}$$

$$\text{子样标准差 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\text{算数平均值标准差 } S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

### 13.3 不确定度

$$u_A = S_{\bar{x}}$$

$$u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}}$$

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

### 13.4 数据处理

列表法, 作图法, 逐差法, 最小二乘法