

# 实验报告

12

课程名称:

实验名称: 力学基础量测量 实验日期: 2023 年 4 月 20 日 上午

班级:

教学班级: 张力达老师班 学号:

## 一. 实验目的

1) 通过测定规则与不规则形状物体的温度, 掌握常规测量工具的使用, 完成长度及质量两个基本量的测量, 在实践中掌握“不确定度”理论。

2) 利用“可变摆长测 g 仪”测定本地的重力加速度, 用延展法完成时间基本量的测量。

## 二. 实验仪器

游标卡尺、螺旋测微尺、物理天平、可变摆长测 g 仪、毫秒计、温度计、比重瓶。

## 三. 实验原理

### 1. 固体(规则形状)密度的测量

设物体的质量为  $m$ , 均匀分布, 体积为  $V$ , 则其密度  $\rho = \frac{m}{V}$ ,  $m$  可用物理天平直接测量,  $V$  可以使用长度测量仪器, 经过间接测量的方法确定。

### 2. 固体(不规则形状)密度的测量

对于不规则物件,  $V$  可以根据阿基米德原理间接测定。  
如果物件的  $\rho > 1$ , 其在空气和完全浸在液体中所测得的重要分别为  $W_1 = m_1 g$  和  $W_2 = m_2 g$ , 设液体  $\rho'$ , 可推得:  $\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho'$   
如果物件的  $\rho < 1$ , 并以水为媒介测其密度时, 则应首先确定被测物件的实际质量  $m_1$ , 然后在被测物下方用细线连接一重坠, 并使重坠完全浸入液体中, 称出此时两个物件的视质量  $m_2$ , 最后将被测物件和重坠同时浸入液体中, 称出此时的视质量  $m_3$ , 可推得被测物件的密度为  $\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \rho'$

### 3. 散状(颗粒)密度的测量

利用比重瓶和蒸馏水可以测量不溶于水粉末、颗粒等单体较小物质的密度。其基本原理仍是  $\rho = \frac{m}{V}$ ,  $V$  要间接获得。比重瓶盖上有毛细管, 当比重瓶注满水并盖上瓶盖时, 多余的水就从毛细管溢出, 这样瓶内水(或加上待测固体)的体积总是固定的。依次测出, 待测颗粒物质的质量  $m_1$ , 盛满水后比重瓶和水的总质量  $m_2$ , 加入颗粒物质后的总质量  $m_3$ , 则被颗粒排出比重瓶的水的质量是  $m_1 + m_2 - m_3$ , 排出的水的体积就是质量为  $m_1$  的颗粒物质的体积。所以, 被测物体的密度为  $\rho = \frac{m_1}{m_1 + m_2 - m_3} \rho_0$

### 4. 重力加速度“g”的测量

重力加速度  $g$  是科学与工程中常用到的重要参量。本实验所采用的可变摆长测 g 仪, 可以快速而准确地测定本地的重力加速度。根据单摆的振动周期公式  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ , 当单摆的摆长分别为  $L_1$  和  $L_2$  时, 可推导出  $g = \frac{4\pi^2(L_2 - L_1)}{T_2^2 - T_1^2}$

联系方式:

指导教师签字:



# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日  
班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

## 四、实验内容及步骤

### 1. 利用物理天平测量固体密度

- (1) 调整天平底座水平: 使水准器中的气泡位于中心, 天平底板水平。
- (2) 把游码移到横梁左端零线上, 顺时针打开旋钮开关支起横梁, 如天平不平衡, 应关闭天平。调节平衡螺母重复此步骤直至指针指到标盘中心为止。
- (3) 测定  $\rho < 1$  的形状不规则物体的密度: 同上步骤测定待测物体的质量  $m_1$ ; 再将盛水的烧杯放置在天平左边的托盘上, 然后将与被测物连接的重坠完全浸入水中, 测出此时的视质量  $m_2$ ; 最后将被测物体和重坠一同完全浸入水中, 测出此时的视质量  $m_3$ 。由公式(2)确定被测物体的密度, 并确定结果的不确定度范围。

### 2. 利用比重瓶测量颗粒物质的密度

利用比重瓶和蒸馏水测定给定颗粒物质的密度。注意: 每次测量质量前, 要擦干净比重瓶上的水。

### 3. 利用可变摆长测“g”仪测定本地重力加速度

实验中, 测量摆长变化所用的高度尺的允许误差极限为  $0.02\text{mm}$ ; 用于摆动周期测定的《通用电脑式毫秒计》的允许误差极限按  $0.1\text{ms}$  计算。

- (1) 摆长的变化量  $\Delta L = L_i - L_j$  应选择为  $10\text{cm}$ 、 $30\text{cm}$ 、 $50\text{cm}$ , 以判定  $\Delta L$  的大小对测量结果精度的影响。
- (2) 采用“延展法”测量单摆的振动周期, 即: 通过测量单摆 10 个摆动周期所用时间, 而确定一个周期的大小。
- (3) 由原理公式确定本地重力加速度  $g$  的量值, 并根据测量仪器精度确定测量结果的不确定度范围。

### 注意:

- (1) 测量单摆的摆动周期时, 应保证单摆的摆角  $\leq 5^\circ$ , 并保持单摆在同一平面内摆动。
- (2) 改变摆长时, 必须先将仪器的夹线器的螺丝放松。正式测量时, 则应将夹线器的螺钉拧紧, 以保证摆长变化的准确。

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_



# 实验一 力学基本量测量

## 1. 形状规则物体（铝件）的密度测量：（游标卡尺测量其体积）

游标卡尺（均匀矩形分布，置信度 100%）： $\Delta_{ins} = 0.02\text{mm}$ ，包含因子  $k = \sqrt{3}$

直接测量量 测量次数	D(mm)	H(mm)	d(mm)	h(mm)
1	25.20	33.02	12.00	22.12
2	25.22	33.04	11.96	21.94
3	25.24	33.10	12.02	22.14
4	25.22	33.06	12.00	22.00
5	25.24	33.04	12.02	21.98
6	25.24	33.08	12.00	21.96
7	25.26	33.06	12.02	22.04
平均值 $\bar{x}$ (mm)	25.231	33.057	12.003	22.026
实验标准偏差 $S_x$ (mm)	0.0195	0.0269	0.0214	0.0780
不确定度 A 类分量 $u_A$ (mm)	0.007	0.010	0.008	0.03
不确定度 B 类分量 $u_B$ (mm)	0.012	0.012	0.012	0.012
合成标准不确定度 $u_C$ (mm)	0.014	0.016	0.014	0.03
直接测量量 $\bar{x}(u_C)$ (mm)	25.231(0.014)	33.057(0.016)	12.003(0.014)	22.03(0.03)
间接测量量 $V(u_V)$ (mm) <sup>3</sup>	14036(21)			

物理天平（正态分布，置信度 90%）： $\Delta_{ins} = 0.05\text{g}$ ，包含因子  $k = 1.645$

铝件质量： $m(u_m) = 37.65(0.03)\text{g}$ ，铝件密度  $\rho(u_\rho) = 0.002682(0.000005)\text{g/mm}^3$

写出  $u_\rho$  表达式： $u_\rho = \sqrt{\left(\frac{4u_C(m)}{\pi D^2 H - d^2 h}\right)^2 + \left(\frac{-8mDH u_C(D)}{\pi D^2 H - d^2 h}\right)^2 + \left(\frac{8mdh u_C(d)}{\pi D^2 H - d^2 h}\right)^2 + \left(\frac{-4mD^2 u_C(H)}{\pi D^2 H - d^2 h}\right)^2 + \left(\frac{4md^2 u_C(h)}{\pi D^2 H - d^2 h}\right)^2}$

## 2. 形状不规则物体密度：（聚丙烯测件 $\rho < 1$ ，阿基米德原理）

水温  $t = 22.0^\circ\text{C}$

水的密度  $\rho' = 0.997795\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

待测物体在空气中的质量 $m_1$ (g)	11.10
物空气中+坠子在水中视质量 $m_2$ (g)	21.25
物和坠子都浸入水中视质量 $m_3$ (g)	8.85
物体密度 $\rho = m_1 \rho' / (m_2 - m_3)$ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	0.893
相对不确定度 $E$ (%)	0.96%
绝对不确定度 $u_\rho = \rho \times E$ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	0.008
物体密度 $\rho(u_\rho)$ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	0.893(0.008)

物理天平： $\Delta_{ins} = 0.05\text{g}$ ，包含因子  $k = 1.645$

写出相对不确定度表达式  $E = \sqrt{\left(\frac{1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2}$ 。

思考题：1.



# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

## 数据处理 (规则物件铝件)

1. 平均值:  $\bar{D} = \frac{1}{7} (25.20 + 25.22 + 25.24 + 25.22 + 25.24 + 25.24 + 25.26) = 25.231 \text{ mm}$   
 $\bar{H} = \frac{1}{7} (33.02 + 33.04 + 33.10 + 33.06 + 33.04 + 33.08 + 33.06) = 33.057 \text{ mm}$   
 $\bar{d} = \frac{1}{7} (12.00 + 11.96 + 12.02 + 12.00 + 12.02 + 12.00 + 12.02) = 12.003 \text{ mm}$   
 $\bar{h} = \frac{1}{7} (22.12 + 21.94 + 22.14 + 22.00 + 21.98 + 21.96 + 22.04) = 22.026 \text{ mm}$

2. 实验标准偏差:  $S_D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{7-1}} = 0.0195 \text{ mm}$   $S_{\bar{D}} = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{7-1}} = 0.0214 \text{ mm}$   
 $S_H = \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{7-1}} = 0.0269 \text{ mm}$   $S_{\bar{H}} = \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{7-1}} = 0.0780 \text{ mm}$   
 $S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{7-1}} = 0.008 \text{ mm}$   $S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{7-1}} = 0.008 \text{ mm}$   
 $S_h = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \bar{h})^2}{7-1}} = 0.029 \text{ mm}$   $S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \bar{h})^2}{7-1}} = 0.029 \text{ mm}$

3. 不确定度 A 类分量:  $D: U_A = \frac{S_D}{\sqrt{7}} = 0.007 \text{ mm}$   
 $H: U_A = \frac{S_H}{\sqrt{7}} = 0.010 \text{ mm}$   
 $d: U_A = \frac{S_d}{\sqrt{7}} = 0.008 \text{ mm}$   
 $h: U_A = \frac{S_h}{\sqrt{7}} = 0.029 \text{ mm}$

4. 不确定度 B 类分量:  $U_B = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ mm}$

5. 合成标准不确定度:  $D: U_c = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.014 \text{ mm}$   
 $H: U_c = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.016 \text{ mm}$   
 $d: U_c = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.014 \text{ mm}$   
 $h: U_c = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.03 \text{ mm}$

6. 直接测量量:  $D: 25.231 (0.014) \text{ mm}$   $d: 12.003 (0.014) \text{ mm}$   
 $H: 33.057 (0.016) \text{ mm}$   $h: 22.03 (0.03) \text{ mm}$

7. 间接测量量:  $V = \frac{\pi}{4} D^2 H - \frac{\pi}{4} d^2 h$   
 $\frac{\partial V}{\partial D} = \frac{\pi}{2} D H$   $\frac{\partial V}{\partial H} = \frac{\pi}{4} D^2$   $\frac{\partial V}{\partial d} = -\frac{\pi}{2} d h$   $\frac{\partial V}{\partial h} = -\frac{\pi}{4} d^2$

$U_V = \sqrt{(\frac{\pi}{2} D H)^2 U_c^2(D) + (\frac{\pi}{4} D^2)^2 U_c^2(H) + (-\frac{\pi}{2} d h)^2 U_c^2(d) + (-\frac{\pi}{4} d^2)^2 U_c^2(h)}$

联系方式: \_\_\_\_\_ 代入数据, 得  $U_V = 20.8749 = 21 \text{ mm}$  (首位为 2 保留两位) 指导教师签字: \_\_\_\_\_

# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H - \frac{\pi}{4} d^2 h = \frac{\pi}{4} \times 25.23^2 \times 33.057 - \frac{\pi}{4} \times 12.003^2 \times 22.026 = 14035.75 \text{ mm}^3$$

间接测量结果, 不确定度有效数字所在位的测量结果有效数字可疑位对齐.  $\therefore$  间接测量量  $V(U_V) = 14036(21) \text{ mm}^3$

8. 铝件质量的不确定度:

质量只测一次, 只有B类不确定度  $U_m = U_m = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{0.05}{1.645} = 0.03 \text{ g}$

$\therefore$  铝件质量  $m(U_m) = 37.65(0.03) \text{ g}$

9. 求铝件密度

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{37.65}{14036} = 0.002682 \text{ g/mm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi(D^2 H - d^2 h)} \quad \frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{4}{\pi(D^2 H - d^2 h)} \quad \frac{\partial \rho}{\partial D} = \frac{-8mDH}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial d} = \frac{8mdh}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2} \quad \frac{\partial \rho}{\partial H} = \frac{-4mD^2}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2} \quad \frac{\partial \rho}{\partial h} = \frac{4md^2}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2}$$

$$U_\rho = \sqrt{\left[\frac{4}{\pi(D^2 H - d^2 h)}\right]^2 U_m^2 + \left[\frac{-8mDH}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2}\right]^2 U_D^2 + \left[\frac{8mdh}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2}\right]^2 U_d^2 + \left[\frac{-4mD^2}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2}\right]^2 U_H^2 + \left[\frac{4md^2}{\pi(D^2 H - d^2 h)^2}\right]^2 U_h^2}$$

将数据代入, 得  $U_\rho = 0.000005 \text{ g/mm}^3$

$\therefore \rho(U_\rho) = 0.002682(0.000005) \text{ g/mm}^3$

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_



# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

## 数据处理(不规则物体)

1. 求密度:

$$\rho = \frac{m_1 \rho'}{m_2 - m_3} = \frac{11.10 \times 0.997795}{21.25 - 8.85} = 0.893 \text{ g/cm}^3$$

2. 求相对不确定度

三个质量均只测了一次  $\Rightarrow$  只有B类不确定度, 且三个直接测量量的 $U_B$ 相同.  
 $U_B = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{k} = \frac{0.05}{1.645} = 0.03 \text{ g}$

② 推导相对不确定度

$$\text{由 } \rho = \frac{m_1 \rho'}{m_2 - m_3} \Rightarrow \ln \rho = \ln m_1 + \ln \rho' - \ln(m_2 - m_3)$$

$$\frac{\partial \ln \rho}{\partial m_1} = \frac{1}{m_1}, \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial m_2} = -\frac{1}{m_2 - m_3}, \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial m_3} = \frac{1}{m_2 - m_3}$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial m_1}\right)^2 U^2(m_1) + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial m_2}\right)^2 U^2(m_2) + \left(\frac{\partial \ln \rho}{\partial m_3}\right)^2 U^2(m_3)} = U_B \sqrt{\left(\frac{1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{-1}{m_2 - m_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2}$$

代入数据解得:  $E = 0.009633 = 0.96\%$

3. 求绝对不确定度

$$U_p \pm \rho \cdot E = 0.893 \times 0.96\% = 0.008602 = 0.008 \text{ g/cm}^3$$

4. 物体密度:  $\rho(U_p) = 0.893(0.008) \text{ g/cm}^3$

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_

# 实验报告

课程名称: \_\_\_\_\_ 实验名称: \_\_\_\_\_ 实验日期: \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

班 级: \_\_\_\_\_ 教学班级: \_\_\_\_\_ 学 号: \_\_\_\_\_ 姓 名: \_\_\_\_\_

思考题: 已知金和铜密度分别为  $\rho_{Au}$  和  $\rho_{Cu}$ , 现有一块合金, 由金、铜两种成分构成, 用公式说明如何利用物理天平测定合金中金、铜重量之比  $\frac{W_{Au}}{W_{Cu}}$ . 设  $\rho_{Au}$ ,  $\rho_{Cu}$ ,  $\rho_{水}$  已知

用物理天平  
解: 测出合金在空气中的重量  $m_1$

再用物理天平完全浸在水中的重量  $m_2$

由前面实验可知:  $\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_{水}$

$$\text{而 } \rho = \frac{m_1}{V} = \frac{W_{Au} + W_{Cu}}{\frac{W_{Au}}{\rho_{Au}} + \frac{W_{Cu}}{\rho_{Cu}}} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_{水}$$

$$\text{则 } \frac{W_{Au}}{W_{Cu}} = \frac{m_1 \rho_{Au} \rho_{水} - (m_1 - m_2) \rho_{Au} \rho_{Cu}}{(m_1 - m_2) \rho_{Au} \rho_{Cu} - m_1 \rho_{Cu} \rho_{水}}$$

联系方式: \_\_\_\_\_

指导教师签字: \_\_\_\_\_

# 原始数据

年 月 日

第 页

1. 铝柱: (7次)

mm 外径: 25.20, 25.22, 25.24, 25.22, 25.24, 25.24, 25.26

mm 内径: 12.00, 11.96, 12.02, 12.00, 12.02, 12.00, 12.02

mm 高度: 33.02, 33.04, 33.10, 33.06, 33.04, 33.08, 33.06

mm 深度: 22.12, 21.94, 22.14, 22.00, 21.98, 21.96, 22.04

g 质量(1次): 37.65g

2. 不规则测件

$m_1(g)$ : 11.10g

$m_2(g)$ : 2.25g

$m_3(g)$ : 8.85g

$\rho$ : 0.997795 (22°C)

序号:	张力达		
时间:	年	月	日
上午	下午	晚上	