



南开大学

作业纸

系别 工科试验班 班级 电光5班 姓名 张恒硕 学号 2212266 第 1 页

组别座号: 43

日期: 4月28日, 星期五下午

力学实验报告: 长度密度测量

预习部分

目的要求

- 了解米尺、游标卡尺、螺旋测微器的测量原理和使用方法
- 熟悉仪器的读数规则及有效数字运算法则
- 掌握直接测量、间接测量的数据处理方法及测量不确定度估计
- 了解密度测定的基本方法
- 掌握物理天平和电子天平的结构原理、操作规程、使用和维护方法
- 掌握用静力称衡法测定不规则固体及液体密度的原理和方法
- 熟悉测量不确定度的估计方法

仪器用具

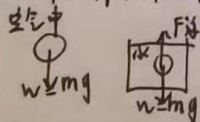
米尺、50分度游标卡尺、螺旋测微器、金属杯、钢球、电子天平(C-133-BS1100+型)、铁架台、待测样品、水、烧杯、温度计

原理

① 长度测量

- 米尺: 4种不同方法测教科书宽度
- 游标卡尺: 不同方位测平头、圆柱体内、外径、高、深度
- 螺旋测微器: 测钢球不同位置的三垂直方向直径

② 流体静力称衡法



$$W_1 = W - F_{\text{浮}} = m_1 g$$

$$\therefore F_{\text{浮}} = W - W_1 = (m - m_1) g$$

$$\text{又 } F_{\text{浮}} = \rho_0 g V$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\therefore \rho = \frac{m \rho_0}{m - m_1}$$

$$W'_2 = W - F'_{\text{浮}} = m_2 g$$

$$\text{有 } \rho = \frac{m \rho'}{m - m_2}$$

$$\therefore \rho' = \frac{m - m_2}{m - m_1} \rho_0$$

步骤: 内容: 调节天平至备用状态; 测牛角扣在空气、乙醇、水中的视重
在相同条件下多次测量

(4) 不确定度

A类: $S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ $S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$

单次: $u_{Ax} = S_x$

多次: $u_{Ax} = t(0.683, k) S_{\bar{x}} \quad (k=n-1)$

B类: 需要估读: $u_b = \frac{\Delta}{3}$ 仪器允差

不需要估读: $u_b = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$ (均匀分布)

多次: $u_b = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$ 解解

合成 $u_x = \sqrt{\frac{1}{n} u_{Ax}^2 + \frac{1}{n} u_b^2}$

保留位数 { 首位 < 5: 2位
首位 > 5: 1位

实验部分

1. 用米尺测定教科书的宽度 l

单位: (cm) 允差: $\Delta l = 0.5 \text{ mm}$ $u_{bl} = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.006 \text{ cm}$

次数 i	1	2	3	4	平均
同起同止	18.55	18.56	18.54	18.55	18.55
同起同止	18.55	18.59	18.58	18.56	18.57
不同起同止	3.00	7.00	4.00	10.00	
不同起同止	21.55	25.51	22.52	28.53	
同位置	18.55	18.51	18.52	18.53	18.525
不同起同止	3.00	4.00	2.00	9.00	
不同起同止	21.55	22.57	20.53	27.55	
同位置	18.55	18.57	18.53	18.55	18.55

① $S_{li} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{li} - 18.55)^2}{4}} \approx 8.16 \times 10^{-3} \text{ cm}$

$S_{\bar{l}} = \frac{S_{li}}{\sqrt{n}} = \frac{8.16 \times 10^{-3}}{\sqrt{4}} = 4.08 \times 10^{-3} \text{ cm}$

$u_{Al} = t(0.683, n-1) S_{\bar{l}}$

$= 1.20 \cdot 4.08 \times 10^{-3}$

$= 4.896 \times 10^{-3} \text{ cm}$

$u_{bl} = \sqrt{u_{Al}^2 + u_{bl}^2} = \sqrt{(4.896 \times 10^{-3})^2 + (0.006)^2} \approx 7.74 \times 10^{-3} \text{ cm}$

$\therefore l = (18.55 \pm 0.14) \text{ cm}$

$$② \quad s_{l2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{2i} - \bar{l}_2)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{2i} - 12.57)^2}{3}} \approx 1.8326 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

$$s_{\bar{l}_2} = \frac{s_{l2}}{\sqrt{n}} = \frac{1.8326 \times 10^{-2}}{\sqrt{4}} = 9.13 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{al2} = t(0.683, n-1) s_{\bar{l}_2} = 1.20 \cdot 9.13 \times 10^{-3} \\ = 10.956 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{bl2} = \sqrt{u_{al2}^2 + u_{bl}^2} = \sqrt{(10.956 \times 10^{-3})^2 + (0.006)^2} \approx 12.49 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$l_2 = (12.57 \pm 0.23) \text{ cm}$$

$$③ \quad s_{l3} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{3i} - \bar{l}_3)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{3i} - 12.5275)^2}{3}} \approx 1.708 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

$$s_{\bar{l}_3} = \frac{s_{l3}}{\sqrt{n}} = \frac{1.708 \times 10^{-2}}{\sqrt{4}} = 8.54 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{al3} = t(0.683, n-1) s_{\bar{l}_3} = 1.20 \cdot 8.54 \times 10^{-3} = 10.248 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{bl3} = \sqrt{u_{al3}^2 + u_{bl}^2} = \sqrt{(10.248 \times 10^{-3})^2 + (0.006)^2} \approx 11.875 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$l_3 = (12.53 \pm 0.22) \text{ cm}$$

$$④ \quad s_{l4} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{4i} - \bar{l}_4)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{4i} - 12.55)^2}{3}} \approx 1.633 \times 10^{-2} \text{ cm}$$

$$s_{\bar{l}_4} = \frac{s_{l4}}{\sqrt{n}} = \frac{1.633 \times 10^{-2}}{\sqrt{4}} = 8.165 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{al4} = t(0.683, n-1) s_{\bar{l}_4} = 1.20 \cdot 8.165 \times 10^{-3} = 9.798 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{bl4} = \sqrt{u_{al4}^2 + u_{bl}^2} = \sqrt{(9.798 \times 10^{-3})^2 + (0.006)^2} \approx 11.489 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$l_4 = (12.55 \pm 0.21) \text{ cm}$$

2. 用游标卡尺测几何体尺寸并求体积

单位: (cm) 零点读数 $x_0 = 0$ 允差: $\Delta x = 0.02 \text{ mm}$ $u_{bx} = \frac{0.02 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.011 \text{ cm}$

次数 ν	1	2	3	4	平均
外径 D_{1i}	2.998	2.998	3.000	3.000	2.999
内径 D_{2i}	1.780	1.786	1.782	1.784	1.783
高 H_{1i}	3.000	3.002	3.000	3.004	3.0015
深 H_{2i}	2.160	2.158	2.162	2.160	2.160

$$① S_{D1i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{1i} - \bar{D}_1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (D_{1i} - 2.999)^2}{3}} \approx 1.155 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$S_{\bar{D}_1} = \frac{S_{D1i}}{\sqrt{n}} = \frac{1.155}{\sqrt{4}} \times 10^{-3} = 0.5775 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{aD1} = t(0.683, n-1) S_{\bar{D}_1} = 1.2 \cdot 0.5775 \times 10^{-3} = 0.693 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{D1} = \sqrt{u_{aD1}^2 + u_{bx}^2} = \sqrt{(0.693 \times 10^{-3})^2 + (0.0011)^2} \approx 1.272 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$\bar{D}_1 = (2.999 + 3.000) \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$② S_{D2i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_{2i} - \bar{D}_2)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (D_{2i} - 1.783)^2}{3}} \approx 2.582 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$S_{\bar{D}_2} = \frac{S_{D2i}}{\sqrt{n}} = \frac{2.582}{\sqrt{4}} \times 10^{-3} = 1.291 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{aD2} = t(0.683, n-1) S_{\bar{D}_2} = 1.2 \cdot 1.291 \times 10^{-3} = 1.5492 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{D2} = \sqrt{u_{aD2}^2 + u_{bx}^2} = \sqrt{(1.5492 \times 10^{-3})^2 + (0.0011)^2} \approx 1.900 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$③ S_{H1i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{1i} - \bar{H}_1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (H_{1i} - 3.0015)^2}{3}} \approx 1.915 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$S_{\bar{H}_1} = \frac{S_{H1i}}{\sqrt{n}} = \frac{1.915}{\sqrt{4}} \times 10^{-3} = 0.9575 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{aH1} = t(0.683, n-1) S_{\bar{H}_1} = 1.2 \cdot 0.9575 \times 10^{-3} = 1.149 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{H1} = \sqrt{u_{aH1}^2 + u_{bx}^2} = \sqrt{(1.149 \times 10^{-3})^2 + (0.0011)^2} \approx 1.591 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$④ S_{H2i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{2i} - \bar{H}_2)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (H_{2i} - 2.160)^2}{3}} \approx 1.633 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$S_{\bar{H}_2} = \frac{S_{H2i}}{\sqrt{n}} = \frac{1.633}{\sqrt{4}} \times 10^{-3} = 0.8165 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{aH2} = t(0.683, n-1) S_{\bar{H}_2} = 1.2 \cdot 0.8165 \times 10^{-3} = 0.9798 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$u_{H2} = \sqrt{u_{aH2}^2 + u_{bx}^2} = \sqrt{(0.9798 \times 10^{-3})^2 + (0.0011)^2} \approx 1.473 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

⑤ 计算体积

$$V = \frac{\pi(D_1^2 H_1 - D_2^2 H_2)}{4} \approx 15.809 \text{ cm}^3$$

$$u_V = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial V}{\partial x_i} \cdot u_{x_i} \right)^2} = \frac{\pi}{4} \sqrt{4D_1^2 H_1^2 u_{D_1}^2 + D_1^4 u_{H_1}^2 + 4D_2^2 H_2^2 u_{D_2}^2 + D_2^4 u_{H_2}^2}$$

$$\approx 24.4 \times 10^{-3} \text{ cm}^3 = 0.0244 \text{ cm}^3$$

$$\therefore V = (15.809 \pm 0.024) \text{ cm}^3$$

3. 用螺旋测微器测钢球直径并求体积

单位: (cm) 零点读数: $x_0 = 0.013 \text{ mm}$ 允差 $\Delta D = 0.0004 \text{ cm}$ $u_{bD} = \frac{0.0001 \text{ cm}}{13} \approx 0.00$

次数	1	2	3	4	5	6	平均
D_i 测量	2.22 22	2.2 228	2.2 219	2.2 226	2.2 224	2.2 225	2.2 224
P_i 修正	2.22 09	2.2 2105	2.2 206	2.2 213	2.2 211	2.2 212	2.2 211

$$S_{D_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (D_i - 2.221)^2}{5}} \approx 3.16 \times 10^{-4}$$

$$S_{\bar{D}} = \frac{S_{D_i}}{\sqrt{n}} = \frac{3.16}{\sqrt{6}} \times 10^{-4} \approx 1.291 \times 10^{-4}$$

$$u_{aD} = t(0.683, n-1) \cdot S_{\bar{D}} = 1.11 \cdot 1.291 \times 10^{-4} = 1.43301 \times 10^{-4}$$

$$u_D = \sqrt{u_{aD}^2 + u_{bD}^2} = \sqrt{(1.43301 \times 10^{-4})^2 + (6 \times 10^{-5})^2} \approx 1.554 \times 10^{-4}$$

$$\bar{V} = \frac{\pi \bar{D}^3}{6} \approx 5.7371 \text{ cm}^3$$

$$u_V = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial V}{\partial x_i} \cdot u_{x_i} \right)^2} = \sqrt{\left(u_D \cdot \frac{\pi \bar{D}^2}{2} \right)^2} = \sqrt{(1.554 \times 10^{-4})^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2.221^2}{2} \right)^2}$$

$$\approx 12.042 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

$$\therefore V = (5.7371 \pm 0.0012) \text{ cm}^3$$

4. 液体静力称衡法测牛角和密度

$$\text{环境温度: } \theta_e = \frac{\theta_{e1} + \theta_{e2}}{2} = \frac{19.8 + 20.2}{2} = 20^\circ \text{C}$$

$$\text{水温: } \theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{20.0 + 20.2}{2} = 20.1^\circ \text{C}$$

水的密度: $\rho_0 = 0.998 \text{ g/cm}^3 (20.1^\circ\text{C})$.

单位 (1000 g) 允差: Δm 未知. $\Delta B m = \frac{0.01 \text{ g}}{13} \approx 5.774 \times 10^{-3} \text{ g}$

次数 i	空气中 m_{air}	水中 m_{water}	差值 Δm_i	质量 m
1	339.73	342.74	3.01	3.73
2	276.19	279.26	3.07	
3	220.41	223.49	3.08	
平均			3.053	

$$1. \rho = \frac{m_{air} \cdot \rho_0}{\Delta m} = \frac{3.73}{3.053} \cdot 0.998 \approx 1.219 \text{ g/cm}^3$$

~~$$\rho = \frac{m_{air} \cdot \rho_0}{\Delta m} = \frac{3.73}{3.053} \cdot 0.998 \approx 1.219 \text{ g/cm}^3$$~~

5. 结论

① 书宽度: $l_1 = (17.55 \pm 0.14) \text{ cm}$, $l_2 = (17.57 \pm 0.23) \text{ cm}$, $l_3 = (17.53 \pm 0.22) \text{ cm}$

② 钢球体积: $V = (15.804 \pm 0.014) \text{ cm}^3$

③ 钢球体积: $V = (5.7371 \pm 0.0012) \text{ cm}^3$

④ 牛角扣密度: $\rho = 1.219 \text{ g/cm}^3$

考查题 (密度)

1. 最大称量: 能称量的最大质量

感量: 指针从平衡位置偏转到标尺1分度所需的最小质量

灵敏度: 在天平的一盘上增加1mg载量时指针偏转的格数

2. 替代法, 用排水量得出物体体积

3. 物体入水速度快, 表面不光滑, 带了一些空气进入液体

缓慢将物体放入液体中

晃动细线, 使气泡浮出

思考题 (密度)

1. 改为细绳在杯底拉物体, 公式不变

$$2. V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{l}{4} = 0.442 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \approx 0.442 \times 10^{-2} \text{ cm}^3$$

$$m = \rho_c \cdot V \approx 3.934 \text{ g} \times 10^{-2}$$

$$\bar{\rho} = \frac{m_{\text{中}} \cdot \rho_0}{\bar{m}} \approx 1.249 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{直}} = \frac{\frac{\bar{m}}{m_{\text{中}} - m}}{\frac{\bar{m}}{\rho_0} - V} = \frac{3.73 - 0.03934}{\frac{3.053}{0.998} - 0.00442} \approx 1.2089 \text{ g/cm}^3$$

$$\frac{|\rho_{\text{直}} - \bar{\rho}|}{\rho_{\text{直}}} = \frac{1.249 - 1.208}{1.208} \approx 0.00911$$

很小, 不需考虑

3. 会有挂壁现象, 造成较大误差
本实验方法要精度更高

考查题 (长度)

1. 使用方法, 测量范围, 精度

长度测量十分基础, 涵盖

2. 多次测量, 正确使用, 视差是因为观察角度造成的误差

3. 量程: 测量范围, 分度值: 每小格的量

米尺 1.0mm, 游标卡尺 (50分度) 0.02mm, 螺旋测微器 0.010mm

↓
3位

↓
4位

↓
5位

4. 调节到零点看是否零刻线对齐, 根据零刻线相对位置判断正负
系统误差, 测量值减之即可

5. 都待小变化放大, 先读主尺 (固定刻度), 后读副尺 (可动刻度)

思考题 (长度)

1. 考虑了造成误差的不同原因, 最后一种好, 二、三中分别考虑了器材和物体造成的误差

2. 需要修正, $L_t = L_0 (1 + \alpha t)$, 故 $L_t = 1000 \text{ mm} (1 + 1.2 \times 10^{-5} \cdot 40)$

3. 100分度, 长 9mm

八、思考题

- 白蜡的密度约为 900 kg/m^3 ，如以水作为已知液体，采用流体静力称衡法测定其密度，试说明操作步骤及所用仪器用具，并推导其密度的计算公式及标准不确定度传递公式。
- 假定细丝直径 $d=1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，丝长 $l=0.25 \text{ m}$ ，浸没水中的长度约为丝长的 $1/2$ ，已知材料的密度为 $\rho_0=8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，试求：因未考虑细丝质量对密度的测量引入多大系统误差？计算中细丝浸入水中的影响需要考虑吗？
- 对于测定不规则形状物体的体积，为何不利用量筒通过排水法直接测量物体排开水的体积，而用静力称衡法？哪个精度较高？原因是什么？

九、数据处理

- 用米尺测定教科书的宽度 l ：

单位：(10⁻³m)；允差： $\Delta l = \pm 0.05$

次数	l_1	l_2	l_3	l_4
1	185.5	185.5	185.5	185.5
2	185.6	185.4	185.1	185.7
3	185.4	185.3	185.2	185.3
4	185.5	185.6	185.3	185.3
平均				

结果表示： $l = \bar{l} \pm \Delta l$
- 用游标卡尺测半空心圆柱的几何尺寸并求体积：

单位：(10⁻³m)；零点读数 $a_0 = 0$ ；允差： $\Delta a = \pm 0.004$ ； $\Delta a_{\text{测}} =$

次数	D_1	D_2	H_1	H_2
1	29.98	30.00	17.80	21.60
2	29.99	30.02	17.86	21.62
3	30.00	30.00	17.82	21.62
4	30.00	30.04	17.84	21.60
平均				

$\bar{V} = \pi(D_1^2 H_1 - D_2^2 H_2)/4$

结果表达式： $V = \bar{V} \pm \Delta V$

3. 用螺旋测微器测定钢球直径求体积：

单位：(10⁻⁶m)；零点读数 $a_0 = 0.013$ ；允差： $\Delta a = 0.0004$ ； $\Delta a_{\text{测}} =$

5.751
0.013

次数	1	2	3	4	5	6	平均
三垂直方向 D_i	22.22	22.20	22.21	22.21	22.24	22.25	
D_i							$\bar{D} =$
V_i							

$\bar{V} = \pi \bar{D}^3 / 6$

结果表达式： $V = \bar{V} \pm \Delta V$

4. 用流体静力称衡法测定牛角扣和乙醇的密度：

环境温度： $\theta_0 = 19.8^\circ\text{C}$ ；水温： $\theta = 20.1^\circ\text{C}$

水的密度： $\rho_0 = 998.2 \text{ kg/m}^3$

单位：(10⁻³kg)；允差： $\Delta m = \pm 0.001$ ； $\Delta m_{\text{测}} =$

次数	m_1	m_2	m_3	m_4
1	339.73	342.74		
2	276.19	278.26		
3	220.91	223.99		
平均				

(1) 求牛角扣的密度

$\rho = m_{\text{牛角扣}} / (m - m_1)$ ； $\Delta \rho =$

结果表达式： $\rho = \bar{\rho} \pm \Delta \rho$

(2) 求乙醇的密度

$\rho_2 = \rho_0 (m - m_2) / (m - m_1)$ ； $\Delta \rho_2 =$

结果表达式： $\rho_2 = \bar{\rho}_2 \pm \Delta \rho_2$

§ 2-3 碰撞

一、目的要求

- 用对心碰撞特例检验动量守恒定律。
- 了解动量守恒和动能守恒的条件。
- 熟练地使用气垫导轨及数字毫秒计。

帝凱