

长度密度测量

张奥喆

2313447

一、实验目的

- 1、了解米尺、游标卡尺、螺旋测微器的测量原理和使用方法。
- 2、熟悉仪器的读数规则以及有效数字运算法则。
- 3、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方法。
- 4、了解测定密度的基本方法和电子天平的使用方法。
- 5、掌握用静力称衡法测定不规则固体密度的原理和方法

二、实验原理

1、密度的测量

若物体质量为 m , 体积为 V , 则其密度为

$$\rho = m/V$$

对于形状规则、密度内匀的物体, 通过测定其质量和体积后根据定义求得。

对于形状不规则的物体, 可用流体静力称衡法间接地测出其体积。

若不计空气浮力, 则物体在空气中的重量 mg 与在液体中的视重 m_1g 之差即为它在该液体中所受的浮力, 即

$$F = (m - m_1)g$$

由阿基米德原理: 物体在液体中所受的浮力等于它排开液体的重量。若以 ρ 表示液体的密度, V 表示排开液体的体积亦即待测物体的体积, 则

$$F = \rho g V$$

可解得待测物体的密度

$$\rho_{\text{物}} = \frac{m\rho}{m - m_1}$$

2、长度的测量

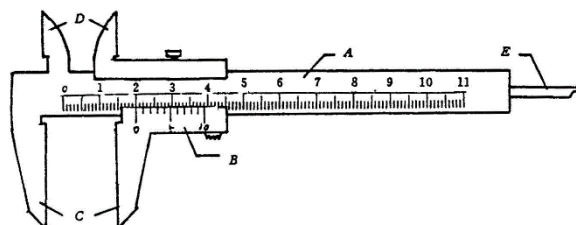
a) 米尺

分度值为 0.1cm , 读数规则为估读到到分度值的十分之一, 即 0.1mm , 如果刻线较粗, 也可以估读到分度值的五分之一。估读时, 要尽可能把待测物体紧贴米尺的刻度线, 以避免视差。并且读数时应当使待测物体断面在两眼的垂直平分线上。若米尺刻线是从端边开始的, 测量时则不用端边作为测量的起点, 以避免因磨损带来的误差。一般选择整刻度线作为起点, 物体的长度为两端所

对应的读数之差。

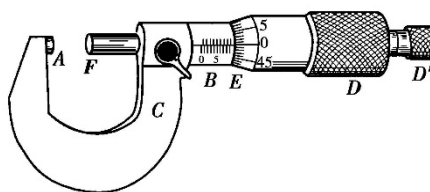
b) 游标卡尺

游标卡尺的读数由主尺读数与副尺读数两部分构成，主尺上读出毫米位的准确数，毫米以下的尾数由副尺读出。游标卡尺的测量原理基于游标尺分度值与主尺分度值之间的关系。通过游标尺的滑动，找到与主尺刻度线重合的游标尺刻度线，再将两个读数相加，可得到精确的测量值。



c) 螺旋测微器

螺旋测微器是依据螺旋放大的原理制成的，即螺杆在螺母中旋转一周，螺杆便沿着旋转轴线方向前进或后退一个螺距的距离。因此，沿轴线方向移动的微小距离，就能用圆周上的读数表示出来。测量时，当测砧和测微螺杆并拢时，可动刻度的零点若恰好与固定刻度的零点重合，旋出测微螺杆，并使测砧和测微螺杆的面正好接触待测长度的两端，注意不可用力旋转否则测量不准确，马上接触到测量面时慢慢旋转左右面的棘轮转柄直至传声咔咔的响声，那么测微螺杆向右移动的距离就是所测的长度。



三、实验仪器用具

米尺、50 分度游标卡尺、螺旋测微器、金属杯、钢球、电子天平、铁架台、牛角扣、水、玻璃烧杯、细线、温度计。

四、实验步骤或内容

- 1、用米尺测量教科书的宽度，分别在不同起点，同一位置 and 不同起点不同位置各测 4 次。
- 2、用游标卡尺在不同方位测量半空心圆柱体的外径 D_1 ，内径 D_2 ，高度 H_1 ，深度 H_2 各四次，并求其体积。
- 3、用螺旋测微器在钢球不同位置的三互垂方向各测其直径两次，并求其体积。
- 4、用流体静力称衡法测定牛角扣的密度。

①调节天平至备用状态，测定牛角扣在空气中的质量 m 以及烧杯和水的质量 m_1 。

②然后测定其在水中的视质量。用细线拴住牛角扣，悬吊于烧杯的液体中，不要露出水面或接触烧杯底或杯壁。称出牛角扣完全浸没在水中的视质量 m_2 。

③本实验宜采用相同条件下的多次测量方法。为了掌握实验条件及求得水的密度，还应在实验前后分别测水温和室温。

五、实验数据记录及处理

八、思考题

1. 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。

2. 假定细丝直径 $d = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}$ ，丝长 $l = 0.25 \text{ m}$ ，浸没水中的长度约为丝长的 $1/4$ 。已知材料的密度为 $\rho_s = 8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。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？

3. 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

1. 用米尺测定教科书的宽度 l ：

单位： (10^{-2} m) ；允差： $\Delta_l =$ ； $u_{Bl} =$

次数 i	l_{1i}	$s_{l_{1i}}$	l_{2i}	$s_{l_{2i}}$	起点	终点	l_{3i}	$s_{l_{3i}}$	起点	终点	l_{4i}	$s_{l_{4i}}$
1	18.46	s_{l_1}	18.46	s_{l_2}	5.00	23.45	18.45	s_{l_3}	5.00	23.44	18.44	s_{l_4}
2	18.49	s_{l_1}	18.40	s_{l_2}	10.00	28.47	18.47	s_{l_3}	10.00	28.43	18.43	s_{l_4}
3	18.50	s_{l_1}	18.42	s_{l_2}	15.00	33.49	18.49	s_{l_3}	15.00	33.46	18.46	s_{l_4}
4	18.47	s_{l_1}	18.41	s_{l_2}	20.00	38.46	18.46	s_{l_3}	20.00	38.42	18.42	s_{l_4}
平均	18.48	u_{A1}	18.4225	u_{A2}			18.4675	u_{A3}			18.4375	u_{A4}
u_x												

结果表示： $l_1 =$

$l_2 =$

$l_3 =$

$l_4 =$

2. 用游标卡尺测半空心圆柱的几何尺寸并求体积：

单位： (10^{-2} m) ；零点读数： $x_0 = 0.008 \text{ mm}$ ；允差： $\Delta_x =$ ； $u_{Bx} =$

次数 i	D_{1i}	$s_{D_{1i}}$	H_{1i}	$s_{H_{1i}}$	D_{2i}	$s_{D_{2i}}$	H_{2i}	$s_{H_{2i}}$
1	3.004	s_{D_1}	3.012	s_{H_1}	1.772	s_{D_2}	2.170	s_{H_2}
2	3.006	s_{D_1}	3.010	s_{H_1}	1.766	s_{D_2}	2.178	s_{H_2}
3	3.008	s_{D_1}	3.008	s_{H_1}	1.760	s_{D_2}	2.180	s_{H_2}
4	3.009	s_{D_1}	3.010	s_{H_1}	1.768	s_{D_2}	2.174	s_{H_2}
平均		u_{A1}		u_{A2}		u_{A3}		u_{A4}
u_x								

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

结果表达式： $V =$

1、米尺测量教科书

2、单位：cm 允差 $\Delta_l = 0.5 \text{ mm}$ $u_{Bl} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \approx 0.06 \text{ mm} = 0.006 \text{ cm}$

次数	l_1		l_2		l_3				l_4			
i	l_{1i}	$s_{l_{1i}}$	l_{2i}	$s_{l_{2i}}$	起点	终点	l_{3i}	$s_{l_{3i}}$	起点	终点	l_{4i}	$s_{l_{4i}}$
1	18.46	0.018	18.46	0.026	5.00	23.45	18.45	0.017	5.00	23.44	18.44	0.017
2	18.49	s_{l_1}	18.40	s_{l_2}	10.00	28.47	18.47	s_{l_3}	10.00	28.43	18.43	s_{l_4}
3	18.50	0.0091	18.42	0.013	15.00	33.49	18.49	0.0085	15.00	33.46	18.46	0.0085
4	18.47	u_{A1}	18.41	u_{A2}	20.00	38.46	18.46	u_{A3}	20.00	38.42	18.42	u_{A4}
平均	18.48	0.011	18.4225	0.018			18.4675	0.010			18.4375	0.010
u_x	0.012		0.017		0.012				0.012			

$$l_1 = (18.480 \pm 0.012) \text{ cm}$$

$$l_3 = (18.468 \pm 0.012) \text{ cm}$$

$$l_2 = (18.423 \pm 0.017) \text{ cm}$$

$$l_4 = (18.438 \pm 0.012) \text{ cm}$$

3. 用螺旋测微器测定钢球直径求体积：

单位： (10^{-2} m) ；零点读数： $x_0 = 0.000$ ；允差： $\Delta_D = 0.0004$ ； $u_{BD} =$

次数 i	1	2	3	4	5	6	平均
三互垂方向 D_i	19.992	19.992	19.996	19.995	19.999	19.999	未修正零点
\bar{D}_i							$\bar{D}' =$
s_{D_i}		$s_{\bar{D}}$		u_{AD}		u_D	

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

结果表达式： $V =$

4. 用流体静力称衡法测定牛角扣和乙醇的密度：

环境温度： $\theta_1 = (\theta_{s1} + \theta_{s2})/2 =$ ；水温： $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2 = 19^\circ \text{C}$

水的密度： $\rho_0 =$

单位： (10^{-3} kg) ；允差： $\Delta_m =$ ； $u_{Bm} =$

次数 i	m_1	s_{m_1}	m_2	s_{m_2}	m_3	s_{m_3}	m_4	s_{m_4}
1	3.72	s_{m_1}	302.62	s_{m_2}	305.74	s_{m_3}	305.73	s_{m_4}
2	3.72	s_{m_1}	302.61	s_{m_2}	305.73	s_{m_3}	305.73	s_{m_4}
3	3.71	s_{m_1}	302.60	s_{m_2}	305.69	s_{m_3}	305.69	s_{m_4}
平均		u_{A1}		u_{A2}		u_{A3}		u_{A4}
u_x	u_m		u_{m_1}		u_{m_2}		u_{m_3}	

(1) 求牛角扣的密度

$\bar{\rho} = m_0 / (m - m_1) =$

结果表达式： $\rho =$

(2) 求乙醇的密度

$\bar{\rho}_2 = \rho_0 (m - m_2) / (m - m_1) =$

结果表达式： $\rho_2 =$

§2-3 碰撞

一、目的要求

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

2、用游标卡尺测半空心圆柱的几何尺寸并求其体积

单位: cm 零点读数: $x_0=0.008\text{cm}$ 允差: $\Delta_x=0.02\text{mm}$ $u_{Bx}=\frac{0.02}{\sqrt{3}}\approx 0.012\text{mm}=0.0012\text{cm}$

次数 i	D_{1i}	$S_{D_{1i}}$	H_{1i}	$S_{H_{1i}}$	D_{2i}	$S_{D_{2i}}$	H_{2i}	$S_{H_{2i}}$
1	3.004	0.0019	3.012	0.0016	1.772	0.0050	2.170	0.0044
2	3.006	$S_{\overline{D1}}$	3.010	$S_{\overline{H1}}$	1.766	$S_{\overline{D2}}$	2.178	$S_{\overline{H2}}$
3	3.008	0.00096	3.008	0.00082	1.760	0.0025	2.180	0.0022
4	3.004	u_{AD}	3.010	u_{AH}	1.768	u_{AD}	2.174	u_{AH}
平均	3.0055	0.0011	3.010	0.00098	1.7665	0.0030	2.1755	0.0027
u_x	0.017		0.0015		0.0032		0.0029	

注意我们要消除零点误差, 即 $D1=2.9975$, $H1=3.0020$, $D2=1.7585$, $H2=2.1675$

$$V = \frac{\pi(D_1^2 H_1 - D_2^2 H_2)}{4} = 15.9203 \text{ cm}^3$$

$$u_v = V \sqrt{\left(\frac{u_{H1}}{H1}\right)^2 + \left(2\frac{u_{D1}}{D1}\right)^2} + V \sqrt{\left(\frac{u_{H2}}{H2}\right)^2 + \left(2\frac{u_{D2}}{D2}\right)^2} = 0.17 \text{ cm}^3$$

结果表示为: $V = (15.92 \pm 0.17) \text{ cm}^3$

3、用螺旋测微器测定钢球直径求体积

单位: cm 零点读数: $x_0 = 0.0000\text{cm}$ 允差: $\Delta_D=0.0004\text{cm}$

$$u_{BD}=\frac{0.001}{\sqrt{3}} \approx 0.0006\text{mm}=0.00006\text{cm}$$

次数 i	1	2	3	4	5	6	平均
三互垂 方向 D_i	1.9992	1.9998	1.9996	1.9995	1.9999	1.9999	未修正零 点 $\overline{D'}$
$\overline{D_{D_i}}$	1.99965						1.99965
$s_D=0.00057$	$s_{\overline{D}} = 0.00023$			$u_D=0.00063$			

$$\overline{V}=\frac{\pi D^3}{6} = 4.18659 \text{ cm}^3 \quad u_v= V \sqrt{\left(3\frac{u_D}{D}\right)^2} = 0.0039$$

结果表达式: $V = (4.1866 \pm 0.0039) \text{ cm}^3$

4、用流体静力称衡法测定牛角扣的密度

环境温度：20℃ 水温 19℃

水的密度：0.9984g/cm³

单位：g 允差Δm =0.015g $u_{Bm} \approx \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006g$

次数	m_i	s_{mi}	m_{1i}	s_{m1i}	m_{2i}	s_{m2i}
1	3.72	0.0058	302.62	0.010	305.74	0.026
2	3.72	$s_{\bar{m}}$	302.61	$s_{\bar{m}1}$	305.73	$s_{\bar{m}2}$
3	3.71	0.0033	302.60	0.0058	305.69	0.015
平均	3.717	$u_{Am}=0.0040$	302.61	$u_{Am1}=0.0069$	305.72	$u_{Am2}=0.018$
u_x	$u_m=0.007$		$u_{m1}=0.009$		$u_{m2}=0.019$	

牛角扣的密度： $\bar{\rho} = \frac{m\rho}{m_2-m_1} = 1.1910 \text{ g/cm}^3$ $u_{\rho} = 0.007 \text{ g/cm}^3$

结果表达式 $\rho = (1.191 \pm 0.007) \text{ g/cm}^3$

六、考察题和思考题

1、一把钢尺在 20℃时标度, 若在-20℃时一次测得某物体长度为 1 000.0mm。

假定不锈钢尺的线膨胀系数为： $\beta = 1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, 问：

(1) 因热膨胀引入的系统误差是否需要修正？

需要修正，在-20℃时，钢尺会收缩，让测量结果偏大。

(2) 写出该物体长度的结果表达式。

$$L_{\text{真}} = \frac{1000}{1 + \Delta t \beta} = \frac{1000}{1 + 40 \times 1.2 \times 10^{-5}} \approx 999.52 \text{ mm}$$

2、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?

不规则的物体可能没有办法放入量筒, 而且, 静力称衡法的精度更高: 电子天平精度高, 实验室用的电子天平精度可达 0.01g 或更高, 超过量筒的精度。不受液面读数和气泡的影响, 不会产生气泡误差, 也可以避免凹凸液面读数的影响。