长度与密度测量实验报告

姓名 张一萌　**学号** 2313636　**专业** 工科试验班（信息科学与技术）
组别 L **座位号** 3 **实验时间** 周二上午 5 月 28 日

一、实验名称：长度与密度测量

二、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. 了解密度的测定方法。
5. 掌握电子天平的结构原理、操作规程、使用及维护方法
6. 掌握用流体静力称衡法测定不规则物体的原理和方法。

三、仪器用品

米尺、游标卡尺、螺旋测微仪、半空心圆柱体、小钢球、电子天平、烧杯、铁架台、牛角扣、细绳、温度计。

四、操作步骤

1. 用米尺测量实验桌的宽度。测量时采取以下四种不同的方法各测四次：
   （1）　米尺同一起点，同一位置
   （2）　同一起点，不同位置
   （3）　不同起点，同一位置
   （4）　不同起点，不同位置
2. 用游标卡尺测半空心有机圆柱体的外径D_1，内径D_2，高H_1，深H_2，各测四次，并计算体积；
3. 用螺旋测微器在钢球不同位置的三互垂方向测量小钢球的直径 D 共 6 次，并计算其体积；
4. 用流体静力称衡法测定牛角扣的密度。
   （1）用电子天平称量牛角扣的质量；
   （2）用电子天平称量装满水的烧杯质量，记录；
   （3）将系有绳子的牛角扣完全浸没在烧杯里水中并且保持绳子不松弛，并且保证牛角扣不接触杯壁和杯底，记录电子天平视重；
   （4） 把牛角扣拿出并擦干，重复上述操作三次，记录数据。
   （5）计算牛角扣密度，并以三次测量的平均值作为实验测得的牛角扣密度。

五、实验数据及数据处理

1. 用米尺测量实验桌的宽度 l

次数 i	l_1			l_2			l_3			l_4		
	起点 /cm	终点 /cm	l_{1i}	起点 /cm	终点 /cm	l_{2i}	起点 /cm	终点 /cm	l_{3i}	起点 /cm	终点 /cm	l_{4i}
1	10.00	79.81	69.81	10.00	79.81	69.81	5.00	74.82	69.82	5.00	74.79	69.79
2	10.00	79.80	69.80	10.00	79.80	69.80	10.00	79.78	69.78	10.00	79.78	69.78
3	10.00	79.79	69.79	10.00	79.79	69.79	15.00	84.82	69.82	15.00	84.72	69.72
4	10.00	79.80	69.80	10.00	79.78	69.78	20.00	89.76	69.76	20.00	89.78	69.78

$$\overline{l_1} = \frac{\sum_1^4 l_{1i}}{4} = \frac{69.81 + 69.80 + 69.79 + 69.80}{4} = 69.80cm$$

$$s_{l_{1i}}=\sqrt{\frac{\sum_1^4(l_{1i}-\overline{l_1})^2}{n-1}}$$

$$=\sqrt{\frac{(69.81-69.80)^2+(69.80-69.80)^2+(69.79-69.80)^2+(69.80-69.80)^2}{3}}$$

$$=\sqrt{\frac{0.0001+0.0001}{3}}\approx 0.0081650$$

$$s_{\overline{l_1}}=\frac{s_{l_{1i}}}{\sqrt{n}}=0.0040825$$

$$u_{Al}=t_{(p,k)}s_{\overline{l_1}}=1.20\times 0.0040825=0.0048990$$

$$u_{Bl}=\frac{\varepsilon_x}{\sqrt{3}}=\frac{0.01cm}{\sqrt{3}}\approx 0.0057735$$

$$u_l=\sqrt{{u_{Al}}^2+{u_{Bl}}^2}=\sqrt{0.0048990^2+0.0057735^2}\approx 0.007cm$$

表示成l_1=（69.800 $\pm$ 0.007）cm
同理，计算剩下三组数据
第二组, 长度为l_2 = （69.803 $\pm$ 0.008）cm
第三组, 长度为l_3 = （69.795 $\pm$ 0.018）cm
第四组, 长度为l_4 = （69.768 $\pm$ 0.020）cm

2. **测量半空心圆柱体的体积：**

零点读数$x_0=0.000cm$　　　　$u_{Bx}=\frac{0.002}{\sqrt{3}}=0.001155cm$

次数	外径 D_1/cm	$s_{D_{1i}}$	内径 D_2/cm	$s_{D_{2i}}$	高度 H_1/cm	$s_{H_{1i}}$	深度 H_2/cm	$s_{H_{2i}}$
1	3.000	0.001	1.804	0.001	3.000	0	2.186	0.0026
2	3.000	$s_{\overline{D_1}}$	1.802	$s_{\overline{D_2}}$	3.000	$s_{\overline{H_1}}$	2.190	$s_{\overline{H_2}}$
3	2.998	0.0005	1.804	0.0005	3.000	0	2.188	0.0013
4	3.000	u_{AD_1}	1.804	u_{AD_2}	3.000	u_{AH_1}	2.192	u_{AH_2}
平均	2.9995	0.0006	1.8035	0.0006	3.000	0	2.189	0.0015
u_x	0.0013		0.0013		0.0012		0.0019	

①D_1：

$$\overline{D_1}=\frac{\sum_1^4 D_i}{4}=\frac{3.000+2.998+3.000+3.000}{4}=2.9995cm$$

$$s_{D_{1i}} = \sqrt{\frac{\sum_1^4 (D_{1i} - \overline{D_1})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(3.000 - 2.9995)^2 + (3.000 - 2.9995)^2 + (3.000 - 2.9995)^2 + (2.998 - 2.9995)^2}{4-1}}$$

$$= 0.001$$

$$s_{\overline{D_1}} = \frac{s_{D_{1i}}}{\sqrt{n}} = \frac{0.001}{\sqrt{4}} = 0.0005$$

$$u_{AD_1} = t_{(p,k)} s_{\overline{D_1}} = 1.20 \times 0.0005 = 0.0006cm$$

$$u_{BD_1} = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.001155cm$$

$$u_{D_1} = \sqrt{{u_{AD_1}}^2 + {u_{BD_1}}^2} = \sqrt{0.0006 * 0.0006 + 0.001155 * 0.001155} = 0.0013cm$$

$$D_1 = 2.9995 \pm 0.0013cm$$

②D_2:

$$\overline{D_2} = \frac{\sum_1^4 D_i}{4} = \frac{1.804 + 1.804 + 1.804 + 1.802}{4} = 1.8035cm$$

$$s_{D_{2i}} = \sqrt{\frac{\sum_1^4 (D_{2i} - \overline{D_2})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(1.804 - 1.8035)^2 + (1.802 - 1.8035)^2 + (1.804 - 1.8035)^2 + (1.804 - 1.8035)^2}{4-1}}$$

$$= 0.001$$

$$s_{\overline{D_2}} = \frac{s_{D_{2i}}}{\sqrt{n}} = \frac{0.001}{\sqrt{4}} = 0.0005$$

$$u_{AD_2} = t_{(p,k)} s_{\overline{D_2}} = 1.20 \times 0.0005 = 0.0006cm$$

$$u_{BD_2} = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.001155cm$$

$$u_{D_2} = \sqrt{{u_{AD_2}}^2 + {u_{BD_2}}^2} = \sqrt{0.0006 * 0.0006 + 0.001155 * 0.001155} = 0.0013cm$$

$$D_2 = 1.8035 \pm 0.0013cm$$

③H_1:

$$\overline{H_1} = \frac{\sum_1^4 H_i}{4} = \frac{3.000 + 3.000 + 3.000 + 3.000}{4} = 3.000cm$$

$$s_{H_{1i}}=\sqrt{\frac{\sum_1^4(H_{1i}-\overline{H_1})^2}{n-1}}$$

$$=\sqrt{\frac{(3.000-3.000)^2+(3.000-3.000)^2+(3.000-3.000)^2+(3.000-3.000)^2}{4-1}}$$

$$=0$$

$$s_{\overline{H_1}}=\frac{s_{H_{1i}}}{\sqrt{n}}=\frac{0}{\sqrt{4}}=0$$

$$u_{AH_1}=t_{(p,k)}s_{\overline{H_1}}=1.20\times 0=0cm$$

$$u_{BH_1}=\frac{0.002}{\sqrt{3}}=0.001155cm$$

$$u_{H_1}=\sqrt{{u_{AH_1}}^2+{u_{BH_1}}^2}=\sqrt{0+0.001155*0.001155}=0.0012cm$$

$$H_1=3.000\pm 0.0012cm$$

④H_2:

$$\overline{H_2}=\frac{\sum_1^4 H_i}{4}=\frac{2.186+2.190+2.188+2.192}{4}=2.189\text{cm}$$

$$s_{H_{2i}}=\sqrt{\frac{\sum_1^4(H_{1i}-\overline{H_1})^2}{n-1}}$$

$$=\sqrt{\frac{(2.186-2.189)^2+(2.190-2.189)^2+(2.188-2.189)^2+(2.192-2.189)^2}{4-1}}$$

$$=0.002582=0.0026$$

$$s_{\overline{H_2}}=\frac{s_{H_{2i}}}{\sqrt{n}}=\frac{0.0026}{\sqrt{4}}=0.0013$$

$$u_{AH_2}=t_{(p,k)}s_{\overline{H_2}}=1.20\times 0.0013=0.0015cm$$

$$u_{BH_2}=\frac{0.002}{\sqrt{3}}=0.001155cm$$

$$u_{H_2}=\sqrt{{u_{AH_2}}^2+{u_{BH_2}}^2}=\sqrt{0.0015*0.0015+0.001155*0.001155}=0.0019cm$$

$$H_2=2.1890\pm 0.0019cm$$

下面利用间接测量法的不确定度计算公式，来计算空心圆柱体积的不确定度：

$$\bar{V}=\frac{\pi}{4}(D_1^2H_1-D_2^2H_2)=15.60667=15.607cm^3$$

$$u_V=\frac{\pi}{4}\sqrt{(\overline{D_1}^2\overline{H_1})^2[(\frac{u_{H_1}}{\overline{H_1}})^2+4(\frac{u_{D_1}}{\overline{D_1}})^2]+(\overline{D_2}^2\overline{H_2})^2[(\frac{u_{H_2}}{\overline{H_2}})^2+4(\frac{u_{D_2}}{\overline{D_2}})^2]}$$

$$=\frac{\pi}{4}\sqrt{(2.9995^2\times 3.000)^2[(\frac{0.0012}{3.000})^2+4(\frac{0.0013}{2.9995})^2]+(1.8035^2\times 2.189)^2[(\frac{0.0019}{2.189})^2+4(\frac{0.0013}{1.8035})^2]}$$

$$=0.00710409cm^3=0.007$$

因此，体积 V 的最终表达式为： $V=(15.607\pm 0.007)cm^3$

3. 测量小钢球的体积：

零点读数$x_0=-0.472mm$ $u_{BD}=\frac{0.001}{\sqrt{3}}=0.000578mm$

次数 i	1	2	3	4	5	6	平均$\overline{D_i}$
读数/mm	19.528	19.529	19.531	19.528	19.523	19.521	
直径/mm	20.000	20.001	20.003	20.000	19.995	19.993	19.9987
s_{D_i}	0.00382971	$s_{\overline{D}}$	0.00156347	u_{AD}	0.00173545	u_D	0.0018

$$\overline{D}=\frac{\sum_1^6 D_i}{6}=\frac{20.000+20.001+20.003+20.000+19.995+19.993}{6}=19.9987\text{mm}$$

$$s_{D_i}=\sqrt{\frac{\sum_1^6(D_i-\overline{D})^2}{n-1}}$$

$$=\sqrt{\frac{(20.000-19.9987)^2+(20.001-19.9987)^2+(20.003-19.9987)^2+(20.000-19.9987)^2+(19.995-19.9987)^2+(19.993-19.9987)^2}{4-1}}$$

$$=0.00382971$$

$$s_{\overline{D}}=\frac{s_{D_i}}{\sqrt{n}}=\frac{0.00382971}{\sqrt{6}}=0.00156347$$

$$u_{AD}=t_{(p,k)}s_{\overline{D}}=1.11\times 0.00156347=0.00173545mm$$

$$u_{BD}=\frac{0.001}{\sqrt{3}}=0.000578mm$$

$$u_D=\sqrt{{u_{AD}}^2+{u_{BD}}^2}=\sqrt{0.00173545^2+0.000578^2}=0.018mm$$

下面利用间接测量法的不确定度计算公式，来计算钢球体积的不确定度：

$$\bar{V}=\frac{\pi D^3}{6}=4187.973mm^3=4.187973cm^3$$

$$u_V=3\bar{V}\frac{u_D}{\overline{D}}=11mm^3=0.011cm^3$$

因此，钢球体积的最终表达式为： $V=(4.188\pm 0.011)cm^3$

4. 测量牛角扣的密度：

环境温度：$\theta_e=\frac{\theta_{e1}+\theta_{e2}}{2}=\frac{23.0+24.0}{2}=23.5℃$ 水温：$\theta=\frac{\theta_1+\theta_2}{2}=\frac{22.0+25.0}{2}=23.5℃$

水的密度$\rho_{水}=0.997417g/cm^3$ $u_{Bm}=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.00578g$

次数i	m_{0i}/g	m_{1i}/g	m_{2i}/g	$\rho/g/cm^3$
1	3.79	256.11	259.26	1.20007

2	3.78	255.91	259.11	1.1782
3	3.79	255.73	258.89	1.19627
平均				1.192

牛角扣的密度$\rho=\frac{\sum_1^3\rho_i}{3}=\frac{1.20007+1.1782+1.19627}{3}=1.192g/cm^3$

六、实验结论

1. 实验桌宽度：l_1=（69.800 ± 0.007）cm

$l_2=$（69.803 ± 0.008）cm

$l_3=$（69.795 ± 0.018）cm

$l_4=$（69.768 ± 0.020）cm

2. 半空心圆柱体体积：$V=(15.607000\pm0.000013)cm^3$

3.小钢球体积： $V=(4.188\pm0.011)cm^3$

4.牛角扣密度：$\rho=1.192g/cm^3$

七、 实验反思

1. 使用游标卡尺时，一定要先读出零点读数。因为游标卡尺在之前的使用过程中，可能会有一定的磨损。
2. 使用螺旋测微器时，同样，也要先读出零点读数。在螺旋测微器使用完毕后，一定要注意使螺旋测微器的测微螺杆和小砧之间留有一定空隙，因为金属会热胀冷缩，如果未留空隙，可能会导致测微螺杆和小砧发生挤压从而影响螺旋测微器的后续使用。
3. 螺旋测微器上为什么会有塑料垫块？
   是为了避免金属导热，使螺旋测微器因受热不均，而影响其精度和使用。
4. 在使用螺旋测微器测量时，当测微螺杆接近待测物体时，应轻转其尾部的棘轮，直到听到“咔咔”声。
5. 在测量半空心圆柱体外径时，注意螺旋测微器不应与圆柱体的母线平行使用，若如此测量，我们不能保证我们测得的是半空心圆柱体的直径。而应该，使螺旋测微器与半空心圆柱体的母线垂直，从而保证我们测得的是半空心圆柱体的直径。
6. 在使用电子天平时，注意预热和置零。
7. 测量牛角扣密度时，注意使牛角扣完全浸没到水中，同时，不要接触杯壁或杯底。此外，若烧杯的量程为 200ml，烧杯中水量应为 200ml 左右。
8. 测量牛角扣密度时，牛角扣密度应为三次测量所得密度的平均值，而不是平均值的密度。

八、思考题

1. 某游标卡尺的分度值为 0.01mm，主尺分度值为 0.5mm。试问：
   其游标的分度数为多少？游标部分的长度为多少？

   1. 游标卡尺的分度值为 0.01mm，主尺分度值为 0.5mm,表示主尺上每个刻度间隔为 0.5mm,而游标上每个刻度间隔为 0.01mm。

   2. 游标的分度数,即游标上有多少个刻度对应主尺上的 1 个刻度,可以计算为:

   主尺分度值 / 游标分度值 = 0.5mm / 0.01mm = 50 个刻度

   3. 游标部分的长度,可以计算为:

   游标分度数 × 游标分度值 = 50 × 0.01mm = 0.5mm

   因此,这个游标卡尺的游标分度数为 50 个刻度,游标部分的长度为 0.5mm。
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？哪个精度高？原因是什么？

关于测定不规则形状物体的体积,使用静力称衡法相比于排水法有以下优势:

1. 精度更高:

静力称衡法利用物体的重量和密度来计算体积,可以达到较高的精度,通常可以测量到 0.1cm^3以内。

排水法中,由于水的表面张力和测量误差,很难精确读取排水量,精度通常较低。

2. 适用范围更广:

静力称衡法适用于任何不规则形状的固体物体,不受形状的限制。

排水法需要物体能够完全浸入水中,某些不规则形状的物体无法完全浸入。

3. 操作更简便:

静力称衡法只需要称量物体的质量,计算过程简单。

排水法需要准备量筒并小心操作,容易出现误差。

因此,静力称衡法测定不规则形状物体的体积,通常比排水法更精准可靠,适用范围也更广。对于需要较高精度的体积测量,静力称衡法通常是更优选的方法。