

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量的测量 实验日期: 2024 年 5 月 13 日 下午
班 级: 63012315 座位号: 12 学 号: 112023347 姓 名: 陈墨霏

实验: 力学基本量测量

一、实验目的

1) 通过测定规则与不规则形状物体的密度, 掌握常规测量工具的使用, 完成长度以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“复摆法”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 , 故分布体积为 V , 则其密度为 $\rho = \frac{m}{V}$, 对于规则形状的物体 m 可以利用物理天平直接测量, V 可以使用长度测量仪器如游标卡尺、螺旋测微尺, 经过间接测量的方法确定。

2. 固体(不规则形状)密度的测量。

对于不规则形状物体, 其体积 V 可以根据阿基米德原理间接测定。如果物体的密度 > 1 , 其在空气中和完全浸在液体中所测得的重量分别为 $W_1 = m_1 g$ 和 $W_2 = m_2 g$, 设液体的密度为 ρ' , 可推得被测物体的密度为

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho' \quad (1)$$

如果物体的密度 < 1 , 并以水为媒介测量密度时, 则应首先确定被测物体的实际质量 m , 然后在被测物下方用细线连接一重坠并使其完全浸入液体中, 称出此时两个物体的视质量 m_2 , 如图1所示。最后将被测物件

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: _____

和量瓶同时浸入液体中称出此时称瓶质量 m_3 , 可推得被测物体密度为

$$\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \rho_1 \quad (2)$$

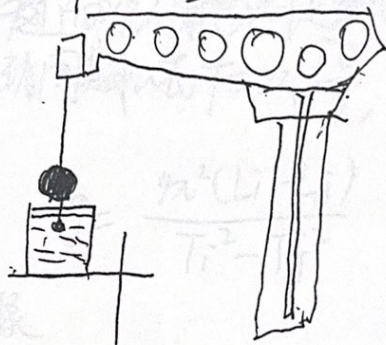


图1 测量密度小于1的物体

3. 散体(颗粒)密度的测量

利用比重瓶和蒸馏水可以测量不溶于水的粉末、颗粒等单体较小物质的密度。其基本原理仍是 m/V , 体积 V 间接获得。比重瓶的瓶盖上有一个毛细管, 当比重瓶装满水并盖上瓶盖时, 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 、盛满后比重瓶和水的总质量 m_2 , 以及装满水的瓶内再加入颗粒物质的总质量 m_3 , 则被颗粒排出的水的质量是 $m_1 + m_2 - m_3$, 排出水的体积就是该量为 m_1 的颗粒物质的体积。所以, 被测物质的密度为:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 + m_2 - m_3} \rho_0 \quad (3)$$

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: _____

4. 重力加速度 "g" 的测量

重力加速度 g 是科研生产中时常用到的重要物理量。本实验所采用的可变速长 "g" 仪可以精确而准确地测定当地的重力加速度。

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_i 与 L_j 时, 可推导出:

$$g = \frac{4\pi^2(L_i - L_j)}{T_i^2 - T_j^2} \quad (1-4)$$

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, 使水准器中的气泡位于中心, 天平底座水平。
- (2) 把游码移到横梁左端零线上, 顺时针打开游码开关, 提起横梁; 如天平不平衡, 应关闭天平。调整平衡螺母, 直至指针指到标尺中央处。
- (3) 首先测定规则形状物体的密度: 将 $\rho > 1$ 的被测物 (铝棒、钢球) 各一只放在天平左盘, 砝码放在右盘。天平平衡时, 由砝码和游码之和确定被测物体的质量 m , 用游标卡尺测定铝棒的体积, 用螺旋测微尺测定钢球的体积, 再由密度的定义式分别确定两物体的密度 ρ , 应根据间接测量确定值的定义式分别确定两个被测物体的密度的不确定度范围。

- (4) 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 ; 再将盛水的烧杯放在天平左盘托架上, 然后将与被测物连接的导线完全浸入水中, 读出此时的质量 m_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: _____

2. 利用比重瓶测定颗粒物质的密度。
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 mm ; 测摆动力周期时测得的《通用卧式量角器》的允许误差极限按 0.1 ms 计算。
(1) 摆长的变化量 $\Delta L = L_i - L_j$ 分别选择为 10 cm 、 30 cm 、 50 cm , 以测定 ΔL 的大小对测量结果精度的影响。
(2) 采用逐差法测量单摆的振动周期,即通过测量单摆 10 个振动周期所用时间,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 的值,并根据测量仪器精度确定测量结果的不确定度范围。

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	25.38	33.00	14.94	22.00
2	25.36	33.06	14.92	22.02
3	25.36	33.02	14.94	22.04
4	25.32	33.04	14.94	22.02
5	25.34	33.04	14.96	22.02
6	25.36	33.06	14.94	22.02
7	25.36	33.02	14.94	22.02
平均值 \bar{x} (mm)	25.354	33.034	14.940	22.020
实验标准偏差 S_x (mm)	0.01902	0.02225	0.01155	0.01155
不确定度 A 类分量 u_A (mm)	0.007190	0.008411	0.004364	0.004364
不确定度 B 类分量 u_B (mm)	0.01155	0.01155	0.01155	0.01155
合成标准不确定度 u_C (mm)	0.014	0.014	0.012	0.012
直接测量量 $\bar{x}(u_C)$ (mm)	25.354(0.014)	33.034(0.014)	14.940(0.012)	22.020(0.012)
间接测量量 $V(u_V)$ (mm) ³	12818(20)			

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： $m(u_m) = 35.45(0.03)\text{g}$ ，铝件密度 $\rho(u_\rho) = 2.765(0.005)\text{g/cm}^3$

写出 u_ρ 表达式： $u_\rho = \rho \cdot E = \rho \cdot \sqrt{\left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_V}{V}\right)^2}$

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 $t = 25.0^\circ\text{C}$

水的密度 $\rho' = 0.99706\text{g/cm}^3$

待测物体在空气中的质量 m_1 (g)	10.80
物空气中+坠子在水中视质量 m_2 (g)	21.35
物和坠子都浸入水中视质量 m_3 (g)	9.20
物体密度 $\rho = m_1\rho'/(m_2 - m_3)$ (g.cm ⁻³)	0.886
相对不确定度 E (%)	0.452
绝对不确定度 $u_\rho = \rho \times E$ (g.cm ⁻³)	0.004
物体密度 $\rho(u_\rho)$ (g.cm ⁻³)	0.886(0.004)

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 $E = \frac{\Delta_{ins}}{K} \sqrt{\left(\frac{1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2}$

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

1. 形状规则物本(铝件)的密度测量

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad n=7 \quad \text{得 } \bar{x}_D = 25.354 \text{ mm} \quad \bar{x}_H = 33.034 \text{ mm} \quad \bar{x}_d = 14.940 \text{ mm} \quad \bar{x}_h = 22.020 \text{ mm}$$

$$\delta x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad U_A = \frac{\delta x}{\sqrt{n}} \quad U_B = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{K} \quad U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad \Delta_{\text{ins}} = 0.02 \text{ mm} \quad K = \sqrt{3}$$

$$\text{得 } U_{CD} = 0.014 \text{ mm} \quad U_{CH} = 0.014 \text{ mm} \quad U_{cd} = 0.02 \text{ mm} \quad U_{cd} = 0.012 \text{ mm}$$

$$V = \frac{\pi}{4} (D^2 H - d^2 h) = 12818.33458 \text{ mm}^3 \approx 12818 \text{ mm}^3$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = 2DH \cdot \frac{\pi}{4} \frac{\partial V}{\partial H} = D \cdot \frac{\pi}{4} \quad \frac{\partial V}{\partial d} = -2dh \cdot \frac{\pi}{4} \quad \frac{\partial V}{\partial h} = -d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$U_V = \frac{\pi}{4} \sqrt{(2DH)^2 U_D^2 + (D^2)^2 U_H^2 + (-2dh)^2 U_d^2 + (-d^2)^2 U_h^2} = 20.43704 \text{ mm}^3 \approx 20 \text{ mm}^3$$

$$\therefore \bar{V}(U_V) = 12818 (20) \text{ mm}^3$$

$$m = 35.45 \text{ g} \quad \Delta_{\text{ins}} = 0.05 \text{ g} \quad K = 1.645 \quad \text{得 } U_m = 0.03 \text{ g}$$

$$m(U_m) = 35.45 (0.03) \text{ g} \quad \rho = \frac{m}{V} = 2.765 \text{ g/cm}^3$$

$$\ln \rho = \ln m - \ln V \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial m} = \frac{1}{m} \quad \frac{\partial \ln \rho}{\partial V} = -\frac{1}{V}$$

$$U_\rho = \rho \cdot E = \rho \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 U_m^2 + \left(\frac{1}{V}\right)^2 U_V^2} = 0.005 \text{ g/cm}^3$$

$$\therefore \rho(U_\rho) = 2.765 (0.005) \text{ g/cm}^3$$

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: _____

2. 不规则物体密度.

$$t = 25.0^{\circ}\text{C} \quad \rho' = 0.997069 \text{ g/cm}^3$$

$$m_1 = 10.80 \text{ g} \quad m_2 = 21.35 \text{ g} \quad m_3 = 9.20 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m_1 \rho'}{m_2 - m_3} = 0.886 \text{ g/cm}^3 \quad \ln \rho = \ln m_1 + \ln \rho' - \ln(m_2 - m_3)$$

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

$$u_m = \frac{\Delta \ln \rho}{K} \quad \Delta \ln \rho = 0.05 \text{ g} \quad K = 1.645 \quad u_m = 0.030395 \text{ g}$$

$$E = \sqrt{\left(\frac{1}{m_1}\right)^2 u_m^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2 u_m^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2 u_m^2} = 0.004521 \approx 0.452\%$$

$$u_p = \rho \cdot E = 0.004007 \text{ g} \approx 0.004 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho(u_p) = 0.886(0.004) \text{ g/cm}^3$$

思考题. 已知金和铜的密度分别为 ρ_{Au} 和 ρ_{Cu} , 现有一块合金是由金和铜两种成分合成, 用公式说明如何用物理天平称量合金中金、铜重量之比 $\frac{W_{\text{Au}}}{W_{\text{Cu}}}$. 设合金总质量为 m , 总体积为 V . 设 ρ_{Au} , ρ_{Cu} 和水的密度已知.

$$\frac{W_{\text{Au}}}{W_{\text{Cu}}} = \frac{m_{\text{Au}}}{m_{\text{Cu}}}$$

设合金总质量为 m , 总体积为 V .

$$\begin{cases} m_{\text{Au}} + m_{\text{Cu}} = \rho_{\text{Au}} V_{\text{Au}} + \rho_{\text{Cu}} V_{\text{Cu}} = m \\ V_{\text{Au}} + V_{\text{Cu}} = V \end{cases}$$

$$\text{解得 } V_{\text{Au}} = \frac{m - \rho_{\text{Cu}} V}{\rho_{\text{Au}} - \rho_{\text{Cu}}} \quad V_{\text{Cu}} = \frac{m - \rho_{\text{Au}} V}{\rho_{\text{Cu}} - \rho_{\text{Au}}}$$

m 可由物理天平直接测得. 设实验条件下, 水的密度为 $\rho_{\text{水}}$.

用细线将合金悬挂于天平左端, 测得质量 m_1 ,

将细线悬挂的合金恰好完全浸入水中, 测得质量 m_2 .

$$\text{则 } V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{水}}} = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{水}}}$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

$$\therefore \frac{W_{\text{Au}}}{W_{\text{Cu}}} = \frac{m_{\text{Au}}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{\rho_{\text{Au}} [m - \rho_{\text{Cu}} (m_1 - m_2)]}{\rho_{\text{Cu}} [\rho_{\text{Au}} (m_1 - m_2) - \rho_{\text{水}} m]}$$

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: _____

1.	$D(\text{mm})$	$d(\text{mm})$	$H(\text{mm})$	$h(\text{mm})$
1	25.38	14.94	33.00	22.00
2	25.36	14.92	33.06	22.02
3	25.36	14.94	33.02	22.04
4	25.32	14.94	33.04	22.02
5	25.34	14.96	33.04	22.02
6	25.36	14.94	33.06	22.02
7	25.36	14.94	33.02	22.02

$$m(\text{ulm}) = \underline{35.45} \text{ g}$$

$$2. \quad t = \underline{25.0}^{\circ}\text{C}$$

$$\rho' = \underline{0.997069} \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{array}{ll} m_1(\text{g}) & 10.80 \\ m_2(\text{g}) & 21.35 \\ m_3(\text{g}) & 9.20 \end{array}$$

序号: 实验教师: 王洋		
时间: 年 月 日		
上午	下午	晚上

联系方式: _____

指导教师签字: _____