

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日 下午
班 级: 汪洋班 教学班级: 63012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左彦龙
页 数: 1/8 座 号: 7

一、实验名称: 力学基本量测量

二、实验目的: 1) 通过测定形状规则与不规则物体的密度, 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。

三、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。

四、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 , 则其密度为 $\rho = m/V$ 。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 $> \rho'$, 基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' , 可推得被测物湿体的密度为:

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

如果物体的密度 < 1 , 并以水为媒介测其密度时, 则应首先确定被测物体的实际质量 m_1 , 然后在被测物下方用细线连接一重坠, 并使重坠完全浸入水中, 称出此时两个物体的视质量 m_2 , 最后将被测物体和重坠同时浸入液体中, 称出此时的视质量 m_3 , 可推得被测物体的密度为:

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

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验B1 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日 下午

班 级: 汪洋班 教学班级: G3012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左逸龙

页 数: 2/8 座 号: 7

3. 散粒体(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 要间接获得。比重瓶的瓶盖上有一个毛细管, 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)的体积总量是固定的。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 , 以及装满水的瓶内再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:

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

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参量。本实验采用的可变摆长测“g”仪可以快速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,

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

五. 实验内容及步骤:

1. 利用物体天平测量固体密度:

- (1) 调整天平底座的水平螺钉, 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牌中点为止。
- (3) 首先测定规则形状物体的密度: 将 $\rho > 1$ 的被测物(铝件)(钢球)分别放在天平左边称盘中, 砝码放在右边称盘中。天平平衡时, 由固定砝码和游码之和确定被测物体的质量 m_1 , 用游标卡尺测定铝件的体积、用螺旋测微尺测

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日 下午

班 级: 汪洋班 教学班级: 63012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左逸龙

页 数: 3/8 座 号: 7

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 ,应根据间接测量不确定度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 ;再将盛水的烧杯放置在天平左边托架上,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_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量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 0.02mm ;用于摆动周期测量的《通用电脑式毫秒计》的允许误差极限按 0.1ms 计算。

(1)摆长的变化量 $\Delta L = L_i - L_j$ 分别选择 10cm , 30cm , 50cm ,以判定 ΔL 大小对结果精度影响。

(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)测量单摆的振动周期时,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,必须先将仪器上的夹线器的螺丝放松。正式测量时,则应将夹线器的螺钉固紧,以保证摆长变化的准确。

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日下午

班级: 汪洋班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙

页数: 4/8

座号: 7

六. 数据处理:

(1) 规则物体(铝件)

1. 平均值: $\bar{D} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 D_i = 25.343 \text{ mm}$

$\bar{H} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 H_i = 33.123 \text{ mm}$

$\bar{d} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 d_i = 14.920 \text{ mm}$

$\bar{h} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 h_i = 22.166 \text{ mm}$

2. 实验标准偏差: $S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (D_i - \bar{D})^2}{7-1}} = 0.0195 \text{ mm}$

$S_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (H_i - \bar{H})^2}{7-1}} = 0.0373 \text{ mm}$

$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (d_i - \bar{d})^2}{7-1}} = 0.0283 \text{ mm}$

$S_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^7 (h_i - \bar{h})^2}{7-1}} = 0.2622 \text{ mm}$

3. 不确定度 $U_A(D) = \frac{S_D}{\sqrt{7}} = 0.03 \text{ mm}$

$U_A(H) = \frac{S_H}{\sqrt{7}} = 0.014 \text{ mm}$

A类分量:

$U_A(d) = \frac{S_d}{\sqrt{7}} = 0.011 \text{ mm}$

$U_A(h) = \frac{S_h}{\sqrt{7}} = 0.10 \text{ mm}$

4. 不确定度

B类分量: $U_B = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ mm}$

5. 合成标准不确定度: $U_c(D) = \sqrt{U_A^2(D) + U_B^2} = 0.03 \text{ mm}$ $U_c(H) = \sqrt{U_A^2(H) + U_B^2} = 0.019 \text{ mm}$

$U_c(d) = \sqrt{U_A^2(d) + U_B^2} = 0.016 \text{ mm}$ $U_c(h) = \sqrt{U_A^2(h) + U_B^2} = 0.10 \text{ mm}$

6. 直接测量量: $\bar{D} = 25.34(0.03) \text{ mm}$

$\bar{H} = 33.123(0.019) \text{ mm}$

$\bar{d} = 14.920(0.016) \text{ mm}$

$\bar{h} = 22.17(0.10) \text{ mm}$

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

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

代入数据, 得 $V(U_V) = 12833(59) \text{ mm}^3$ (经过修约)

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日下午

班级: 汪洋班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙

页数: 5/8

座号: 7

8. 铝件质量不确定度:

由于只测量了一次, 故只有B类不确定度, 即 $u_m = u_B = \frac{\Delta_{ins}}{k} = 0.03g$

则 $m(u_m) = 35.65(0.03)g$

9. 铝件密度: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi(D^2H - d^2h)}$

$$\text{则 } \frac{\partial \rho}{\partial m} = \frac{4}{\pi(D^2H - d^2h)}, \frac{\partial \rho}{\partial D} = \frac{-8mDH}{\pi(D^2H - d^2h)^2}, \frac{\partial \rho}{\partial H} = \frac{-4mD^2}{\pi(D^2H - d^2h)^2}, \frac{\partial \rho}{\partial d} = \frac{8mdh}{\pi(D^2H - d^2h)^2}, \frac{\partial \rho}{\partial h} = \frac{4md^2}{\pi(D^2H - d^2h)^2}$$

$$\text{于是 } u_\rho = \sqrt{\left[\frac{4u_m}{\pi(D^2H - d^2h)}\right]^2 + \left[\frac{-8mDH u_D(D)}{\pi(D^2H - d^2h)^2}\right]^2 + \left[\frac{-4mD^2 u_H(H)}{\pi(D^2H - d^2h)^2}\right]^2 + \left[\frac{8mdh u_d(d)}{\pi(D^2H - d^2h)^2}\right]^2 + \left[\frac{4md^2 u_h(h)}{\pi(D^2H - d^2h)^2}\right]^2}$$

代入数据, 得 $\rho(u_\rho) = 0.002778(0.000012)g/mm^3$ (经过修约)

(2) 不规则物体 (聚丙烯)

1. 密度: $\rho = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \cdot \rho' = \frac{10.95}{21.13 - 9.07} \times 0.998621 = 0.907 g/cm^3$

2. 相对不确定度: $\ln \rho = \ln m_1 - \ln(m_2 - m_3) + \ln \rho'$

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

$$\text{于是 } E = \sqrt{\left(\frac{1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{-1}{m_2 - m_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2} \cdot u_B, \text{ 其中 } u_B = \frac{\Delta_{ins}}{k} = 0.03$$

代入数据, 得 $E = 0.004517 = 0.45\%$

3. 绝对不确定度: $u_\rho = \rho \cdot E = 0.907 \times 0.45\% = 0.004096 = 0.004 g/cm^3$

4. 物体密度 $\rho(u_\rho) = 0.907(0.004) g/cm^3$

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	25.30	33.14	14.96	22.10
2	25.52	33.14	14.92	22.56
3	25.30	33.14	14.90	21.80
4	25.32	33.08	14.94	22.34
5	25.32	33.06	14.94	22.16
6	25.30	33.14	14.90	21.90
7	25.34	33.16	14.88	22.30
平均值 \bar{x} (mm)	25.343	33.123	14.920	22.166
实验标准偏差 S_x (mm)	0.0795	0.0373	0.0283	0.2622
不确定度 A 类分量 u_A (mm)	0.03	0.014	0.011	0.10
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)	0.03	0.014	0.016	0.10
直接测量量 $\bar{x}(u_C)$ (mm)	25.34(0.03)	33.123(0.014)	14.920(0.016)	22.17(0.10)
间接测量量 $V(u_V)$ (mm) ³	12833(59)			

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: $m(u_m) = 35.65(0.03)\text{g}$, 铝件密度 $\rho(u_\rho) = 0.002778(0.00012)\text{g/mm}^3$ 写出 u_ρ 表达式: $u_\rho = \sqrt{\left[\frac{4u_C(m)}{\pi(D^2H-d^2h)}\right]^2 + \left[\frac{-8mDHu_C(D)}{\pi(D^2H-d^2h)^2}\right]^2 + \left[\frac{8mdhu_C(d)}{\pi(D^2H-d^2h)^2}\right]^2 + \left[\frac{-4mD^2u_C(H)}{\pi(D^2H-d^2h)^2}\right]^2 + \left[\frac{4md^2u_C(h)}{\pi(D^2H-d^2h)^2}\right]^2}$ 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 $t = 18.0^\circ\text{C}$ 水的密度 $\rho' = 0.998621\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$

待测物体在空气中的质量 m_1 (g)	10.95
物空气中+坠子在水中视质量 m_2 (g)	21.13
物和坠子都浸入水中视质量 m_3 (g)	9.07
物体密度 $\rho = m_1\rho'/(m_2 - m_3)$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.907
相对不确定度 E (%)	0.45%
绝对不确定度 $u_\rho = \rho \times E$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.004
物体密度 $\rho(u_\rho)$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.907(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 $E = u_\rho \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{-1}{m_2 - m_3}\right)^2 + \left(\frac{1}{m_2 - m_3}\right)^2}$, 其中 $u_B = \frac{\Delta_{ins}}{k} = 0.03$

思考题: 1. (见后几页)

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日下午

班 级: 汪洋班 教学班级: 63012317 学 号: 1120231863 姓 名: 左逸龙

页 数: 7/8

座 号: 7

七、思考题:

已知:金和铜材的密度分别为 ρ_{Au} 和 ρ_{Cu} ,现有一块合金是由金和铜材两种成分合成,用公式说明如何用物理天平测定合金中金、铜重量之比 $\frac{W_{Au}}{W_{Cu}}$ 。 $(\rho_{Au}, \rho_{Cu}, \text{水密度已知})$

Step.1 使用物理天平,测量得合金质量 m_1 .

step.2 将合金用细绳悬挂,浸入水中,测量得视重 m_2 .

step.3 联立:

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

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

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BI 实验名称: 力学基本量测量 实验日期: 2024 年 4 月 1 日 下午
 班级: 汪洋班 教学班级: 63012317 学号: 1120231863 姓名: 左逸龙
 页数: 8/8 座号: 7

八、原始数据:

次数	直径 D(mm)	H(mm)	d(mm)	h(mm)
1	25.30	33.14	14.96	22.10
2	25.52	33.14	14.92	22.56
3	25.30	33.14	14.90	21.80
4	25.32	33.08	14.94	22.34
5	25.32	33.06	14.94	22.16
6	25.30	33.14	14.90	21.90
7	25.34	33.16	14.88	22.30

铝件质量: $m(u_m) = 35.65 \text{ g}$

水温 $t = 18.0^\circ\text{C}$

水的密度 $\rho' = 0.9986219 \cdot \text{cm}^{-3}$

待测物体在空气中的质量 $m_1(\text{g})$	10.95
物空气中 + 坠子在水中视质量 $m_2(\text{g})$	21.13
物和坠子都浸入水中视质量 $m_3(\text{g})$	9.07

联系方式: _____

指导教师签字: _____