

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025.11.1

一、实验名称：物质密度的测量

二、实验目的：

- 掌握物理天平的使用规则，练习用流体静力称衡法测定固体密度。
- 掌握用比重瓶法测定液体密度。
- 学习正确记录数据，掌握不确定度的估算及有效数字的运算法则。

三、实验原理：

密度 ρ 是物质的一种特性，定义为单位体积的质量，即 $\rho = m/V$ 。

（一）流体静力称衡法测固体（合金块）密度

根据阿基米德原理，浸在液体中的物体所受的浮力等于它排开液体的重力。

设固体在空气中的质量为 m ，浸没在纯水中称得的“视质量”为 m_1 （即 $m_1 = m - F_{\text{浮}}/g$ ）。

则物体排开水的质量为 $m - m_1$ 。

若已知水的密度为 $\rho_{\text{水}}$ ，则固体的体积 $V = (m - m_1)/\rho_{\text{水}}$ 。

固体的密度计算公式为：

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

（二）比重瓶法测液体（盐水）密度

利用同一比重瓶装满不同液体时体积 V 恒定的原理。

设空比重瓶质量为 m_1 ，装满纯水后的总质量为 m_2 ，装满待测液体（盐水）后的总质量为 m_3 。

则同体积纯水的质量为 $m_{\text{水}} = m_2 - m_1$ ，同体积待测液体的质量为 $m_{\text{液}} = m_3 - m_1$ 。

待测液体的密度计算公式为：

$$\rho_{\text{液}} = \frac{m_{\text{液}}}{m_{\text{水}}} \rho_{\text{水}} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \rho_{\text{水}}$$

四、主要仪器设备：

（一）物理天平：

类型：双盘机械天平（配有流体静力称衡架）。

分度值：0.01 g（依据实际数据记录位数推断，包含游码读数）。

（二）其他器材：

烧杯、比重瓶、温度计、待测合金块、待测盐水、纯水、吸水纸、细线等。

（三）环境参数：

室温 $t = 21.8^{\circ}\text{C}$

纯水标准密度 $\rho_{\text{水}} = 0.99779 \text{ g/cm}^3$ 。

五、实验步骤：

（一）物理天平的调整：

水平调节：调节底座下方的水平螺丝，使气泡位于中心。

零点调节：将游码移至标尺最左端“0”刻度处。开启止动旋钮，观察指针摆动。若指针左右摆动幅度不一致，关闭旋钮，调节横梁两端的**平衡螺母**（主要是右侧螺母），直至天平空载平衡。

（二）测固体密度（流体静力称衡法）：

称空气中质量 m ：

将合金块放在左盘中央，右盘加减砝码（由大到小）。

最后调节游码使横梁平衡，记下示数 m 。重复测量 3 次。

称水中视质量 m_1 ：

安装装置：将流体静力称衡架（小台子）跨放在左盘上方，确保不接触秤盘。

放置烧杯：在架上放盛有纯水的烧杯。

悬挂物体：将系有细线的合金块挂在左侧挂钩下，使其完全浸没在水中，且不触碰杯壁和杯底，也不得有气泡附着。

称量：在右盘加减砝码并移动游码，使天平再次平衡，记下示数 m_1 。重复测量 3 次。

（三）测液体密度（比重瓶法）：

称量洁净干燥的空比重瓶质量 m_1 （放在左盘称量），重复 3 次。

将比重瓶装满纯水，塞上瓶塞，擦干瓶外溢出的水，称量总质量 m_2 ，重复 3 次。

倒去纯水，用待测盐水清洗比重瓶后，装满盐水，同样操作称量总质量 m_3 ，重复 3 次。

六、原始数据记录：

表 1 固体（合金块）密度数据

测量次数 i	空气中质量 m/g	水中视质量 m ₁ /g
1	44.82	39.17
2	44.81	39.16
3	44.83	39.15
平均值 $\bar{x}$	44.82	39.16

表 2 液体（盐水）密度数据

测量次数 i	空瓶 m ₁ /g	瓶+水 m ₂ /g	瓶+盐水 m ₃ /g
1	31.64	47.62	49.02
2	31.62	47.64	49.00
3	31.63	47.63	49.01
平均值	31.63	47.63	49.01

七、数据处理：

（一）固体（合金块）密度的计算

（1）原始数据记录表

实验数据如表 1 固体（合金块）密度数据；

仪器误差限 $\Delta_{\text{仪}} = 0.01\text{ g}$ （依据数据记录位数），置信因子 $C = \sqrt{3}$ 。

（2）最佳估值计算

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{m} - \bar{m}_1} \rho_{\text{水}} = \frac{44.82}{44.82 - 39.16} \times 0.99779 = \frac{44.82}{5.66} \times 0.99779 \approx 7.901\text{ g/cm}^3$$

（3）不确定度评定

质量 m 的不确定度：

A 类分量： $u_A(m) = \sqrt{\frac{\sum (m_i - \bar{m})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0^2 + (-0.01)^2 + 0.01^2}{3 \times 2}} = 0.0058\text{ g}$

B 类分量： $u_B(m) = \Delta_{\text{仪}}/\sqrt{3} = 0.01/1.732 = 0.0058\text{ g}$

合成不确定度： $u_c(m) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.0058^2 + 0.0058^2} = 0.0082\text{ g}$

视质量 m_1 的不确定度：

A 类分量： $u_A(m_1) = \sqrt{\frac{0.01^2 + 0^2 + (-0.01)^2}{6}} = 0.0058\text{ g}$

B 类分量： $u_B(m_1) = 0.0058\text{ g}$

合成不确定度： $u_c(m_1) = 0.0082\text{ g}$

密度 ρ 的合成不确定度 $u_c(\rho)$ ：

根据公式 $\rho = \frac{m}{m - m_1} \rho_{\text{水}}$ ，对各变量求偏导（忽略 $\rho_{\text{水}}$ 的微小误差）：

令 $f(m, m_1) = \frac{m}{m - m_1}$ ，
 $\frac{\partial \rho}{\partial m} = \rho_{\text{水}} \frac{1 \cdot (m - m_1) - m \cdot 1}{(m - m_1)^2} = \rho_{\text{水}} \frac{-m_1}{(m - m_1)^2} \frac{\partial \rho}{\partial m_1} = \rho_{\text{水}} \frac{0 - m \cdot (-1)}{(m - m_1)^2} = \rho_{\text{水}} \frac{m}{(m - m_1)^2}$

代入数据（ $\bar{m} = 44.82, \bar{m}_1 = 39.16, \bar{m} - \bar{m}_1 = 5.66$ ）：

$$\begin{aligned}
|\frac{\partial \rho}{\partial m}| &= 0.99779 \times \frac{39.16}{5.66^2} \approx 1.220 |\frac{\partial \rho}{\partial m_1}| = 0.99779 \times \frac{44.82}{5.66^2} \approx 1.396 u_c(\rho) \\
&= \sqrt{(\frac{\partial \rho}{\partial m} u_c(m))^2 + (\frac{\partial \rho}{\partial m_1} u_c(m_1))^2} u_c(\rho) \\
&= \sqrt{(1.220 \times 0.0082)^2 + (1.396 \times 0.0082)^2} u_c(\rho) = \sqrt{0.000100 + 0.000131} \\
&= \sqrt{0.000231} \approx 0.015 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

（4）测量结果

$$\rho_{\text{合金}} = (7.90 \pm 0.02) \text{ g/cm}^3 \quad (P = 0.683)$$

$$\text{相对不确定度} E_r = \frac{0.015}{7.901} \times 100\% \approx 0.2\%$$

（二）液体（盐水）密度的计算

（1）原始数据记录表

如表 2 液体（盐水）密度数据

（2）最佳估值计算

$$\begin{aligned}
\bar{m}_{\text{水}} &= \bar{m}_2 - \bar{m}_1 = 47.63 - 31.63 = 16.00 \text{ g} \quad \bar{m}_{\text{液}} = \bar{m}_3 - \bar{m}_1 = 49.01 - 31.63 = 17.38 \text{ g} \\
&= \frac{17.38}{16.00} \times 0.99779 \approx 1.0838 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

（3）不确定度评定

由于三次测量数据极其接近，标准差 s 极小，主要误差来源为仪器误差（B 类）。

取 $u_c(m) \approx u_B(m) = 0.01/\sqrt{3} = 0.0058 \text{ g}$ 。

根据公式 $\rho_{\text{液}} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \rho_{\text{水}}$ ，为简化计算，采用相对不确定度合成（视分子分母近似独立）：

令 $A = m_3 - m_1 = 17.38 \text{ g}$ ， $B = m_2 - m_1 = 16.00 \text{ g}$ 。

$$\begin{aligned}
u(A) &= \sqrt{u^2(m_3) + u^2(m_1)} = \sqrt{0.0058^2 + 0.0058^2} = 0.0082 \text{ g} \quad u(B) = \sqrt{u^2(m_2) + u^2(m_1)} \\
&= 0.0082 \text{ g} \quad \frac{u(\rho)}{\rho} = \sqrt{(\frac{u(A)}{A})^2 + (\frac{u(B)}{B})^2} \frac{u(\rho)}{\rho} = \sqrt{(\frac{0.0082}{17.38})^2 + (\frac{0.0082}{16.00})^2} \\
&= \sqrt{(4.7 \times 10^{-4})^2 + (5.1 \times 10^{-4})^2} \approx 6.9 \times 10^{-4} u(\rho) = 1.0838 \times 0.00069 \\
&\approx 0.0007 \text{ g/cm}^3
\end{aligned}$$

（4）测量结果

$$\rho_{\text{盐水}} = (1.0838 \pm 0.0007) \text{ g/cm}^3 \quad (P = 0.683)$$

八、实验结果与讨论:

（一）实验结论：

本实验测得在 21.8°C 下：

合金块的密度为 $(7.90 \pm 0.02) \text{ g/cm}^3$ 。从数值推断，该合金块可能为钢或铁（标准密度约 $7.8 - 7.9 \text{ g/cm}^3$ ）。

待测盐水的密度为 $(1.0838 \pm 0.0007) \text{ g/cm}^3$ 。

（二）误差分析与讨论：

仪器精度的选择：实验中使用的仪器为物理天平。在本次实验数据的记录中，数据记录到了小数点后两位（0.01g），这取决于天平的游码精度或估读能力。相比于高精度的电子天平，物理天平的操作更考验实验者的耐心和读数技巧，容易引入人为读数误差。

气泡的影响：在流体静力称衡法中，如果合金块表面附着微小气泡，会导致排开水的体积测量值偏大， m_1 （视质量）偏小，导致分母 $(m - m_1)$ 偏大，最终计算出的密度 ρ 偏小。实验时已尽量晃动合金块以赶走气泡。

温度的影响：实验过程中假设温度恒定为 21.8°C 。若手持比重瓶时间过长导致液体升温，体积膨胀溢出，会导致 m_2 或 m_3 测量值偏小，从而引入误差。

吊丝的影响：在测固体密度时，细铁丝浸入水中部分会产生额外浮力。