

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДОГО ТЕЛА СПОСОБОМ
ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Поляков Даниил, Б07-ФЗ

Цель работы: определить плотность твёрдого тела методом гидростатического взвешивания.

Оборудование:

- Тело произвольной формы;
- Рычажные весы;
- стакан для воды;
- Подставка;
- Стремя и проволока для подвешивания тела;
- Набор гирь.

Расчётные формулы:

- Плотность взвешиваемого тела без поправки на воздух:

$$\rho_T = \frac{M}{M - m} \rho_B$$

M – масса гирь, уравнивающих тело в воздухе;

m – масса гирь, уравнивающих тело, погруженное в воду;

ρ_B – плотность воды.

- Плотность взвешиваемого тела с поправкой на воздух:

$$\rho_T = \frac{M}{M - m} \rho_B \left(1 - \frac{\rho}{\rho_B} \right) + \rho$$

M – масса гирь, уравнивающих тело в воздухе;

m – масса гирь, уравнивающих тело, погруженное в воду;

ρ_B – плотность воды;

ρ – плотность воздуха.

- Масса гирь, уравнивающих тело, погруженное в воду:

$$m = m_2 - m_1$$

m_1 – масса гирь, уравнивающих проволочку, погруженную в воду;

m_2 – масса гирь, уравнивающих тело и проволочку, погруженные в воду.

- Формулы для вычисления погрешностей:
 - Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta x = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + \Delta x_B^2}$$

n – количество измерений;
 t – коэффициент Стьюдента;
 Δx_B – приборная погрешность.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2\right)^2 + \dots}$$

Метод проведения измерений

1. Убедимся в равновесии весов.
2. Установим на первую чашу весов исследуемое тело, на вторую – гири. Уравновесим весы, используя гири и точную настройку весов. Запишем суммарную уравновешивающую массу M . Уберём тело и гири с весов и повторим измерение 3 раза.
3. Установим подставку над первой чашей весов. Налъём воды в стакан и установим её на подставку. Привяжем проволочку к телу и подвесим тело на крючок весов. Уравновесим весы. Запишем суммарную уравновешивающую массу m_2 . Уберём тело и гири с весов и повторим измерение 3 раза.
4. Снимем тело с проволочки и повторим измерения, погружая в воду проволочку без тела. Запишем суммарную уравновешивающую массу m_1 . Повторим измерение 3 раза.

Таблицы и обработка данных

Приборная погрешность измеряемой массы равна 0.05 мг (половина цены деления).

При каждом измерении массы проводилось 4 измерения. Абсолютная погрешность находилась по формуле для погрешности прямых измерений, указанной в разделе «Расчётные формулы». Коэффициент Стьюдента при данном количестве равен 1.3.

Плотность воды: $\rho_{\text{в}} \approx 998.2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; плотность воздуха: $\rho \approx 1.189 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Масса гирь, уравновешивающих тело в воздухе

№	$M, \text{г}$
1	12.5790
2	12.5786
3	12.5775
4	12.5786
Среднее	12.5784
Δ	0.0004

Масса гирь, уравновешивающих проволочку, погруженную в воду

№	$m_1, \text{г}$
1	0.5625
2	0.5610
3	0.5587
4	0.5584
Среднее	0.5602
Δ	0.0013

Масса гирь, уравновешивающих тело и проволочку, погруженные в воду

№	$m_2, \text{г}$
1	8.3954
2	8.3923
3	8.3927
4	8.3955
Среднее	8.3940
Δ	0.0011

Вычисление плотности тела

Найдём массу гирь, уравнивающих тело, погруженное в воду (вычтем влияние проволоки):

$$\bar{m} = \bar{m}_2 - \bar{m}_1 \approx 7.8338 \text{ г}$$

$$\Delta m = \sqrt{\left(\frac{\partial m}{\partial m_1} \cdot \Delta m_1\right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial m_2} \cdot \Delta m_2\right)^2} = \sqrt{(\Delta m_1)^2 + (\Delta m_2)^2} \approx 0.0017 \text{ г}$$

$$m = 7.8338 \pm 0.0017 \text{ г}$$

Найдём плотность взвешиваемого тела без поправки на воздух:

$$\bar{\rho}_T = \frac{M}{M - m} \rho_B \approx 2646.33 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\begin{aligned} \Delta \rho_T &= \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_T}{\partial M} \cdot \Delta M\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_T}{\partial m} \cdot \Delta m\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{m}{(M - m)^2} \rho_B \cdot \Delta M\right)^2 + \left(\frac{M}{(M - m)^2} \rho_B \cdot \Delta m\right)^2} \approx 1.0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \end{aligned}$$

$$\rho_T = 2646.3 \pm 1.0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Найдём плотность взвешиваемого тела с поправкой на воздух:

$$\bar{\rho}_T = \frac{M}{M - m} \rho_B \left(1 - \frac{\rho}{\rho_B}\right) + \rho \approx 2644.37 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\begin{aligned} \Delta \rho_T &= \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_T}{\partial M} \cdot \Delta M\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_T}{\partial m} \cdot \Delta m\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{m}{(M - m)^2} \rho_B \left(1 - \frac{\rho}{\rho_B}\right) \cdot \Delta M\right)^2 + \left(\frac{M}{(M - m)^2} \rho_B \left(1 - \frac{\rho}{\rho_B}\right) \cdot \Delta m\right)^2} \approx 1.0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \end{aligned}$$

$$\rho_T = 2644.4 \pm 1.0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Выводы

- Метод гидростатического взвешивания – удобный и простой способ нахождения точного значения плотности и объёма неправильных тел.
- Разница между плотностью тела с поправкой на воздух и без поправки сравнима с погрешностью данных величин, таким образом учитывать её практически не имеет смысла.