
Экспериментальный этап

Теоретическое введение

Насыпная плотность — средняя плотность объекта, состоящего из макроскопических частиц, гранул или волокон материала и из окружающей среды, то есть масса единицы объёма материала в насыпном состоянии вместе с порами и пустотами.

Насыпная плотность отличается в меньшую сторону от собственной плотности материала, вычисляемой без учёта пустот.

Задача:

- Определите собственную плотность вещества фасоли.

Оборудование:

- фасоль
- два стакана
- шприц
- вода
- линейка
- ручка

Обратите внимание, в аудитории имеется емкость, в которую вы можете вылить «лишнюю» воду или набрать из нее необходимое количество недостающей воды. Все измерения следует выполнять на вашем рабочем столе. Старайтесь не проливать воду на окружающие поверхности.

Указание: плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ считать известной.

Подробно опишите в отчете все измерения, которые вы проделали и приведите числовые результаты прямых измерений. Явно укажите все физические законы и все следствия из них, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом. Проведите необходимые математические преобразования и расчёты, постаравшись дать числовую оценку погрешности полученного результата.

Решение

Помещаем в пустой стакан несколько фасолин. С помощью шприца, измеряя при этом объем вливаемой воды, заливаем в стакан воду так, чтобы все фасолины оказались под водой. Отмечаем уровень воды в стакане. Объем стакана, занятого водой и фасолью, равен $V_F + V_1$, где V_F – объем фасоли, V_1 – объем влитой в стакан воды.

Извлекаем фасоль из стакана (при этом лучше также вылить воду). Наливаем с помощью шприца воду в стакан (измеряя объем воды) до отмеченного ранее уровня. Полученный объем воды $V_2 = V_F + V_1$. Тогда объем фасоли

$$V_F = V_2 - V_1$$

Выливаем воду и вытаскиваем фасоль из стакана.

Повторяем эксперимент несколько раз. Вычисляем среднее значение V_F .

Помещаем в пустой стакан такое же количество фасоли (в идеале те же фасолины, что и в прошлых измерениях). В другой стакан наливаем воду. Помещаем стакан с фасолью в стакан с водой. Замечаем уровень погружения стакана с фасолью в воду. Условие плавания стакана с фасолью – это равенство суммы сил тяжести, действующих на стакан $m_C g$ и фасоль $m_F g$ силе Архимеда $\rho_0 g V$, где V – объем погруженной части стакана.

$$m_C g + m_F g = \rho_0 g V$$

Извлекаем фасоль из стакана. Наливаем вместо нее воду (измеряя объем залитой воды) до тех пор пор, пока стакан не погрузится до поставленной отметки. Условие плавания стакана с водой (V_0 – объем налитой в стакан воды):

$$m_C g + \rho_0 g V_0 = \rho_0 g V$$

Тогда мы имеем

$$\begin{aligned} m_C g + m_F g &= \rho_0 g V = m_C g + \rho_0 g V_0 \\ m_F &= \rho_0 V_0 \end{aligned}$$

Повторяем эксперимент несколько раз. Вычисляем среднее значение
Искомая плотность вещества, из которого состоит фасоль:

$$\rho = \frac{m_F}{V_F} = \frac{\rho_0 V_0}{V_2 - V_1}$$

Каким-либо известным способом определяем погрешность. Например, методом границ

$$\Delta \rho = \frac{\rho_{max} - \rho_{min}}{2} = \frac{\rho_0}{2} \left(\frac{V_{0max}}{V_{2min} - V_{1max}} - \frac{V_{0min}}{V_{2max} - V_{1min}} \right)$$

Записываем результат в виде $\rho \pm \Delta \rho$ с указанием итоговых единиц измерения

Критерии оценивания

Разбалловка приведена для авторского проведения эксперимента. Если эксперимент проведен с явными нарушениями, то проверяющий вправе не засчитать выполнения задания (0 баллов). При проведении эксперимента не в представленном варианте (другие методы) баллы проставляются по аналогии с авторским решением с учетом поправки на использованные методы. Максимальное количество баллов – 10.

Критерий	Балл
Проведены попытки (имеющие какой-либо физический смысл) по определению объема фасоли	1
Определен объем фасоли (однократно)	1
Эксперимент проведен несколько раз (среднее значение объема фасоли)	1
Проведены попытки (имеющие какой-либо физический смысл) по определению массы фасоли	1
Определена масса фасоли	2
Эксперимент проведен несколько раз (среднее значение массы фасоли)	1
Определена плотность вещества фасоли	1
Определена погрешность результата	1
Представлен итоговый результат с учетом погрешности и с указанием единиц измерения	1