



В данной задаче НЕ требуется оценка погрешностей!

Теоретическая справка

Движение объектов в вязкой среде сопровождается возникновением силы трения. Сила трения, действующая на шар, который движется в вязкой среде в объеме, ограниченном трубой, может быть описана формулой:

$$F = kv^n, \quad (1)$$

где v - скорость шара относительно среды, k - коэффициент сопротивления среды, n - некоторая целая степень. Коэффициент сопротивления является функцией вязкости среды, а также размера шара и размера трубы.

Задание

1. Измерьте плотность пластилина и плотность глицерина.
2. Определите степень зависимости силы трения от скорости n .
3. Измерьте зависимость коэффициента k от радиуса шара, движущегося в глицерине, находящемся в мерном цилиндре. Диапазон радиусов выберите равным от 0 до 1.25 см.
4. Постройте график измеренной зависимости. Можно ли считать зависимость монотонной функцией?

Оборудование. Пластилин, вода в двух стаканчиках (одна для измерений - 250 мл, другая для смывки глицерина - 1 л), весы, деревянная шпажка, гайка, секундомер, мерный цилиндр с глицерином, одноразовые полотенца для поддержания порядка на рабочем месте, линейка, поднос.



Решение

Измерим массу кусочка пластилина $m_{\text{п}} = 9.10$ г. Поставим на весы стакан с водой и обнулим весы. Аккуратно проткнем деревянной палочкой пластилин и опустим его в воду, погрузив полностью, но так, чтобы пластилин не касался стенок стакана. Весы покажут значение отношения силы Архимеда и ускорения свободного падения. Так как плотность воды равна 1 г/см^3 , показания весов будут численно равны объему кусочка пластилина $V = 6.06$ мл. Откуда плотность пластилина:

$$\rho_{\text{п}} = m_{\text{п}}/V = 1.50 \text{ г/см}^3. \quad (2)$$

Поставим на весы мерный цилиндр и обнулим весы. Опустим тот же кусочек пластилина в глицерин. В этом случае показания весов составят $m_{\text{г}} = 7.63$ г. Откуда плотность глицерина:

$$\rho_{\text{г}} = m_{\text{г}}/V = 1.26 \text{ г/см}^3. \quad (3)$$

Скатаем шарик из пластилина. Измерим его объем с помощью вышеописанного способа $V = 2.94$ мл. Измерим его время движения внутри цилиндра между отметками в 80 и 20 мл. Оно составит $t_1 = 26.0$ с. Сделаем новый шарик из пластилина того же объема, только с гайкой внутри. Его масса составит $m_1 = 6.72$ г. Время его движения между теми же отметками составит $t_2 = 6.22$ с. Для движущегося вниз под действием силы тяжести в глицерине шарика можно записать условие равновесия:

$$mg - \rho Vg = kv^n. \quad (4)$$

Для двух шариков равного объема коэффициенты сопротивления одинаковы. Таким образом, отношение времен их падения связано с их массой и объемом следующим образом:

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^n = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n = \frac{m_1 - \rho_{\text{г}}V}{V(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{г}})} \quad (5)$$

Для отношения времен имеем $t_1/t_2 = 4.18$. Для правой части уравнения:

$$\frac{m_1 - \rho_{\text{г}}V}{V(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{г}})} = 4.27. \quad (6)$$

Так как значения достаточно близки, выберем степень n равной 1.

Скатаем из пластилина шарики разных размеров. Измерим массы шариков и их времена движения между отметками в 80 и 20 мл внутри цилиндра. Радиусы шариков определим на основе данных об их массе и плотности пластилина:

$$r = \left(\frac{3m}{\rho_{\text{п}}4\pi}\right)^{(1/3)}. \quad (7)$$

Скорость шариков можно рассчитать из отношения расстояния $l = 15.0$ см между отметками и времени их движения:

$$v = l/t. \quad (8)$$

Запишем данные в таблицу и окончательно рассчитаем коэффициент сопротивления движению как:

$$k = \frac{gV(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{г}})}{v} = \frac{gtm(\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{г}})}{l\rho_{\text{п}}}. \quad (9)$$

И построим искомый график $k(r)$. Видно, что несмотря на немонотонность зависимости времени движения от радиуса шара, зависимость коэффициента сопротивления от радиуса шара монотонна.

m , г	r , см	t , с	k , кг/с
0.77	0.50	18.16	0.201
4.49	0.89	22.20	1.435
1.36	0.60	16.72	0.327
7.26	1.05	35.50	3.711
9.59	1.15	49.40	6.822
1.17	0.57	16.80	0.283
3.46	0.82	17.50	0.872
5.58	0.96	24.70	1.985
2.07	0.69	16.20	0.483
0.27	0.35	25.50	0.099
11.63	1.23	78.80	13.197
0.10	0.25	38.60	0.056

График зависимости k от r 