

-2. Очень медленное движение. Приборы и оборудование

Условие

Задание 10-2. Очень медленное движение.

Приборы и оборудование: Штатив с лапкой, пробирка с пробкой, шприцы одноразовые с иглой, линейка, секундомер электронный с памятью этапов, стакан одноразовый 200 мл, салфетки бумажные (для вытирания стола), скотч, гель (жидкое мыло), масло.

В данной работе Вам необходимо исследовать вертикальное движение пузырьков масла и воздуха в вязкой жидкости.

Сначала аккуратно соберите установку: с помощью скотча прикрепите пробирку к линейке, заполните пробирку жидким мылом, примерно 2 см по высоте пробирки оставьте место для воздуха, плотно закройте пробирку пробкой, проткните пробку иглой для шприца, так, чтобы с помощью шприца внутрь пробирки можно было впускать небольшие порции масла, или воздуха. Закрепите линейку с пробиркой в штативе вертикально, пробкой вниз.

Теперь, запуская с помощью шприца внутрь пробирки небольшую порцию масла, Вы можете наблюдать подъем пузырька и измерять характеристики его движения.

При движении пузырька масла (или воздуха) на него действует сила сопротивления, которая пропорциональна скорости движения пузырька v . Эта сила также имеет степенную зависимость от радиуса пузырька r :

$$F = Cr^{\gamma}v. \quad (1)$$

Часть 1. Масляный пузырек.

1.1 Покажите экспериментально, что при всплытии пузырек движется равномерно. Проведите необходимые измерения, постройте график закона движения. рассчитайте скорость этого движения, оцените погрешность измерения скорости. (Эти измерения можно провести для одного пузырька, укажите его радиус). **1.2.** Исследуйте зависимость скорости пузырька от его радиуса. Постройте график полученной зависимости. На основании полученных данных определите показатель степени γ в формуле (1).

Часть 2. Воздушный пузырек.

2.1 – 2.2 Проведите измерения п.1.1 - 1.2 для пузырьков воздуха.

Часть 3. Сравнение.

3.1 Используя полученные экспериментальные данные, найдите отношение плотности масла к плотности жидкого мыла.

Решение

Задание 10-2. Очень медленное движение.

Часть 1. Масляный пузырек.

1.1 Времена всплытия масляных пузырьков составляют несколько минут. Для доказательства равномерности движения необходимо экспериментально измерить закон движения пузырька: зависимость координаты от времени. Для этого следует использовать секундомер с памятью этапов: заранее отметить 10 точек на линейке и засечь времена прохождения пузырька через эти отметки.

График экспериментальной зависимости весьма близок к прямой, что и доказывает равномерность движения пузырька.

Наиболее точным методом расчета скорости является метод наименьших квадратов, коэффициент наклона зависимости $x(t)$ равен средней скорости движения.

1.2 Для получения зависимости скорости пузырька от его радиуса измерения необходимо провести не менее, чем для 10 различных пузырьков. График зависимости скорости пузырька от его радиуса является параболой, что можно доказать и линеаризацией $v(r^2)$. При равномерном движении разность силы Архимеда и силы тяжести уравнивается силой сопротивления, поэтому в стационарном режиме справедливо следующее уравнение

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_0 - \rho)g = Cr^\gamma v, \quad (1)$$

Из которого следует, что

$$v = \frac{4}{3C}\pi r^{3-\gamma}(\rho_0 - \rho)g, \quad (2)$$

где ρ_0 - плотность мыла, ρ - плотность масла.

Так как в эксперименте оказалось, что скорость пропорциональна квадрату скорости, то из этого следует, что показатель степени равен

$$\gamma = 1. \quad (3)$$

Часть 2. Воздушный пузырек.

2.1-2.2 Результаты измерений времен всплытия воздушных пузырьков аналогичны результатам исследования подъема масляных пузырьков, только характерные времена

всплытия примерно в 5 раз меньше. Движение воздушных пузырьков также является равномерным.

Часть 3. Сравнение.

3.1 Для скорости установившегося движения воздушного пузырька справедлива формула, аналогичная формуле (2), в которой можно пренебречь плотностью воздуха:

$$v_1 = \frac{4}{3C} \pi r^{3-\gamma} \rho_0 g \quad (4)$$

Отношение скоростей двух пузырьков одинакового радиуса зависит от плотностей следующим образом:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{(\rho_0 - \rho)}{\rho_0} \quad (5)$$

Из этой формулы следует, что

$$\frac{\rho}{\rho_0} = 1 - \frac{v}{v_1} \quad (6)$$

Конечно, более предпочтительным является расчет по коэффициентам наклона зависимостей $v(r^2)$.