

Работа 1.17

Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса

Оборудование: стеклянный цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью, бюретка с водой, секундомер, линейка.

Введение

Всякое тело при движении испытывает сопротивление среды и других тел, с которыми оно соприкасается во время движения.

Внутренним трением (вязкостью) называется явление возникновения касательных сил, препятствующих перемещению частей одного и того же тела относительно друг друга.

Установлено, что сила внутреннего трения пропорциональна градиенту скорости и площади соприкасаемых слоев текущей жидкости (рис. 1.50):

$$F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta z},$$

где величина $\Delta v / \Delta z$ характеризует изменение скорости слоев на единицу длины в направлении нормали к поверхности слоя и называется *градиентом скорости*, η — коэффициент внутреннего трения (*динамическая вязкость*). Он численно равен силе внутреннего трения, действующей на единицу площади поверхности слоя при градиенте скорости, равном единице.

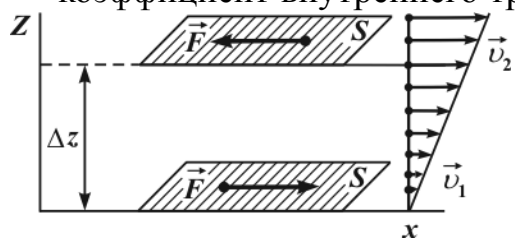


Рис. 1.50

Сила сопротивления движению тел в жидкости зависит от их формы и размеров, коэффициента вязкости жидкости и скорости движения.

Так, при движении шара радиусом r с небольшой скоростью v в жидкости на него в соответствии с формулой Стокса действует сила $F_c = 6\pi \eta r v$.

Описание метода и установки. На падающий в вязкой жидкости шарик, действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, архимедова $\vec{F}_A$ и сила сопротивления $\vec{F}_c$ (рис. 1.51).

При установившемся равномерном движении:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_c = \vec{0} \quad (1)$$

или в проекции на вертикальную ось X :

$$-mg + F_A + F_c = 0. \quad (2)$$

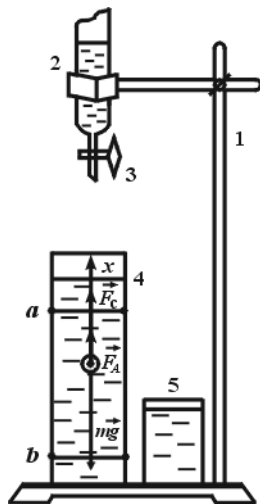


Рис. 1.51

Масса шарика $m = \rho_0 V = 4\pi r^3 \rho_0 / 3$, где ρ_0 — плотность материала шарика, r — его радиус.

Архимедова сила $F_A = \rho_{ж} V g = 4\pi r^3 \rho_{ж} g / 3$, где $\rho_{ж}$ — плотность жидкости.

Из формулы (2) найдем силу сопротивления:

$$F_c = mg - F_A.$$

После подстановки соответствующих значений, получим:

$$6\pi \eta r v = \frac{4\pi r^3 \rho_{ж} g}{3} - \frac{4\pi r^3 \rho_0 g}{3}.$$

$$\text{Отсюда } \eta = 2r^2 g (\rho_{ж} - \rho_0) / 9v.$$

Более точную формулу для вычисления η можно получить, если учесть влияние пристеночного слоя жидкости при падении шарика вдоль оси цилиндрического сосуда радиусом R :

$$\eta = \frac{2r^2 g (\rho_{ж} - \rho_0)}{9v (1 + 2,4r/R)}. \quad (3)$$

В случае падения каплей воды в жидкости

$$\eta = \frac{r^2 g (\rho_{ж} - \rho_0)}{3v (1 + 2,4r/R)}. \quad (4)$$

Установка для определения коэффициента вязкости по методу Стокса (рис. 1.51) состоит из стойки-держателя 1, бюретки 2 с краном 3, цилиндрического сосуда 4 с исследуемой жидкостью, на котором имеются два кольца из проволоки a и b , и стаканчика 5.

Порядок выполнения работы

1. Установите кольца из проволоки a и b на некотором расстоянии одно от другого. Измерьте это расстояние l .

2. Установите бюретку с водой над сосудом с исследуемой жидкостью и приоткройте кран так, чтобы капли медленно вытекали из бюретки (высота падения капли и величина l должны обеспечивать равномерность их движения в жидкости).

3. Определите время t прохождения выбранной каплей расстояния между метками. Найдите скорость движения капли ($v = l/t$). Повторите опыт не менее трех раз и найдите среднее значение v и предельную погрешность $\Delta v / v = \Delta l / l + \Delta t / t$.

4. Установите бюретку над стаканчиком. Откройте кран и сосчитайте количество капель n , упавших в него. Заметьте изменение объема воды в бюретке

$V_0 = V_1 - V_2$. Определите радиус капли по формуле $r = \sqrt[3]{3V_0/4\pi n}$, а также предельную погрешность: $\Delta r/r = (\Delta V_1 + \Delta V_2)/3(V_1 - V_2)$.

5. По формуле (4) рассчитайте коэффициент вязкости.

6. Оцените предельную погрешность:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = 2 \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta v}{v} + \frac{2,4(R\Delta r + r\Delta R)}{R(1 + 2,4r/R)}.$$

7. Результаты запишите в таблицу:

№ п/п	l , см	t , с	$v \pm \Delta v$, см/с	V_b , см ³	n	$\bar{r} \pm \Delta r$, мм	R	$\bar{\eta} \pm \Delta \eta$, кг/м·с ²
----------	----------	---------	-------------------------	-------------------------	-----	-----------------------------	-----	--



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются реальные жидкости от идеальных?
2. Какие силы действуют на тело, движущееся в реальной жидкости? От чего они зависят?
3. Какой физический смысл коэффициента вязкости? Что принимается за единицу вязкости в системе СИ?
4. Что понимают под градиентом скорости?
5. Слои жидкости, отстоящие один от одного на 2 м, имеют скорости 10 м/с и 4 м/с. Найдите градиент скорости.
6. Какое течение называют ламинарным? Турбулентным?
7. Какой смысл имеет число Рейнольдса?
8. Объясните механизм возникновения сопротивления трения и сопротивления давления при движении тела в вязкой жидкости.
9. Как определяется скорость движения и радиус капли в данной работе?