PDF-XChange Viewer Click to buy NOW! www.docu-track.com

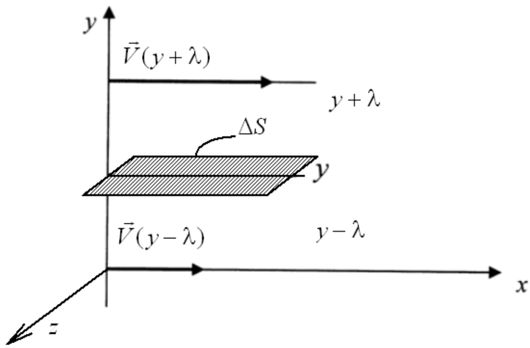
Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ (ВЯЗКОСТИ) ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ СТОКСА

Цель работы: определение коэффициента внутреннего трения η жидкостей и сравнение найденных его экспериментальных значений с табличными значениями.

1. Вывод формулы для коэффициента вязкости

Возникновение внутреннего трения в газах и жидкостях связано с переносом импульса в направлении, перпендикулярном скорости жидкости. Если скорость направленного движения $\vec{V}(y) = (V(y), 0, 0)$ в потоке жидкости изменяется от слоя к слою (см. рисунок), то на границе между слоями возникает сила, связанная с тем, что молекулы, переходящие из быстрого слоя в медленный, ускоряют медленный слой, а молекулы, переходящие из медленного слоя в быстрый, тормозят быстрый слой. Для случая плоского течения жидкости (газа) силу трения между слоями можно оценить, используя приведенный ниже рисунок, следующим образом [1–3].



Пусть в направлении оси x течет жидкость, причем существует градиент скоростей направленного движения жидкости $d\vec{V}/dy \neq 0$ вдоль оси y. Такой градиент скоростей можно осуществить в аквауме в слоях жидкости между дном и поверхностью, двигая с постоянной скоростью параллельно оси x доску, лежащую на поверхности жидкости. Верхние слои жидкости, прилегающие к доске, вследствие трения между жидкостью и доской, будут двигаться с максимальной скоростью, нижние слои из-за внутреннего трения в жидкости также придут в движение, скорость направленного движения жидкости с приближением ко дну аквариума будет уменьшаться.

Для силы трения, приходящейся на единицу площади площадки ΔS, расположенной параллельно оси x (касательного «натяжения» σ_x внутри жидкости в направлении оси x), исходя из второго закона Ньютона можно записать следующее выражение:

$$\sigma_x = \frac{\Delta F_x}{\Delta S} = \frac{(1/6)(mn\bar{V}_{\text{тепл}})\left[V(y-\lambda)-V(y+\lambda)\right]\Delta S}{\Delta S} \cong$$
$$\cong -\frac{1}{3}mn\bar{V}_{\text{тепл}}\lambda\frac{dV}{dy} = -\eta\frac{dV}{dy}, \qquad (1)$$

здесь $\eta = \frac{1}{3}nm\bar{V}_{\text{тепл}}\lambda$ – коэффициент внутреннего трения жидкости, выражающийся через массу молекулы m, концентрацию n, среднюю скорость теплового движения $\bar{V}_{\text{тепл}}$ и длину свободного пробега λ молекул. При получении формулы (1) учтено, что число молекул жидкости, пересекающих единичную площадку, расположенную посередине между слоями жидкости с координатами $y-\lambda$ и $y+\lambda$ за секунду в положительном и отрицательном направлениях оси y, из-за теплового их движения, равно $(1/6)n\bar{V}_{\text{тепл}}$. Молекулы, переходящие через слой с координатой y из слоев с координатами $y \pm \lambda$, переносят импульс $\mp mV(y \pm \lambda)$ направленного движения, это и приводит к возникновению внутреннего трения между слоями жидкости, характеризуемого выражением (1).

Стокс установил, что сила трения, действующая на медленно движущийся в жидкости шар, равна

$$F_{\text{тр}} = 6\pi\eta rV, \qquad (2)$$

где V – скорость и r – радиус шара. Условием «медленности» является малость безразмерного *числа Рейнольдса*

$$\mathrm{Re} = 2\rho_0 Vr/\eta \ll 1, \tag{3}$$

где ρ_0 – плотность жидкости. Для практического использования формулы Стокса отметим, что при значениях числа Рейнольдса $\mathrm{Re} \cong 0{,}01$ экспериментально измеренная сила сопротивления и сила, вычисленная по формуле (2), отличаются не более чем на 1 %, в случаях же $\mathrm{Re} \cong 1$ экспериментальные значения силы трения больше расчетных примерно на 20 %.

При движении шара в жидкости кроме силы трения (2) на него действуют сила Архимеда

$$F_A = (4/3)\pi r^3 \rho_0 g \tag{4}$$

и сила тяжести

$$F_T = (4/3)\pi r^3 \rho g\ , \tag{5}$$

где ρ – плотность материала шара; g – ускорение свободного падения. Скорость свободно падающего в жидкости шара возрастает до момента, когда сила тяжести уравновесится силой Архимеда и силой сопротивления. Затем шар движется равномерно. Условие равномерного движения шара имеет вид

$$(4/3)\pi r^3 (\rho - \rho_0) g - 6\pi\eta r V = 0\,. \tag{6}$$

Учитывая, что при равномерном падении шара в жидкости время t движения шара связано с высотой его падения h формулой $h = Vt$, из (6) получаем формулу для расчета коэффициента вязкости:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)gt}{9h}\,. \tag{7}$$

2. Задания

1. Бросая стальные шарики известного диаметра в первую жидкость (глицерин), измерьте время их падения на участке равномерного движения.

PDF-XChange Viewer
Click to buy NOW!
www.docu-track.com

2. Вычислите η для глицерина по формуле (7) и оцените среднеквадратичную погрешность σ_η по формуле для прямых измерений. (Опыт проделайте не менее чем с четырьмя-пятью шарами.)

3. Повторите измерения и расчеты для второй жидкости.

4. Используя полученные значения η, оцените величину числа Рейнольдса по формуле (3) для каждой жидкости и использованных в эксперименте шаров.

3. Контрольные вопросы

1. Какая величина измеряется в работе? Дайте ее определение.
2. Поясните смысл коэффициента внутреннего трения η. Какова его размерность?
3. Объясните природу сил внутреннего трения и выведите формулу (1).
4. При каких условиях шар движется равномерно?
5. Используя табличные значения η, оцените, какой путь должен пройти шар, прежде чем его скорость станет постоянной.
6. Согласуются ли найденные значения η с табличными?
7. Выполняется ли условие (3) в вашей работе?

Литература

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. – Т. 1. – М.: Наука (любое издание).
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Высшая школа (любое издание).
3. *Матвеев А.Н.* Молекулярная физика. – М.: Высшая школа, 1981. (§ 13, с. 50–52).