

МВ и ССО РСФСР

Горьковский государственный университет
им. Н.И.Лобачевского

Лаборатория общей физики радиофизического ф-та

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО
ТРЕНИЯ (ВЯЗКОСТИ) ЖИДКОСТИ

(описание к лабораторной работе)

Горький-1990

Определение коэффициента внутреннего трения (вязкости) жидкости

Лаб. работа. ГГУ. Горький 1990, 6 стр.

В работе определяется вязкость глицерина методом Стокса - по измерению установившейся скорости падения шариков в исследуемой среде.

Составитель: Скворцов В.А.

Редактор: Вакунов М.И.

Рецензент: Яшнов В.А.

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ (ВЯЗКОСТИ) ЖИДКОСТИ

Если некоторая часть жидкости (или газа) приведена в движение вдоль оси X и если нет силы, поддерживающей это движение, оно быстро прекратится. Происходит это оттого, что на поверхности раздела двух слоев АВ (рис. 1) на слой, движущийся быстрее, действует со стороны соседнего слоя сила трения F , замедляющая движение; на

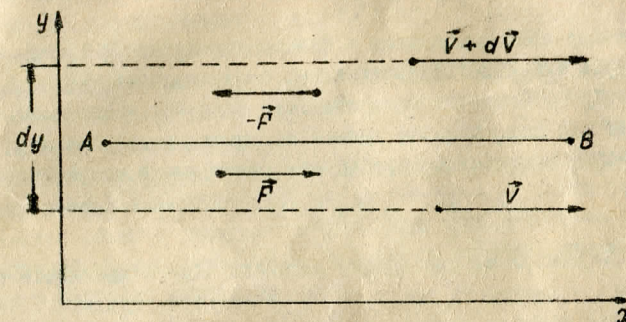


Рис. 1

слой, движущийся медленнее, действует такая же по величине сила, ускоряющая его движение. Это свойство жидкостей (газов) называется внутренним трением или вязкостью.

Сила внутреннего трения жидкостей прямо пропорциональна площади соприкасающихся слоев. Кроме того, она пропорциональна градиенту скорости в направлении, перпендикулярном слою, который показывает, насколько быстро меняется скорость течения жидкости от слоя к слою. Указанные свойства силы трения можно записать формулой:

$$F = \eta S \left| \frac{dv}{dy} \right|, \quad (1)$$

- где S - площадь соприкосновения скользящих друг по другу слоев,
 $\frac{dv}{dy}$ - градиент скорости в направлении, перпендикулярном течению жидкости,
 η - коэффициент пропорциональности, зависящий от природы жидкости, который называется вязкостью или коэффициентом внутреннего трения.

Размерность коэффициента вязкости, как легко видеть из формулы (I), равна $L^{-1} M T^{-1}$. Таким образом, в системе СГС вязкость измеряется в $\frac{2}{\text{см} \cdot \text{с}}$; эта единица вязкости называется пуазом (П) в честь французского ученого Пуазейля.

Вязкость жидкости сильно зависит от температуры. С ростом температуры η уменьшается. Так, для касторового масла при температуре 10°C $\eta = 10$ П, а при температуре 50°C $\eta = 1,2$ П.

Исходя из формулы (I) Стокс показал, что на твердый шар радиуса r , движущийся с небольшой скоростью V в безграничной вязкой среде, действует сила трения, равная

$$F = 6\pi\eta r V. \quad (2)$$

Если шар свободно падает в безграничной вязкой среде, то на него действуют три силы: сила тяжести, сопротивление среды F и сила Архимеда F_A . С ростом скорости шара сила F возрастает (см. формулу 2) до тех пор, пока не станет в сумме с силой Архимеда равной силе тяжести, после чего шар падает с постоянной скоростью:

$$V_0 = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\alpha_{\text{ш}} - \alpha_{\text{ср}}}{\eta}, \quad (3)$$

где g - ускорение свободного падения, $\alpha_{\text{ш}}$ - плотность вещества шара, $\alpha_{\text{ср}}$ - плотность среды, η - вязкость среды.

Из этой формулы видно, что чем меньше шарик, тем медленнее он должен падать. Этим объясняется, почему капельки тумана "висят" в воздухе, т.е. движутся так медленно, что падение незаметно.

Приведенная выше формула (3) годится только для безграничной среды. При падении шарика в ограниченном пространстве стенки замедляют падение. Для случая падения шарика вдоль оси бесконечно длинного цилиндра радиуса R и для $r < R/10$ ее надо исправить таким образом:

$$V_0 = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\alpha_{\text{ш}} - \alpha_{\text{ср}}}{\eta} \frac{1}{1 + 2,4 r/R}. \quad (4)$$

Если шарик падает в цилиндрическом сосуде, наполненном жидкостью, то и дно сосуда оказывает влияние на скорость падения, но оно заметно сказывается только вблизи от него, а при падении шарика с средней части сосуда этим влиянием можно пренебречь.

Целью настоящей работы является проверка закона Стокса и измерение коэффициента вязкости глицерина. Прибор состоит из стеклянного сосуда, укрепленного на деревянной подставке, снабженного установоч-

ными винтами. Шарик изготавливается из стали и алюминия. Для измерения времени падения служит секундомер.

ПОРЯДОК ОПЫТА

1. Измерьте микрометром диаметры шариков (для каждого не менее трех раз).
2. Установите сосуд вертикально (по уровню).
3. Определите среднюю скорость шарика при движении между двумя произвольно выбранными делениями шкалы. При измерении следите, чтобы к шарiku не прилипал пузырек воздуха, т.к. такой шарик движется медленнее, чем следует по формуле (4). Шарик с помощью пинцета старайтесь пускать по оси цилиндра.

По формуле (3) найдите значение η глицерина. Это значение будет содержать погрешность из-за влияния неравномерности движения. Поэтому, используя полученное значение вязкости, рассчитайте длину пути, на котором происходит установление скорости для данных вам шариков. Повторите опыт, измерьте теперь установившуюся скорость падения, выбрав начало измерения так, чтобы скорость успевала установиться. Проведите опыты с шариками разных диаметров. Измерьте температуру, при которой производился опыт. Вычислите вязкость среды η по измерениям с шариками разных радиусов.

Плотность глицерина $\alpha_{\text{ср}} = (1,26 \pm 0,05) \text{ г/см}^3$

Плотность стали $\alpha_{\text{ш}} = (7,8 \pm 0,04) \text{ г/см}^3$

Плотность алюминия $\alpha_{\text{ш}} = (2,7 \pm 0,03) \text{ г/см}^3$

ТАБЛИЦА ИЗМЕРЕНИЙ

радиус	путь	время	скорость	вязкость
r (см)	S (см)	t (с)	V (см/с)	η (П)

ВОПРОСЫ

1. Выведите формулу (3).
2. Можно ли измерить вязкость воды, используя те же шарики и сосуд? Ответ подтвердите расчетом, принимая для воды $\eta = 0,01$ П

ВОПРОСЫ ДЛЯ РАДИОФАКА

1. Начертите графики $\alpha(t)$, $V(t)$ и $S(t)$ для случаев:
 - а) шарик опускается в глицерин без начальной скорости,
 - б) шарик падает в жидкость с некоторой скоростью.
2. Можно ли определить вязкость жидкости с помощью шариков, у которых плотность меньше плотности жидкости?
3. При обтекании шарика жидкостью для малых скоростей потока от величины скорости не зависят как форма линий тока, так и расстояние, на котором заметно возмущающее поток влияние шарика. Кроме того, линии тока вокруг шариков разных радиусов подобны. Показать, что отсюда на основании формулы (1) следует пропорциональность силы трения скорости потока и радиусу шарика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Д.Ландау, А.И.Ахиезер, Е.М.Лифшиц. Курс общей физики, М.: "Наука", 1969, С. 377.
2. Руководство к лабораторным занятиям по физике, М.: "Наука", 1973, С. 140.