

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ СТОКСА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение физических явлений, происходящих при движении тел в вязкой жидкости, и определение коэффициента вязкости.

**ПРИБОРЫ И**

**ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:** сосуд с испытуемой жидкостью, шарик, микрометр, секундомер, миллиметровая линейка.

### ВВЕДЕНИЕ

В реальных жидкостях и газах существует внутреннее трение, называемое вязкостью. Вязкость можно представить себе как трение при движении слоев среды относительно друг друга. Внутреннее трение относится к явлениям переноса (наряду с диффузией и теплопроводностью), причем оно связано с переносом импульса.

Рассмотрим, как это происходит. Пусть жидкость течет по трубке. По оси трубки жидкость движется с наибольшей скоростью, а около стенок скорость становится равной нулю благодаря сцеплению молекул жидкости с поверхностью стенок трубки.

Кроме направленного движения молекул жидкости вдоль трубки, молекулы участвуют в хаотическом тепловом движении и переходят из слоев с большей скоростью в слои с меньшей скоростью и наоборот.

Пусть два смежных слоя (рис. I) жидкости со скоростями  $v_1$  и  $v_2$  находятся на расстоянии  $\Delta z$  друг от друга. Выделим площадку  $S$  в плоскости соприкосновения слоев. И переходе молекулы массы  $m$  из первого слоя, движущегося быстрее, во второй за время  $\Delta t$  второму слою сообщается импульс силы  $F \Delta t$  равный изменению импульса молекулы

$$m v_1 - m v_2 = m \Delta v$$

Направление этого импульса силы совпадает с направлением скорости. В то же время первому слою за счет перехода молекулы из второго слоя сообщается импульс силы  $-F \Delta t = m(v_2 - v_1)$ , направление которого

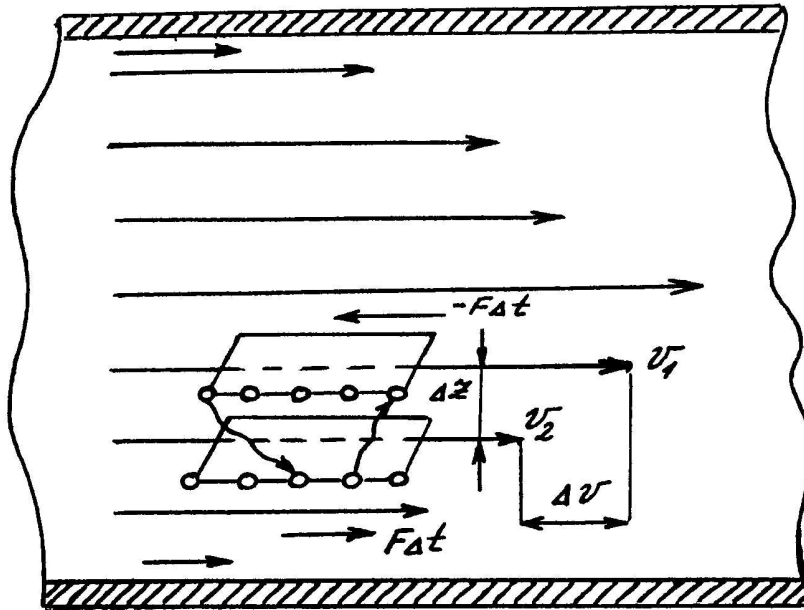


Рис. I

противоположно скорости движения, то есть этот импульс тормозит движение. Сила, с которой тормозится первый слой, равна силе, с которой второй слой ускоряется; она пропорциональна импульсу, перенесенному за единицу времени молекулами через площадку  $S$  из одного слоя в другой. Эта сила тем больше, чем больше разность скоростей слоев  $\Delta v$ , находящихся на расстоянии  $\Delta z$  и чем больше  $S$ . Можно записать, что сила трения между слоями

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta z} S \quad (I)$$

Величина  $\Delta v / \Delta z$ , равная изменению скорости на единицу длины в направлении перпендикулярном течению, называется **градиентом скорости**.

Коэффициент пропорциональности  $\eta$  называется **коэффициентом вязкости**.

Он численно равен силе взаимодействия смежных слоев жидкости с площадью соприкосновения равной единице при градиенте скорости также равном единице.

В системе СГС единицей коэффициента вязкости является пуаз (II). Из уравнения (I) легко определить его размерность.

$$[\eta] = \left[ \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{сек}} \right] = [\text{П}]$$

Уравнение (1), называемое уравнением Ньютона, выполняется для жидкостей, вязкость которых не зависит от градиента скорости. Такие жидкости называются ньютоновскими. К неньютоновским относятся жидкости, состоящие из крупных молекул или содержащие взвешенные частицы.

Кровь относится к неньютоновским жидкостям.

Коэффициент вязкости крови человека обычно колеблется от 4 до 5 сП (сантипуаз  $\text{сП} = 10^{-2} \text{П}$ ), при патологии может изменяться от 1,7 до 22,9 сП.

Вязкость зависит от природы жидкости или газа, от температуры и давления. Вязкость газов увеличивается при повышении температуры, жидкостей — уменьшается.

Вязкость определяет силу сопротивления не только движению слоев с разными скоростями, но и движению тел в жидкости. Эта сила зависит от вязкости, от формы тела, величины его поверхности.

Если движущимся телом является шар, то согласно формуле, введенной Стоксом, сила трения при движении шарика в вязкой среде равна

$$F_{тр} = 6\pi\eta r v \quad (2)$$

где  $\eta$  — коэффициент вязкости жидкости,  
 $r$  — радиус шарика,  
 $v$  — скорость его движения.

Эта сила направлена в сторону противоположную направлению скорости.

Рассмотрим силы, действующие на шарик при его вертикальном движении в вязкой среде (рис. 2). Этих сил три: сила тяжести

$P = m_{ш} g$  ( $m_{ш}$  — масса шарика), архимедова сила  $P_A$  равная массе вытесненной жидкости в объеме шарика  $m_{ж}$ , умноженной на ускорение свободного падения  $g$ ,  $P_A = m_{ж} g$  и сила трения  $F_{тр}$ . Две последние силы направлены вверх.

Пока скорость шарика мала, шарик движется ускоренно, и по мере возрастания его скорости возрастает сила трения  $F_{тр}$

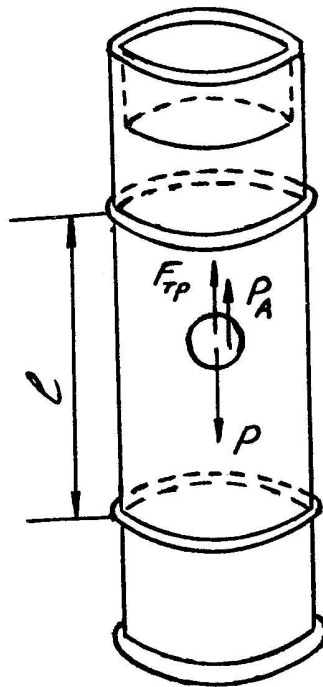


Рис. 2

Скорость шарика будет расти до тех пор, пока равнодействующая всех сил не обратится в ноль. С этого момента ускорение становится равным нулю и шарик движется равномерно с постоянной скоростью  $v$ . Уравнение движения при этом имеет вид

$$m_{ш} g - m_{жс} g - 6\pi\eta r v = 0 \quad (3)$$

Масса шарика 
$$m_{ш} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{ш} \quad (4)$$

Масса жидкости 
$$m_{жс} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{жс} \quad (5)$$

$\rho_{ш}$  и  $\rho_{жс}$  — соответственно плотности шарика и жидкости.

Подставив (4) и (5) в уравнение (3), получим

$$l = \frac{2}{9} r^2 g \frac{\rho_{ш} - \rho_{жс}}{\eta}$$

Скорость равномерного падения шарика в жидкости равна отношению пройденного расстояния  $l$  ко времени  $t$ :  $v = l/t$ .

Вместо радиуса шарика  $r$  удобнее использовать его диаметр  $d$ . Окончательно получим

$$\eta = \frac{1}{18} d^2 g \frac{\rho_{ш} - \rho_{ж}}{l} t \quad (6)$$

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить микрометром диаметр шарика несколько раз (не менее трех) и результаты измерения записать в таблицу.
2. Измерить линейкой расстояние между метками цилиндрического сосуда с жидкостью в нескольких местах. Результаты измерений внести в таблицу.
3. Опустить шарик в сосуд с испытуемой жидкостью так, чтобы он двигался достаточно далеко от стенок сосуда, и измерить время прохождения шариком расстояния между метками. Расстояние между верхней меткой и поверхностью должно быть не меньше 6 см (для обеспечения условия постоянства скорости). Измерения времени выполнить не менее 5 раз. Результаты записать в таблицу.
4. Записать справочные данные для плотности шарика и жидкости.
5. Рассчитать коэффициент вязкости жидкости  $\eta$ , абсолютную и относительную погрешности измерения. Результаты записать в таблицу.

Таблица

№ п/п	$d$ см	$l$ см	$t$ сек	$\rho_{ш}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{ж}$ г/см <sup>3</sup>	$\eta \pm \Delta \eta$ (п)
1	!	!	!	!	!	!
2	!	!	!	!	!	!
⋮	!	!	!	!	!	!
⋮	!	!	!	!	!	!
Среднее	!	!	!	!	!	!

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое вязкость?

2. Почему возникают силы трения между слоями жидкости?
3. Запишите формулу Ньютона.
4. Что такое коэффициент вязкости?
5. Какие силы действуют на шарик в вязкой среде?
6. Запишите уравнения движения шарика в жидкости:
  - а) при наличии ускорения,
  - б) при постоянной скорости.
7. Выведите формулу, используемую в работе для расчета коэффициента вязкости.
8. Выведите формулу для расчета погрешности измерения  $\Delta \tilde{\eta}$
9. В каких единицах измеряется коэффициент вязкости в системах СГС и СИ? Какое между ними соотношение?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Джанколи. Физика. I т, 1989г.
2. Руководство к лабораторным работам по физике, под редакцией А.Н.Ремизова, 1983г.