

### **Определение коэффициента вязкости жидкости.**

**Цель работы:** изучение движения тел в вязкой жидкости и измерение коэффициента динамической вязкости.

**Приборы и принадлежности:** установка для определения вязкости по методу Стокса, шарики, микрометр, секундомер, линейка.

#### **Теория и описание установки.**

Всем реальным жидкостям и газам присуща вязкость (внутреннее трение). Макроскопическое движение, возникающее в жидкости или в газе, постепенно уменьшается из-за сил внутреннего трения после прекращения действия причин (сил) вызывающих это движение.

Явление вязкости в жидкости и газах можно рассматривать следующим образом. Пусть два слоя жидкости или газа, отстоящие друг от друга на расстоянии  $dx$ , имеют скорости  $v_1$  и  $v_2$ . Со стороны слоя, который движется быстрее, на слой, который движется медленнее, действует ускоряющая его сила. Наоборот, на быстрый слой действует тормозящая сила со стороны медленного слоя. Это силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоя. Они тем больше, чем больше площадь соприкасающихся слоев, и зависят от изменения скорости течений жидкости (газа) при переходе от слоя к слою (уравнение Ньютона) :

$$F = \eta \cdot \frac{dv}{dx} \cdot S \quad (1),$$

где  $\frac{dv}{dx}$  - изменение скорости, отнесенное к расстоянию между слоями в направлении, перпендикулярном скорости (градиент модуля скорости);  $S$ - площадь соприкосновения слоев;  $\eta$  - динамическая вязкость жидкости (газа).

Для жидкостей, течение которых подчиняются уравнению (1), вязкость не зависит от скорости. Такие жидкости называются ньютоновскими, а вязкость - нормальной. Жидкости, не подчиняющиеся уравнению (1) называются неньютоновскими, а их вязкость - аномальной. К неньютоновским жидкостям относятся жидкости, состоящие из сложных и крупных молекул, например растворы полимеров.

Вязкость зависит от природы жидкости или газа, от температуры, от давления при низких температурах. Вязкость газов увеличивается при повышении температуры, жидкостей - уменьшается.

Различный характер зависимости вязкости жидкостей и газов от температуры указывает на различный механизм их внутреннего трения. Уравнение скоростей движения соседних слоев газов можно объяснить тем, что из слоя газа, движущегося с большей скоростью, переносится количество движения ( количеством движения или импульсом молекулы называется  $p=mv$  ) к слою, у которого скорость меньше, и наоборот.

В жидкостях внутреннее трение обусловлено действием межмолекулярных сил. Расстояния между молекулами жидкости сравнительно невелики, а силы взаимодействия значительны. Молекулы жидкости, подобно частицам твердого тела, колеблются около положения равновесия, но эти положения равновесия не являются постоянными. По истечении времени “ оседлой жизни “ молекула скачком переходит в новое положение. Среднее время “ оседлой жизни “ молекул называется *временем релаксации*. С повышением температуры и понижением давления время релаксации уменьшается, что обуславливает подвижность жидкости и ее малую вязкость.

Зависимость вязкости жидкости от температуры имеет сложный характер. Чем чаще молекулы меняют свои положения равновесия, тем более текуча и менее вязка жидкость, т.е. вязкость жидкости прямо пропорциональна времени релаксации :  $\eta \sim \tau$ .

При движении тела в вязкой жидкости возникают силы сопротивления. Происхождение этого сопротивления двояко. При небольших скоростях, когда за телом нет вихрей, сила сопротивления обуславливается вязкостью жидкости. Слои жидкости, прилегающие к телу, увлекаются им. Между этими слоями и следующими возникают силы трения.

Второй механизм сил сопротивления связан с образованием вихрей. Часть работы, совершаемой при движении тела в жидкости, идет на образование вихрей, энергия которых переходит во внутреннюю энергию.

Согласно закону Стокса, при движении шарика в вязкой жидкости с небольшой скоростью, когда нет вихрей, сила сопротивления равна

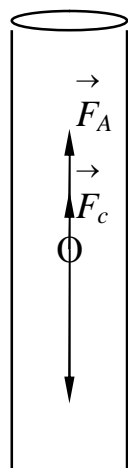
$$F_c = 6 \pi r \cdot \eta v \quad (2),$$

где  $r$ - радиус шарика;  $v$ - скорость его движения ;  $\eta$  - вязкость жидкости.

На движущийся шарик в жидкости действуют три силы: сила сопротивления

$$F_c = 6 \pi r \cdot \eta v ,$$

сила тяжести шарика :  $P = m_{ш} g$  ,

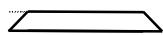


выталкивающая сила:  $F_A = m_{жс} g$ .

$$\rightarrow \quad 1) F = 6 \pi r \cdot \eta v \quad (2)$$

$$P \quad 2) P = m_{ш} g = \rho V g = 4/3 \pi r^3 \rho g \quad (3)$$

$$3) F = m_{жс} g = \rho_0 V g = 4/3 \pi r^3 \rho_0 g \quad (4),$$



где  $\rho$  - плотность вещества шарика,  $\rho_0$  - плотность жидкости.

Сила тяжести и выталкивающая сила постоянны по модулю, сила сопротивления прямо пропорциональна скорости. При движении шарика в жидкости наступает момент, когда все три силы уравновешиваются и шарик начинает двигаться равномерно и тогда:

$$P = F_A + F_c \quad \text{или} \quad \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0 g + 6 \pi r \cdot \eta v$$

$$\text{откуда} \quad \eta = \frac{2 r^2 (\rho - \rho_0)}{9 v} \quad (5)$$

### Описание установки.

Для определения вязкости по методу Стокса берут высокий цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью (рис.1). На сосуде имеются

две кольцевые метки А и В. Метка А соответствует той высоте, где силы, действующие на шарик, уравновешивают друг друга и движение становится равномерным. Нижняя метка В нанесена для удобства отсчета времени.

Бросая шарик в сосуд, отмечают по секундомеру время  $t$  прохождения шариком расстояния  $l$  между метками. Т.к.  $v = l / t$ , то формула (5) примет вид

$$\eta = \frac{g}{18} (\rho - \rho_0) \frac{d^2 t}{l} \quad (6),$$

где  $d$  - диаметр шарика.

Порядок выполнения работы.

1. Измерить микрометром диаметр  $d$  шарика три раза.
2. Вычислить среднее значение диаметра  $d$  шарика.
3. Опустить шарик в сосуд с жидкостью так, чтобы он двигался по оси цилиндра. Измерьте время  $t$  прохождения шариком расстояния между метками А и В.
4. Измерьте расстояние  $l$  между метками.
5. Возьмите значения плотности шарика и жидкости из таблицы и подставьте в формулу.
6. Вычислите коэффициент динамической вязкости по рабочей формуле (6).

7. Произведите аналогичные измерения и вычисления с тремя шариками и найдите среднее значение.
8. Определите погрешности измерения вязкости.

9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

| № | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\rho_0$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | d, м | l, м | t, с | $\eta$ ,<br>Н·с/м <sup>2</sup> | $\eta_{\text{ср}}$ ,<br>Н·с/м <sup>2</sup> | $\Delta\eta$ ,<br>Н·с/м <sup>2</sup> | $\Delta\eta_{\text{ср}}$ ,<br>Н·с/м <sup>2</sup> | $\varepsilon$ , % |
|---|-------------------------------|---------------------------------|------|------|------|--------------------------------|--|--------------------------------------|--|-------------------|
|   | 11,26·<br>10 <sup>3</sup>     | 1,26·<br>10 <sup>3</sup>        |      |      |      |                                |  |                                      |  |                   |

### Контрольные вопросы.

1. Что такое сила внутреннего трения?
2. Как ведут себя молекулы жидкости ? Что такое время релаксации?
3. Объясните механизм внутреннего трения в газах и жидкостях.
4. Напишите уравнение Ньютона для течения вязкой жидкости.
5. Как зависит вязкость жидкости от температуры?
6. Выведите формулу для определения вязкости по методу Стокса.
7. Какие условия должны выполняться при измерении вязкости методом Стокса.

### Литература.

1. Кортнев А.В. , Рублев Ю.В. , Куценко А.Н. Практикум по физике. М: Высшая школа 1961г. , стр.116-119.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики Т1.М: Наука 1974 г., стр.471-481.
3. Савельев И.В. Курс физики Т1.М: Наука 1989 г.,стр.140-151.