

КАЛМЫЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей физики

## Лабораторная работа № 4

*«Определение коэффициента внутреннего трения  
жидкостей по методу Стокса»*

Лаборатория № 211

## Лабораторная работа № 4

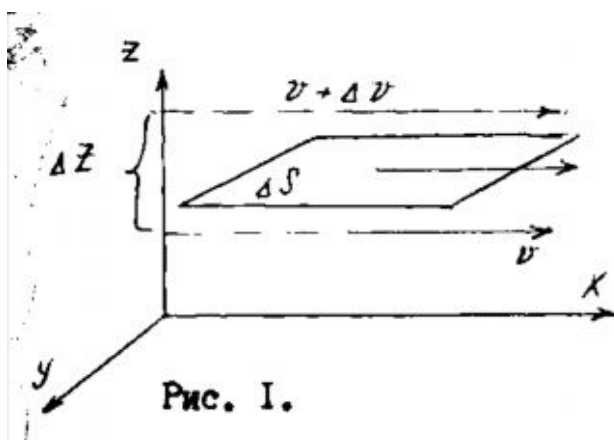
### «Определение коэффициента внутреннего трения жидкостей по методу Стокса»

**Цель работы:** определить коэффициент вязкости жидкости, используя метод Стокса, основанный на измерении скорости падения в жидкости твердого шарика малых размеров.

**Приборы и принадлежности:** колба с жидкостью, линейка, микрометр, набор шариков, секундомер.

### Теория метода

Реальная жидкость обладает вязкостью, т.е. свойством оказывать сопротивление при перемещении одной части жидкости относительно другой. Допустим, что  $S$  - поверхность соприкосновения двух слоев жидкости (рис. 1). Причем, один слой жидкости течет со скоростью  $v$ , а другой - со скоростью  $v + \Delta v$ . Обозначим через  $\Delta z$  расстояние между точками, в которых измерены эти скорости (векторы скоростей параллельны поверхности соприкосновения, а  $\Delta z$  измерено по нормали к этой поверхности, перпендикулярно к векторам скоростей).



Предел отношения

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta z} = \frac{dv}{dz}$$

называется градиентом скорости течения жидкости в данном месте и показывает, как быстро меняется движение жидкости в направлении, перпендикулярном к поверхности  $S$ .

Сила трения, действующая вдоль поверхности  $S$ , равна:

$$F_{mp} = \eta \frac{dv}{dz} S ,$$

где  $\eta$  - коэффициент внутреннего трения, или коэффициент динамической вязкости. Коэффициент динамической вязкости показывает, скольким ньютонам должна быть равна сила, чтобы в слое жидкости, имеющем толщину 1 м и площадь 1 м<sup>2</sup>, эта сила двигала верхнюю поверхность слоя относительно нижней со скоростью 1 м/сек. От этого коэффициента зависит также сила трения, действующая на твердое тело при его движении относительно жидкости при обтекании текущей жидкостью неподвижных твердых тел. Тонкий слой жидкости прилипает к поверхности тела, и поэтому трение происходит между этим слоем и остальной частью жидкости. Это обстоятельство позволяет найти коэффициент вязкости жидкости по измерениям силы трения между слоями жидкости. При падении шарика в вязкой жидкости он приобретает постоянную скорость, т.е. движется без ускорения и, следовательно, равнодействующая всех сил, действующих на шарик, должна быть равна нулю. На шарик, падающий в вязкой жидкости, действуют три силы (рис. 2).

1-я - сила тяжести:

$$P = \rho_{ш} V_{ш} g , \quad P = mg = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_{ш} g , \quad (1)$$

где  $V_{ш}$  - объем шарика, равный  $V = 1/6 \pi d^3$ ,

$\rho_{ш}$  - плотность вещества шарика.

2-я - выталкивающая сила (по закону Архимеда):

$$F_A = \rho_{ж} g V_{ш} = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_{ж} g \quad (2)$$

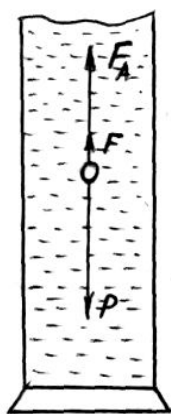
3-я - сила вязкости сопротивления,

как показал Стокс, падающего в безграничной жидкости, равна

$$F = 3 \pi d v \eta , \quad (3)$$

где  $v$  - скорость движения шарика.

Верхняя метка 1 наносится на сосуд с таким расчетом, чтобы дальнейшее падение шарика (до метки 2) было бы равномерным. При этом условии сумма всех трех перечисленных сил будет равна нулю. С учетом их направ-



лений имеем:

$$P - F_A - F_{тр} = 0,$$
$$\frac{1}{16} \pi d^3 \rho_{ш} g - \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_{ж} g - 3\pi d v \eta = 0.$$

Из этого соотношения находим динамический коэффициент вязкости жидкости:

$$\eta = \frac{1}{18} g (\rho_{ш} - \rho_{ж}) \frac{d^2}{v}.$$

Скорость равномерного движения шарика в жидкости  $v$  - измеряется по расстоянию  $l$  между метками и временем движения шарика между ними  $v=l/t$ .  
Окончательно

$$\eta = \frac{1}{18} g (\rho_{ш} - \rho_{ж}) \frac{d^2}{l} t. \quad (4)$$

Практически невозможно осуществить падение шарика в безграничной среде, т.к. всегда жидкость находится в каком-то сосуде, имеющем стенки. Если шарик падает вдоль оси цилиндрического сосуда радиусом  $R$ , то учет наличия стенок приводит к следующему выражению коэффициента вязкости:

$$\eta = g \frac{d^2 t}{18 l} \cdot \frac{\rho_{ш} - \rho_{ж}}{1 + 2,4 \frac{d}{R}}, \quad (5)$$

где  $R$  - радиус цилиндра. В системе СГС коэффициент вязкости измеряется в пуазах:

$$1 \text{ пз} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{сек}} = 0,1 \frac{\text{Н} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}.$$

В международной системе (СИ) коэффициент динамической вязкости имеет наименование

$$1 \frac{\text{Н} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{сек}} = 10 \text{ пз}$$

Наряду с коэффициентом динамической вязкости часто употребляют коэффициент кинематической вязкости  $\sigma = \eta/\rho$ , где  $\rho$  - плотность жидкости. В системе СГС единицей измерения коэффициента вязкости является 1 стокс:  $|\sigma| = \text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ . В системе СИ:  $|\sigma| = \text{сек}^{-1} \cdot \text{м}^2$ .

### Порядок выполнения работы

1. Прodelать опыт не менее пяти раз.
2. Заполнить таблицу измерений.
3. Вычислить ошибки измерений.

### Ход выполнения работы

Опыт проделывать с несколькими шариками. Микрометром измеряют диаметр каждого шарика, секундомером - время его падения в исследуемой жидкости между 1 и 2, затем по формуле (5) рассчитывают коэффициент вязкости жидкости. Результаты измерений записывают в таблицу.

№ п/п	$d$ , м	$l$ , м	$t$ , с	$\eta$	$\eta_{cp}$	$\Delta\eta$	$\Delta\eta_{cp}$	$E$ , %
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

$$\rho_{ш} = 1,35 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$\rho_{ж} = 1,26 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

## Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость? В каких единицах измеряется коэффициент вязкости?
2. Какие силы действуют на шарик, падающий в жидкость?
3. Как изменяется скорость движения шарика с увеличением его диаметра?
4. В каких единицах измеряется  $\eta$  в системе СИ?
5. Почему равнодействующая всех сил, действующих на шарик, равна нулю?

## Л и т е р а т у р а

1. С.Э.Фриш, А.В.Тимофеев. Курс общей физики. т. 1, § 42, с. 147-150.
2. И.В.Савельев. Курс общей физики, т. 1.
3. Б.М.Яровский. Курс общей физики. т. 1, § 143.
4. И.К.Кикоин, А.К.Кикоин. Молекулярная физика.
5. «Физический практикум» под ред. В.К.Ивероновой.