

КуАИ:5  
0-624

3.9

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  
ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ  
ПО МЕТОДУ СТОКСА**

1-28

Утверждено  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве  
методических указаний  
к лабораторной работе 1-28



КУЙБЫШЕВ 1988

Методические указания к лабораторной работе содержат методические и инструктивные материалы, необходимые для выполнения работы по определению коэффициента переноса из молекулярных представлений. Работа содержит краткое введение, знакомящее студентов с методом измерения, описание экспериментальной установки; порядок выполнения практической части, включая обработку полученных результатов; контрольные вопросы; список рекомендуемой литературы.

Лабораторная работа предназначена для студентов всех факультетов дневного и вечернего отделений.

Рецензенты: Ю. М. Дубинкин,  
Э. Д. Посыпайко

Составитель Алексей

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕНОСА  
ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ

Редактор Т. К. Кр  
Техн. редактор Н. М  
Корректор Н. С. Ку

Сдано в набор 18.01  
Формат 60×84 1/16.  
Гарнитура литератур  
Т. 2000 экз. Заказ 229

Куйбышевский ордена  
авиационный институ  
г. Куйбышев, ул. Мо

Тип. ЭОЗ КуАИ, г.

Цель работы: изучение явления трения в жидкости и определение ее коэффициента вязкости.

Приборы и принадлежности: сосуд с исследуемой жидкостью, стальные шарики, секундомер, микрометр.

### ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ И УСТАНОВКИ

Молекулы жидкости сильнее взаимодействуют между собой, чем молекулы газа и, не имея возможности значительно удалиться друг от друга, образуют конденсированную систему — жидкость. В жидкости молекулы колеблются около своих временных положений равновесия, а затем перескакивают на расстояния порядка диаметра самих молекул. Эта особенность в поведении молекул жидкости не позволяет полностью использовать выводы молекулярно-кинетической теории, хорошо применимые к газам.

Опыт показывает, что на границах раздела слоев жидкости, а также на границах между жидкостью и твердым телом действуют касательные силы, значения которых можно определить по эмпирической формуле Ньютона:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dx}, \quad (1)$$

где  $\frac{dv}{dx}$  — градиент скорости жидкости в направлении, перпендикулярном границе раздела слоев;

$\tau$  — сила, действующая на единицу площади границы раздела и направленная по касательной к этой границе;

$\eta$  — постоянная, называемая коэффициентом внутреннего трения или вязкостью жидкости.

Действием этих сил, являющихся по существу силами внутреннего трения, объясняются, например, движение жидкости во вращающемся сосуде; разная скорость течения воды у берегов и на середине ее; падение давления в жидкости, текущей по горизонтальной, постоянного сечения трубе при стационарном режиме и т. д.

Вязкость данной жидкости  $\eta$  зависит от внутреннего строения жидкости и сил взаимодействия между составляющими ее молекулами, а также от внешних условий, в которых находится жидкость, и, в первую очередь, от температуры.

В системе СИ, как следует из (1), единицей вязкости является Па·с.

При движении в жидкости любое тело испытывает силу сопротивления своему движению, которое состоит из двух слагае-

мых: сопротивления давления и сопротивления трения. Первое определяется разностью давлений на передней и задней кромках движущегося тела. Второе — силами внутреннего трения, возникающими за счет большого градиента скорости в прилегающем к телу слое жидкости. Соотношение между сопротивлением трения и сопротивлением давления определяется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность жидкости,  
 $v$  — средняя (по сечению) скорость слоев жидкости,  
 $l$  — характерный для поперечного сечения движущегося тела размер;  
 $\eta$  — вязкость жидкости.

При малых числах  $Re$ , что обычно соответствует малым скоростям движения тела, сопротивлением давления можно пренебречь и учитывать только сопротивление трения.

Сопротивление трения существенным образом зависит от геометрии движущегося тела и для симметричных тел может быть рассчитано математически.

Так, для сил сопротивления при движении шарика малых размеров в безграничной жидкости Стокс получил формулу

$$F = 6 \pi \eta r v, \quad (3)$$

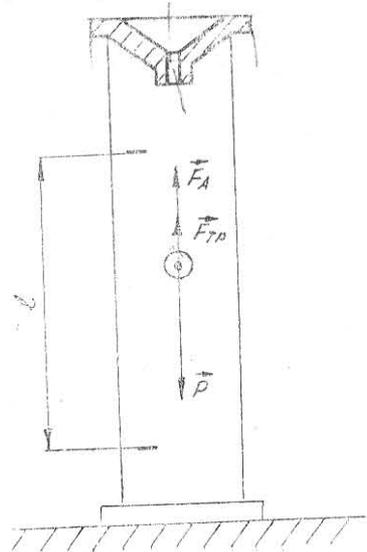
где  $r$  — радиус шарика (характерный размер),  
 $v$  — скорость шарика относительно неподвижных слоев жидкости. Зависимость (3) используется для опытного определения  $\eta$  жидкости по методу Стокса.

Пусть шарик радиусом  $r$  движется в жидкости, налитой в цилиндрический сосуд довольно большого радиуса  $R$  ( $R \gg r$ ). Внутри жидкости на шарик действуют — сила веса  $\vec{P}$ , Архимедова сила  $\vec{F}_A$  и сила сопротивления среды  $\vec{F}_{тр}$  (рисунок).

Так как сила трения пропорциональна  $v$ , то наступит момент, когда

$$\vec{P} + \vec{F}_A + \vec{F}_{тр} = 0 \quad (4)$$

и шарик начнет двигаться равномерно с некоторой установившейся скоростью  $v$ .



Подстановка в формулу (4) выражения для силы веса

$$P = \rho g V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g,$$

выражения для Архимедовой силы

$$F_A = \rho_1 g V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 g$$

и выражения для силы Стокса (3) дает (с учетом направления сил):

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho - \rho_1) - 6 \pi \eta r v = 0. \quad (5)$$

После преобразований получим окончательную формулу метода Стокса:

$$\sqrt{\eta} = \frac{g d^2 (\rho - \rho_1)}{18 v}, \quad (6)$$

где  $d$  — диаметр шарика,  
 $\rho$  — плотность материала шарика,  
 $\rho_1$  — плотность жидкости.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Для каждого из полученных шариков:
  - определить микрометром диаметр  $d$ ;
  - смочить шарик испытуемой жидкостью;
  - опустить шарик через воронку в сосуд и, пользуясь секундомером, определить время прохождения шариком при равномерном движении расстояния  $l$  между двумя метками на цилиндре. При этом следить, чтобы во время включения и выключения секундомера передняя и задняя метки на стенках цилиндра накладывались друг на друга;
  - найти установившуюся скорость шарика  $v$ ;
  - используя табличные данные для  $g$ ,  $\rho$  и  $\rho_1$ , найти коэффициент внутреннего трения  $\eta$  (в каждом из опытов).
- Все данные занести в таблицу:

Номер опыта	$g, \frac{м}{с^2}$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\rho_1, \frac{кг}{м^3}$	$d, м$	$l, м$	$t, с$	$v, м/с$	$\eta, Па \cdot с$
1								
2								
3								

Так как измерения с одним и тем же шариком в наших условиях неповторимы, то значения  $\eta$ , полученные в каждом опыте, независимы и погрешность  $\Delta \eta$  следует определять по методу прямых измерений.

3. Записать результат измерений в виде:

$$\eta = \bar{\eta} \pm \Delta \eta ;$$
$$\alpha = 0,95 ;$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему стенки сосуда могут влиять на движение шарика и когда этим влиянием можно пренебречь?
2. В чем состоит отличие механизма вязкости в жидкости от вязкости в газах?
3. Что такое единица вязкости 1 Па·с?
4. Как зависит вязкость жидкости от температуры, с чем это связано?
5. Разберите характер движения шарика до падения его в жидкость и после.
6. Выведите расчетную формулу метода Стокса.
7. Измерение какой величины в этом опыте дает наибольшую погрешность?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — М.: Наука, 1974. — Т. 1. — 471 с.
2. Хайкин С. Э. Физические основы механики. — М.: 1962. — С. 544—545, 549—551.
3. Иверонова В. И. Физический практикум. — М.: Физматлитература, 1962, задание № 46.