



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Цель лабораторной работы – ознакомление с явлением внутреннего трения в жидкостях и экспериментальное изучение движения шарообразных тел в вязкой жидкости.

Оборудование: установка (стеклянный цилиндр с глицерином и секундомер) *Получить:* стальные шарики и микроскоп.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Внутреннее трение является причиной того, что на тела, движущиеся в неподвижной жидкости, действует сила сопротивления \vec{F}_c , направленная противоположно движению. Движущееся тело увлекает за собой тонкий слой жидкости, прилипающий к его поверхности и имеющий с ним одинаковую скорость. С удалением от поверхности тела скорость слоев жидкости постепенно спадает и, таким образом, устанавливается градиент скорости, вызывающий

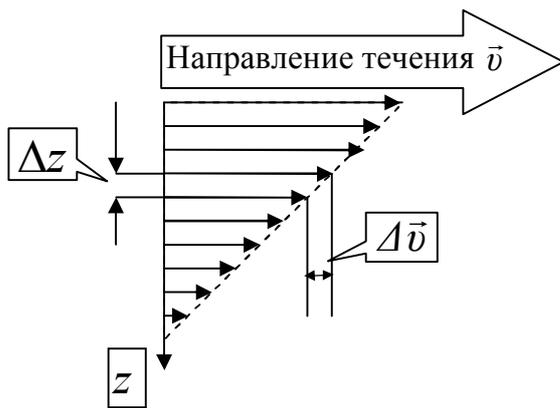


Рис. 1

силу внутреннего трения $\vec{F}_{тр}$ (рис. 1). Отсюда следует, что сила сопротивления \vec{F}_c есть не что иное, как сила внутреннего трения со стороны ближайших к телу слоев жидкости.

Оценим величину F_c для шара радиусом r . Толщина возмущенного слоя жидкости сравнима с радиусом шара. Поэтому градиент скорости можно приближенно оценить как $\left| \frac{dv}{dz} \right| \approx \frac{v}{r}$. Площадь ближайших к шару

слоев равна площади поверхности шара $S = 4\pi r^2$. Подставляя эти величины в равенство $F_c = \eta \frac{\Delta v}{\Delta Z} S$, получим

$$F_c \approx 4\pi\eta r v. \quad (1)$$

Более точные расчеты приводят к *формуле Стокса* для шара

$$F_c = 6\pi\eta r v = 3\pi\eta d v, \quad (2)$$

где d - диаметр шара.

Важно отметить, что формула (2) справедлива только в случае **ламинарного** (без перемешивания слоев) течения жидкости относительно шара.

Для опытного определения коэффициента вязкости Стоксом был предложен метод, основанный на измерении скорости свободного падения шарика известного размера в вязкой жидкости.

Прибор, применяемый для этих измерений, представляет собой стеклянный цилиндр, диаметр которого во много раз больше размера шарика (рис. 2). На поверхности цилиндра имеются две горизонтальные метки A и B . Цилиндр наполнен исследуемой жидкостью, в которую через верхнее отверстие опускаются шарики.

Как показано на рис. 3, при падении внутри жидкости на шарик действуют три силы: сила тяжести \vec{F}_T , выталкивающая сила Архимеда \vec{F}_A и сила сопротивления \vec{F}_c . Основная особенность движения состоит в том, что одна из сил (сила \vec{F}_c) возрастает вместе с увеличением скорости шарика (см. формулу (2)). Уравнение движения шарика в проекции на ось Y (второй закон Ньютона) с учетом всех действующих сил имеет вид

$$m \frac{dv}{dt} = F_T - F_A - F_c. \quad (3)$$

В начале движения при $\vec{v} = 0$ сила сопротивления $\vec{F}_c = 0$, и шарик начинает двигаться ускоренно под действием результирующей силы $F_T - F_A$. С ростом скорости шарика увеличивается и сила сопротивления, что приводит к постепенному

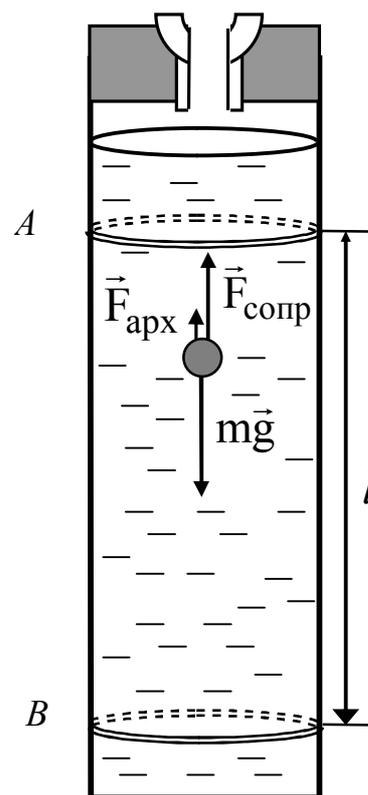


Рис. 2

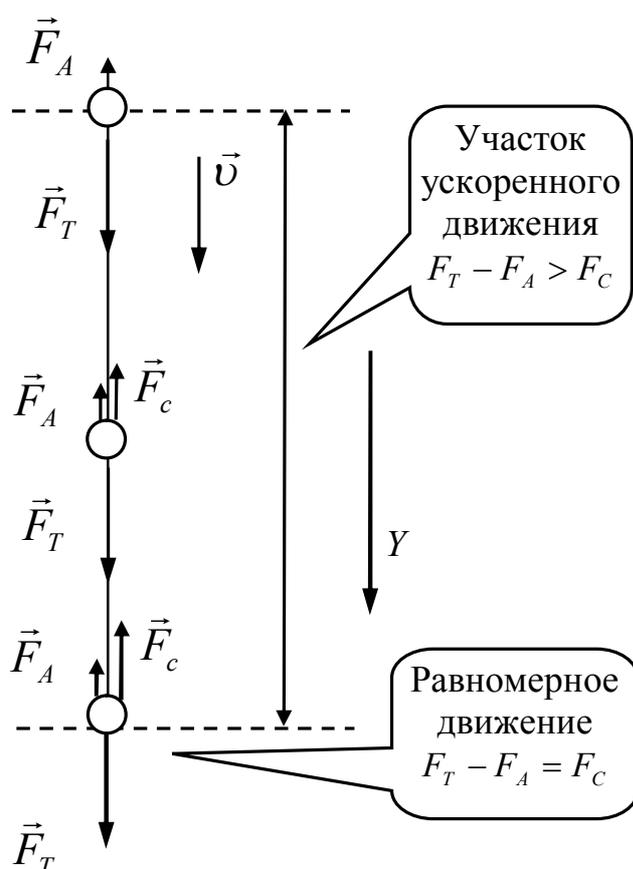


Рис. 3

уменьшению ускорения $a = \frac{dv}{dt}$.

Наконец сила сопротивления \vec{F}_c возрастает настолько, что полностью уравнивает разность сил $F_T - F_A$, т.е. $F_T - F_A - F_c = 0$ и движение шарика становится равномерным.

Подставляя (4) в (2), находим:

$$\eta = \frac{F_T - F_A}{3\pi d v}. \quad (4)$$

В равенстве (5) все величины кроме скорости равномерного движения шарика v могут быть заранее известны. В эксперименте скорость v определяется путем измерения

секундомером времени t прохождения шариком пути l между двумя метками A и B (см. рис. 2)

$$v = \frac{l}{t}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4) и выражая силы F_T и F_A через параметры жидкости и шарика

$$F_T = \rho_{ш} V g = \frac{\pi}{6} \rho_{ш} d^3 g, \quad (6)$$

$$F_A = \rho_{ж} V g = \frac{\pi}{6} \rho_{ж} d^3 g, \quad (7)$$

где V и $\rho_{ш}$ - соответственно объем и плотность шарика, $\rho_{ж}$ - плотность жидкости, получаем следующую расчетную формулу для коэффициента вязкости:

$$\eta = \frac{1}{18} \frac{(\rho_{ш} - \rho_{ж}) d^2 g t}{l}. \quad (8)$$

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Соблюдайте общие правила техники безопасности при использовании электрических приборов (секундомера и микроскопа).
2. Не включайте установку без предварительной проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
3. По завершении работы не забудьте отключить секундомер и микроскоп от сети.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. На столике микроскопа расположить предметное стекло с шариком на нем и, наблюдая в микроскоп, установить число делений шкалы микроскопа, содержащихся в диаметре шарика. Зная цену деления вычислить диаметр шарика.

2. С помощью пинцета или кусочка бумаги опустить шарик в сосуд с жидкостью. Если поверхностная пленка жидкости задержит шарик, то необходимо тонкой провололочкой или палочкой медленно протолкнуть шарик в жидкость.

3. Когда шарик будет проходить напротив метки «А» сосуда, пустить секундомер, а когда шарик будет проходить напротив метки «В» сосуда, остановить секундомер и определить время t , за которое шарик прошел путь l между метками «А» и «В».

5. Вычислить коэффициент вязкости η по формуле (8).

6. Опыт повторить с другими двумя шариками приблизительно одинакового диаметра и по трем полученным значениям коэффициента вязкости данной жидкости η найти среднее его значение, абсолютную и относительную ошибки. Данные измерений оформить в виде таблицы.

Таблица

№ опыта	$d, м$	$t, с$	$l, м$	$v, м/с$	$\rho_{ж}, \frac{кг}{м^3}$	$\eta, Па \cdot с$
1						
2						
3						
						$\eta_{cp} =$

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Формула для нахождения коэффициента вязкости глицерина:

$$\eta = \frac{1}{18} d^2 \frac{\rho_{ш} - \rho_{ж}}{l} g t. \quad (9)$$

Относительную ошибку вычислите по формуле

$$W = \frac{\sigma_{\eta}}{\eta_{ср}} = \sqrt{\left(\frac{2\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\rho_{ш}}}{\rho_{ш} - \rho_{ж}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\rho_{ж}}}{\rho_{ш} - \rho_{ж}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2}, \quad (10)$$

где σ_g – средняя квадратичная погрешность ускорения свободного

падения очень мала и мы ею пренебрегаем. Слагаемые $\left(\frac{\sigma_{\rho_{ш}}}{\rho_{ш} - \rho_{ж}}\right)^2$,

$\left(\frac{\sigma_{\rho_{ж}}}{\rho_{ш} - \rho_{ж}}\right)^2$ и $\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2$ – очень малы и ими можно пренебречь, тогда

окончательно формула принимает вид

$$W = \frac{\sigma_{\eta}}{\eta_{ср}} = \sqrt{\left(\frac{2\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{t}\right)^2}, \quad (10)$$

где σ_d и σ_t – систематические ошибки приборов, с помощью которых определяют диаметр шарика и время движения в столбе глицерина высотой l .

Ответ представьте в виде

$$\eta = \eta_{ср} \pm \sigma_{\eta}. \quad (15)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите причины возникновения сил внутреннего трения в жидкостях. От каких параметров движения слоев жидкости зависит величина силы внутреннего трения?

2. Каков физический смысл коэффициента вязкости и как он зависит от температуры? В каких единицах измеряется величина коэффициента вязкости в СИ?

3. Оцените величину силы трения, действующей на свинцовый шарик диаметром 2 мм, падающий в глицерине (коэффициент вязкости глицерина равен 1.5 Па·с) со скоростью 1 м/с.

4. Что называется градиентом скорости и как он направлен в условиях опыта? Какое движение называется ламинарным? Почему измерения коэффициента вязкости верны только при малых скоростях?

5. Объясните суть метода Стокса для определения коэффициента вязкости жидкости. Какие силы действуют на шарик, падающий в жидкости? Почему шарик в начале движения ускоряется, а затем движется равномерно?

6. Какие еще кроме внутреннего трения существуют явления переноса?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кикоин, А.К. Общий курс физики: учеб. пособие для студентов вузов/ А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. –М.: Наука, 1976. – § 97.

2. Матвеев, А.Н. Молекулярная физика: учеб. пособие для студентов вузов/А.Н. Матвеев.–М.: Высшая школа, 1981. – § 56.

3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т./Д.В. Сивухин.–М.: Физматлит, МФТИ, 2002. – § 89.

4. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2003. – § 31, 32, 33.

5. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика: учеб. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб./И.В. Савельев. – М.: Наука, 1999. – § 58, 60.