

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА: ЧАСТЬ 2. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

Практикум для вузов

Составители:
В.И. Кукуев,
В.В. Чернышев,
И.А. Попова

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
МЛ-2/1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ
ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА**

Цель работы – измерение коэффициента внутреннего трения глицерина.

ВВЕДЕНИЕ

Внутреннее трение, или вязкость, – это свойство, благодаря которому происходит выравнивание скоростей различных слоев жидкости или газа. При ламинарном течении сила внутреннего трения дается формулой Ньютона:

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

где S – площадь соприкосновения двух соседних слоев;

$\frac{dV}{dx}$ – градиент скорости вдоль оси ox , перпендикулярной направлению движения жидкости;

η – множитель пропорциональности, зависящий от вида жидкости и ее температуры и называемый коэффициентом внутреннего трения (или коэффициентом вязкости). Вязкость жидкостей резко уменьшается при повышении температуры.

Метод Стокса основан на явлении падения маленького шарика в вязкой жидкости. Слой жидкости, граничащий с поверхностью шарика, прилипает к нему и движется со скоростью шарика. Следующие слои также приходят в движение, но скорости их уменьшаются по мере удаления от шарика. Таким образом, при вычислении силы сопротивления, действующей на шарик, нужно рассматривать не трение шарика о жидкость, а трение слоев жидкости друг о друга. Стокс показал, что если при движении шарика в безграничной жидкости течение слоев ламинарно, то эта сила может быть найдена по формуле

$$f = 6\pi\eta rV, \quad (2)$$

где r – радиус шарика;

V – его скорость.

Кроме силы сопротивления f , на шарик действует сила тяжести mg и сила Архимеда Q . Движение будет ускоренным лишь вначале. С возрастанием скорости растет сила f , с некоторого момента наступает равновесие сил. Уравнение равновесия имеет вид:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ш} g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ж} g - 6\pi\eta rV = 0, \quad (3)$$

где $\rho_{ш}$ и $\rho_{ж}$ – плотности шарика и жидкости соответственно.

7. С помощью того же микровинта переместить измерительный столик так, чтобы шарик принял положение «г». Произвести отсчет m_2 .

8. Найти продольный диаметр $d_2 = m_1 - m_2$.

9. Вычислить средний диаметр $\langle d \rangle = (d_1 + d_2)/2$.

10. Измерить время падения шарика между рисками А и В (рис. 1). Расстояние l между рисками задается преподавателем.

11. Опыт проделать для 10 шариков, записывая данные в таблицу.

Таблица

| № | n_1 , мм | n_2 , мм | d_1 , мм | m_1 , мм | m_2 , мм | d_2 , мм | $\langle d \rangle$, мм | t , с | η , Па·с | $\langle \eta \rangle$, Па·с |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|---------|---------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | | |

12. Рассчитать на компьютере коэффициенты вязкости глицерина для каждого из 10 опытов, вводя $\langle d \rangle$ (в метрах) и t для каждого шарика.

13. Продолжая расчет, найти $\langle \eta \rangle$ и его погрешность. Так как условия эксперимента не воспроизводятся (опыты проводятся с различными шариками), погрешность коэффициента вязкости следует вычислять, подходу к $\eta_1 \dots \eta_{10}$ как к результатам прямых измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кикоин А.К. Молекулярная физика / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. – М. : Наука, 1976. – 480 с.

2. Стрелков С.П. Механика / С.П. Стрелков. – М., 1975. – С. 138–143.

3. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности / А.Н. Матвеев. – М., 1986. – С. 203–204.

4. Физический практикум. Механика и молекулярная физика / под ред. В.К. Ивероной. – М., 1967. – С. 226–230.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Внутреннее трение в жидкостях. Формула Ньютона.
2. Коэффициент внутреннего трения, его физический смысл, размерность, зависимость от температуры жидкости.
3. Падение шарика в вязкой среде, предельная скорость падения, время установления предельной скорости.
4. Метод Стокса, его особенности.
5. Как обрабатывают результаты измерений, если условия опыта не воспроизводятся?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА МЛ-2/2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ ВИСКОЗИМЕТРОМ ОСТВАЛЬДА

Цель работы – измерение коэффициента вязкости водных растворов NaCl, изучение температурной зависимости коэффициента вязкости.

ВВЕДЕНИЕ

При ламинарном течении сила внутреннего трения определяется по формуле Ньютона

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

где S – площадь поверхности соприкасающихся слоев жидкости;

$\frac{dV}{dx}$ – градиент скорости в направлении, перпендикулярном скорости движения слоев;

η – коэффициент внутреннего трения (коэффициент вязкости), зависящий от вида жидкости и резко уменьшающийся с ростом ее температуры.

Объем вязкой жидкости (или газа) V , протекающий за время t через капиллярную трубку радиуса R и длины l при ламинарном течении дается формулой Пуазейля.

$$V = \frac{\pi R^4 \Delta P t}{8 \eta l}, \quad (2)$$

где ΔP – разность давлений на концах капилляра.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Приборы, служащие для определения коэффициента вязкости, называются вискозиметрами. Вискозиметр Оствальда представляет собой U-образную стеклянную трубку (рис. 1), имеющую резервуар 1, ограниченный двумя кольцевыми метками « m » и « n », над которым расположено небольшое расширение 2. Ниже резервуара 1 находится капилляр 3. Более широкое колено трубки имеет резервуар 4 для наполнения вискозиметра жидкостью. Вискозиметр укреплен в штативе и может опускаться в жидкостный термостат (водяную баню) для поддержания постоянной температуры. К узкому колену вискозиметра присоединена резиновая трубка 5.

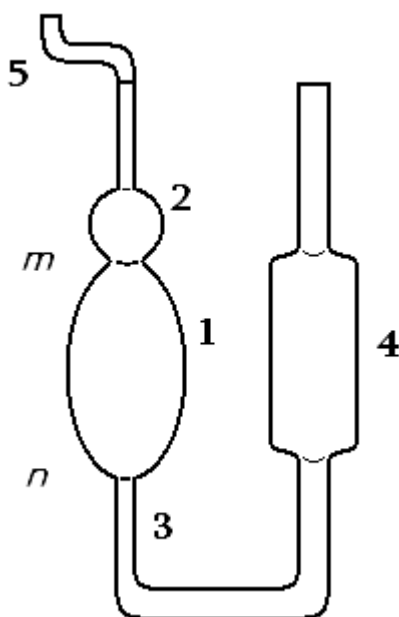


Рис. 1. Вискозиметр Оствальда

Методика работы основана на измерении времени протекания через капилляр одинакового объема исследуемой жидкости и жидкости сравнения, для которой коэффициент вязкости η_0 является известным. Приравнивая объемы этих жидкостей, получаем по формуле (2)

$$\frac{\pi R^4 \Delta P t}{8 \eta l} = \frac{\pi R^4 \Delta P_0 t_0}{8 \eta l},$$

где t и t_0 – времена протекания исследуемой жидкости и жидкости сравнения соответственно;

ΔP и ΔP_0 – разности давлений на концах капилляра при протекании этих жидкостей.

Так как истечение происходит под действием силы тяжести, можно написать $\Delta P / \Delta P_0 \approx \rho / \rho_0$, где ρ и ρ_0 – плотности исследуемой жидкости и жидкости сравнения. Тогда

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}, \quad (3)$$

величины ρ_0 и η_0 берутся из справочной литературы.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Приборы и принадлежности: вискозиметр Оствальда, штатив, водяная баня, электроплитка, мерный цилиндр, резиновая груша, термометр, секундомер, исследуемые растворы.