

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория молекулярной физики

Лабораторная работа № 8
Определение вязкости
жидкости капиллярным
вискозиметром

Ярославль
2007

Оглавление

1. Литература	3
2. Краткая теория	3
3. Описание метода и установки	4
4. Выполнение работы	6
5. Дополнительно задание	7
6. Контрольные вопросы	8
7. Содержание отчета	8

Лабораторная работа № 8

Определение вязкости жидкости капиллярным вискозиметром

Цель работы:

- знакомство с одним из методов определения вязкости жидкостей,
- изучение температурной зависимости жидкости; сравнение с газом.

Приборы и принадлежности: вискозиметр, термостат, секундомер, дистиллированная вода, исследуемые жидкости, резиновая груша.

1. Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 3. М., 2004.
2. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

2. Краткая теория

В установившемся потоке жидкости скорость отдельных слоев различна. Рассмотрим два параллельных слоя, находящихся на бесконечно малом расстоянии dx один от другого и движущихся с различными скоростями. Промежуточные слои жидкости перемещаются каждый со своей скоростью, величина которой меняется от v до $v + dv$. Выражение

$$\frac{dv}{dx} = |\overrightarrow{\text{grad } v}|$$

характеризует изменение скорости в пространстве между слоями и называется модулем градиента скорости. Это есть вектор, направленный перпендикулярно скорости. Числовое значение его равно единице, если рассматриваемые слои находятся на расстоянии $dx = 1$ и разность их скоростей $dv = 1$.

Благодаря наличию градиента скорости между соседними слоями возникает сила внутреннего трения, приложенная к поверхности движущегося слоя и направленная в сторону, противоположную скорости. Величина силы \vec{F} прямопропорциональна площади перемещающихся слоев S и

градиенту скорости:

$$|\vec{F}| = \eta \frac{dv}{dx} S. \quad (2.1)$$

Это уравнение Ньютона для силы внутреннего трения. Коэффициент η называется вязкостью или коэффициентом внутреннего трения. Для жидкостей он характеризует вязкие свойства их и определяется на опыте различными методами.

Выразим η из уравнения Ньютона (2.1):

$$\eta = \frac{|\vec{F}|}{\frac{dv}{dx} S}, \quad (2.2)$$

то есть коэффициент внутреннего трения численно равен силе внутреннего трения, рассчитанной на единицу площади соприкосновения слоев, при градиенте скорости, равном единице. В этом заключается физический смысл вязкости.

3. Описание метода и установки

Непосредственное определение вязкости по (2.2) невозможно и ее определяют опытным путем на основании соотношения Пуазейля для объема жидкости V , протекающего за время t через капилляр радиусом r и длиной ℓ при разности давлений на его концах Δp :

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 \eta \ell}. \quad (3.3)$$

Как видно, этот объем зависит от вязкости жидкости η . Эта формула выводится в механике и справедлива для ламинарного течения вязкой несжимаемой жидкости.

Для определения вязкости неизвестной жидкости используется метод сравнения. Измеряют время истечения через капилляр двух жидкостей равного объема V . Одну из жидкостей, вязкость которой известна, считают эталонной.

Выведем расчетную формулу для данного метода. Запишем формулу Пуазейля для одной жидкости (эталонной):

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p_o t_o}{8 \eta_o \ell}$$

и для второй:

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 \eta \ell}.$$

Приравнивая их, выразим неизвестную вязкость η через известную η_o :

$$\eta = \eta_o \frac{t \Delta p}{t_o \Delta p_o}.$$

Время истечения t_o и t можно непосредственно измерить, а отношение разности давлений заменим отношением плотностей. Если жидкости вытекают под действием силы тяжести, то $\Delta p = \rho g \Delta h$, где ρ — плотность, g — ускорение свободного падения, Δh — высота столбика жидкости. Тогда

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_o} = \frac{\rho}{\rho_o}$$

где ρ_o — плотность эталонной жидкости (воды) при данной температуре,
 ρ — плотность исследуемой жидкости при той же температуре

Расчетная формула принимает вид:

$$\eta = \eta_o \cdot \frac{t}{t_o} \cdot \frac{\rho}{\rho_o}. \quad (3.4)$$

Таким образом, для определения вязкости какой-либо жидкости нужно знать время истечения через капилляр эталонной жидкости t_o с вязкостью η_o , время истечения t такого же объема исследуемой жидкости и плотность обеих жидкостей.

Для измерения вязкости этим методом существуют специально изготовленные приборы — капиллярные вискозиметры. **Вискозиметр** представляет собой U-образную стеклянную трубку, широкое колено которой расширяется книзу. Другое колено содержит впаянный внутри капилляр, заканчивающийся вверху шариком, который переходит в более широкую трубку. Под шариком и над ним нанесены две метки, ограничивающие определенный объем. Прибор опускается в сосуд с водой так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верхней метки вискозиметра.

Для поддержания постоянной температуры и для изменения ее в сосуде последний соединяется с термостатом. Вывод термостата на нужную

температуру осуществляется при помощи реле, соединенного с контактным термометром. Необходимую температуру устанавливают на шкале этого термометра вращением головки в верхней его части (см. инструкцию к термостату).

4. Выполнение работы

В работе используются три одинаковых вискозиметра: один с эталонной жидкостью — дистиллированной водой — и два с различными исследуемыми жидкостями.

Рекомендуется следующий **порядок выполнения работы**:

1. В широкое колено вискозиметра наливают $5 - 7 \text{ см}^3$ дистиллированной воды, помещают вискозиметр в сосуд, соединенный с термостатом.
2. Включают термостат и при достижении нужной температуры засасывают грушей дистиллированную воду в шарик вискозиметра выше верхней метки. Пережимают рукой трубочку и приготавливают секундомер.
3. Дают возможность воде вытекать и включают секундомер в тот момент, когда мениск проходит через верхнюю метку. Выключают секундомер при прохождении мениска через нижнюю метку, снимают показания секундомера.
4. Повторяют опыт с водой не менее 5 раз.
5. Повторяют те же операции с жидкостями, вязкость которых нужно определить и не менее пяти раз измеряют время t .

Результаты измерений и вычислений для каждой исследуемой жидкости заносят в таблицы.

**Таблица измерений и вычислений для 1-ой жидкости
при комнатной температуре**

№ опыта	Плотность воды ρ_o , кг/м ³	Плотность жидкости ρ , кг/м ³	t_o , с	t , с	η_o , Па·с	η , Па·с	$\Delta\eta$, Па·с	$(\Delta\eta)^2$, (Па·с) ²
1								
2								
3								
⋮								
Сумма	X	X	X	X	X		X	
Среднее	X	X	X	X	X		X	X

Плотности ρ_o и ρ , а также вязкость воды η_o при температуре опыта нужно взять из справочных таблиц.

$$\eta = \bar{\eta} \pm \Delta\eta_{\text{дов}} \quad \text{с надежностью } \alpha = \dots; \varepsilon = \dots\%$$

Затем следует проделать измерения времени истечения второй жидкости и заполнить для неё аналогичную таблицу. Данные для воды взять из первой таблицы. После этого нужно записать результаты расчетов для исследуемых жидкостей.

5. Дополнительно задание

Измерить вязкость одной из исследуемых жидкостей при температурах 40°, 50°, 60°, 70°С и, используя табличные значения вязкости и плотности воды при этих температурах, рассчитать вязкости в исследованном диапазоне температур.

Сравнить температурную зависимость вязкости жидкости с теоретической для идеального газа.

6. Контрольные вопросы

1. Физический смысл коэффициента вязкости.
2. Уравнение Ньютона для силы внутреннего трения.
3. Формула Пуазейля и область её применения.
4. Сущность данного метода определения вязкости и вывод расчетной формулы.
5. Единицы измерения коэффициента вязкости в системе СИ и СГС, соотношения между ними.
6. Можно ли по результатам измерений, не делая расчетов, сделать предварительный вывод о том, больше или меньше вязкость исследуемой жидкости по сравнению с водой?
7. Можно ли рассчитать теоретическое значение вязкости жидкости из соотношения: $\eta = \frac{1}{3}v\lambda\rho$, где v — среднее значение скорости молекул, λ — средняя длина свободного пробега?

7. Содержание отчета

Наименование работы, ее цель, приборы и принадлежности, таблицы наблюдений и вычислений, краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.