

Определение энергии активации по температурной зависимости вязкости жидкости

2.2.6

Цель работы:

- о Измерение скорости падения шариков при разной температуре жидкости
- о Вычисление вязкости жидкости по закону Стокса и расчёт энергии активации

В работе используются: стеклянный цилиндр с исследуемой жидкостью (глицерин); термостат; секундомер; горизонтальный компаратор; микроскоп; мелкие шарики (диаметром около 1 мм)

Теория

В жидкостях, как и в кристаллах, каждая молекула находится в потенциальной яме электрического поля, создаваемого окружающими молекулами. Молекулы колеблются со средней частотой, близкой к частоте колебаний атомов в кристаллических телах ($\sim 10^{12}$ Гц), с амплитудой, определяемой размерами объёма, предоставленного ей соседними молекулами. Глубина потенциальной ямы в жидкостях больше средней кинетической энергии колеблющейся молекулы, поэтому молекулы колеблются вокруг более или менее стабильных положений равновесия. Однако у жидкостей различие между этими двумя энергиями невелико, так что молекулы нередко выскакивают из "своей" потенциальной ямы и занимают место в другой. Для перехода в новое состояние молекула должна получить некоторое количество энергии W , называемую *энергией мотивации*.

Температурная зависимость вязкости жидкости выражается формулой:

$$\eta \sim e^{W/kT}$$

Экспериментальные исследования показывают, что формула неплохо работает в небольших температурных интервалах.

Формула Стокса для ламинарного обтекания шарика безграничной жидкостью:

$$F = 6\pi\eta rv$$

Характер обтекания определяется числом Рейнольдса $Re = vr\rho_{\text{ж}}/\eta$ (для ламинарного течения $Re < 0.5$)

Время релаксации скорости:

$$\tau = \frac{2}{9} \frac{r^2 \rho}{\eta}$$

Тогда η :

$$\eta = \frac{2}{9} gr^2 \frac{\rho - \rho_{\text{ж}}}{v_{\text{уст}}}$$

Экспериментальная установка

Важные константы:

Диаметр сосуда:

Длина сосуда:

$s = (10.0 \pm 0.1)\text{см}$

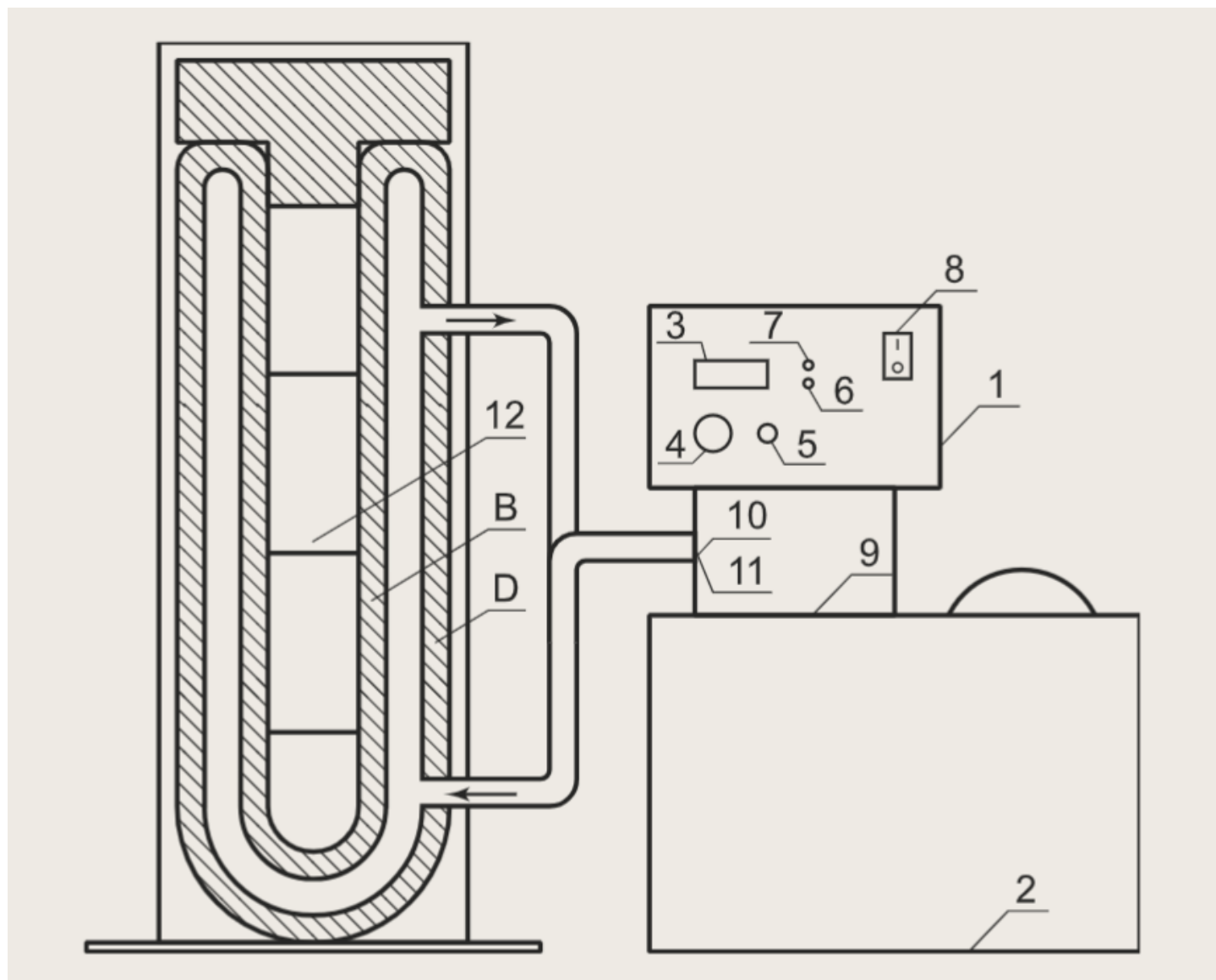


Рис. 1: Установка для определения коэффициента вязкости жидкости

Измеряем пройденное расстояние линейкой, а время – секундомером, находим $v_{\text{уст}}$. Радиус шарика измеряем горизонтальным компаратором/микроскопом (для каждого шарика измеряем несколько диаметров и берём среднее). Плотность шариков и жидкости – табличные значения.

Опыты проводятся при нескольких температурах в интервале от комнатной до 320 – 330 К.

Для каждой температуры проводим измерения с разными диаметрами шариков.

Построим график в координатах $\ln(\eta)(T^{-1})$.

Если во всем диапазоне встречающихся в работе скоростей и времён релаксации вычисленные по нашей формуле значения η оказываются одинаковыми, то формула Стокса правильно передаёт зависимость сил от радиуса шарика. Если всё-таки наблюдается корреляция η и r , то нужно использовать формулу:

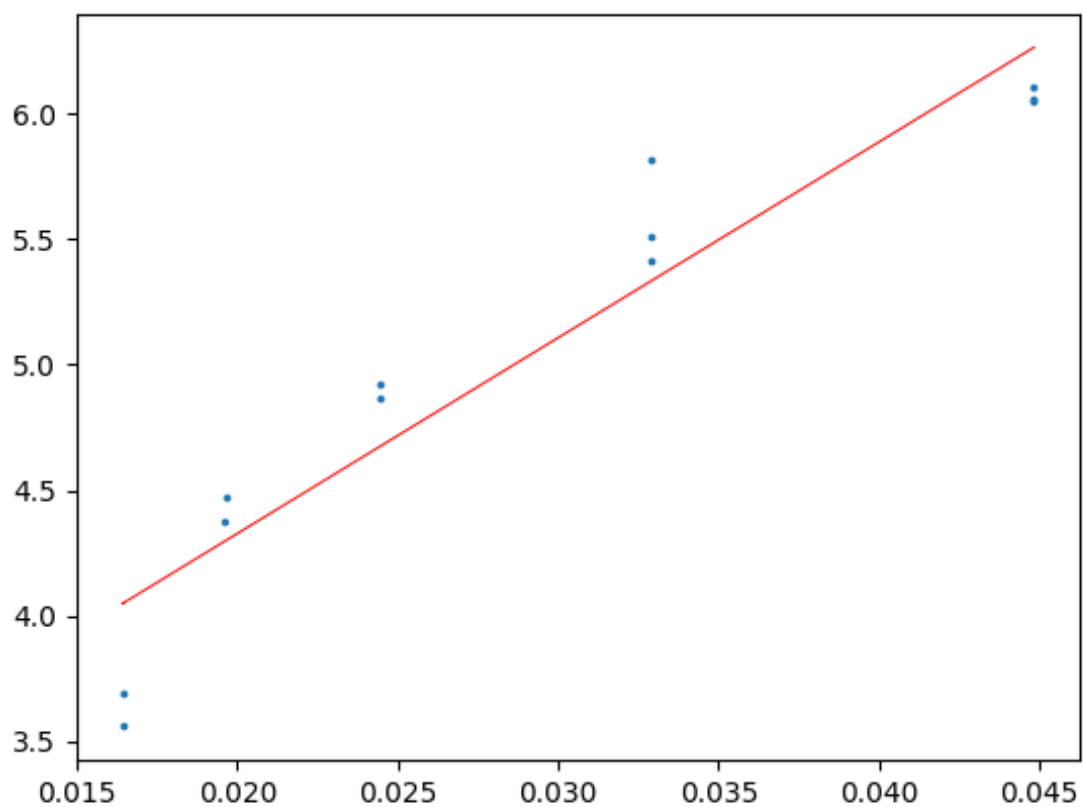
$$\eta = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_{\text{ж}}}{v_{\text{уст}}} \cdot \frac{1}{1 + 2.4(r/R)}$$

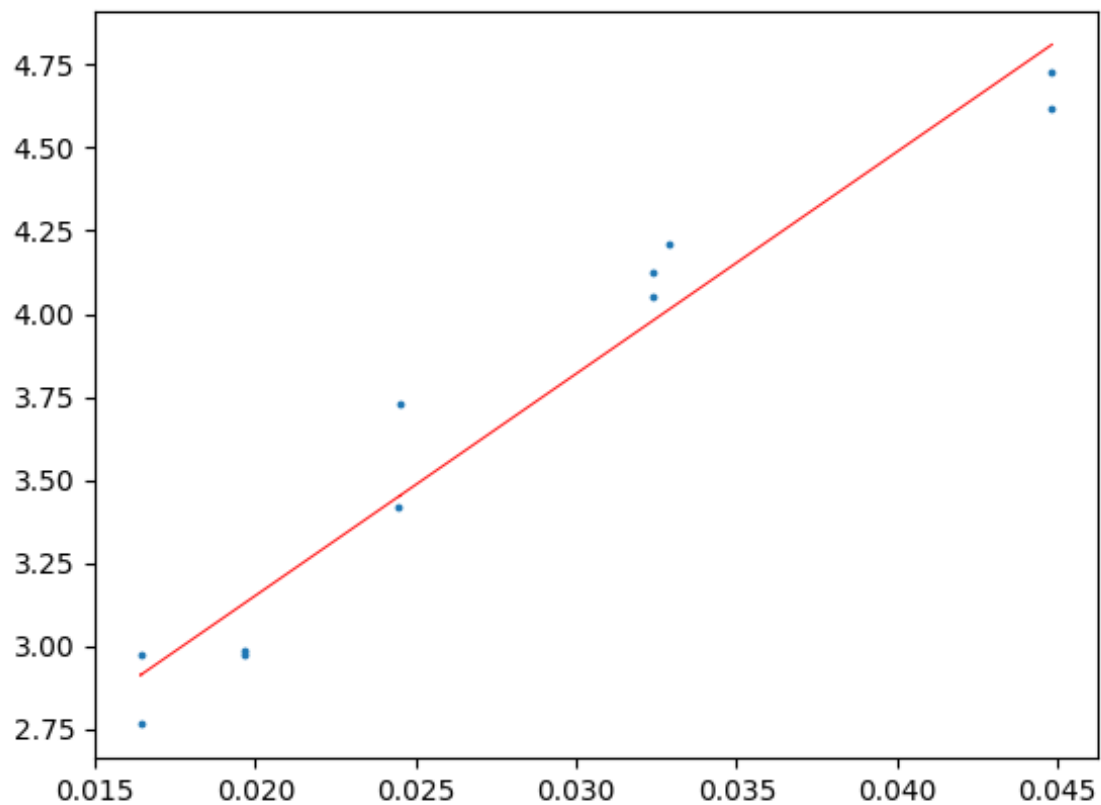
где R – радиус сосуда.

Ход работы

0. Отберём 24 шарика. Для каждого шарика измерим микроскопом диаметр в двух положениях и усредним.

1. Измерим зависимость скорости падения шарика от температуры жидкости. Скорость измеряем по формуле $v_{уст} = s/t_{\text{падения}}$. Для каждой температуры будем проводить измерения по 4-5 раз, фиксируя при этом изменение температуры.
2. Для каждого из опытов вычислим число Рейнольдса, оценим время и путь релаксации, занесём всё в табличку.
3. График зависимости $\ln\eta(T^{-1})$





Из МНК, среднеквадратичная ошибка для стекла меньше, чем для стали (0.0011 vs 0.0013), поэтому будем использовать значение энергии активации, полученной для стали

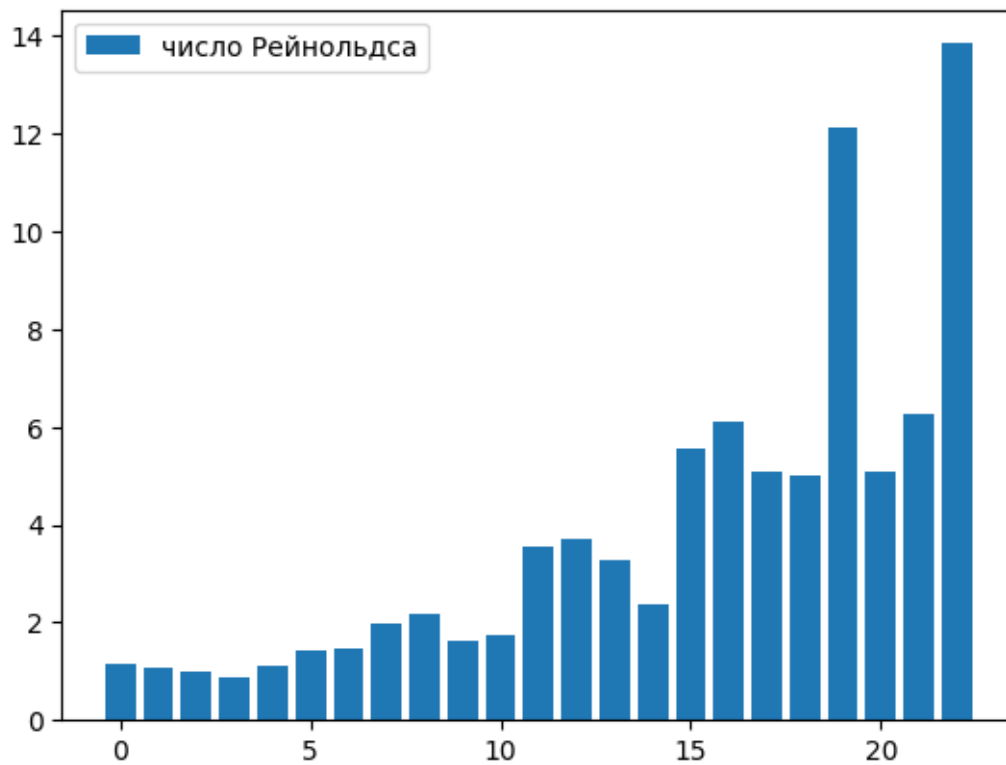
4. Энергия активации:

$$W = 6.67 * 10^{-20} \frac{\text{Дж}}{\text{Моль}}$$

$$\sigma_W = 6.14 * 10^{-21}$$

Приборная погрешность (относительная погрешность человека и линейки – порядка 1%, микроскопа – «1%») существенно мала по сравнению со случайной=> считаем, что погрешность складывается только из случайной

Графики



Вывод

Энергия активации примерно совпадает с табличным значением. Как видно из графиков, число Рейнольдса зависит от температуры. Время релаксации тоже зависит, и как видно, для стеклянных и стальных шариков оно сильно отличается