

Отчет о выполнении лабораторной работы 2.2.6

Определение энергии активации по температурной зависимости вязкости жидкости

Костылев Влад, Б01-208

22 февраля 2023 г.

Аннотация

Цель работы: 1) измерение скорости падения шариков при разной температуре жидкости; 2) 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).

1 Теоретическая справка

Жидкости сходны как с газами, так и с твёрдыми телами. Жидкости принимают форму сосуда, в котором они находятся. Они обладают сравнительно большой плотностью, с трудом поддаются сжатию. 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 (10^{12} Гц). Глубина потенциальной ямы в жидкостях больше средней кинетической энергии колеблющейся молекулы, поэтому молекулы колеблются вокруг более или менее стабильных положений равновесия. Молекулы нередко выскакивают из «своей» потенциальной ямы и занимают место в другой.

Для того чтобы перейти в новое состояние, молекула должна преодолеть участки с большой потенциальной энергией, превышающей среднюю тепловую энергию молекул. Для этого тепловая энергия молекул должна - вследствие флуктуации (отклонения от среднего значения) - увеличиться на некоторую величину W , называемую **энергией активации**. Вследствие этого переходы молекул из одного положения равновесия в другое происходят сравнительно редко и тем реже, чем больше энергия активации.

Отмеченный характер движения молекул объясняет как медленность диффузии в жидкостях, так и большую (по сравнению с газами) их вязкость:

$$\eta \sim Ae^{W/kT} \quad (Pa \cdot c = 10 \text{ Пуаз}) \quad (1)$$

В небольших температурных интервалах, формула (1) хорошо описывает изменение вязкости от температуры. При увеличении данного интервала, данная зависимость проявляется слабее, так как формула была выведена при очень грубых оценках.

На всякое тело в жидкости будет действовать сила сопротивления. Зная, что данная сила может зависеть от следующих параметров: $\rho_{жс}, \eta, v, r$, воспользуемся методом размерностей:

$$F = A\eta^x r^y \rho_{жс}^z v^a$$

Легко увидеть, что однозначного решения такая задача не имеет. Экспериментально показывается, что при больших скоростях (При больших Re) $a = 2$, иначе $a = 1$. Далее запишем систему:

$$\begin{cases} 1 = x + z \\ 1 = -x + 1 + y - 3z \\ -2 = -x - 1 \end{cases} \Rightarrow x = 1, y = 1, z = 0$$

$$F = A\eta r v \quad (2)$$

Далее Стокс, гидродинамически вывел коэффициент $A = 6\pi$ для шарика. Далее исходя из второго закона Ньютона:

$$V\rho \frac{dv}{dt} = Vg(\rho - \rho_{жс}) - 6\pi\eta r v$$

Решая данное дифференциальное уравнение получаем:

$$v(t) = v_{уст} - (v_{уст} - v_0)e^{-t/\tau} \quad (3)$$

Где:

$$v_{уст} = \frac{Vg(\rho - \rho_{жс})}{6\pi\eta r} = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_{жс}}{\rho} \quad \tau = \frac{V\rho}{6\pi\eta r}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_{жс}}{v_{уст}} \quad (4)$$

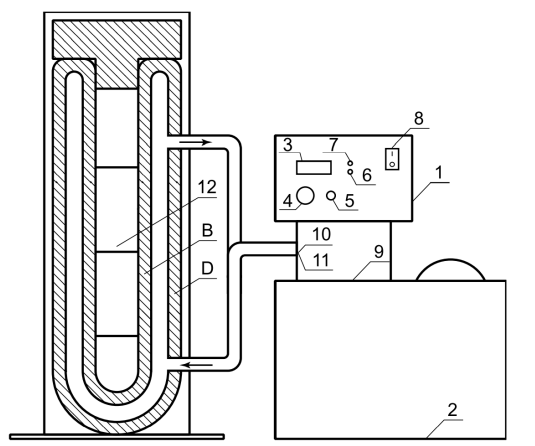
2 Используемое оборудование

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

3 Методика измерений

В цилиндр, наполненный глицерином, будем кидать шарики и нужные нам данные заносить в таблицу.

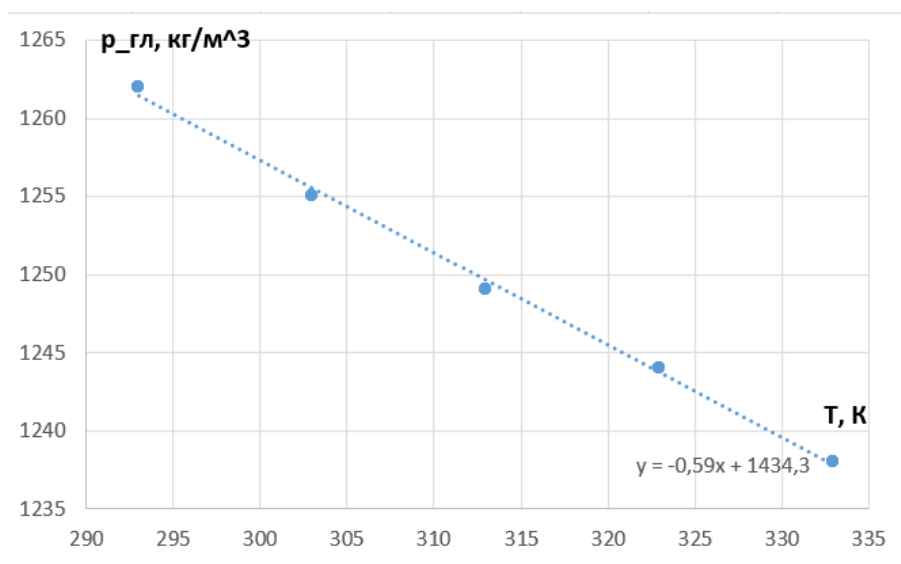
Схематично изобразим используемую нами установку:



- 1 — блок терморегулирования;
- 2 — ванна;
- 3 — индикаторное табло;
- 4 — ручка установки температуры;
- 5 — кнопка переключения режимов установки/контроля температуры;
- 6 — индикатор уровня жидкости;
- 7 — индикатор включения нагревателя;
- 8 — сетевой выключатель прибора;
- 9 — крышка;
- 10 — входной и выходной патрубки насоса;
- 11 — входной и выходной патрубки теплообменника (вода из водопровода)

4 Результаты измерений и обработка данных

Отобрав 20 шариков (10 стеклянных и 10 стальных) проведем для них ряд измерений, помещая их в глицерин при разной температуре. Для начала стоит продемонстрировать зависимость плотности глицерина от температуры:



Теперь перенесем все наши измеренные данные в таблицу:

T, К	293				303			
	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
r, мм	1	1,02	0,45	0,47	1,05	1,02	0,42	0,4
t, с	40,93	40,89	51,78	51,52	29,8	30,03	40,42	39,87
T, К	313				323			
	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
r, мм	1	1,02	0,4	0,38	1,05	1,02	0,35	0,37
t, с	13,97	14,21	14,05	13,82	6,27	6,32	13,36	12,2
T, К	333							
	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь				
r, мм	1	1,02	0,4	0,38				
t, с	3,72	3,78	4,47	4,21				

Далее, для каждого шарика найдем его скорость, зная, что он проходит расстояние равное 10 см, за время указанное в таблице. Теперь воспользовавшись формулой (4), найдем вязкость глицерина при определенных температурах:

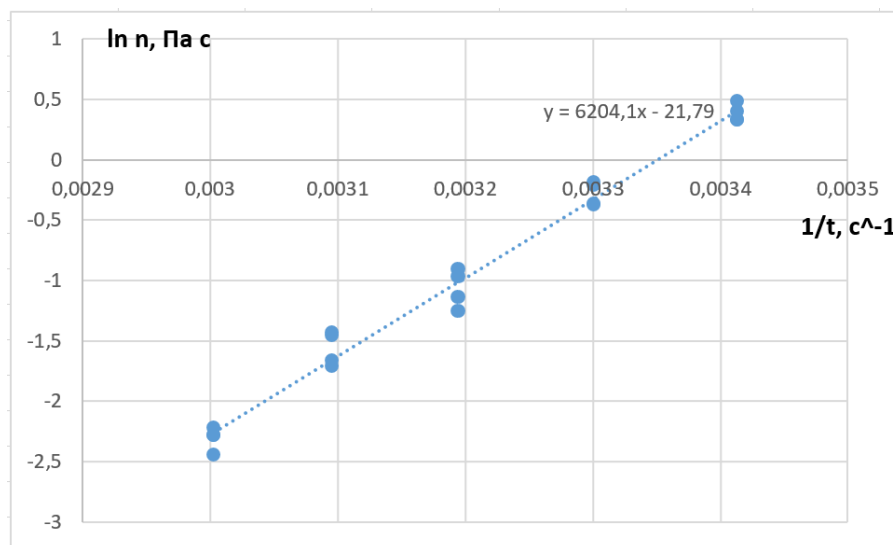
T, K	293				303			
	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
η , Па с	1,39	1,38	1,49	1,62	0,69	0,68	0,82	0,81
$d\eta$, Па с	0,11	0,12	0,33	0,35	0,19	0,19	0,24	0,23
T, K	313				323			
	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
η , Па с	0,38	0,38	0,32	0,28	0,19	0,18	0,23	0,24
$d\eta$, Па с	0,05	0,05	0,08	0,08	0,04	0,03	0,07	0,07
T, K	333							
	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь				
η , Па с	0,10	0,11	0,10	0,09				
$d\eta$, Па с	0,03	0,03	0,03	0,03				

И сразу сравним с табличными значениями динамической вязкости глицерина:

Температура, °С	Динамический коэффициент вязкости мПа*с = (сП)
0	12100
5	7050
10	3950
15	2350
20	1480
30	600
40	330
50	180
60	102

Можем заметить, что все экспериментально полученные величины лежат в пределах погрешности.

Далее построим график $\ln(\eta)$ от $1/T$:



Теперь посчитаем энергию активации глицерина, зная что $W = K \times A$:

$$W = 1.38 \cdot 10^{-23} \times 6204 = 0.86 \cdot 10^{-19} \pm 0.2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 0.57 \pm 0.04 \text{ эВ}$$

0,85 10– 19 Дж

Энергия активации глицерина $E \approx 0,85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 0,54 \text{ эВ}$.

Сравнивая это значение с табличным, видим, что оно очень близко к нему приближено. Даже по порядку сходится :))

5 Заключение

Проделав ряд измерений, мы научились рассчитывать вязкость жидкости при разных температурах, которая получается очень близка к табличным данным и лежит в пределах погрешности.

Errors calculated using a **mega-super-hyper** differentiator!