

«Московский физико-технический институт»
Физтех-школа радитехники и компьютерных технологий

Отчёт о лабораторной работе №2.2.6 Определение энергии активации по температурной зависимости вязкости жидкости

Выполнил:
Хмельницкий А. А., БО1-306
Консультант:
Волков Л.С.

1 Аннотация

Цель работы: 1) измерение скорости падения шариков при разной температуре жидкости; 2) вычисление вязкости жидкости по закону Стокса и расчет энергии активации.

В работе используются: стеклянный цилиндр с исследуемой жидкостью (глицерин); термостат; секундомер; горизонтальный компаратор; микроскоп; мелкие шарики (диаметром 1-2 мм).

2 Теоретическая часть

2.1 Энергия активации

Для того чтобы перейти в новое состояние, молекула жидкости должна преодолеть участки с большой потенциальной энергией, превышающей среднюю тепловую энергию молекул. Для этого тепловая энергия молекул должна — вследствие флуктуации — увеличиться на некоторую величину W , называемую энергией активации. Температурная зависимость вязкости жидкости при достаточно грубых предположениях можно описать формулой

$$\eta \sim Ae^{W/kT} \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что существует линейная зависимость между величинами $\ln\eta$ и $1/T$, и энергию активации можно найти по формуле

$$W = k \frac{d(\ln\eta)}{d(1/T)} \quad (2)$$

2.2 Измерение вязкости

По формуле Стокса, если шарик радиусом r и со скоростью v движется в среде с вязкостью η , и при этом не наблюдается турбулентных явлений, тормозящую силу можно найти по формуле (3)

$$F = 6\pi\eta r v \quad (3)$$

Для измерения вязкости жидкости рассмотрим свободное падение шарика в жидкости. При медленных скоростях на шарик действуют силы Архимеда и Стокса, выражения для которых мы знаем. Отсюда находим выражения для установившейся скорости шарика и вязкости жидкости

$$v = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_{\text{ж}}}{\eta} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_{\text{ж}}}{v} \quad (5)$$

Как видим, измерив установившуюся скорость шарика и параметры системы можно получить вязкость по формуле.

2.3 Экспериментальная установка

Для измерений используется стеклянный цилиндрический сосуд В, наполненный исследуемой жидкостью (глицерин). Диаметр сосуда ≈ 3 см, длина ≈ 25 см. На стенках сосуда нанесены две метки на некотором расстоянии друг от друга. Верхняя метка должна располагаться ниже уровня жидкости с таким расчетом, чтобы скорость шарика к моменту прохождения этой метки успевала установиться. Измеряя расстояние между метками, в время падения определяют

установившуюся скорость шарика v . Сам сосуд В помещен в рубашку D, омываемую водой из термостата. При работающем термостате температура воды в рубашке D, а потому и температура жидкости 12 равна температуре воды в термостате. Схема прибора (в разрезе) показана на рис. 1.

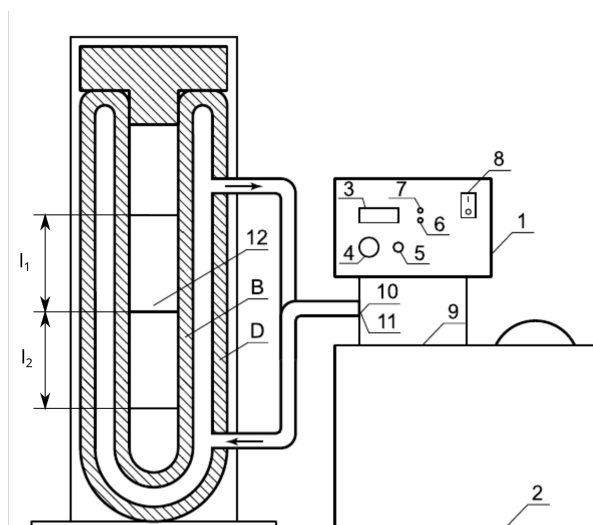


Рисунок 1: Установка для определения коэффициента вязкости жидкости.

3 Результаты эксперимента

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Стекло, мм	Время, с	Сталь, мм	Время, с
25,4	2	46,62	0,8	58,56
25,4	2	47,78	0,6	100,2
36	2	29	0,85	31,3
36	2	31	0,5	52,5
40	2	23,38	0,9	26
40	2	22,21	0,7	33,8
48	2	14,4	0,75	21,4
48	2	14,5	0,65	23,6
55,5	2	8,8	0,65	15,2
55,5	2	8,6	0,65	14,9

Таблица 1: Данные о времени погружения тел при разных температурах в глицерине

$$L = 20.2 \text{ см}$$

4 Обработка результатов

Сталь				
Радиус	Скорость	Плотность	Сталь	вязкость
0,0004	0,00344945355191257	1233	780	0,0457595184158416
0,0003	0,00201596806387225	1233		0,0440423643564357
0,000425	0,00645367412140575	1228		0,0273062715071507
0,00025	0,00384761904761905	1228		0,0158481848184819
0,00045	0,00776923076923077	1226		0,0253160198019802
0,00035	0,00597633136094675	1226		0,0199090180418042
0,000375	0,0094392523364486	1223		0,014372827970297
0,000325	0,0085593220338983	1223		0,0119054178767877
0,000325	0,0132894736842105	1220		0,00761596919691969
0,000325	0,0135570469798658	1220		0,00746565401540154
Стекло				
Радиус	Скорость	Плотность	Стекло	Вязкость
0,001	0,00433290433290433	1233	250	0,494069425742574
0,001	0,004227710339054	1233		0,506362873487349
0,001	0,00696551724137931	1228		0,305772937293729
0,001	0,00651612903225806	1228		0,326860726072607
0,001	0,00863986313088109	1226		0,246012127612761
0,001	0,00909500225123818	1226		0,23370099889989
0,001	0,0140277777777778	1223		0,151055841584158
0,001	0,0139310344827586	1223		0,152104840484048
0,001	0,0229545454545454	1220		0,0920272827282728
0,001	0,0234883720930233	1220		0,0899357535753575

Таблица 2: Расчет вязкости для стекла и стали

На рис. изображен график зависимости $\ln \eta / \eta_0$ от $1/T$, где $\eta_0 = 1480$ мПа·с - табличное значение вязкости глицерина при $T = 293$ К.

Наклоном графика будет являться величина W/k . Значения экспериментальных точек и значение энергии активации представлены в таблицах. $(W/k)_{\text{стекло}} = 5500$ К

$$(W/k)_{\text{сталь}} = 5700 \text{ К}$$

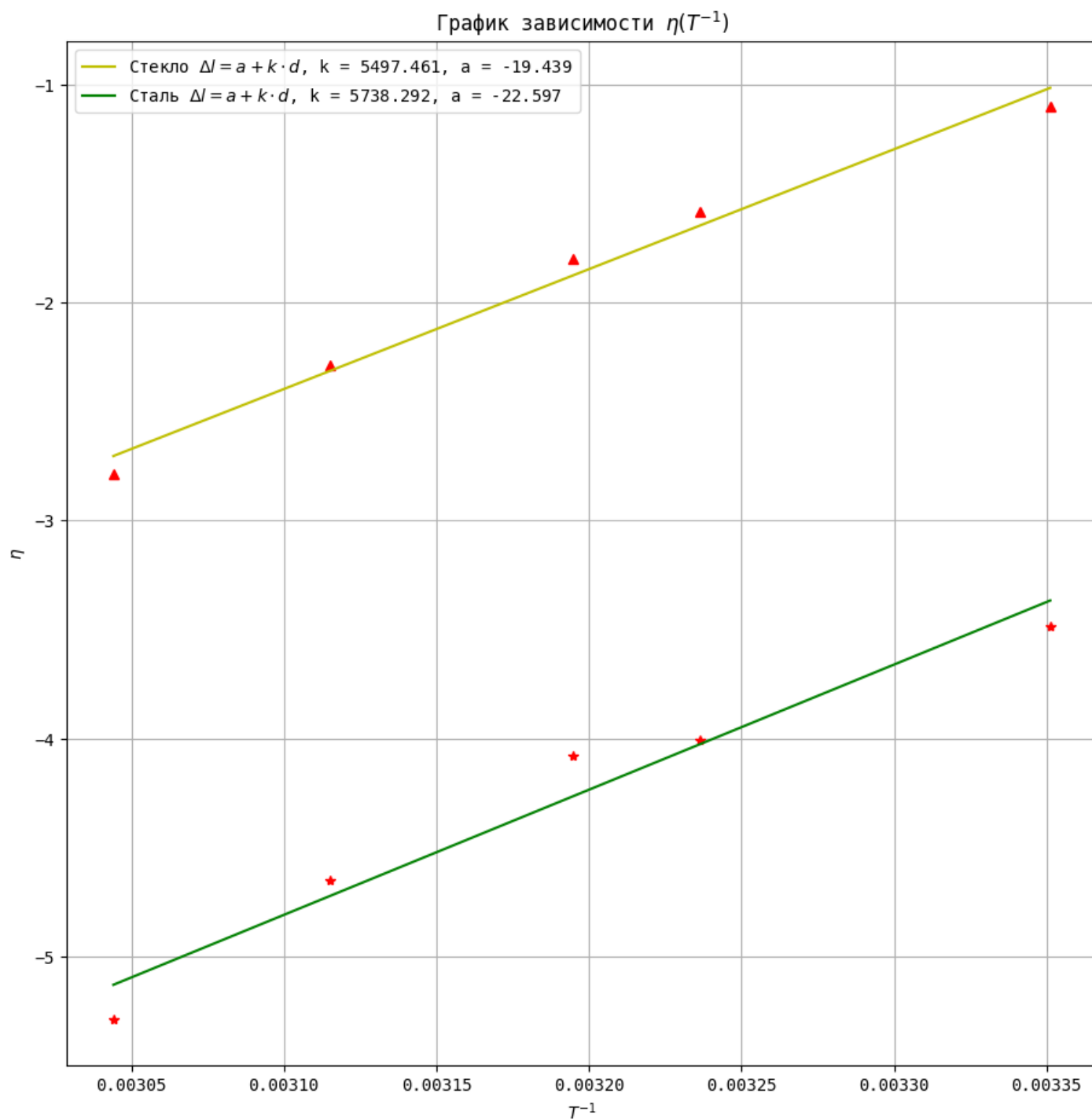
$$\text{Среднее: } (W/k)_{\text{ср}} = 5600 \text{ К}$$

Выводы

Сравним наши результаты с более точными результатами. На графике видно, что значение вязкостей заметно отличаются при низких температурах, при которых наш метод работает лучше всего. Различие можно объяснить различием состава глицерина и, возможно, неравномерностью нагрева в нашей установке, т.к. при низких температурах вязкость меняется резче, и неравномерная температура может серьезно повлиять на среднюю вязкость.

На графике видно, что связь между $\ln(\eta)$ и $1/T$ линейная. Если попытаться аппроксимировать точки линейей методом хи квадрат, то для энергии активации получаем $W/k = (6517 \pm 2)$. Наша энергия активации отличается от последней на $\varepsilon = 13\%$, что так же можно объяснить предыдущими аргументами.

- Проверили справедливость закона Стокса в условиях эксперимента.

Рисунок 2: Зависимость $\ln \eta/\eta_0$ от $1/T$.

- Вычислили вязкость исследуемой жидкости по закону Стокса, например при $T = 298$ К $\eta = (770 \pm 40)$ мПа·с, что соответствует табличному значению 99% раствора глицерина.
- Нашли приблизительную энергию активации глицерина