

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

Лабораторная работа 2.2.6

Определение энергии активации по температурной зависимости вязкости жидкости

Салтыкова Дарья

Б04-105

1 Введение

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

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

2 Теоретические сведения

2.1 Энергия активации

Двойственный характер свойств жидкостей связан с особенностями движения их молекул. В газах молекулы движутся хаотично, в их расположении отсутствует порядок. В кристаллических твердых телах частицы колеблются около определенных положений равновесия — узлов кристаллической решетки. 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), и с амплитудой, определяемой размерами объема, 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 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 — увеличиться на некоторую величину W , называемую энергией активации. Температурная зависимость вязкости жидкости при достаточно грубых предположениях можно опистать формулой

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

2.2 Формула Стокса

На всякое тело,двигающееся в вязкой жидкости, действует сила сопротивления. В общем случае величина этой силы зависит от многих факторов: от вязкости жидкости, от формы тела, от характера обтекания и т. д. Стоксом было получено строгое решение задачи о ламинарном обтекании шарика безграничной жидкостью. В этом случае сила сопротивления F определяется формулой

$$F = 6\pi\eta r v$$

2.3 Расчетная формула вязкости

Измеряя на опыте установившуюся скорость падения шариков v и величины r , ρ , ρ_0 , можно определить вязкость жидкости по формуле

$$\eta = \frac{2}{9}gr^2\frac{\rho - \rho_0}{v}$$

3 Экспериментальная установка

Для измерений используется стеклянный цилиндрический сосуд В, наполненный исследуемой жидкостью (глицерин). Диаметр сосуда ≈ 3 см, длина ≈ 40 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 с помощью линейки, а время падения с помощью секундомера, определяют скорость шарика вуст. 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.

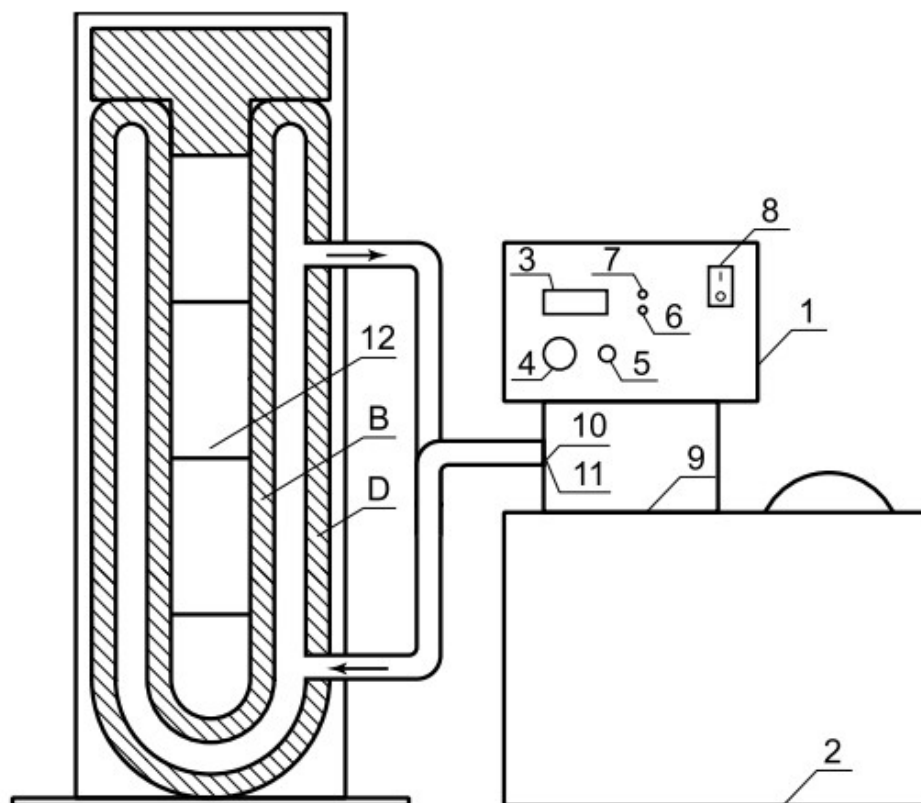


Рис. 1: Установка для определения коэффициента вязкости жидкости

4 Ход работы

Т, К	298	304	308	313	318	323
ρ_0 , Г/см ³	1,258	1,256	1,254	1,252	1,250	1,248
L, см	$20,0 \pm 0,1$					
$\rho_{\text{стекла}}$, Г/см ³	2,52					
$\rho_{\text{стали}}$, Г/см ³	7,80					

1. Отберем 12 стеклянных и 12 стальных шариков и с помощью микроскопа измерим их средние диаметры (см. Таблицу ниже). Погрешность измерения диаметра для стеклянных шариков примем $\sigma_{d1} = 0,1$ мм, для стальных - $\sigma_{d2} = 0,3$ мм.

2. Измерим установившиеся скорости падения шариков на $L = 20$ см, $\sigma_L = 0,1$ см и вычислим вязкость. Погрешность измерения времени примем $\sigma_t = 0,2$ с. Оценим также время релаксации τ и путь релаксации $S = v_{\text{уст}}\tau$.

Т, К	298			
шарики	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
d, мм	2,06	2,04	0,80	0,80
t, с	47,03	47,22	50,50	50,90

Т, К	304			
шарики	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
d, мм	2,02	2,10	0,82	0,94
t, с	29,79	29,39	31,00	32,52

Т, К	308			
шарики	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
d, мм	2,06	2,08	1,20	0,80
t, с	23,81	23,06	26,36	36,32

Т, К	313			
шарики	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
d, мм	2,12	2,10	0,72	0,84
t, с	17,39	16,32	29,88	17,88

Т, К	318			
шарики	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
d, мм	2,08	2,10	0,68	0,82
t, с	12,08	12,04	24,74	18,39

Т, К	323			
шарики	1 стекло	2 стекло	1 сталь	2 сталь
d, мм	2,06	2,06	0,76	0,70
t, с	9,00	8,88	12,78	15,52

Получаем следующие значения:

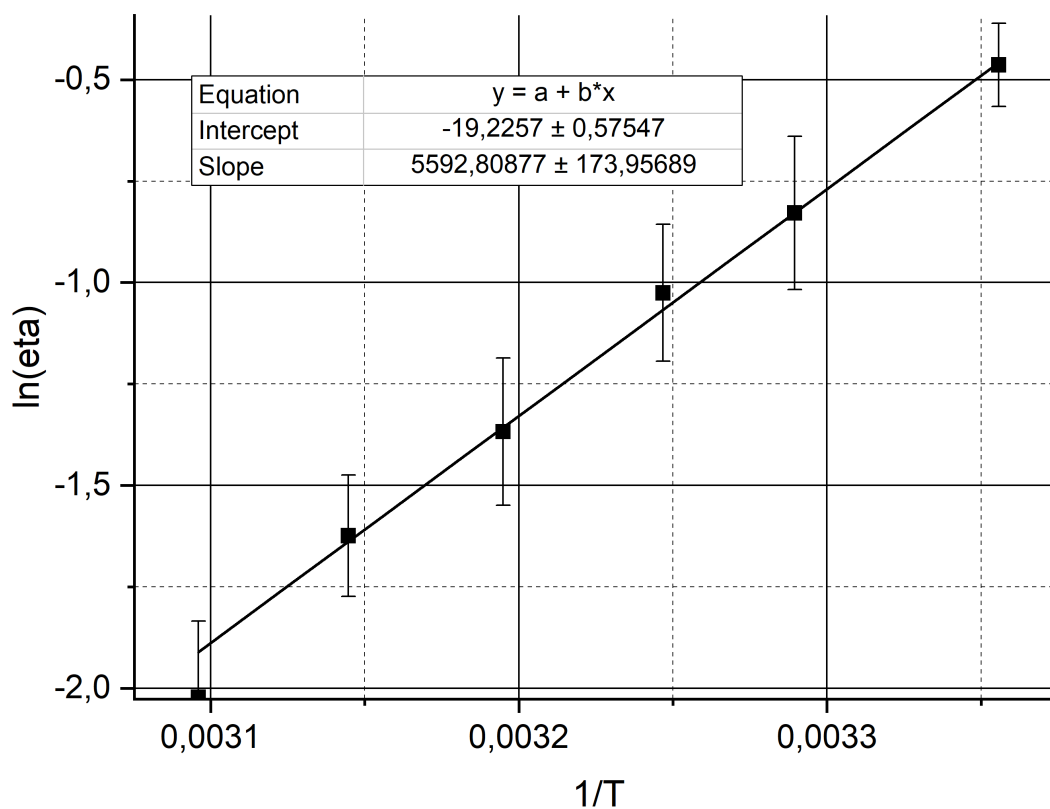
Т, К	298		304		308		313	
η , Па · с	0,63		0,44		0,36		0,25	
σ_η , Па · с	0,18		0,12		0,09		0,08	
	стекло	сталь	стекло	сталь	стекло	сталь	стекло	сталь
$\tau, \cdot 10^{-3}$ с	0,86	0,48	1,38	0,77	1,73	1,21	2,41	1,09
$\sigma_\tau, \cdot 10^{-3}$ с	0,08	0,12	0,13	0,11	0,17	0,14	0,23	0,16
$S, \cdot 10^{-2}$ мм	0,37	0,19	0,93	0,48	1,48	0,84	2,86	1,03
$\sigma_S, \cdot 10^{-2}$ мм	0,04	0,14	0,09	0,33	0,14	0,47	0,04	0,01

T, K	318		323	
η , Па · с	0,20		0,13	
σ_η , Па · с	0,07		0,04	
	стекло	сталь	стекло	сталь
$\tau, \cdot 10^{-3}$ с	3,36	1,15	4,52	1,73
$\sigma_\tau, \cdot 10^{-3}$ с	0,22	0,13	0,23	0,24
$S, \cdot 10^{-2}$ мм	5,57	1,12	10,12	2,50
$\sigma_S, \cdot 10^{-2}$ мм	0,10	0,01	1,04	2,04

3. Для каждого из опытов вычислим значение числа Re .

T, K	298	304	308	313	318	323
Re	0,006	0,014	0,022	0,040	0,070	0,134

4. Построим график зависимости $\ln \eta$ от $1/T$ и по угловому коэффициенту прямой определим энергию активации.



$$W = k \frac{d \ln \eta}{d(1/T)} = (7,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

5 Вывод

В ходе работы:

1. Вычислена вязкость исследуемой жидкости по закону Стокса при различных температурах. Значения в пределах погрешности соответствуют табличным.

T, К	298	304	308	313	318	323
η , Па · с	0,63	0,44	0,36	0,25	0,20	0,13
σ_η , Па · с	0,18	0,12	0,09	0,08	0,07	0,04

2. Получены значения времени релаксации. Поскольку время падения в несколько раз больше времени релаксации, процесс установления скорости можно считать закончившимся.

3. Вычислена энергия активации глицерина $W = (7,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-20}$ Дж.

4. Получены числа Рейнольдса (все они меньше 0,5), которые позволяют утверждать, что в условиях опыта течение можно считать ламинарным.