

Отчет о выполнении лабораторной работы

2.2.6

Определение энергии активации по температурной зависимости вязкости жидкости.

Глушкова Анна
Б04-201

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.

Теоретическая часть

Для перехода в новое состояние молекула жидкости должна преодолеть участок с большой потенциальной энергией, превышающей среднюю тепловую энергию молекул. Для этого тепловая энергия молекулы должна увеличиться на W - энергию активации. Температурная зависимость вязкости жидкости при грубых предположениях выражается формулой:

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

Если отложить на графике $\ln\eta$ в зависимости от $1/T$, то должна появиться кривая по угловому коэффициенту которой можно определить W . На всякое тело, движущееся в вязкой среде действует $F_{\text{сопр}}$. В общем случае величина $F_{\text{сопр}}$ зависит от вязкости жидкости, формы тела, характера обтекания и т.д. Стоксом было получено строгое решение задачи о ламинарном обтекании шарика безграничной жидкостью. В этом случае $F_{\text{сопр}}$ определяется формулой:

$$F = 6\pi\eta rv \quad (2)$$

Через второй закон Ньютона найдем уравнение движения шарика:

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

Отсюда для установившейся скорости, времени и пути релаксации имеем:

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

$$\tau = \frac{2r^2\rho}{9\eta} \quad (5)$$

$$S = v_{\text{уст}}\tau\left(\frac{t}{\tau} - 1 + e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \sim v_{\text{уст}}\tau \quad (6)$$

Зная $v_{\text{уст}}$, r , ρ , $\rho_{\text{ж}}$ можно определить вязкость:

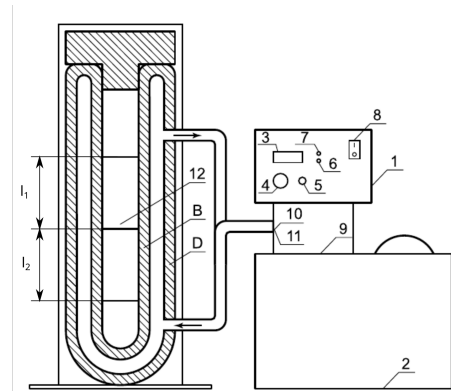
$$\eta = \frac{2}{9}gr^2 \frac{\rho - \rho_{ж}}{v_{уст}} \quad (7)$$

Полезно исследовать формулу Стокса не только экспериментально, но и теоретически. Ранее предполагалось, то что обтекание шарика имеет ламинарный характер, обтекание же является ламинарным при очень малых значениях числа Рейнольдса (меньших 0,5):

$$Re = \frac{vr\rho_{ж}}{\eta} \quad (8)$$

Экспериментальная установка

Для измерений используется стеклянный цилиндрический сосуд В, наполненный исследуемой жидкостью (глицерин). Диаметр сосуда $\approx 2,6$ 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.



Практическая часть

Измеренные значения диаметров шариков, время и скорости, за которое шарик преодолевает расстояние: $L = 19,65 \pm 0,05$ см, а также, зная плотности стекла и стали, вязкость, соответствующие разным показаниям температуры приведены в таблице 1

$$\rho_{\text{стекла}} = 2,5 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{стали}} = 7,8 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$$

T, ° C	d1, мм	d2, мм	d3, мм	$\langle d \rangle$, мм	v, м/с	η , Па с	$\delta\eta$, Па с
21,11	1,9	1,9	1,95	$1,92 \pm 0,2$	0,002612	1,06	0,007 (0.7%)
	2	1,9	2	$1,97 \pm 0,05$	0,002598	1,122	0,008 (0.7%)
	0,7	0,7	0,75	$0,72 \pm 0,02$	0,001691	1,105	0,005 (0.5%)
	0,7	0,75	0,6	$0,68 \pm 0,06$	0,00183	0,929	0,005 (0.5%)
30,98	1,8	1,85	1,9	$1,85 \pm 0,04$	0,005127	0,506	0,007 (1,4%)
	2	1,95	1,95	$1,97 \pm 0,02$	0,005278	0,555	0,008 (1,4%)
	0,6	0,65	0,6	$0,62 \pm 0,02$	0,002356	0,588	0,004 (0,7%)
	0,65	0,7	0,7	$0,68 \pm 0,02$	0,00299	0,569	0,004 (0,7%)
40,65	2,1	2	1,95	$2,02 \pm 0,06$	0,0113	0,274	0,008 (3%)
	1,9	2,1	2	$2 \pm 0,08$	0,011738	0,259	0,008 (3%)
	0,8	0,8	0,85	$0,82 \pm 0,02$	0,010947	0,222	0,006 (3%)
	0,75	0,7	0,7	$0,71 \pm 0,02$	0,008796	0,246	0,006 (2%)
50,81	1,96	2,05	2	$2,00 \pm 0,04$	0,020882	0,147	0,008 (5%)
	2	2	1,95	$1,98 \pm 0,02$	0,021266	0,142	0,008 (6%)
	0,78	0,85	0,8	$0,81 \pm 0,03$	0,018178	0,132	0,006 (5%)
	0,8	0,7	0,81	$0,77 \pm 0,05$	0,018433	0,117	0,006 (5%)
59,87	1,9	2,1	1,9	$1,97 \pm 0,09$	0,035662	0,083	0,008 (10%)
	1,9	2,05	1,9	$1,95 \pm 0,07$	0,034413	0,085	0,007 (8%)
	0,6	0,73	0,6	$0,64 \pm 0,06$	0,020994	0,072	0,004 (6%)
	0,65	0,7	0,7	$0,68 \pm 0,02$	0,026735	0,064	0,004 (6%)

Таблица 1: Показания вязкости шариков при разных температурах

Чтобы удостовериться в достоверности формулы Стокса, найдем число Рейнольдса, время и путь релаксации.

21,11 ° C			30,98 ° C			40,65 ° C		
Re	t, мс	S, мкм	Re	t, мс	S, мкм	Re	t, мс	S, мкм
0,003	1,26	0,48	0,01	4,82	0,94	0,046	23,3	2,06
0,003	1,24	0,48	0,01	5,11	0,97	0,05	25,1	2,14
0,001	0,34	0,2	0,001	0,66	0,28	0,022	14,2	1,3
0,001	0,4	0,22	0,002	1,06	0,36	0,014	7,89	0,9

50,81 ° C			59,87 ° C		
Re	t, мс	S, мкм	Re	t, мс	S, мкм
0,156	230	6,44	0,458	79,1	3,79
0,163	214	6,22	0,43	82,1	3,86
0,061	52,3	2,49	0,102	39,2	2,16
0,066	84,8	3,17	0,156	40,3	2,19

Из полученных данных видно, что $Re < 0,5$, $S \ll L \sim 8,4$ см, $\tau \ll t$, а значит течение обладает ламинарным характером, время ожидания, перед началом измерения - достаточное для релаксации и применимость формулы Стокса оправдано.

Далее построим график 1 зависимости $\ln\eta(\frac{1}{T})$.

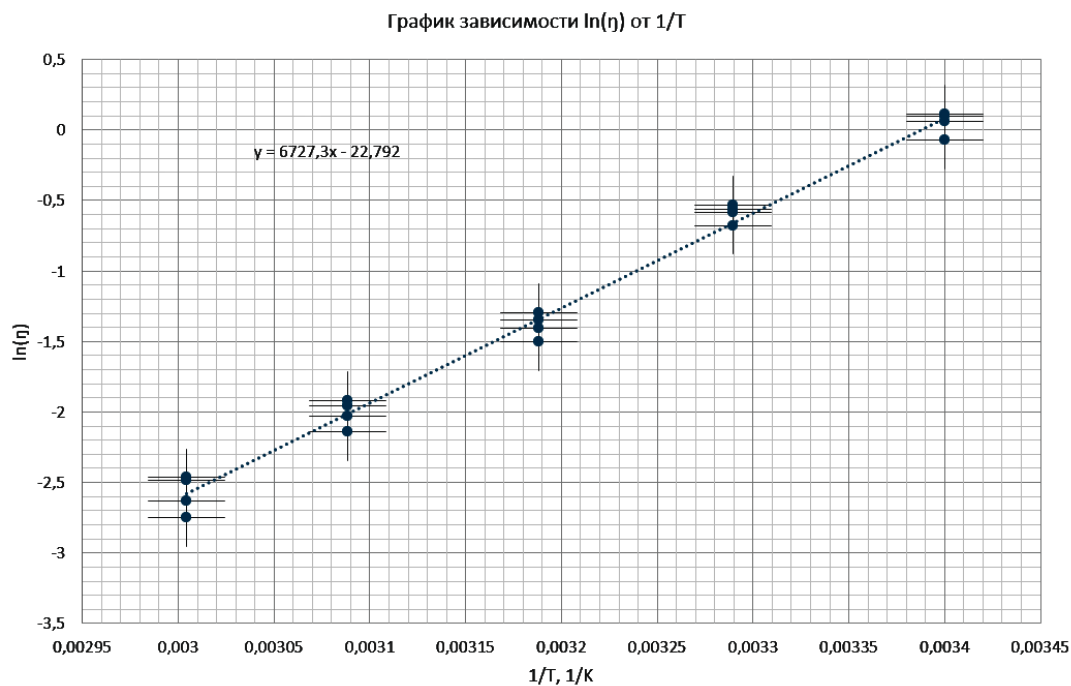


Рис. 1: График зависимости $\ln\eta(\frac{1}{T})$

По нему определим угловой коэффициент ($y = ax + b$), равный:

$$a = 6727,2789 \pm 327,2815$$

Умножив коэффициент наклона на постоянную Больцмана $k = 1,38 * 10^{-23}$, найдем энергию активации.

$$W = (93 \pm 5) * 10^{-21} \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Вывод

Определили показания вязкости глицерина при разных температурах, при этом ошибка составила не более 10%, и то, эти значения ошибки были зафиксированы при больших температурах, когда течение по немногу теряет характеристики ламинарного. Убедились в применимости формулы Стокса для данного эксперимента.

На основе зависимости логарифма вязкости от обратной температуры определили энергию активации с ошибкой 5%.