

A1 ^{0.50} Выразите молярную концентрацию воды n_w в растворе через массовую концентрацию глицерина w_g , μ_w и μ_g .

Количество вещества в смеси определяется как:

$$\nu = \frac{m}{\mu},$$

где m - масса вещества, а μ - его молярная масса.

Запишем формулу для молярной концентрации воды:

$$n_w = 1 - n_g = 1 - \frac{\nu_g}{\nu_g + \nu_w},$$

отсюда:

Ответ:

$$n_w = 1 - \frac{w_g \mu_w}{\mu_g - w_g (\mu_g - \mu_w)}$$

A2 ^{2.00} Используя уравнение (2), пересчитайте значения T_g в значения w_g .

Методом table или методом простых итераций с $a = 0.9$, получим:

Ответ:

T_g , К	w_g	η , Па · с
195.2	1.000	0.906
194.8	0.996	0.839
194.6	0.994	0.767
193.9	0.987	0.655
193.1	0.979	0.558
191.8	0.965	0.479
190.8	0.954	0.373
188.6	0.930	0.202
183.4	0.869	0.0674
173.0	0.728	0.0278
170.0	0.682	0.0134
154.6	0.384	0.0026
149.3	0.252	0.0017
143.8	0.100	0.0012
140.3	0	0.0009

A3 ^{0.30} Предложите линеаризацию, описывающую систему с малой молярной концентрацией воды, с помощью которой можно будет определить параметры ξ и k .

Ответ: Зависимость $\ln \frac{\eta}{1 \text{ Па} \cdot \text{с}}(n_w)$ линейна.

Ответ: Зависимость $\ln \left| \frac{\xi \exp(-kn_w)}{\eta} - 1 \right| (n_w)$ линейна.

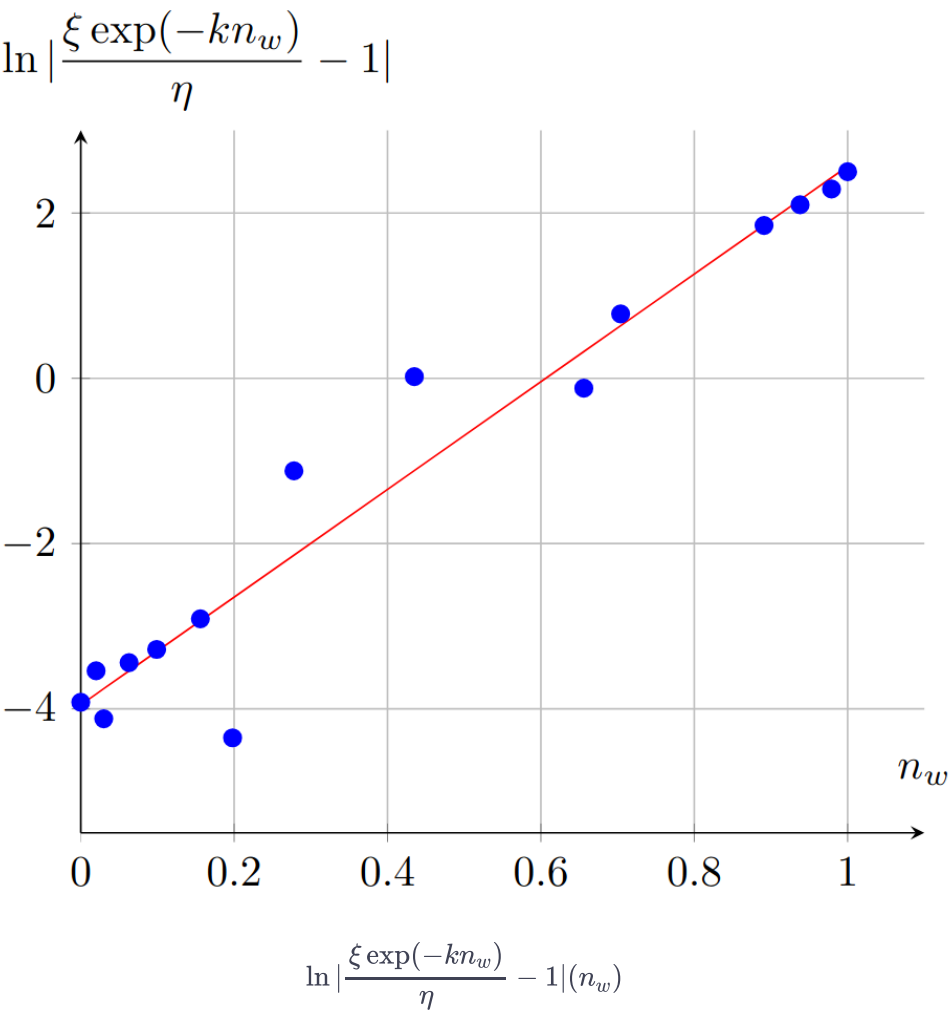
А6 ^{1.20} Постройте график линеаризованной зависимости. Из графика определите a и b .

Примечание: в силу неточности экспериментальных данных некоторые значения пересчитать не получится. Таких значений не более 5.

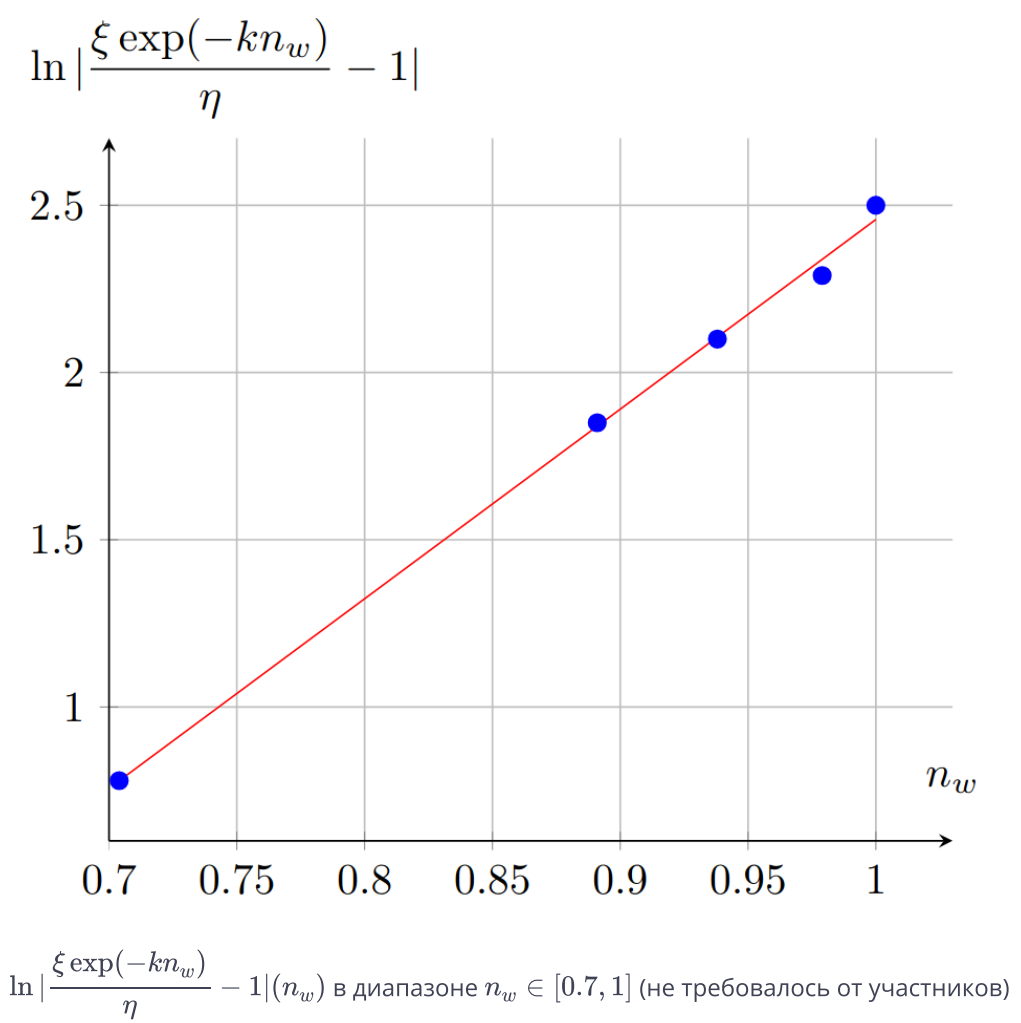
Продолжим пересчёт точек:

$T_g, \text{ К}$	w_g	$\eta, \text{ Па} \cdot \text{ с}$	n_w	$\ln \left \frac{\xi \exp(-kn_w)}{\eta} - 1 \right $
195.2	1.000	0.906	0	-3.92
194.8	0.996	0.839	0.020	-3.54
194.6	0.994	0.767	0.030	-4.12
193.9	0.987	0.655	0.063	-3.44
193.1	0.979	0.558	0.099	-3.28
191.8	0.965	0.479	0.156	-2.91
190.8	0.954	0.373	0.198	-4.35
188.6	0.930	0.202	0.278	-1.12
183.4	0.869	0.0674	0.435	0.02
173.0	0.728	0.0278	0.656	-0.12
170.0	0.682	0.0134	0.704	0.78
154.6	0.384	0.0026	0.891	1.85
149.3	0.252	0.0017	0.938	2.10
143.8	0.100	0.0012	0.979	2.29
140.3	0	0.0009	1	2.50

Нанесём полученные точки на график:



В диапазоне $n_w \in [0, 0.2]$ выражение под логарифмом имеет разный знак и является околонулевым, поэтому функция в этой области ведёт себя немонотонно. Для проведения прямой учитываем только точки в диапазоне $n_w \in [0.7, 1]$.



При $n_w > 0.7$ выполняется $\frac{\xi \exp(-kn_w)}{\eta} > 1$, поэтому $a > 0$.

Проведя аппроксимирующую прямую, находим:

$$b = 5.66,$$
$$\ln a = -3.21,$$

отсюда:

Ответ:

$$a = 0.040$$
$$b = 5.66$$

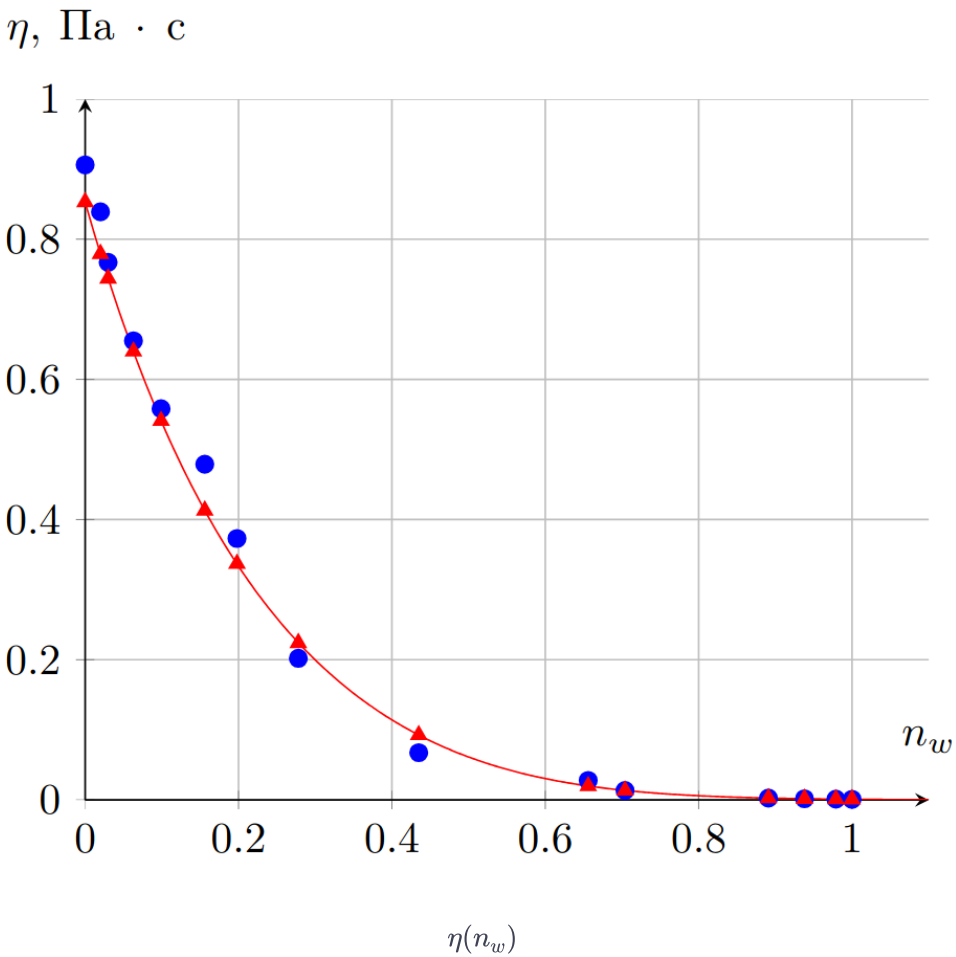
A7 1.00 Постройте на одной миллиметровке график теоретической и экспериментальной зависимостей $\eta(n_w)$.

Рассчитаем теоретические значения $\eta(n_w)$:

$T_g, \text{ К}$	w_g	$\eta, \text{ Па} \cdot \text{ с}$	n_w	$\ln \eta$	$\ln \left \frac{\xi \exp(-kn_w)}{\eta} - 1 \right $	$\eta_{\text{теор}}, \text{ Па} \cdot \text{ с}$
195.2	1.000	0.906	0	-0.099	-3.92	0.853
194.8	0.996	0.839	0.020	-0.176	-3.54	0.779
194.6	0.994	0.767	0.030	-0.265	-4.12	0.744
193.9	0.987	0.655	0.063	-0.423	-3.44	0.640
193.1	0.979	0.558	0.099	-0.583	-3.28	0.541
191.8	0.965	0.479	0.156	-0.736	-2.91	0.413
190.8	0.954	0.373	0.198	-0.986	-4.35	0.337
188.6	0.930	0.202	0.278	-1.600	-1.12	0.224
183.4	0.869	0.0674	0.435		0.02	0.0926
173.0	0.728	0.0278	0.656		-0.12	0.0199
170.0	0.682	0.0134	0.704		0.78	0.0135
154.6	0.384	0.0026	0.891		1.85	0.0026
149.3	0.252	0.0017	0.938		2.10	0.0017

143.8	0.100	0.0012	0.979	2.29	0.0012
140.3	0	0.0009	1	2.50	0.0010

Построим график полученных зависимостей:



Проведя сглаживающие кривые, делаем вывод: уравнение применимо на всём диапазоне ($n_w \in [0, 1]$).

В1^{0.50} Используя уравнение (2), определите температуру стеклования раствора T_g .

Выразим w_g :

$$w_g = \frac{m_g}{m_g + m_w} = \frac{\rho_g c_g}{(\rho_g - \rho_w)c_g + \rho_w},$$

тогда:

Ответ: $T_g = \left(140.3 + 35.272 \frac{\rho_g c_g}{(\rho_g - \rho_w)c_g + \rho_w} - 3.879 \left(\frac{\rho_g c_g}{(\rho_g - \rho_w)c_g + \rho_w} \right)^2 + 23.467 \left(\frac{\rho_g c_g}{(\rho_g - \rho_w)c_g + \rho_w} \right)^3 \right) \text{ К} \approx 162.8 \text{ К}$

В2^{2.00} Предложите линеаризацию, позволяющую определить значения параметров D и T_0 . Построив график линеаризованной зависимости, определите значения этих параметров.

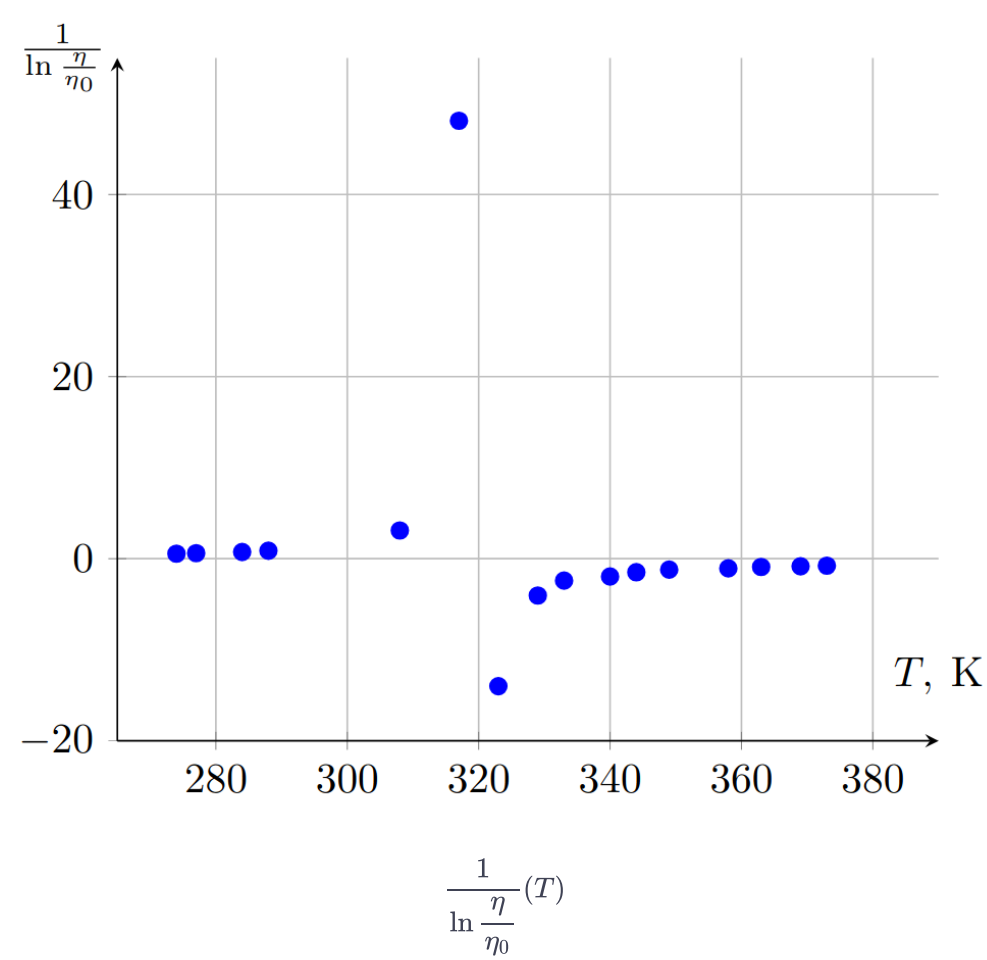
Зависимость $\frac{1}{\ln \frac{\eta}{\eta_0}}(T)$ линейна с угловым коэффициентом $k = \frac{1}{DT_0}$ и свободным членом $b = -\frac{1}{D}$. Пересчитаем точке по данной формуле и построим

график линеаризованной зависимости:

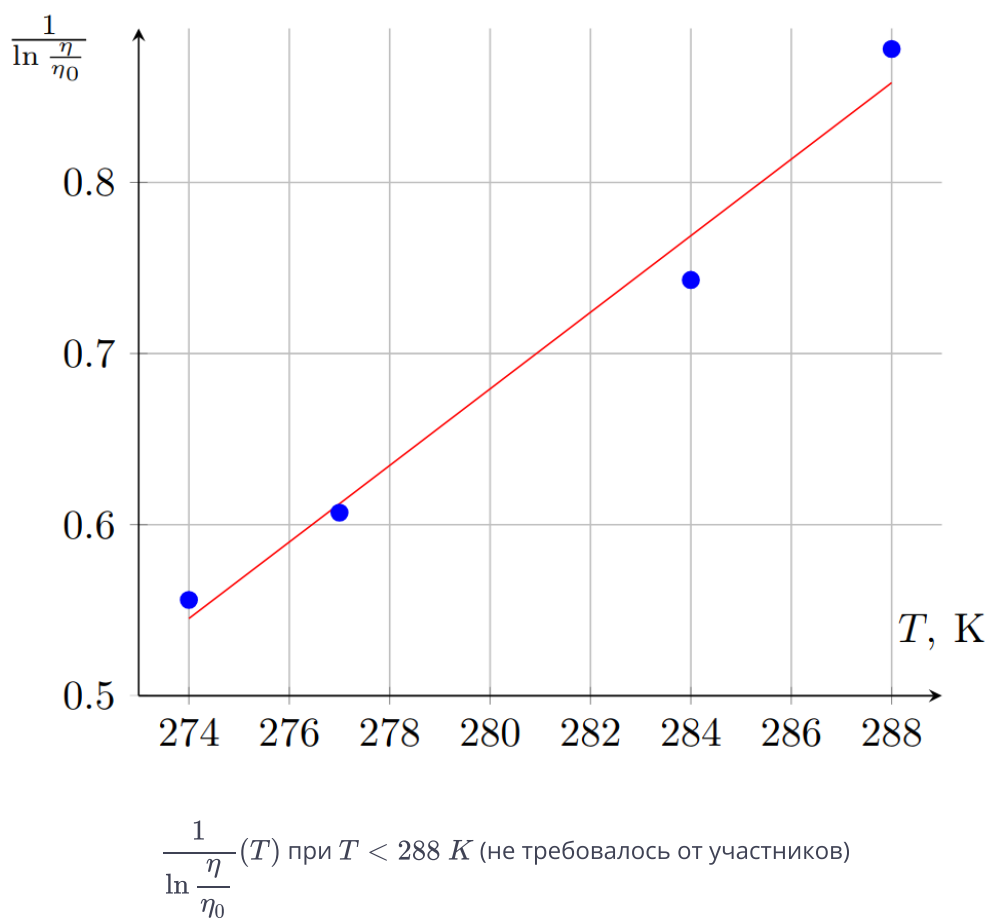
$T, \text{ }^\circ\text{C}$	η , Па · с	T , К	$\frac{1}{\ln \frac{\eta}{\eta_0}}$
1	0.0201	274	0.556
4	0.0173	277	0.607
11	0.0128	284	0.743
15	0.0104	288	0.878
35	0.0046	308	3.10
44	0.0034	317	48.1
50	0.0031	323	-14.0

56	0.0026	329	-4.04
60	0.0022	333	-2.41
67	0.0020	340	-1.96
71	0.0017	344	-1.487
76	0.00145	349	-1.20
85	0.0013	358	-1.06
90	0.0011	363	-0.903
96	0.0010	369	-0.831
100	0.0009	373	-0.764

Построим график полученной зависимости:



Из предложенного уравнения следует, что оно может выполняться только при достаточно низких температурах. Из графика видно, что уравнение применимо для первых 4 точек графика (при $T < 288$ K). Продемонстрируем это наглядно:



Определив параметры аппроксимирующей прямой, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} -\frac{1}{D} = -5.60 \\ \frac{1}{DT_0} = 0.022\text{K}^{-1}, \end{cases}$$

откуда следует:

Ответ:

$$T_0 = 255\text{ K}$$

$$D = 0.18$$

С1^{0.40} Определите вязкость смеси η_n при объемной концентрации глицерина $c_g = 0.5$ и температуре $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$, используя зависимость от молярной концентрации воды.

Уравнение, полученное для $\eta_n(n_w)$ применимо на всем диапазоне. Поэтому достаточно пересчитать c_g в n_w :

$$n_w = 1 - \frac{w_g\mu_w}{\mu_g - w_g(\mu_g - \mu_w)} = 1 - \frac{\frac{\rho_g c_g}{(\rho_g - \rho_w)c_g + \rho_w}\mu_w}{\mu_g - \frac{\rho_g c_g}{(\rho_g - \rho_w)c_g + \rho_w}(\mu_g - \mu_w)} \approx 0.80$$

и подставить в полученное уравнение. Таким образом получаем:

Ответ: $\eta_n = 6.0\text{ мПа} \cdot \text{с}$

С2^{0.40} Определите вязкость смеси η_t при тех же условиях, используя зависимость от температуры.

Уравнение, полученное для $\eta_t(T)$ непременимо при $T = 25^\circ\text{C}$. Определить вязкость при данной температуре можно, например, графическим методом, построив кривую $\eta_t(T)$, однако ответ с хорошей точностью даёт линейное приближение:

$$\eta_{25} \approx \frac{\eta_{15} + \eta_{35}}{2} = 7.5\text{ мПа} \cdot \text{с}.$$

Ответ:

$$\eta_t = 7.5\text{ мПа} \cdot \text{с}$$

С3^{0.20} Сравните полученные результаты. Если есть расхождения, предложите возможную причину их возникновения.

Ответ: Значения η_t и η_n расходятся. Одна из главных возможных причин несовпадения результатов - плохо измеренная температура (например, если в помещении температура менялась во время эксперимента), ведь зависимость вязкости смеси от температуры очень сильная.