

Работа Д4.2

Изучение закона поглощения в жидкости

Сорокин Вадим
828 группа

Цель работы

экспериментально проверить закон Ламберта-Бугера-Бера и измерить коэффициент поглощения крепкого чайного настоя.

Оборудование

Настольная лампа, высокий стакан, линейка, черная бумага, настой чайных листьев, белая крышка, тонкий стержень, штатив, фотоаппарат, компьютер.

Теория

Молекулы веществ способны поглощать световую энергию на определенных частотах. Спектр поглощения различен. Однако можно утверждать, что ослабление интенсивности будет пропорционально количеству молекул, провзаимодействовавших со светом. Пусть p — вероятность поглощения фотона молекулой, тогда при взаимодействии с N молекулами, число фотонов уменьшится на

$$dN_{\Phi} = -pN_{\Phi}dN$$

где p — вероятность поглощения фотона молекулой. Пусть световой поток падает на плоский слой поглащающего вещества толщиной dx перпендикулярно его поверхности площадью S . Если обозначить концентрацию молекул в слое как n , то $N = nSdx$. Таким образом, скорость изменения интенсивности пропорциональна интенсивности

$$dI = -\alpha Idx$$

Проинтегрировав это выражение, получим закон Ламберта-Бугера-Бера

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

где I_0 — интенсивность падающего на поглащающую среду света ($x = 0$), α — коэффициент поглощения, x — длина пути света в поглащающей среде.

Схема установки

В стакан, заполненный исследуемой жидкостью и обёрнутый чёрной бумагой, на глубину h помещается белый пластмассовый диск на держателе D . Сверху диск освещаем с

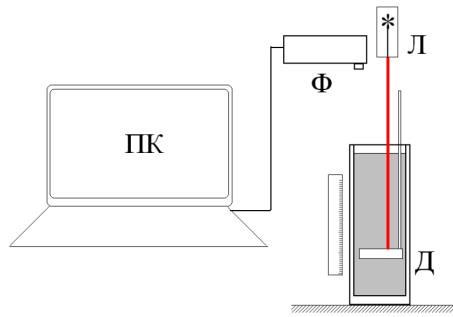


Рис. 1: Схема установки

помощью источника L и делаем фотоснимок с помощью камеры Φ . Затем снимок анализируем и получаем I . В данной работе используем экспериментальную установку, показанную на фото, для уменьшения погрешностей постоянно фокусируем телефон на центр стакана

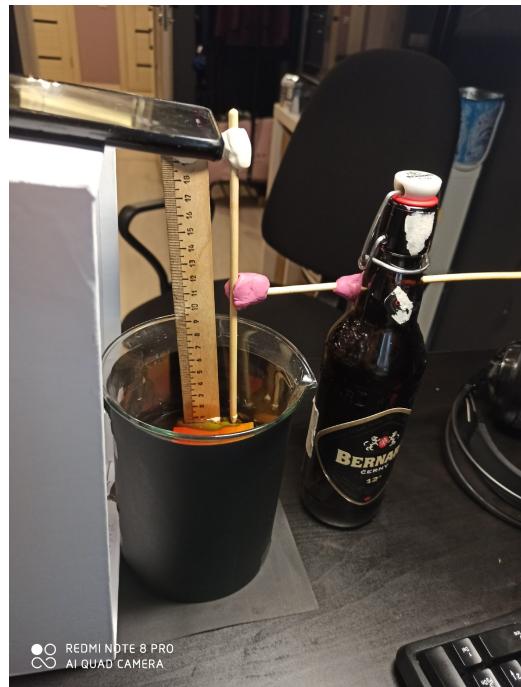


Рис. 2: Фотография установки

Ход работы

Определение поглощения воды

Для этого проведем эксперимент, измеряя яркость в зависимости от глубины погружения в воду, которую мы определим по линейке. примем погрешность линейки за 1 см, поскольку видно, что нам лучше всего определять глубину с точностью до 1 см, то есть

по большим рискам на линейке. Считаем яркость по квадрату в центре 10×10 , поскольку сам диск немного неровный, и считаем среднее яркости в программе. Погрешность для I считаем по формуле

$$\delta I = \frac{1}{\sqrt{100 \cdot 99}} \sqrt{\sum_{i=1}^{100} (I_i - \bar{I})^2}$$

Все данные занесем в таблицу 1.

h , см	δ_h , см	I , y.e.	δ_I , y.e.	$\ln(I/I_0)$	$\delta_{\ln(I/I_0)}$
0	1	500	70	0	0
2	1	470	70	-0,06	0,01
4	1	460	60	-0,08	0,02
6	1	460	60	-0,08	0,02
8	1	460	60	-0,08	0,02
10	1	440	60	-0,12	0,02
12	1	420	50	-0,17	0,03
14	1	420	50	-0,17	0,03
16	1	400	50	-0,22	0,04
18	1	400	50	-0,22	0,04
20	1	390	50	-0,24	0,04

Таблица 1: Зависимость $I(h)$ для воды

Далее строим график зависимости, аппроксимируем и считаем погрешность по МНК.

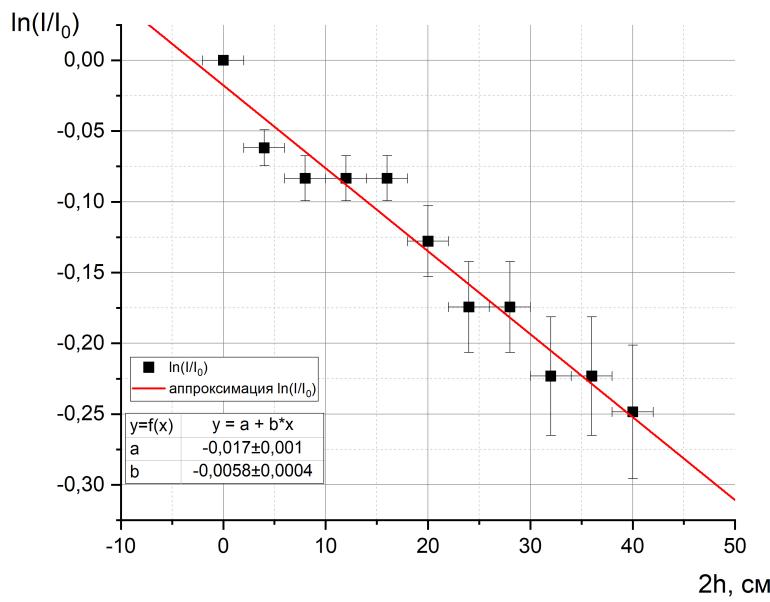


Рис. 3: График зависимости $\ln(I/I_0)(2h)$ для воды

В итоге получаем, что

$$\alpha_{water} = (0,58 \pm 0,04) \text{ м}^{-1}$$

Определение поглощения чая

Делаем все то же самое, что и для воды

h , см	δ_h , см	I , у.е.	δ_I , у.е.	$\ln(I/I_0)$	$\delta_{\ln(I/I_0)}$
0	1	500	70	0	0
2	1	340	60	-0,4	0,1
4	1	220	50	-0,8	0,2
6	1	170	30	-1,1	0,2
8	1	100	20	-1,6	0,4
10	1	70	20	-2	0,6
12	1	40	10	-2,5	0,7
14	1	30	10	-3	1
16	1	20	5	-3,2	0,9
18	1	10	2	-4	1
20	1	10	2	-4	1

Таблица 2: Зависимость $I(h)$ для чая

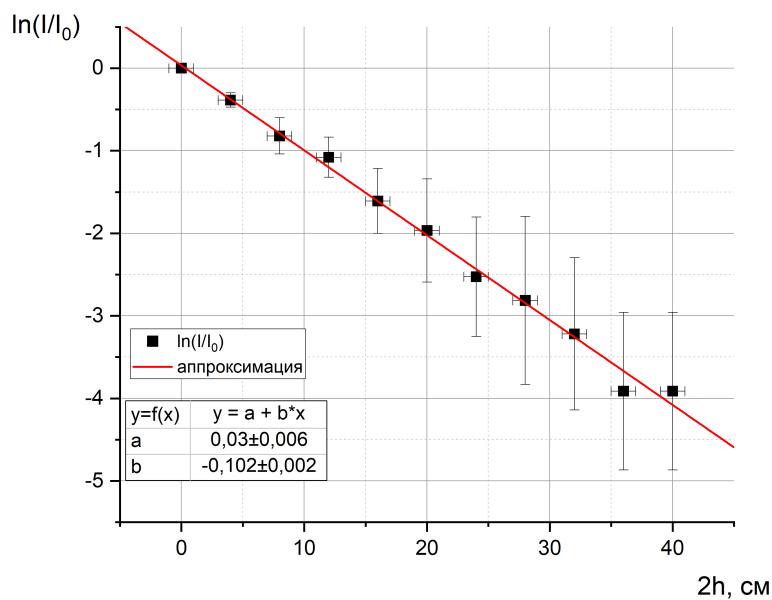


Рис. 4: График зависимости $\ln(I/I_0)(2h)$ для чая

В итоге получаем, что для чая $\alpha_{tea} = (10,2 \pm 0,2) \text{ м}^{-1}$

Измерение относительной концентрации поглощающих веществ

Для этого будем класть чай в холодную воду, чтобы успеть хоть что-то зафиксировать, естественно для этого опыта придется пожертвовать точность, и делать меньше измерений при каждой "времени". Все остальное делаем как и для чая и для воды. Все данные заносим в таблицу.

t=5мин					
h , см	δ_h , см	I , y.e.	δ_I , y.e.	$\ln(I/I_0)$	$\delta_{\ln(I/I_0)}$
0	1	490	70	0,00	0,00
4	1	440	70	-0,11	0,02
8	1	390	60	-0,23	0,05
12	1	340	60	-0,37	0,08
16	1	300	50	-0,5	0,1
20	1	280	50	-0,6	0,1
t=50мин					
h , см	δ_h , см	I , y.e.	δ_I , y.e.	$\ln(I/I_0)$	$\delta_{\ln(I/I_0)}$
0	1	500	70	0,00	0,00
4	1	410	60	-0,20	0,04
8	1	330	50	-0,42	0,09
12	1	270	50	-0,6	0,1
16	1	230	40	-0,8	0,2
20	1	180	40	-1,0	0,3
t=100мин					
h , см	δ_h , см	I , y.e.	δ_I , y.e.	$\ln(I/I_0)$	$\delta_{\ln(I/I_0)}$
0	1	490	70	0,00	0,00
4	1	380	60	-0,25	0,05
8	1	300	50	-0,5	0,1
12	1	220	50	-0,8	0,2
16	1	160	40	-1,1	0,3
20	1	140	30	-1,3	0,3
t=2000мин					
h , см	δ_h , см	I , y.e.	δ_I , y.e.	$\ln(I/I_0)$	$\delta_{\ln(I/I_0)}$
0	1	500	70	0,00	0
4	1	220	50	-0,8	0,2
8	1	100	20	-1,6	0,4
12	1	40	10	-2,5	0,7
16	1	20	5	-3,2	0,9
20	1	10	2	-3,9	1,0

Таблица 3: Данные зависимости $I(h)$ для чая при различном времени заварки

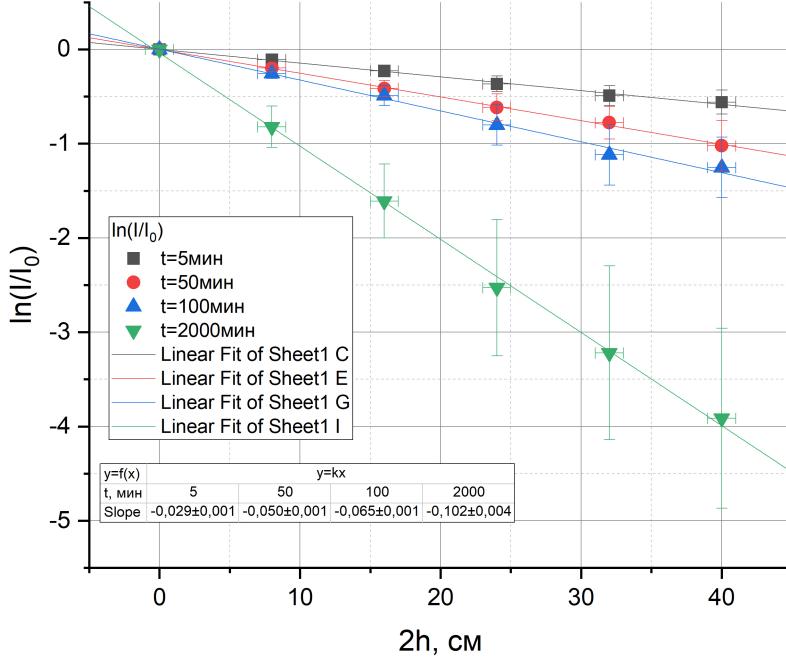


Рис. 5: Зависимость $\ln(I/I_0)(2h)$ для разного времени заварки

В итоге получаем, что

t , мин	$\alpha, \text{м}^{-1}$
0	$0,58 \pm 0,04$
5	$2,9 \pm 0,1$
50	$5 \pm 0,1$
100	$6,5 \pm 0,3$
2000	$10,2 \pm 0,4$

Здесь за время 0 мы считаем, когда у нас не было чая, далее будет понятно для чего.
Из формул

$$dN_\Phi = -pN_\Phi dN$$

$$dI = -\alpha Idx$$

Можно получить, что

$$\alpha = pSn$$

Очевидно, что можно принять постоянными площадь сосуда и вероятность поглощения фотона, так как жидкость однородна (из-за этого может возникнуть погрешность, поскольку легко наблюдать, что в самые первые секунды заварки чая жидкость неоднородная, и вокруг чаинок концентрация чая, а соответственно и p больше, чем далеко от чаинок, на другом конце стакана, например), то

$$n = k\alpha$$

При заваривании чая, появляются, со временем, новые молекулы, поэтому

$$\alpha = \alpha_{all} - \alpha_{water} = \alpha_{tea}$$

Так же, необходимо учесть, что в самом начале, как только мы начинаем заваривать чай, у нас уже сразу часть заварена, из-за этого у нас в предполагаемой экспоненте возникает еще один коэффициент, так скажем "подгоночный"

Из этого предположения следует, что

$$n \approx n_0 (1 - e^{-B-At})$$

Проверим это

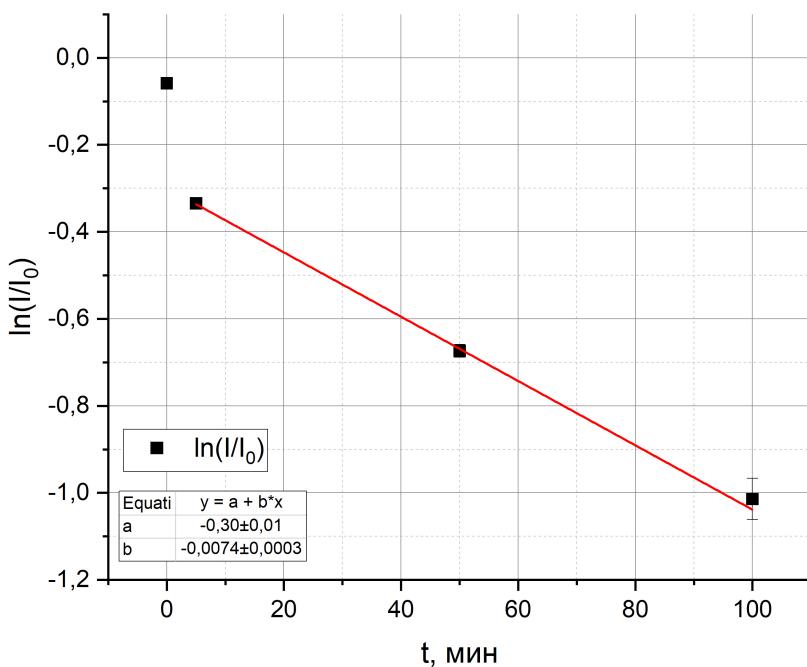


Рис. 6: Зависимость $\ln\left(\frac{\alpha_0 - \alpha}{\alpha_0}\right)$

В графике $\alpha_0 - \alpha_{tea}$, α — при этом времени.

Погрешность $\ln\left(\frac{\alpha_0 - \alpha}{\alpha_0}\right)$ считаем по формуле

$$\sigma_{\ln\left(\frac{\alpha_0 - \alpha}{\alpha_0}\right)} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_\alpha}{\alpha_0 - \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\alpha_0}\alpha}{\alpha_0 - \alpha}\right)^2}$$

В итоге видим, что наша оценка $n(t)$ справедлива и, в итоге,

$$A = (7,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{мин}^{-1}$$

$$B = (0,30 \pm 0,01)$$

Вывод

Мы удостоверились, что закон Ламберта-Бугера-Бера работает. Так же мы выяснили зависимость концентрации поглощающих веществ от времени.