

Лабораторная работа № 2.4.1
Определение теплоты испарения жидкости.

Никита Москвитин, Б04-204

2023

1 Аннотация

В данной работе исследовалась теплота испарения жидкости. Для этого использовался косвенный метод, основанный на формуле Клапейрона-Клаузиуса. Для поиска искомого значения были построены графики в логарифмических, а так же обычных координатах, и далее с помощью графических методов было найдено значение теплоты испарения жидкости.

2 Введение

Испарением называется переход вещества из жидкого в газообразное состояние. Оно происходит на свободной поверхности жидкости. При испарении с поверхности вылетают молекулы, образуя над ней пар. Для выхода из жидкости молекулы должны преодолеть силы молекулярного сцепления. Кроме того, при испарении совершается работа против внешнего давления P , поскольку объем жидкости меньше объема пара. Не все молекулы жидкости способны совершить эту работу, а только те из них, которые обладают достаточной кинетической энергией. Поэтому переход части молекул в пар приводит к обеднению жидкости быстрыми молекулами, т.е. к ее охлаждению. Чтобы испарение проходило без изменения температуры, к жидкости нужно подводить тепло. Количество теплоты, необходимое для изотермического испарения одного моля жидкости при внешнем давлении, равном упругости ее насыщенных паров, называется молярной теплотой испарения (парообразования).

Теплоту парообразования жидкостей можно измерить непосредственно при помощи калориметра. Такой метод, однако, не позволяет получить точных результатов из-за неконтролируемых потерь тепла, которые трудно сделать малыми. В настоящей работе для определения теплоты испарения применен косвенный метод, основанный на формуле Клапейрона-Клаузиуса:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}. \quad (1)$$

Здесь P – давление насыщенного пара жидкости при температуре T , T – абсолютная температура жидкости и пара, L – теплота испарения жидкости, V_2 – объем пара, V_1 – объем жидкости. Найдя из опыта dP/dT , T , V_2 и V_1 , можно определить L путем расчета. Величины L , V_2 и V_1 в формуле (1) должны относиться к одному и тому же количеству вещества; мы будем относить их к одному молю.

В нашем приборе измерения производятся при давлениях ниже атмосферного. В этом случае задача существенно упрощается.

При нашей точности опытов величиной V_1 в (1) можно пренебречь.

Обратимся теперь к V_2 , которое в дальнейшем будем обозначать просто V . Объем V связан с давлением и температурой уравнением Ван-дер-Ваальса:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT. \quad (2)$$

Из табличных данных следует, что b одного порядка с V_1 . В уравнении Ван-дер-Ваальса величиной b следует пренебречь. Пренебрежение членом a/V^2 по сравнению с P вносит ошибку менее 3%. При давлении ниже атмосферного ошибки становятся еще меньше. Таким образом, при давлениях ниже атмосферного уравнение Ван-дер-Ваальса для насыщенного пара мало отличается от уравнения Клапейрона. Положим поэтому

$$V = \frac{RT}{P}. \quad (3)$$

Подставляя (??) в (??), пренебрегая V_1 и разрешая уравнение относительно L , найдем

$$L = \frac{RT^2}{P} \frac{dP}{dT} = -R \frac{d(\ln P)}{d(1/T)}. \quad (4)$$

В нашем опыте температура жидкости измеряется термометром, давление пара определяется при помощи манометра, а производные dP/dT или $d(\ln P)/d(1/T)$ находятся графически как угловой коэффициент касательной к кривой $P(T)$ или соответственно к кривой, у которой по оси абсцисс отложено $1/T$, а по оси ординат $\ln P$.

3 Экспериментальная установка и методика измерений

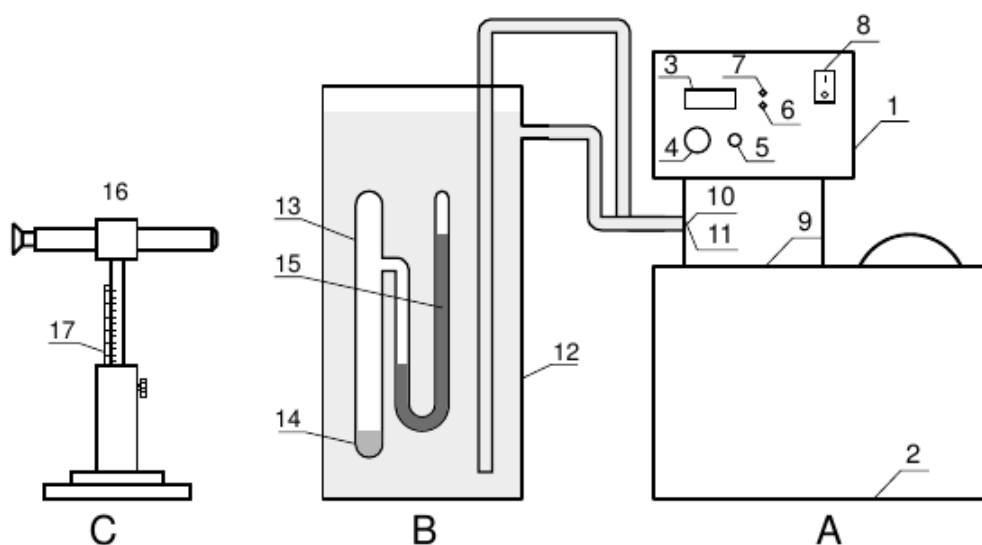


рис. 1

Экспериментальный прибор на рис.1 представляет собой емкость 12, заполненную водой. В нее погружен запаянный прибор 13 с исследуемой жидкостью 14. Перед заполнением исследуемой жидкостью воздух из запаянного прибора был удален, так что над жидкостью находится только её насыщенный пар. Давление пара определяется по ртутному манометру 15, соединенному с емкостью 13. Численная величина давления измеряется по разности показаний отсчетного микроскопа 16, настраиваемого последовательно на нижний и верхний уровни столбика ртути манометра. Показания микроскопа снимаются по шкале 17. Будем измерять зависимость давления от температуры для нагревания и охлаждения, для построения прямых и логарифмических графиков. Причем помимо столба ртути будем учитывать образованный сверху столб воды.

4 Измерения

Прямые и обработанные результаты приведены в Таблице 1 - нагрев, в Таблице 2 - охлаждение. Построим графики для нагрева, прямой зависимости на рис.3 и логарифмизированный на рис.2, аналогично для охлаждения - прямой зависимости на рис.5 и логарифмизированный на рис.4.

Таблица 1: Данные при нагреве

T, K	$h, \text{см}$	$H, \text{см}$	$H_w, \text{см}$	$P, \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$	$1/T, \frac{1}{K}$	$\ln(P)$	$\Delta \frac{1}{T} * 10^7, \frac{1}{K}$	$\Delta P, \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$	$\Delta \ln(P)$
284	2,230	4,020	12,480	14,09	0,0035211	2,645	7	0,03	0,006
285	2,250	4,085	12,460	14,74	0,0035088	2,691	7	0,03	0,006
286	2,240	4,095	12,440	15,02	0,0034965	2,709	7	0,03	0,006
287	2,200	4,075	12,390	15,30	0,0034843	2,728	7	0,03	0,006
288	2,08	4,120	12,370	17,45	0,0034722	2,859	7	0,03	0,005
289	2,085	4,200	12,340	18,50	0,0034602	2,918	6	0,03	0,005
290	2,100	4,220	12,275	18,65	0,0034483	2,926	6	0,03	0,005
291	1,990	4,270	12,230	20,76	0,0034364	3,033	6	0,03	0,005
292	1,960	4,360	12,205	22,39	0,0034247	3,108	6	0,03	0,005
293	1,900	4,390	12,145	23,61	0,0034130	3,162	6	0,03	0,005
294	1,900	4,430	12,070	24,23	0,0034014	3,188	6	0,03	0,004
295	1,865	4,560	12,030	26,48	0,0033900	3,276	6	0,03	0,004
297	1,690	4,710	11,915	30,84	0,0033670	3,429	6	0,03	0,004
299	1,570	4,780	11,770	33,44	0,0033445	3,510	6	0,03	0,004
301	1,460	4,920	11,675	36,83	0,0033223	3,606	6	0,03	0,003
303	1,265	5,100	11,470	41,94	0,0033003	3,736	6	0,03	0,003
305	1,090	5,220	11,340	45,90	0,0032787	3,827	6	0,03	0,003
307	0,980	5,385	11,125	49,75	0,0032573	3,907	6	0,03	0,003
309	0,670	5,685	10,840	58,01	0,0032362	4,061	6	0,03	0,003
311	0,360	5,900	10,570	65,11	0,0032154	4,1761	6	0,03	0,0020
313	0,230	6,210	10,290	71,24	0,0031949	4,2661	6	0,03	0,0018

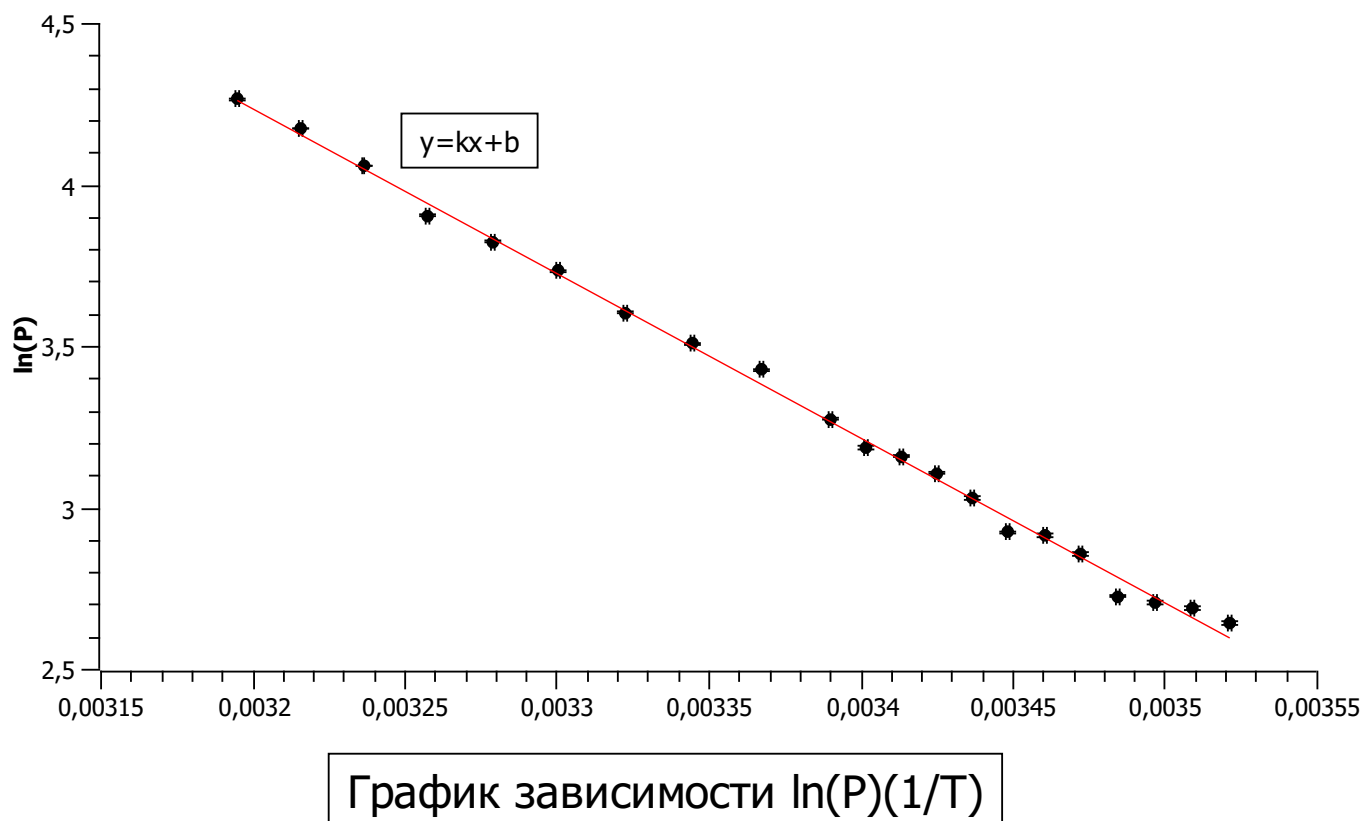


рис. 2

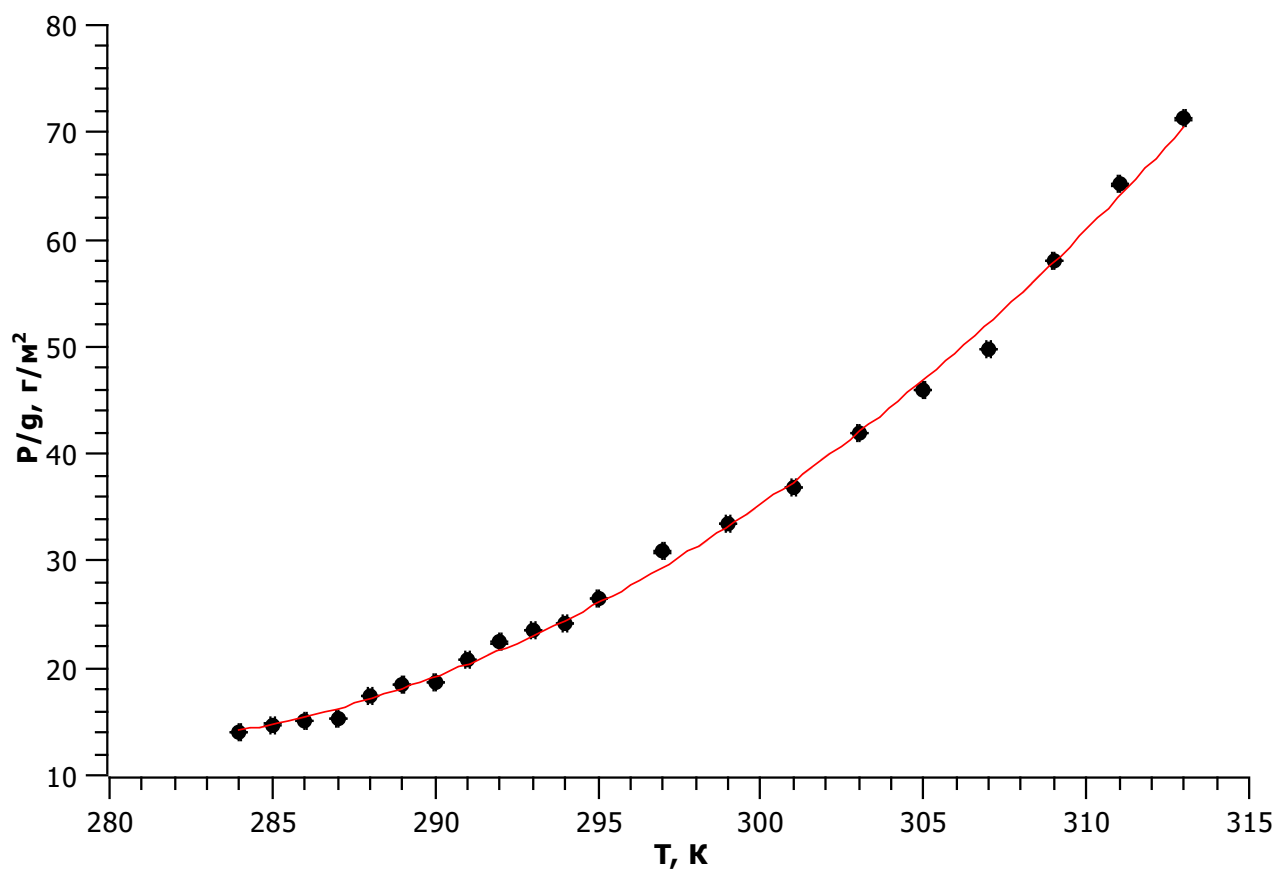


График зависимости $P/g(T)$

рис. 3

Таблица 2: Данные при охлаждении

T, K	$h, \text{см}$	$H, \text{см}$	$H_w, \text{см}$	$P, \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$	$1/T, \frac{1}{\text{К}}$	$\ln(P)$	$\Delta \frac{1}{T} * 10^7, \frac{1}{\text{К}}$	$\Delta P, \frac{\text{г}}{\text{м}^2}$	$\Delta \ln(P)$
310	0,530	5,890	10,585	62,82	0,0032258	4,140	6	0,03	0,002
307	0,730	5,550	11,000	55,27	0,0032573	4,012	6	0,03	0,003
304	1,110	5,230	11,230	45,90	0,0032895	3,826	6	0,03	0,003
301	1,340	4,960	11,450	39,11	0,0033223	3,666	6	0,03	0,003
298	1,570	4,760	11,715	33,23	0,0033557	3,503	6	0,03	0,004
295	1,740	4,600	11,830	28,80	0,0033900	3,360	6	0,03	0,004
292	1,880	4,340	11,980	23,35	0,0034247	3,150	6	0,03	0,005
289	2,040	4,190	12,130	19,14	0,0034602	2,952	6	0,03	0,005

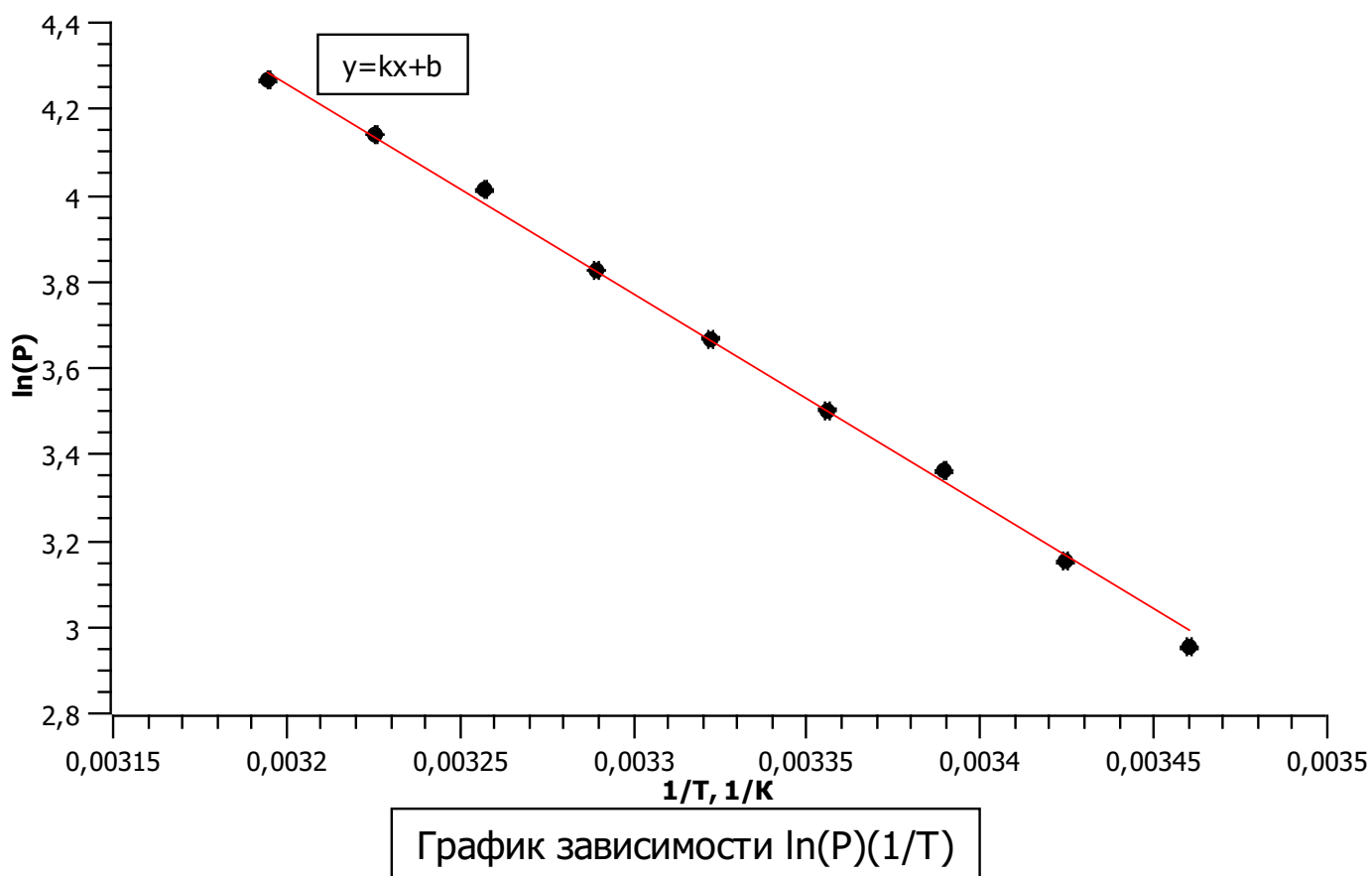


рис. 4

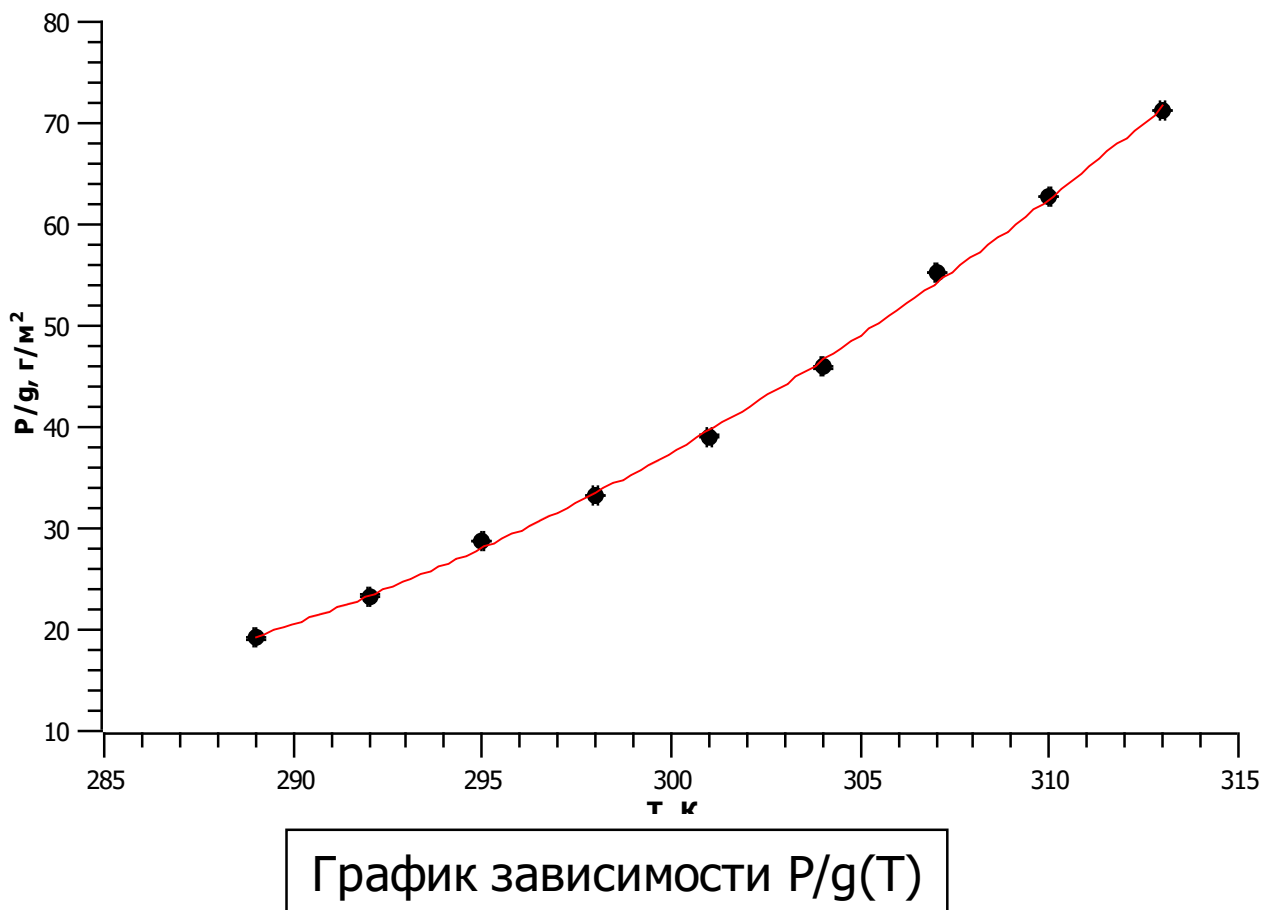


рис. 5

5 Обработка результатов

Для начала посчитаем значения теплоты образования воды при нагреве и охлаждении используя логарифмические графики по формуле (4). Коэффициент наклона графика при нагреве $k_1 = -5104 \pm 8$, тогда $L_{\text{нагр}} = 2,357 \pm 0,004 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Коэффициент наклона графика при охлаждении $k_1 = 4865 \pm 12$, тогда $L_{\text{охл}} = 2,247 \pm 0,006 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Усредним результат $L = 2,302 \pm 0,008 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Для оценки теплоты образования воды с помощью прямых графиков используем по одному значению. Можно больше, но это не имеет смысла, так как просто оцениваем. Для нагрева $L_{\text{нагр кас}} = 1,93 \pm 0,19 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, для охлаждения $L_{\text{охл кас}} = 2,67 \pm 0,27 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (бралась касательная при одинаковой температуре $T \approx 305$). Усредним результат $L_{\text{кас}} = 2,3 \pm 0,4 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

6 Вывод

Были получены значение удельной теплоты образования воды двумя способами. С помощью логарифмирования $L = 2,302 \pm 0,008 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, с помощью касательной $L_{\text{кас}} = 2,3 \pm 0,4 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, как мы видим они получились почти одинаковые, но с разной погрешностью. Что говорит о том, что метод с логарифмированием гораздо точнее. Конечно можно было бы усреднить значение просчитав касательные во всех полученных нами точках, но этот метод все равно будет хуже по причине того, что у нас слишком большое расстояние между точками, чтобы считать касательную к ним. Поэтому уже на этом этапе появляется большая ошибка. Тогда итоговая удельная теплоемкость $L = 2,302 \pm 0,008 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, это все сходится с табличным значением $L_{\text{табл}} = 2,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (источник: <https://ru.wikipedia.org/>).