

*Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования*
**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

Лабораторная работа № 2.4.1

по курсу общей физики

на тему:

«Определение теплоты испарения жидкости»

*Работу выполнил:
Баринков Леонид
(группа Б02-827)*

Долгопрудный
2019

1 Аннотация

В работе будет проведено измерение давления насыщенного пара жидкости при разной температуре и вычислено значение теплоты испарения с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса.

2 Теоретические сведения

2.1 Испарение

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.

2.2 Теплота парообразования

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).

2.3 Метод измерения

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.

2.4 Приближения

В таблице 1 приведены температуры, при которой давление насыщенных паров равно атмосферному, величины V_2 и V_1 , входящие в (1), а также константы a и b в уравнении Ван-дер-Ваальса:

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

Вещество	$T_{\text{кип}},$ К	$V_1,$ $10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$	$V_2,$ $10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$	$b,$ $10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$	$a,$ $\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^2}$	$a/V^2,$ кПа
Вода	373	18	31	26	0,4	0,42
CCl_4	350	97	29	126	1,95	2,3
Этиловый эфир	307	104	25	137	1,8	2,9
Этиловый спирт	351	58	29	84	1,2	1,4

Таблица 1. Величины в уравнении Ван-дер-Ваальса для разных веществ

Из таблицы видно, что V_1 не превосходит 0,5% от V_2 . При нашей точности опытов величиной V_1 в (1) можно пренебречь.

V_2 обозначим как V . Из таблицы можно видеть, что b одного порядка с V_1 . Пренебрежем величиной b в уравнении Ван-дер-Ваальса. Также пренебрежем членом a/V^2 , так как его значение сильно меньше атмосферного давления. Это вносит ошибку менее 3%. 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 (3) в (1), пренебрегая V_1 и разрешая уравнение относительно L , найдем

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

3 Оборудование

В работе используются: термостат, герметический сосуд, заполненный исследуемой жидкостью; отсчетный микроскоп

3.1 Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рис. 1.

- 1 – Резервуар, наполненный водой, который играет роль термостата
- 2 – Спираль, нагревающая термостат
- 3 – Змеевик, по которому течет водопроводная вода, которая охлаждает воду в термостате
- 4 – Трубка, через которую поступает воздух, который перемешивается с водой
- 5 – Термометр

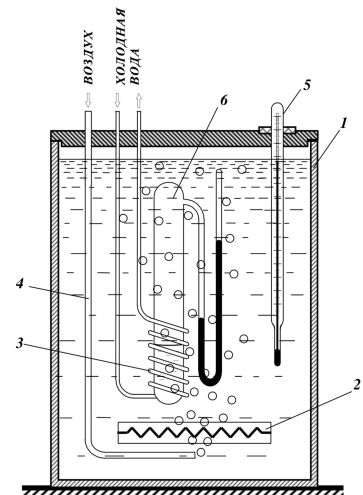


Рис. 1. Схема установки для определения теплоты испарения

6 – Запаянный прибор с исследуемой жидкостью, погруженный в термостат

На рис. 2. приведена более полная схема установки.

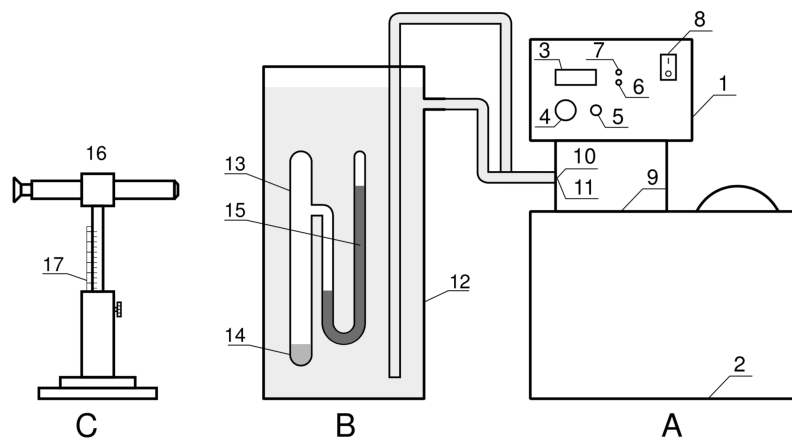


Рис. 2. Схема установки для определения теплоты испарения

Установка включает:

А – Термостат

В – Экспериментальный прибор

12 – Емкость, заполненная водой

13 – Запаянный прибор с исследуемой жидкостью

14 – Исследуемая жидкость

15 – Ртутный манометр

С – Отсчетный микроскоп

16 – Микроскоп, настраиваемый последовательно на нижний и верхний уровни столбика ртути манометра

17 – Шкала, по которой снимаются показания

3.2 Преимущества и недостатки и метода измерения

Описание прибора указывает на существенное преимущество предложенного косвенного метода измерения L перед прямым. При непосредственном измерении теплоты испарения опыты нужно производить при неизменном давлении, и прибор не может быть запаян. При этом невозможно обеспечить такую чистоту и неизменность экспериментальных условий, как при нашей постановке опыта.

Описываемый прибор обладает важным недостатком: термометр определяет температуру термостата, а не исследуемой жидкости (или ее пара). Эти температуры близки друг к другу лишь в том случае, если нагревание происходит достаточно медленно.

4 Результаты измерений и обработка результатов

Нагревание			Охлаждение		
T, K	p, Pa	$\Delta p, Pa$	T, K	p, Pa	$\Delta p, Pa$
297,92	2958,8	133,37	311,42	4454,9	87,87
298,77	3038,8	133,38	310,60	4215,0	86,20
299,82	3252,0	133,39	309,65	4081,7	85,21
300,93	3452,0	133,40	308,81	3695,2	82,12
301,93	3611,9	133,41	307,50	3375,3	79,23
302,95	3838,5	133,43	306,56	3082,1	76,29
304,01	4118,4	133,45	305,51	2775,6	72,85
304,97	4318,3	133,47	304,50	2535,7	69,85
305,95	4544,8	133,49	303,64	2295,7	66,54
307,05	4891,4	133,52	302,67	2055,8	62,87
308,91	5331,2	133,56	301,70	1842,6	59,25
309,98	5651,1	133,59	300,57	1736,0	57,29
311,05	6117,6	133,64	299,57	1442,8	51,34
312,05	6384,1	133,67	298,60	1229,5	46,40
313,05	6757,3	133,72	297,65	1109,6	43,34

Таблица 2. Зависимость давления p от температуры T при нагревании и охлаждении

Нагревание			Охлаждение		
$1/T, K^{-1}$	$\ln p, Pa$	$\Delta \ln p,$	$1/T, K^{-1}$	$\ln p, Pa$	$\Delta \ln p,$
3,36	7,99	0,36	3,21	8,81	0,17
3,35	8,02	0,35	3,22	8,77	0,17
3,34	8,09	0,33	3,23	8,75	0,17
3,32	8,15	0,31	3,24	8,69	0,18
3,31	8,19	0,30	3,25	8,64	0,19
3,30	8,25	0,29	3,26	8,58	0,20
3,29	8,32	0,27	3,27	8,52	0,21
3,28	8,37	0,26	3,28	8,48	0,22
3,27	8,42	0,25	3,29	8,42	0,22
3,26	8,50	0,23	3,30	8,37	0,23
3,24	8,58	0,21	3,31	8,32	0,24
3,23	8,64	0,20	3,33	8,29	0,25
3,21	8,72	0,19	3,34	8,22	0,26
3,20	8,76	0,18	3,35	8,16	0,27
3,19	8,82	0,17	3,36	8,13	0,27

Таблица 3. Зависимость логорифма давления $\ln p$ от величины, обратной к температуре $1/T$ при нагревании и охлаждении

Снимем Зависимость давления p от температуры T при нагревании и охлаждении. Результаты занесем в Таблицу 2. Перепишем Таблицу 2, переходя к $\ln p$ и $1/T$.

По данным таблицы 2 и 3 построим графики зависимости давления от температуры при нагревании и охлаждении.

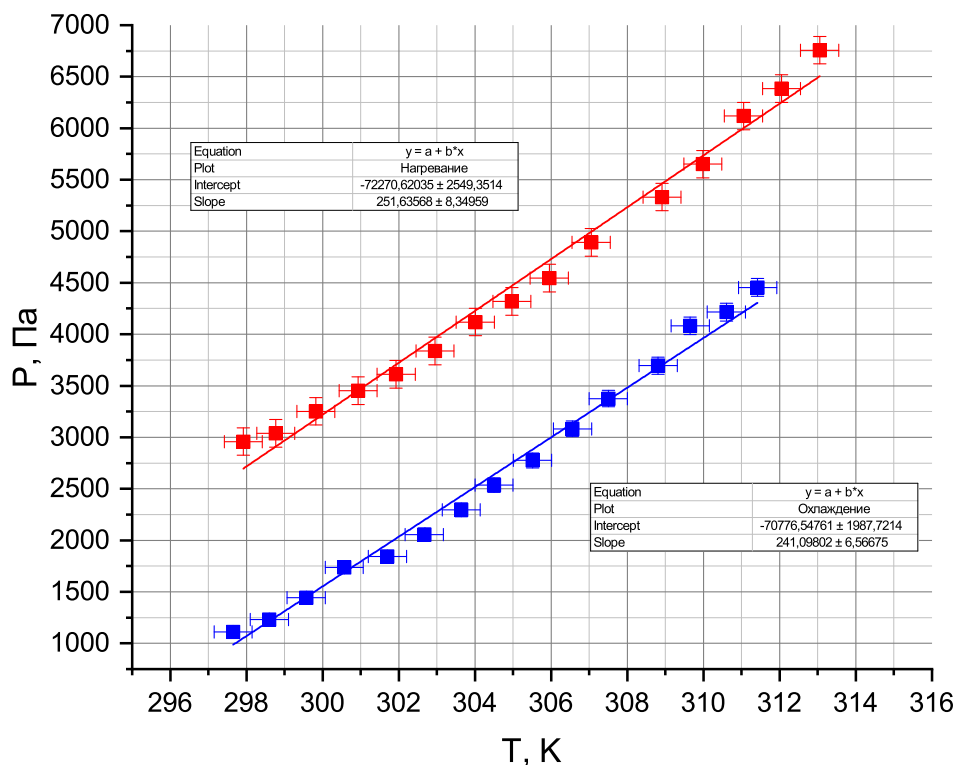


Рис. 3. Зависимость давления p от температуры T при нагревании и охлаждении

Используя формулу (4) рассчитаем теплоту испарения воды по рис. 4:

$$L_+ = (43,2 \pm 0,4) \text{ КДж/моль}$$

$$L_- = (39,2 \pm 0,5) \text{ КДж/моль}$$

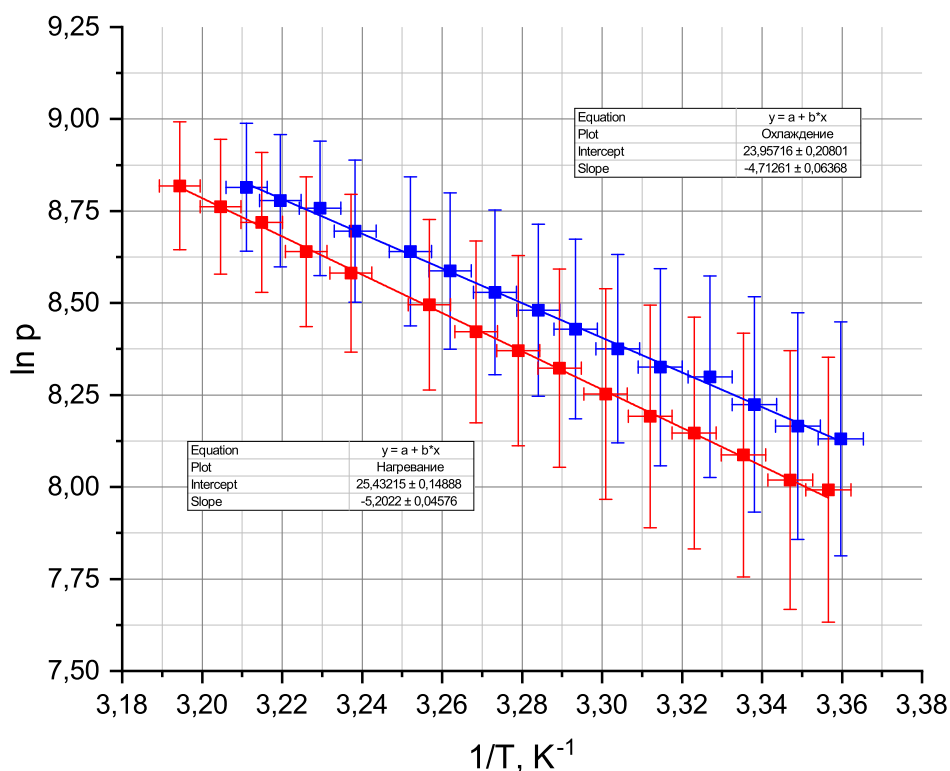


Рис. 4. Зависимость логарифма давления $\ln p$ от величины, обратной к температуре $1/T$ при нагревании и охлаждении

5 Обсуждение результатов и выводы

В работе были получены значения для теплоты испарения воды при нагревании и охлаждении:

$$L_{+} = (43,2 \pm 0,4) \text{ КДж/моль}$$

$$L_{-} = (39,2 \pm 0,5) \text{ КДж/моль}$$

$$L = (41,2 \pm 0,6) \text{ КДж/моль}$$

Значения удовлетворяют табличным. При этом значения L_{+} и L_{-} будут совпадать при небольшом изменении точек для аппроксимации. Это очень хорошо видно из Рис. 4. Что полностью соотносится с теоритическими выводами.