

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)”

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

**Отчёт по лабораторной работе № 2.4.1  
"Определение теплоты испарения жидкости"**

Выполнил:  
Студент гр. Б01-305  
Миннахметов Артур

Долгопрудный, 2024

# 1 Введение

## 1.1 Теоретическое введение

**Цель работы:** измерение давления насыщенного пара жидкости при разной температуре; 2) вычисление по полученным данным теплоты испарения с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса.

**В работе используются:** термостат; герметический сосуд, заполненный исследуемой жидкостью; отсчётный микроскоп.

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 объём жидкости меньше объёма 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 её 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 её 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 испарения применен косвенный метод, основанный на формуле теплоты 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,  $V_2$  – объём пара,  $V_1$  – объём жидкости.

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

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

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 ещё 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 (3) в (1) получаем:

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

## 1.2 Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рис. 1. Наполненный водой резервуар 1 играет роль термостата. Нагревание термостата производится спиралью 2, подогреваемой электрическим током. Для охлаждения воды в термостате через змеевик 3 пропускается водопроводная вода. Вода в термостате перемешивается с воздухом, поступающим через трубку 4. Температура воды измеряется термометром 5. В термостат погружен запаянный прибор 6 с исследуемой жидкостью. Над ней находится насыщенный пар (перед заполнением прибора воздух из него был откачан). Давление насыщенного пара определяется по ртутному манометру, соединённому с исследуемым объёмом. Отсчёт показаний манометра производится при помощи микроскопа.

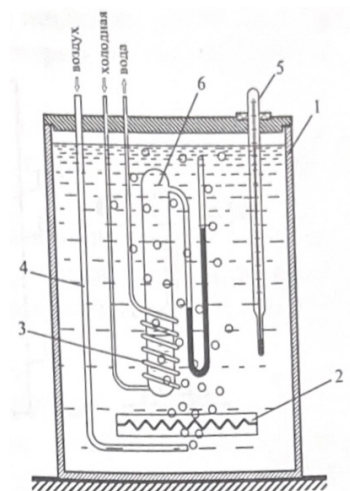


Рис. 1: Схема установки для определения теплоты испарения

## 2 Ход работы

### 2.1 Измерения

1. Измерен перепад высоты столбика ртути на U-образном манометре с помощью микроскопа и температура по индикаторному табло. Результаты приведены в таблице 1.

2. Проведены измерения, аналогичные измерениям в 1 пункте при нагревании термостата, как следствие, нагревании воды (исследуемой жидкости). Результаты приведены в таблице 1.

$h_1$ , см	$h_2$ , см	$\Delta h$ , см	$P$ , Па	$T$ , °C
7,19	8,87	1,68	2241,3888	23,06
7,12	8,88	1,76	2348,1216	24,09
7,07	8,94	1,87	2494,8792	25,07
6,99	9,045	2,055	2741,6988	26,08
6,92	9,125	2,205	2941,8228	27,08
6,85	9,235	2,385	3181,9716	28,07
6,76	9,32	2,56	3415,4496	29,08
6,69	9,435	2,745	3662,2692	30,07
6,61	9,51	2,9	3869,064	31,07
6,53	9,64	3,11	4149,2376	32,09
6,46	9,73	3,27	4362,7032	33,08
6,37	9,84	3,47	4629,5352	34,09
6,25	9,95	3,7	4936,392	35,07
6,115	10,09	3,975	5303,286	36,06
6,025	10,2	4,175	5570,118	37,05
5,9	10,365	4,465	5957,0244	38,04

Таблица 1: Зависимость давления насыщенного пара от температуры при увеличении температуры

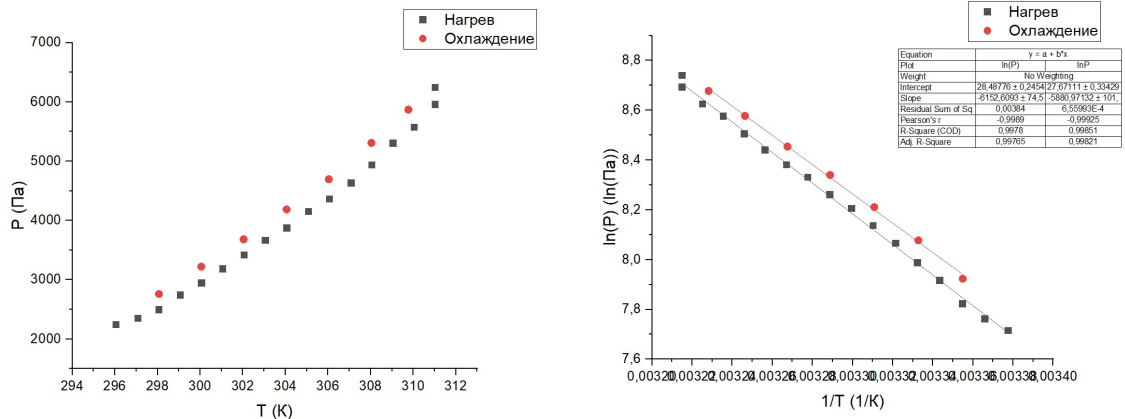
3. Проведены аналогичные измерения пунктам 1 и 2, но при уменьшении температуры. Результаты приведены в таблице 2.

h1, см	h2, см	$\Delta h$ , см	$P$ , Па	$T$ , °C
5,8	10,48	4,68	6243,8688	38,04
5,92	10,32	4,4	5870,304	36,77
6,13	10,11	3,98	5309,9568	35,04
6,34	9,86	3,52	4696,2432	33,04
5,83	8,97	3,14	4189,2624	31,06
6	8,76	2,76	3682,2816	29,04
6,195	8,61	2,415	3221,9964	27,05
6,33	8,4	2,07	2761,7112	25,07

Таблица 2: Зависимость давления насыщенного пара от температуры при понижении температуры

## 2.2 Обработка

4. Построены графики  $P(T)$  и  $\ln P(\frac{1}{T})$ :



5. В случае нагревания  $\frac{d(\ln(P))}{d(\frac{1}{T})} = -6152 \pm 80$ , а в случае охлаждения  $\frac{d(\ln(P))}{d(\frac{1}{T})} = -5889 \pm 100$ . Посчитаем для каждого из случаев теплоту испарения жидкости:

$$L_{\text{нагр}} = (51128 \pm 600) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}},$$

$$L_{\text{охл}} = (48871 \pm 800) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

6. Чтобы получить значения для удельной теплоты испарения, необходимо разделить на молярную массу воды  $\mu = 18 \text{ г/моль}$ :

$$q_{\text{нагр}} = (28,4 \pm 0,4) \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

$$q_{\text{охл}} = (27,2 \pm 0,5) \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

### 3 Выводы

Значение для удельной теплоты парообразования не совпадает с табличным даже в пределах погрешности. Это оправдывается наличием в воде примесей и растворенного воздуха. В случаях нагревания и охлаждения теплота испарения воды получилась разной, так как установка была не идеальной и температура воды могла получиться не той, какой предполагала модель.

Получились результаты, которые очень близки к правде:

$$L_{\text{нагр}} = (51128 \pm 600) \text{ Дж},$$

$$L_{\text{охл}} = (48871 \pm 800) \text{ Дж}.$$