

# Лабораторная работа 2.1.6

## «Определение теплоты испарения жидкости»

Комкин Михаил, Б01-303

1 апреля 2024 г.

**Цель работы:** 1) 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.

### 1 Теоретическая часть

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 теплоты испарения применен косвенный метод, основанный на формуле Клапейрона-Клаузиуса (1).

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_1 - v_2)} \quad (1)$$

Здесь  $P$  - давление насыщенного пара жидкости при температуре  $T$ ,  $T$  - абсолютная температура жидкости и пара,  $L$  - теплота испарения жидкости,  $V_2$  - объём пара,  $V_1$  - объём жидкости. Найдя из опыта  $\frac{dP}{dT}$ ,  $T$ ,  $V_1$  и  $V_2$  можно определить  $L$  путем расчета. Величины  $L$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  будем относить к одному молю.

Обратимся к  $V_2$  (в дальнейшем  $V$ ). Объём  $V$  связан с давлением и температурой уравнением Ван-дер-Ваальса:

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

Приближение членом  $\frac{a}{V^2}$  по сравнению с  $P$  вносит ошибку менее трех процентов. При давлении ниже атмосферного ошибки становятся еще меньше. Таким образом положим

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

Подставляя 3 в 1, пренебрегая  $V_1$  и разрешая уравнение относительно  $L$ , найдем

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

## 2 Схема установки

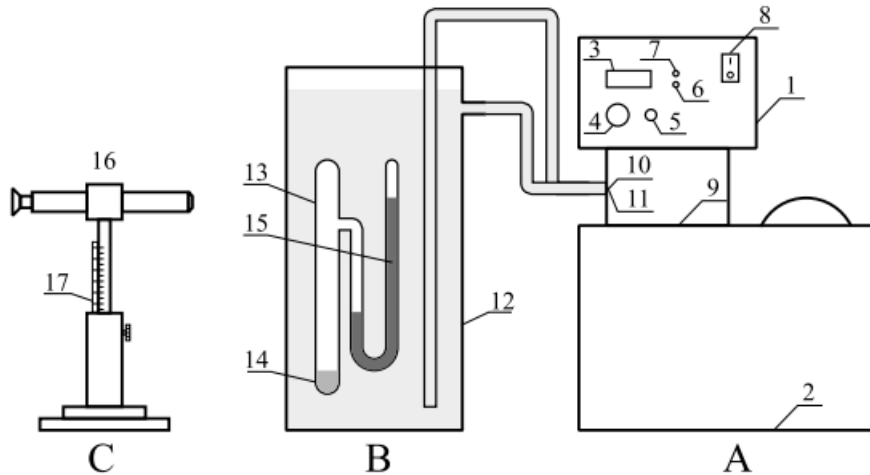


Рис. 1: Схема установки для определения теплоты испарения

На рисунке 1 приведена более полная схема такой же установки, но с использованием современного термостата. Установка включает термостат, экспериментальный прибор и отсчётный микроскоп. На рисунке 2 приведён внешний вид термостата. Там же описан порядок работы с ним. Экспериментальный прибор В представляет собой ёмкость 12, заполненную водой. В неё погружён запаянный прибор 13 с исследуемой жидкостью 14. Перед заполнением исследуемой жидкостью воздух из запаянного прибора был удалён, так что над жидкостью находится только её насыщенный пар. Давление пара определяется по ртутному манометру 15, соединённому с ёмкостью 13. Численная величина давления измеряется по разности показаний отсчётного микроскопа 16, настраиваемого последовательно на нижний и верхний уровни столбика ртути манометра. Показания микроскопа снимаются по шкале 17.

## 3 Ход работы

1. Измеряем разность уровней в ртутном U-образном манометре и температуру.  $\Delta H = 48.93 \text{ мм}$ ,  $T = 22 \text{ К}$ .

2. Включим термостат, начнем подогревание воды в калориметре, пропуская ток через нагреватель. Фиксируем значения давления и температуры каждый градус.

$T, K$	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Delta H, \text{мм}$	48.93	50.78	53.95	57.81	60.66	64.00	68.44	69.18	75.99
$P, \text{кПа}$	6.523	6.77	7.186	7.707	8.087	8.532	9.124	9.223	10.131

Таблица 1: Измерения при нагревании установки

$T, K$	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$\Delta H, \text{мм}$	80.24	85.21	89.4	94.46	100.63	105.45	111.24	117.84	123.30
$P, \text{кПа}$	10.697	11.360	11.929	12.593	13.416	14.058	14.830	15.710	16.438

Таблица 2: Измерения при нагревании установки

3. Проведем необходимые измерения при охлаждении.

$T, K$	39	38	36	34	32	30
$\Delta H, \text{см}$	122.07	117.75	106.91	96.28	85.21	76.42
$P, \text{кПа}$	16.274	15.698	14.253	12.836	11.360	10.188

Таблица 3: Измерения при охлаждении установки

4. Построим графики в координатах  $T, P$  и в координатах  $1/T, \ln P$ .

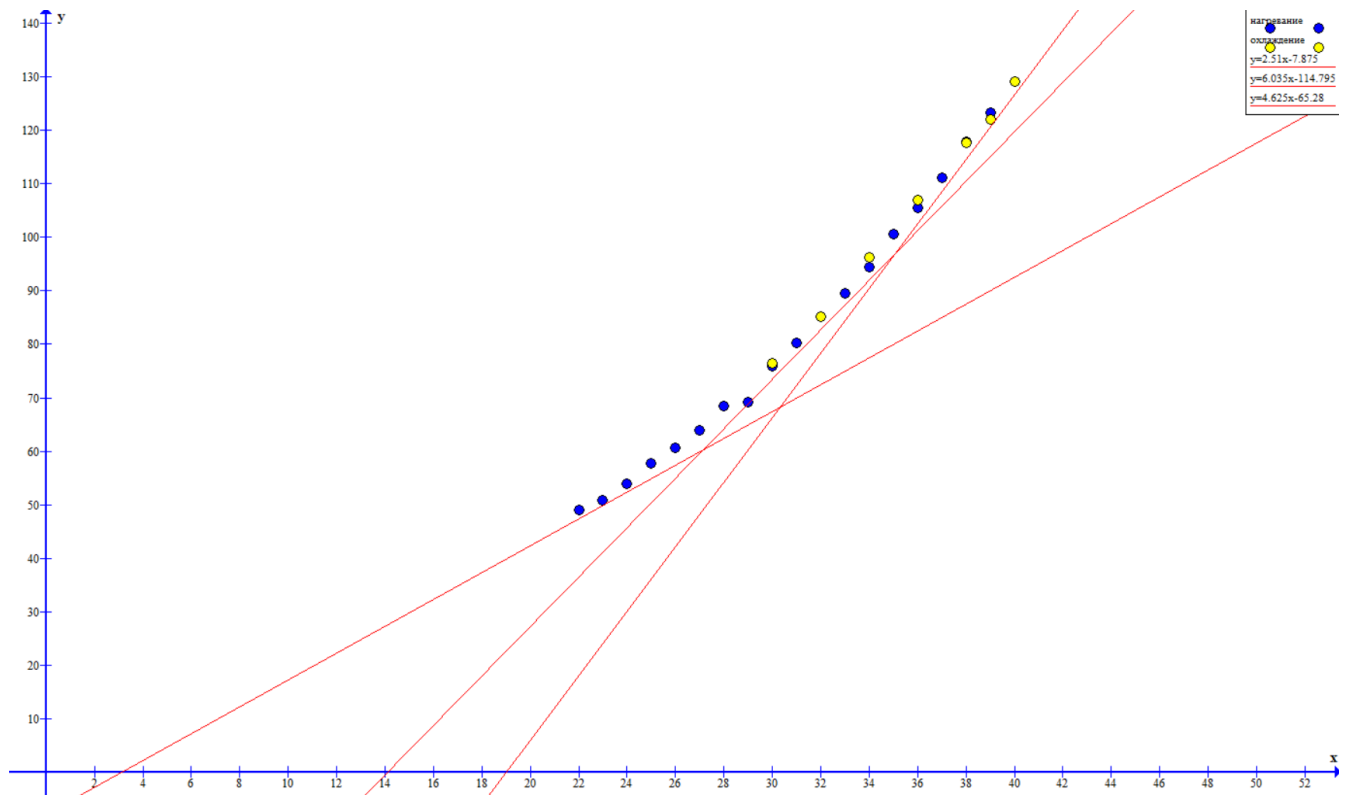


Рис. 2: График зависимости  $h(T)$  при нагревании и охлаждении

$$\sigma_k = \frac{k_{max} - k_{min}}{\sqrt{n}} = 0.83 \quad (5)$$

$$k_1 = (4.62 \pm 0.83) \quad (6)$$

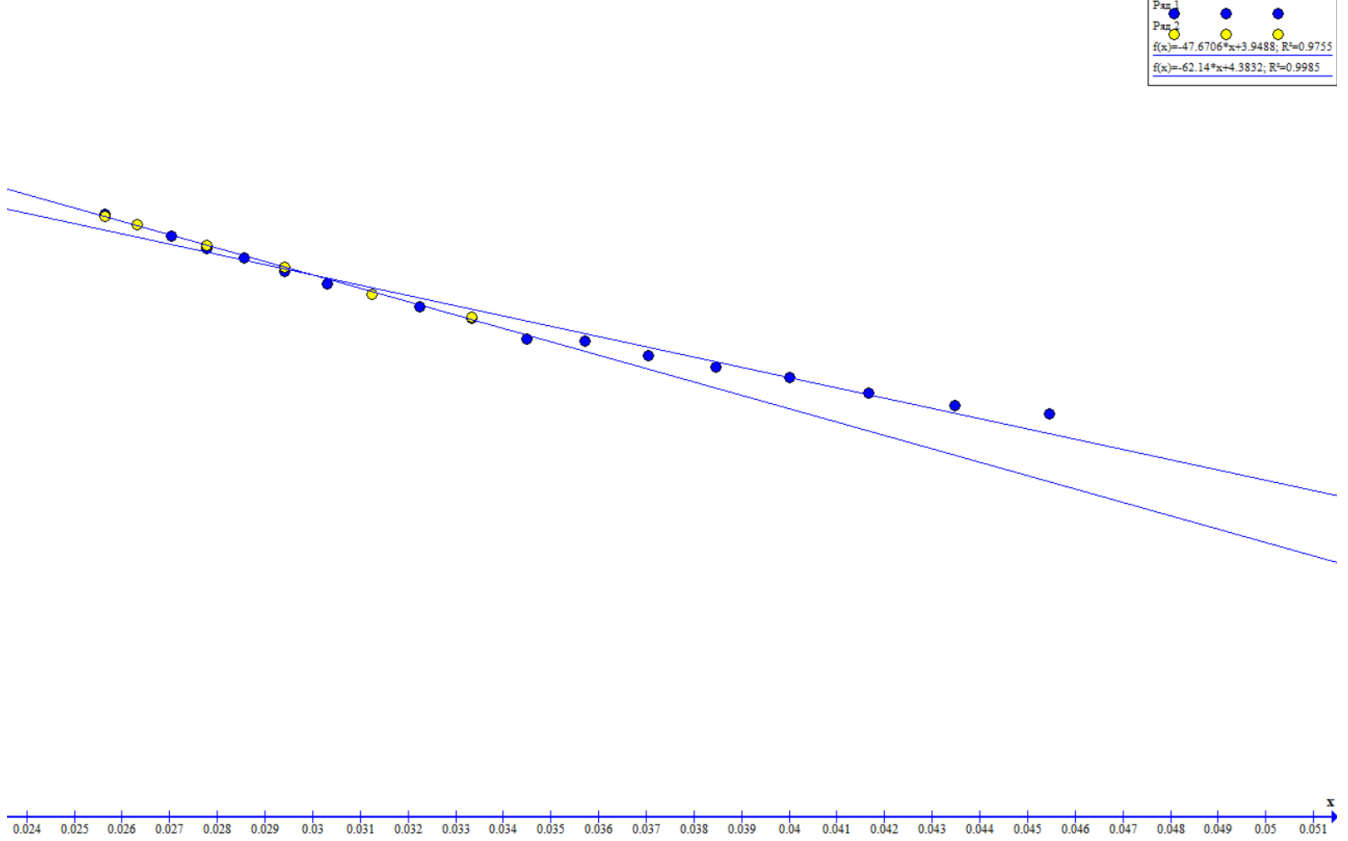


Рис. 3: График зависимости  $\ln P(T^{-1})$  при нагревании и охлаждении

Так как при охлаждении измерения проводились при малом количестве температур рассчитаем коэффициент наклона прямой только для нагревания.

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2} = 0.1 \quad (7)$$

$$k_2 = (4.6 \pm 0.1) \quad (8)$$

5. По формуле 1 вычислим  $L$ , пользуясь данными вначале из графика, изображенного на рисунке 2, затем 3. Оценим погрешности при измерении

$$\varepsilon_{\Delta h} = 0.0122 = 1.22\%$$

$$\varepsilon_P = \sqrt{2\varepsilon_{\Delta h}} = 0.0173 = 1.73\%$$

$$\varepsilon_T = 0.0003 = 0.03\%$$

$$\varepsilon_{L_1} = \sqrt{\varepsilon_T^2 + \varepsilon_P^2 + \varepsilon_k^2} = 0.17 = 17\%$$

$$\varepsilon_{L_2} = \sqrt{\varepsilon_k^2} = 0.021 = 2.1\%$$

$$L_1 = (34.8 \pm 5.9) \text{ кДж} \quad (9)$$

$$L_2 = (39.57 \pm 0.83) \text{ кДж} \quad (10)$$

## 4 Вывод

В ходе лабораторной работы были измерены давления жидкости при разных температурах. По этим данным была получена теплота испарения воды. Измерение вторым способом было намного более точным, так как погрешность коэффициента  $k$  была рассчитана с помощью метода наименьших квадратов. В результате эксперимента получено

$$L = (39.57 \pm 0.83) \text{ кДж}$$

Табличное значение равняется

$$L_{\text{табл}} = 40.2 \text{ кДж}$$

С учетом погрешности полученное значение совпадает с табличным.