

Лабораторная работа 2.4.1 "Определение теплоты испарения жидкости"

Учащийся 1 курса ЛФИ Гусаров Николай

Февраль 2021

1. Цель лабораторной работы

1) Измерение давления насыщенного пара жидкости при разной температуре; 2) вычисление по полученным данным теплоты испарения с помощью уравнения Клапейрона–Клаузиуса.

2. Оборудование

Термостат; герметический сосуд, заполненный исследуемой жидкостью; отсчетный микроскоп.

3. Теория

В работе для определения теплоты испарения применен метод, основанный на формуле Клапейрона–Клаузиуса:

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

Здесь P — давление насыщенного пара жидкости при температуре T , T — абсолютная температура жидкости и пара, L — теплота испарения жидкости, V_1 — объем жидкости, V_2 — объем пара над ней.

С помощью уравнения Ван-дер-Ваальса можно получить зависимость $P(T)$, с помощью которой определить искомую величину:

$$(P + \frac{a}{V_2^2})(V_2 - b) = RT$$

В таблице ниже приведены все значения параметров различных жидкостей уравнения Ван-дер-Ваальса.

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_2^2 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

Видно, что $\frac{V_1}{V_2} < 0.005$, а $\frac{a}{P V_2^2} < 0.03$, тогда, записав уравнение Менделеева-Клапейрона для насыщенного пара, получим: $V_2 = \frac{RT}{P}$

Пренебрегая V_1 (который не превосходит 0,5% от V_2), запишем:

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

Формула (1) является расчетной.

4. 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 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, соединенному с исследуемым объемом. Отсчет показаний манометра производится при помощи микроскопа, закрепленного на штангенциркуле.

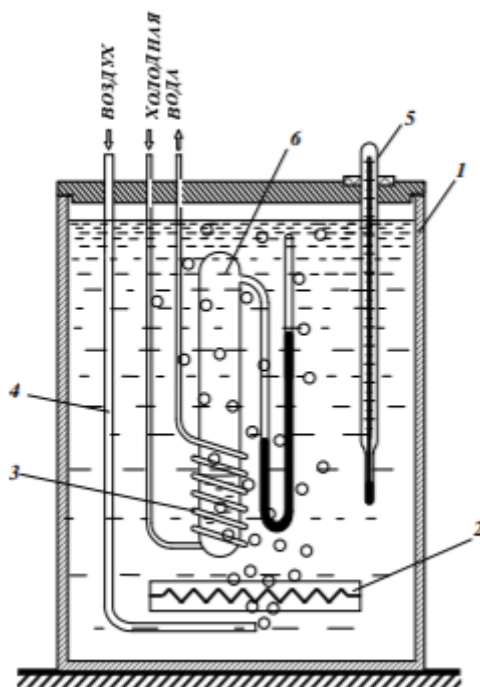


Рис. 1: Схема установки для определения теплоты испарения

5. Эксперимент

Измеряем разность уровней в ртутном U -образном манометре с помощью микроскопа и температуру по термометру. H – высота высокого колена, h – низкого. При этом будем настраивать микроскоп, так, чтобы каждый раз основание мениска было у одной метки прибора (в дальнейшем считаем, что общая высота мениска не меняется). Результаты представлены в таблице (??). Под P_0 подразумевается давление 1 мм рт.ст.

5.1. Производные величины

Формула для измеряемого давления:

$$P = \rho_{\text{ртути}} g (H - h)$$

5.1.1. Погрешности

Поскольку давление напрямую зависит от разности уровней ртути (пренебрегаем давлением насыщенных паров ртути, так как при комнатной температуре оно приблизительно равно 0.24 Па, а так же изменением уровня столба воды, так как он слишком мал), то для погрешности давления P воспользуемся следующей формулой:

$$\Delta_P = P_{\text{атм}} \cdot \frac{\Delta_{H-h}}{H_{\text{атм}}} = 13 \text{ Па}$$

где $H_{\text{атм}} = 760 \text{ мм}$, $P_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па}$, $\Delta_{H-h} = \Delta_H + \Delta_h = 2 \cdot 0,05 \text{ (мм)} = 0,1 \text{ (мм)}$, т.к. точность измерения каждого из уровня 0,05 мм

$$\Delta_{\ln \frac{P}{P_0}} = \frac{\Delta_P}{P} = 0,050$$

Погрешность определения температуры возьмём учитывая точность прибора и тот факт, что во время измерений уровней температура могла немного изменяться

$$\Delta_T = 0,05 \text{ К.}$$

Соответственно

$$\Delta_{\frac{1}{T}} = \frac{\Delta_T}{T^2} = 6 \cdot 10^{-7} K^{-1}.$$

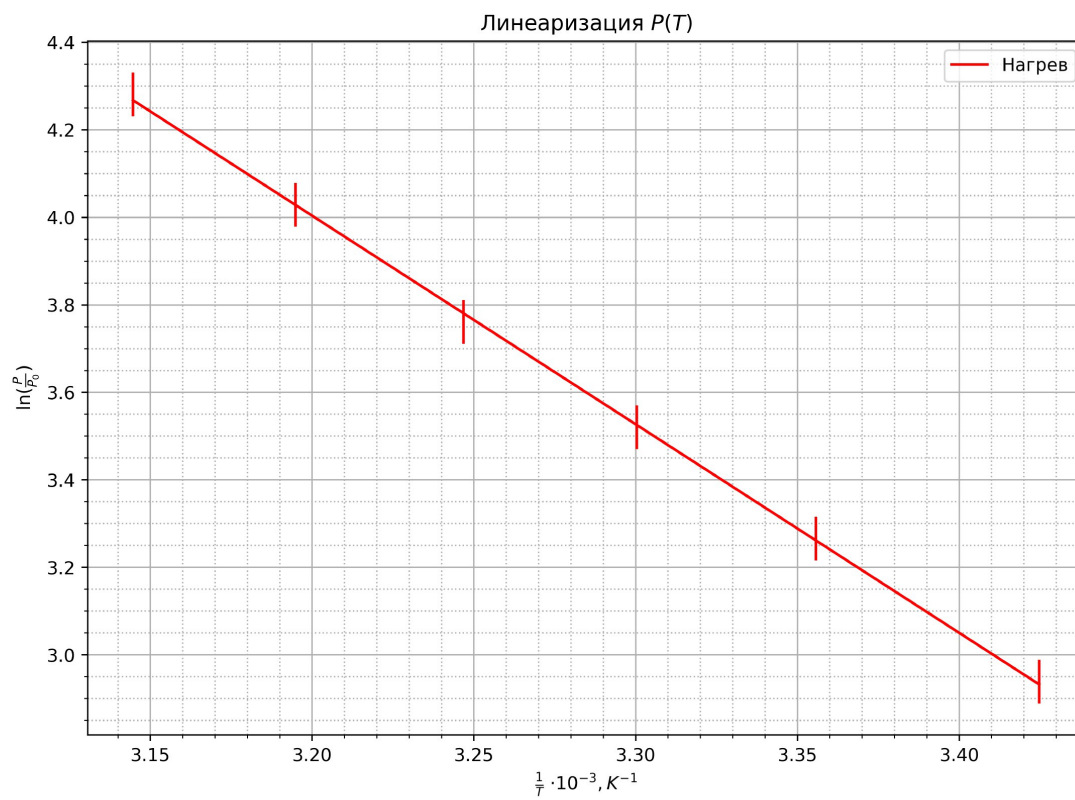
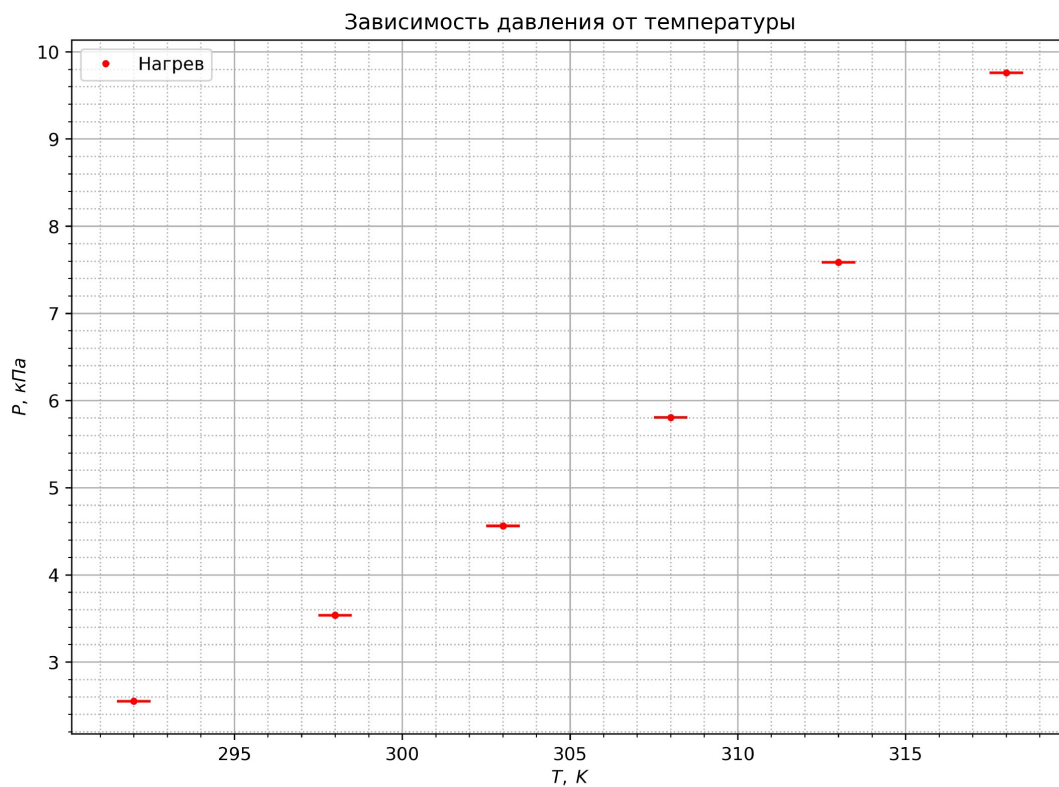
5.1.2. Измерения

Данные представлены в таблице ниже

h , см	H , см	t , °C	P , кПа	$\ln(\frac{P}{P_0})$	T , K	$\frac{1}{T} \cdot 10^{-3}, K^{-1}$
8,66	10,55	19,00	2,5	2,93	292	3,42
8,32	10,94	25,00	3,5	3,26	298	3,35
7,96	11,34	30,00	4,5	3,52	303	3,30
7,50	11,80	35,00	5,8	3,76	308	3,24
6,88	12,50	40,00	7,6	4,02	313	3,19
6,05	13,28	45,00	9,8	4,28	318	3,14

6. Обработка измерений

Построим графики в координатах T, P и в координатах $\frac{1}{T}, \ln P$. На графики нанесём точки, полученные при нагревании жидкости. По формуле (1) вычислим L , пользуясь данными, полученными из второго графика.



$L = -R \cdot k$, где $k = -4,768 \pm 0,238$ - коэффициент наклона графика. Итак,

$$L_{\text{эксп}} = 39,6 \pm 1.4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Погрешность взята из ошибки в определении коэффициента фугирующей прямой с помощью МНК.

7. Заключение

В работе изучалась зависимость давления насыщенного пара воды от температуры. По полученным данным искалась удельная теплота парообразования воды. Заметим, что экспериментальная величина с хорошей точностью совпала с табличной:

$$L_{\text{эксп}} = 39,6 \pm 1.4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$L_{\text{теор}} = 40,7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$