

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Лабораторная работа 2.4.1
«Определение теплоты испарения жидкости»

Овсянников Михаил Александрович
студент группы Б01-001
1 курс ФРКТ

г. Долгопрудный
2021 г.

Цель работы: измерение давления насыщенного пара жидкости при разной температуре; вычисление по полученным данным теплоты испарения с помощью уравнения Клайперона-Клазиуса.

В работе используются: термостат, герметический сосуд с исследуемой жидкостью, отсчетный микроскоп.

Теоретические сведения

Испарением называется переход вещества из жидкого в газообразное состояние. При испарении совершается работа против внешнего давления P , поскольку объем жидкости меньше объема пара.

В настоящей работе для определения теплоты испарения применен косвенный метод, основанный на формуле Клапейрона–Клазиуса:

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

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

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

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

В уравнении (2) величиной b следует пренебречь, так как она одного порядка с V_1 . Пренебрежение членом $\frac{a}{V^2}$ 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 (3) в (1), пренебрегая V_1 и разрешая уравнение относительно L , найдем

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

Эта формула является окончательной. 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 $\ln P$.

Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рисунке 1. Установка включает термостат А, экспериментальный прибор В и отсчетный микроскоп С.

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.

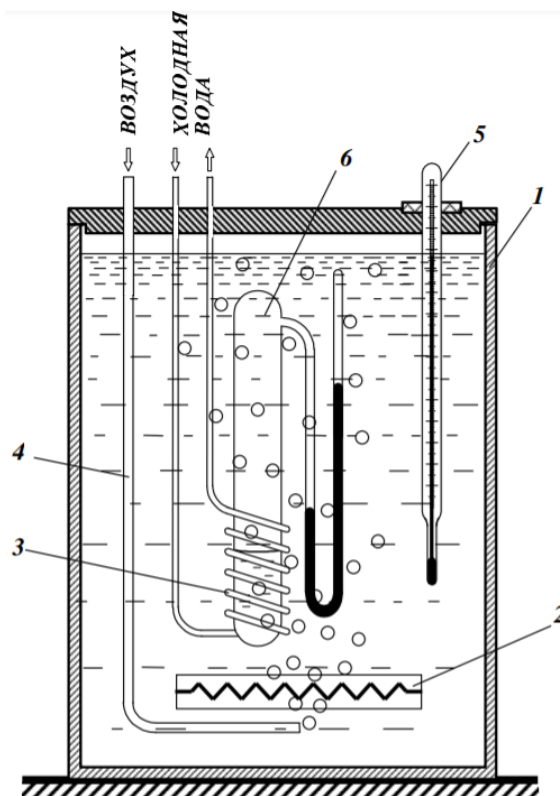


Рис. 1. Схема установки для определения теплоты испарения

Ход Работы

1. Измерим разность уровней в ртутном U -образном манометре с помощью микроскопа и температуру по термометру или индикаторному табло (табл.1).
2. Включим термостат. Подогреваем воду в калориметре, пропуская ток через нагреватель. Следим за тем, чтобы воздух все время перемешивал воду. Через каждый градус измеряем давление и температуру (табл.1). Продолжаем повышать температуру в течение половины имеющегося у нас времени, чтобы успеть произвести измерения при остывании прибора. Нагреваем жидкость до $38\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Проведем те же измерения при охлаждении жидкости (табл.1). Установим такой поток воды, чтобы охлаждение шло примерно тем же темпом, что и нагревание.

| $T, \text{ K}$ | $h_{\text{лев}}, \text{ мм}$ | $h_{\text{конд}}, \text{ мм}$ | $h_{\text{прав}}, \text{ мм}$ | $T, \text{ K}$ | $h_{\text{лев}}, \text{ мм}$ | $h_{\text{конд}}, \text{ мм}$ | $h_{\text{прав}}, \text{ мм}$ |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Повышение температуры | | | | Повышение температуры | | | |
| 295 | 99,8 | 55,3 | 57,7 | 295 | 135,5 | 20,6 | 23,2 |
| 296 | 102,5 | 53,8 | 56,7 | 296 | 132,6 | 24,0 | 27,0 |
| 297 | 103,9 | 51,3 | 54,0 | 297 | 130,1 | 25,9 | 29,5 |
| 298 | 105,4 | 49,7 | 52,6 | 298 | 126,9 | 28,9 | 32,2 |
| 299 | 107,0 | 48,7 | 51,3 | 299 | 125,0 | 31,9 | 34,3 |
| 300 | 109,1 | 47,2 | 49,6 | 300 | 121,4 | 34,3 | 36,9 |
| 301 | 110,7 | 45,3 | 47,4 | 301 | 119,5 | 37,0 | 39,8 |
| 302 | 112,8 | 43,7 | 45,5 | 302 | 116,3 | 38,9 | 41,9 |
| 303 | 114,7 | 41,1 | 44,0 | 303 | 114,9 | 40,9 | 44,2 |
| 304 | 116,5 | 39,0 | 41,7 | 304 | 112,4 | 43,5 | 45,2 |
| 305 | 119,3 | 36,9 | 39,7 | 305 | 110,3 | 45,1 | 47,2 |
| 306 | 121,7 | 34,5 | 37,1 | 306 | 109,2 | 46,9 | 49,3 |
| 307 | 124,9 | 31,8 | 34,6 | 307 | 107,1 | 48,5 | 51,2 |
| 308 | 126,5 | 29,5 | 32,2 | 308 | 105,3 | 49,6 | 52,3 |
| 309 | 130,3 | 26,2 | 29,3 | 309 | 104,1 | 51,1 | 53,9 |
| 310 | 132,2 | 23,8 | 26,9 | 310 | 102,7 | 54,0 | 56,9 |
| 311 | 135,7 | 20,5 | 23,1 | 311 | 101,3 | 55,2 | 57,9 |

Таблица 1

4. Построим графики в координатах T, P . (график 1)

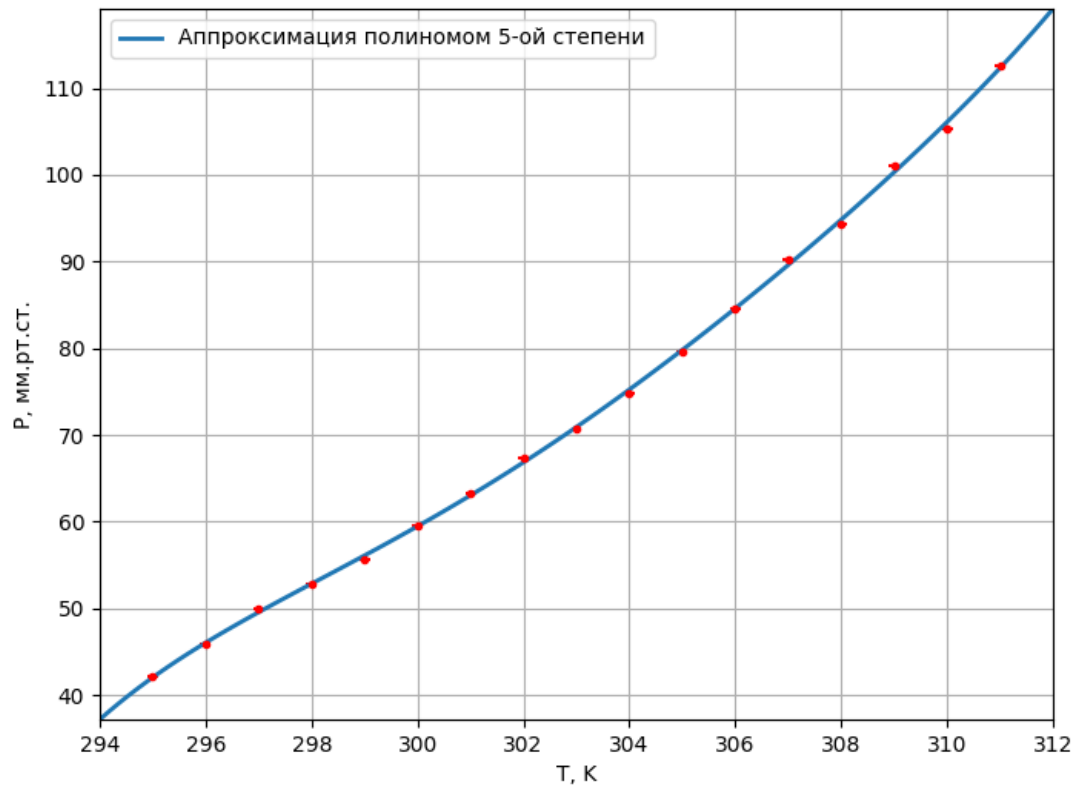


График 1. Повышение температуры

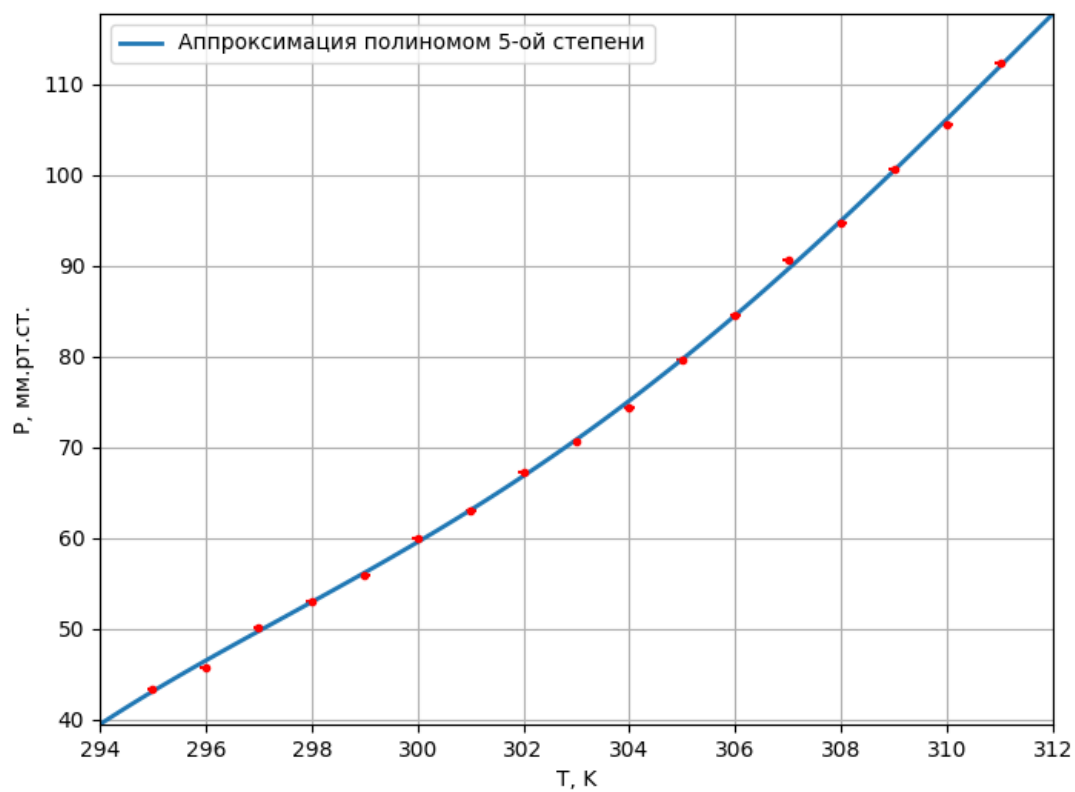


График 2. Понижение температуры

Теперь построим график в координатах $\frac{1}{T}$ и $\ln P$ (график 3).

$$L = -R \frac{d(\ln P)}{d(1/T)}$$

Используя МНК, находим:

$$k = \frac{d(\ln P)}{d(1/T)} = -5485 \text{ K}$$

$$\sigma_k = 46 \text{ K}$$

$$k = (-5485 \pm 46) \text{ K}$$

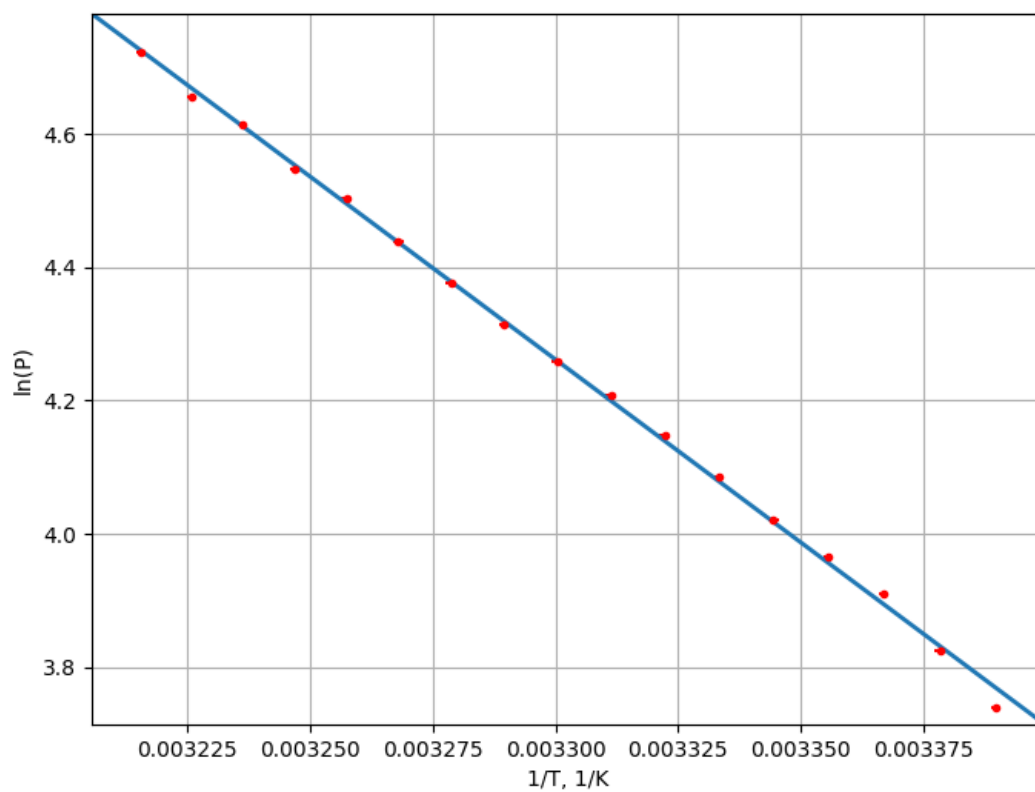


График 3. Повышение температуры

Делаем то же самое для понижения температуры.

Используя МНК, получаем:

$$k = \frac{d(\ln P)}{d(1/T)} = -5413 \text{ K}$$

$$\sigma_k = 35 \text{ K}$$

$$k = (-5413 \pm 35) \text{ K}$$

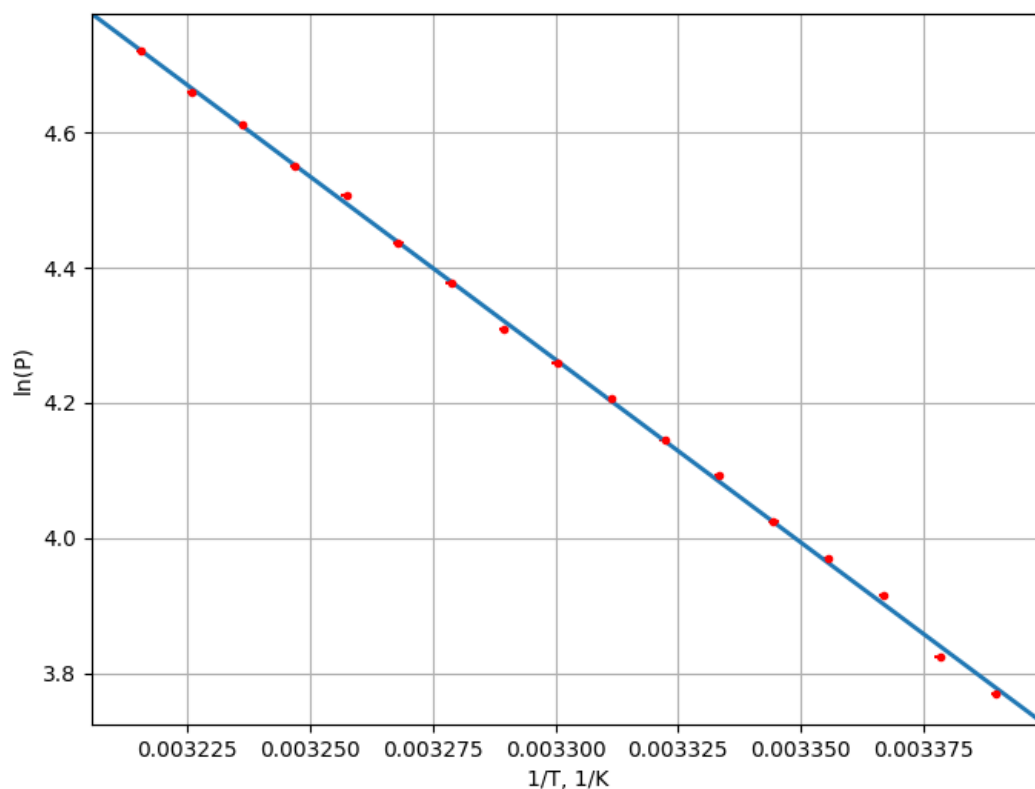


График 4. Понижение температуры

5. По формуле (4) вычислим L , пользуясь данными, полученными из первых двух графиков.

Используя метод конечных разностей, для первого графика получаем:

$$L = 46114 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$\sigma_L = 5239 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$L = (46114 \pm 5239) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Для второго графика получаем:

$$L = 45416 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$\sigma_L = 4324 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$L = (45416 \pm 4324) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Найдем значение L для второй пары графиков.

Из третьего графика находим:

$$L = -R \cdot k = -8.314 \cdot (-5485) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} = 45602 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$\sigma_L = R\sigma_k = 8.314 \cdot 46 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} = 382 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$L = (45602 \pm 382) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Из четвертого графика получаем:

$$L = -R \cdot k = -8.314 \cdot (-5413) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} = 45004 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$\sigma_L = R\sigma_k = 8.314 \cdot 35 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} = 291 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

$$L = (45004 \pm 291) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

$$L_{\text{итог}} = (45534 \pm 6809) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}.$$

Сравним результаты. Как видим, в пределах погрешностей полученные значения из всех графиков находятся в согласии друг с другом. Табличное значение для спирта: $38500 - 39500 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ для этилового и $45500 - 46500 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$ для пропилового. Следовательно, можно предположить, что в эксперименте был пропиловый спирт с небольшими примесями. Погрешность определения L составляет $\sim 2 - 7\%$ для различных графиков. Наиболее точный результат дал график 3.

Вывод

В работе было измерено давление насыщенного пара спирта при различных температурах. Также по полученным данным была вычислена молярная теплота испарения спирта с помощью уравнения Клайперона-Клаузиуса $L = (45534 \pm 6809) \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$, что почти совпадает с табличным значением для пропилового спирта. Ошибки вызваны неточностью измерений.