



Физтех-школа аэрокосмических технологий

29 марта 2024 года

Лабораторная работа 2.4.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Зайцев Александр

Б03-305

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

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

Теория.

В 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. В нашем приборе измерения производятся при давлениях ниже атмосферного. В этом случае задача существенно упрощается.

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

Обратимся теперь к V_2 , которое в дальнейшем будем обозначать просто V .

Объем V связан с давлением и температурой уравнением Ван-дер-Ваальса:

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

Из табличных данных следует, что b одного порядка с V_1 . 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 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

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

Экспериментальная установка.

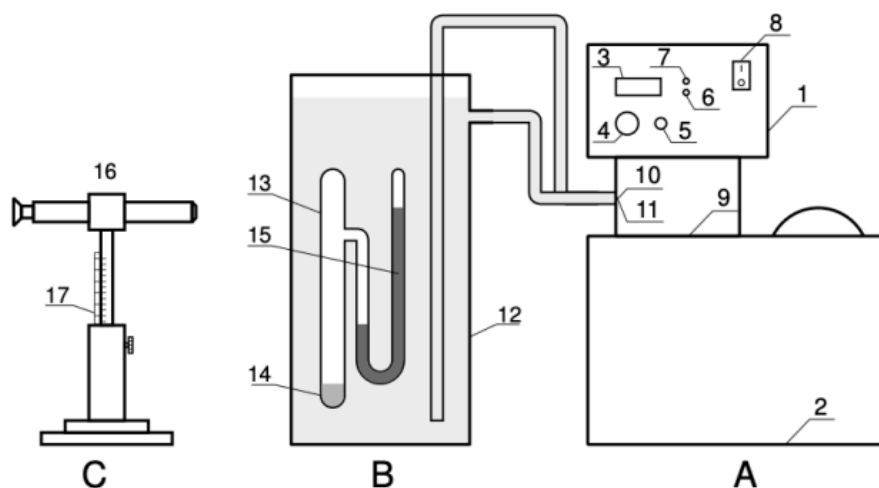


Рис.1 Экспериментальная установка

Установка включает термостат А, экспериментальный прибор В и отсчетный микроскоп С. Экспериментальный прибор В представляет собой емкость 12, заполненную водой. В нее погружен запаянный прибор 13 с исследуемой жидкостью 14. Перед заполнением исследуемой

жидкости воздух из запаянного прибора был удален, так что над жидкостью находится только её насыщенный пар. Давление пара определяется по ртутному манометру 15, соединенному с емкостью 13. Численная величина давления измеряется по разности показаний отсчетного микроскопа 16, настраиваемого последовательно на нижний и верхний уровни столбика ртути манометра. Показания микроскопа снимаются по шкале 17. Описание прибора указывает на второе важное преимущество предложенного косвенного метода измерения L перед прямым. При непосредственном измерении теплоты испарения опыты нужно проводить при неизменном давлении, и прибор не может быть запаян. При этом невозможно обеспечить такую чистоту и неизменность экспериментальных условий, как при нашей постановке опыта.

Ход работы.

Таблица 1. Результаты измерений нагревания.

№	T, К	Δh , см	ΔP , Па
1	297,06 \pm 0,01	1,800 \pm 0,005	2401,49 \pm 0,01
2	298,01 \pm 0,01	1,900 \pm 0,005	2534,9 \pm 0,01
3	299,08 \pm 0,01	2,100 \pm 0,005	2801,74 \pm 0,01
4	300,05 \pm 0,01	2,100 \pm 0,005	2801,74 \pm 0,01
5	301,03 \pm 0,01	2,300 \pm 0,005	3068,57 \pm 0,01
6	302,01 \pm 0,01	2,500 \pm 0,005	3335,40 \pm 0,01
7	303,02 \pm 0,01	2,600 \pm 0,005	3468,82 \pm 0,01
8	304,04 \pm 0,01	2,900 \pm 0,005	3869,06 \pm 0,01
9	305,04 \pm 0,01	3,100 \pm 0,005	4135,90 \pm 0,01
10	306,01 \pm 0,01	3,200 \pm 0,005	4269,31 \pm 0,01
11	307,03 \pm 0,01	3,500 \pm 0,005	4669,56 \pm 0,01
12	308,01 \pm 0,01	3,800 \pm 0,005	5069,81 \pm 0,01
13	309,03 \pm 0,01	4,000 \pm 0,005	5336,64 \pm 0,01
14	310,04 \pm 0,01	4,200 \pm 0,005	5603,47 \pm 0,01
15	311,03 \pm 0,01	4,400 \pm 0,005	5870,30 \pm 0,01
16	312,04 \pm 0,01	4,700 \pm 0,005	6270,55 \pm 0,01
17	313,04 \pm 0,01	4,900 \pm 0,005	6537,38 \pm 0,01

Таблица 2. Результаты измерений охлаждения.

№	T, K	Δh , см	ΔP , Па
1	$311,01 \pm 0,01$	$4,600 \pm 0,005$	$6137,14 \pm 0,01$
2	$308,97 \pm 0,01$	$4,100 \pm 0,005$	$5470,06 \pm 0,01$
3	$306,98 \pm 0,01$	$3,800 \pm 0,005$	$5069,81 \pm 0,01$
4	$304,96 \pm 0,01$	$3,300 \pm 0,005$	$4402,73 \pm 0,01$
5	$302,92 \pm 0,01$	$2,900 \pm 0,005$	$3869,06 \pm 0,01$
6	$301,06 \pm 0,01$	$2,600 \pm 0,005$	$3468,82 \pm 0,01$
7	$299,05 \pm 0,01$	$2,200 \pm 0,005$	$2935,15 \pm 0,01$
8	$297,06 \pm 0,01$	$1,900 \pm 0,005$	$2534,90 \pm 0,01$

График зависимости давления от температуры изображен на рисунке 2.

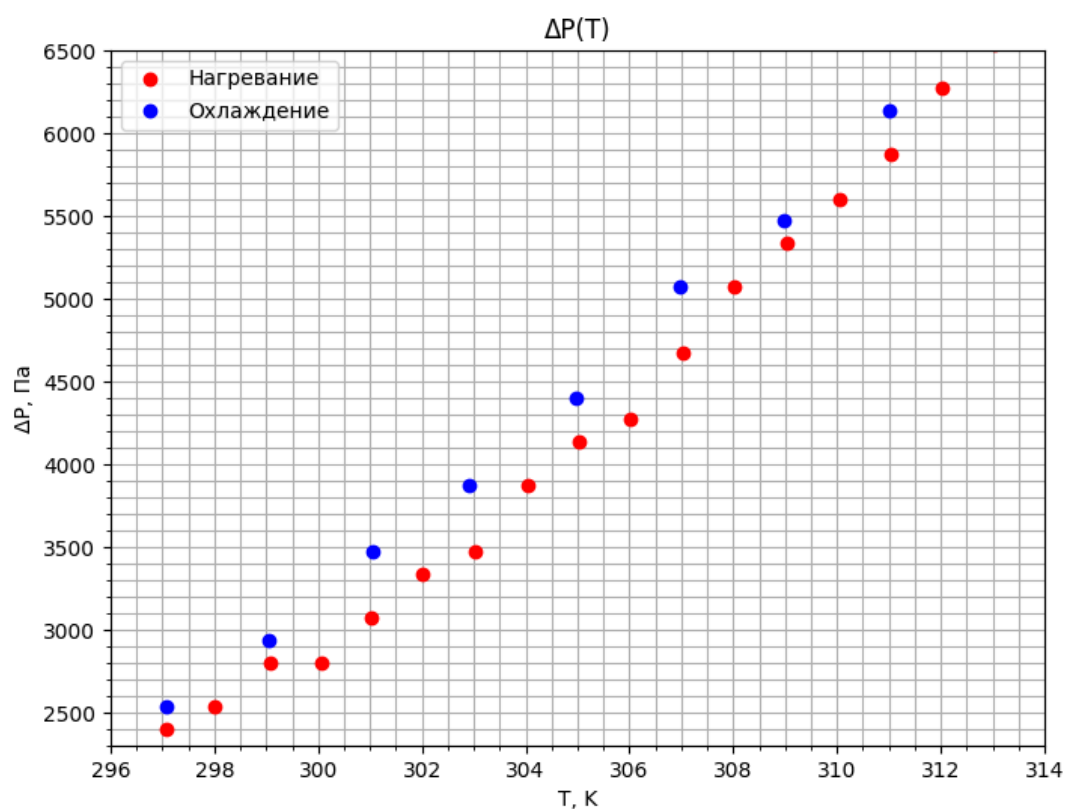


Рис. 2 График зависимости

Данные точки не аппроксимируются прямой, поэтому прямых или каких-либо других кривых на графике нет.

График зависимости $\ln P$ от T^{-1} изображен на рисунке 3.

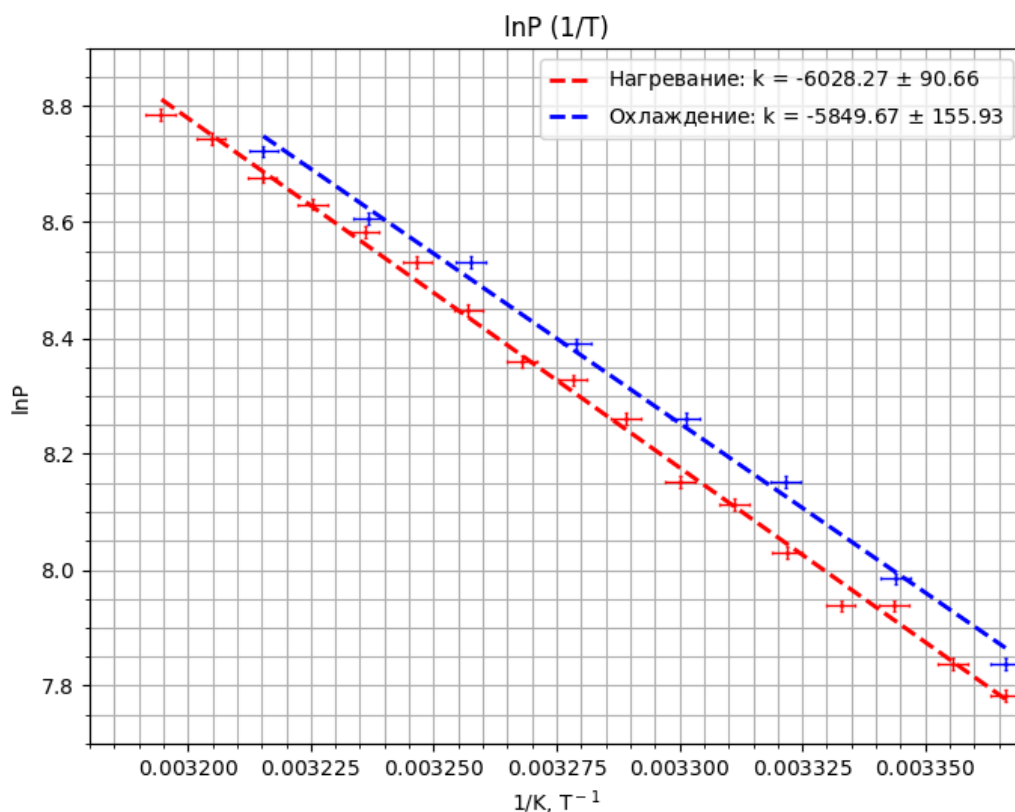


Рис. 3 График зависимости

График аппроксимируется прямой $\ln P = k \cdot \frac{1}{T} + b$, при помощи метода наименьших квадратов определяются угловые коэффициенты обеих прямых $k = \frac{d \ln P}{d(1/T)}$.

Погрешность каждого из угловых коэффициентов определяется по формуле:

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - k^2}$$

В результате получились следующие угловые коэффициенты:

- при нагревании

$$k_{\text{наг}} = -6028,27 \pm 90,66 \text{ К} \quad \varepsilon = 1\%$$

- при охлаждении

$$k_{\text{охл}} = -5849,67 \pm 155,92 \text{ К} \quad \varepsilon = 2\%$$

Погрешность молярной теплоты испарения жидкости определяется формулой:

$$\sigma_L = L \cdot \frac{\sigma_k}{k}$$

Молярная теплота испарения жидкости определяется формулой (4):

$$L_{\text{наг}} = -R \cdot k_{\text{наг}} = 50,09 \pm 0,50 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$L_{\text{охл}} = -R \cdot k_{\text{охл}} = 48,61 \pm 0,97 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Табличное значение молярной теплоты испарения воды

$$L = 41,39 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Вывод.

Значение, полученное в ходе эксперимента, расходится с табличным примерно на 15%. На расхождение по большей степени влияет человеческий фактор, так как измерение разницы давления проводятся, настраивая отсчетный микроскоп вручную, ровно также, как и не совсем точные измерения этой разницы штангенциркулем (человеческая ошибка). Тем не менее, эксперимент по определению молярной теплоты парообразования воды позволил получить результаты, которые, несмотря на некоторые расхождения с табличными данными, в целом соответствуют ожиданиям. Полученные результаты могут быть использованы для оценки молярной теплоты парообразования воды с учетом предполагаемых ограничений и описанных предположений.