

Лабораторная работа №2.4.1
Определение теплоты испарения жидкости

Рябов О.Е.

20 марта 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 водой, отсчётный микроскоп.

1 Теоретическая часть

1.1 Уравнение Клапейрона-Клаузиуса

Если считать что насыщенные пары подчиняются закона Менделеева-Клапейрона, и пренебречь удельным объемом жидкости относительно удельного объема паров то из уравнения Клапейрона-Клаузиуса получаем формулу для удельной теплоты испарения

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

Как видим, если измерить зависимость давления насыщенных паров от температуры по формуле (1) можно получить удельную теплоту испарения.

1.2 Экспериментальная установка

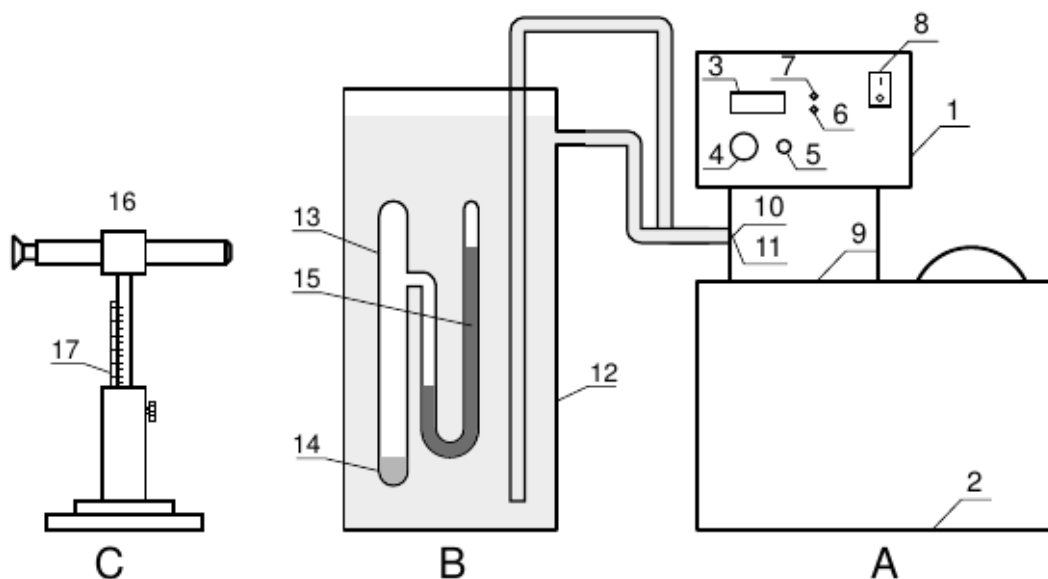


Рис. 1: Установка для определения давления насыщенных паров.

Измерения проводятся на установке, изображенной на рис. 1. С помощью термостата А выставляется желаемая температура, и с помощью микроскопа С измеряется положение менисков ртути в U-образном манометре 15. Давление насыщенных паров считается как разность высот менисков ртути.

Измерения проводятся в 2 этапа. В начале жидкость нагревается, а потом остужается. Это делается для того, чтобы посмотреть зависит ли давление насыщенных паров только от состояния жидкости или нет.

2 Измерения

Измеряем давление по вышеописанной схеме в диапазоне температур от 22 до 37 °C. Получаем следующие данные

№	$T, ^\circ C$	h_1, mm	h_2, mm	H, mm	№	$T, ^\circ C$	h_1, mm	h_2, mm	H, mm
0	23.04	81.3	99.0	17.700	18	38.00	67.6	114.2	46.600
1	24.00	81.1	99.3	18.200	19	36.00	70.3	111.9	41.600
2	25.00	80.6	100.0	19.400	20	34.00	72.2	109.5	37.300
3	26.00	79.7	101.1	21.400	21	32.00	74.0	107.4	33.400
4	27.00	79.0	102.0	21.400	22	30.00	75.3	105.5	30.200
5	28.00	78.2	103.0	24.800	23	28.00	77.6	103.6	26.000
6	29.00	77.2	103.9	26.700	24	26.00	79.1	101.8	22.700
7	30.00	76.6	104.9	28.300	25	24.00	80.0	100.3	20.300
8	31.00	75.5	105.5	30.000					
9	32.00	75.0	106.6	31.600					
10	33.00	74.0	107.2	33.200					
11	34.00	73.0	108.8	35.800					
12	35.00	72.1	110.0	37.900					
13	36.00	71.4	111.0	39.600					
14	37.00	70.3	112.1	41.800					
15	38.00	68.9	113.4	44.500					
16	39.00	67.2	115.0	47.800					
17	40.00	66.5	116.2	49.700					

Таблица 1: Измеренные положения менисков в зависимости от температуры.

В таблице (1) h_1 и h_2 это координаты правого и левого мениска соответственно относительно некоторой точки. Для ошибок измерения имеем следующее

$$\Delta h = 0.05$$

$$\Delta T = 0.01$$

Заметим, что ошибка температуры ΔT это ошибка в значениях термометра, который измеряет температуру воды в термостате. Температура воды в баллоне может отличаться от температуры воды в ванне. Столбец Н равен 1 если измерение проводилось в цикле нагрева и 0 если в цикле охлаждения.

Из графика видно, что синие точки смещены влево, что свидетельствует о том, что во время цикла охлаждения на релаксацию системы не было уделено достаточно времени. Действительно, во время опыта температура жидкости поднималась на 1°C примерно каждые 7-10 минут, в то время как жидкость охлаждалась на 2°C примерно каждые 2-4 минут.

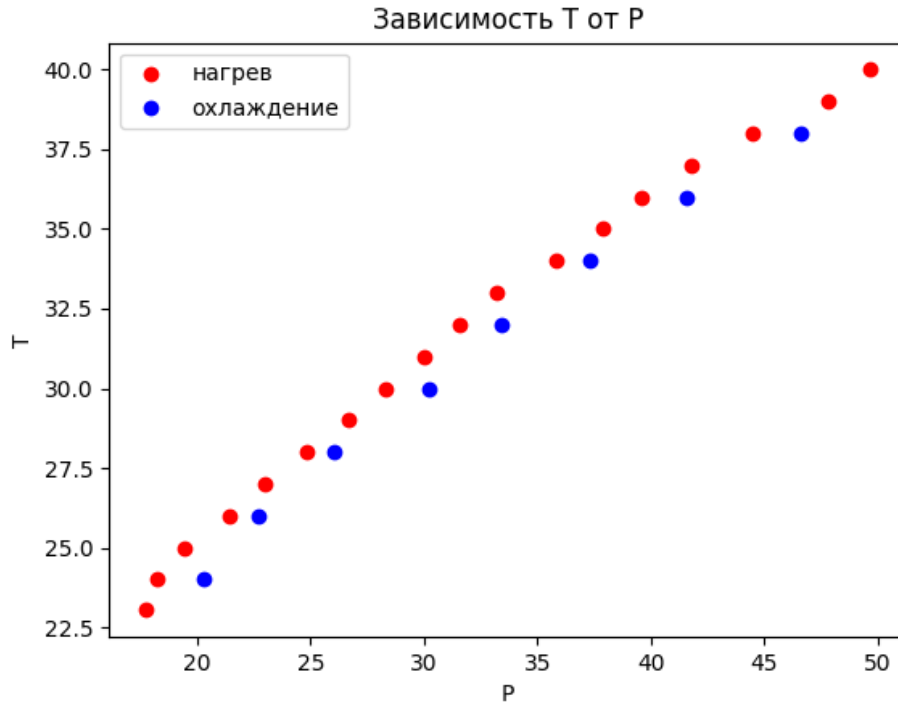


Рис. 2: Зависимость давления насыщенных паров от температуры.

Теперь, для нахождения теплоты испарения построим график зависимости $\ln(P)(1/T)$. В предположении что теплота испарения не зависит от температуры эта зависимость имеет вид прямой, а теплота испарения считается по формуле (1). Как видим на рис. 4, для оранжевых точек линейная зависимость довольно хорошая, в отличие от синих точек. Объяснение этому дано выше. Аппроксимируя оранжевые, синие и зеленые точки методом МНК имеем следующее

$$\left(\frac{d(\ln P)}{d(1/t)} \right) = (-5780 \pm 360) \quad (2)$$

$$\left(\frac{d(\ln P)}{d(1/t)} \right) = (-5750 \pm 90) \quad (3)$$

$$\left(\frac{d(\ln P)}{d(1/t)} \right) = (-5279 \pm 6) \quad (4)$$

Как видим, в цикле охлаждения ошибки большие, поэтому теплоту испарения будем считать для цикла нагревания. Получаем

$$L = (2650 \pm 40)/ \quad (5)$$

$$L = (2437 \pm 3)/ \quad (6)$$

3 Выводы

Сравним наши данные с табличными. При $100^\circ C$ теплота испарения $L_{100^\circ C} = 2256/$. Как видим, различия большие. Теперь сравним с теплотой испарения при $30^\circ C$ - $L_{30^\circ C} =$

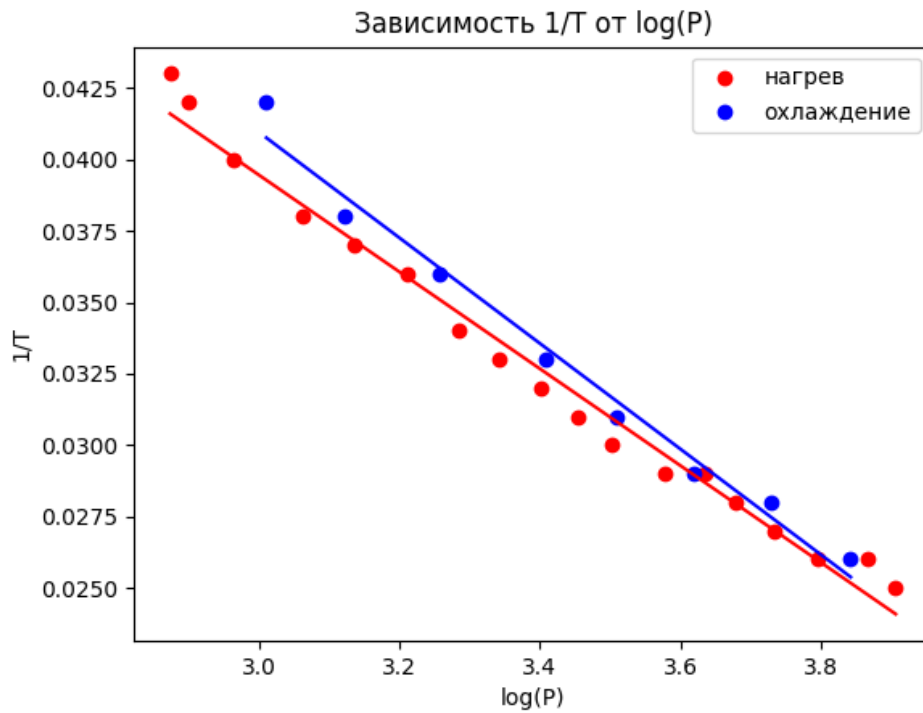


Рис. 3: Зависимость $\ln(P)(1/T)$.

2430/. Как видим, довольно близко к L , что свидетельствует о том что на нашем диапазоне температур формулой (1) можно пользоваться. Несмотря на это, мы получили значение L , которое отличается от действительного на $\varepsilon_L = 9\%$, что не входит в диапазон погрешности L . Причиной всему этому скорее всего является недостаточное время отведенное для релаксации системы, из-за чего действительная температура в баллоне ниже регистрируемого. Именно в следствии этих искажений мы и получаем ошибочное значение L .

Рис. 4: Зависимость $\ln(P)(1/T)$.