

Работа Д 2.1

Определение удельной теплоты парообразования ВОДЫ

Малиновский Владимир

galqiwi@galqiwi.ru

Цель работы: 1) измерение зависимости давления насыщенного пара воды от температуры; 2) вычисление по полученным данным теплоты парообразования с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса.

В работе используются: шприц на 20 мл и электронный термометр, закреплённые на пластиковой крышке, стеклянная банка, горячая вода, лёд, линейка, водяная баня.

Описание работы

В этой работе исследуется зависимость давления насыщенного пара воды от температуры. Для этого используется установка, состоящая из стеклянной банки с водой, в которую вертикально вставлен шприц носиком вниз. Также в крышку банки вставлена термопара для измерения температуры. Методика заключается в том, чтобы залить в эту банку воду при высокой температуре, подождать установления термодинамического равновесия между воздухом в шприце и водой в банке, и измерить зависимость объема смеси газа внутри шприца по мере остывания воды. Этот объем зависит от давления воды, тем самым мы надем зависимость последнего от температуры. Из этой зависимости мы можем найти, например, теплоту преобразования воды, что мы и сделаем.

Метод обработки данных

После того, как установится равновесие, внутри шприца будет фиксированное количество воздуха ν . Если при текущей температуре давление жидкости p , а атмосферное давление p_0 , то верно, что

$$p = p_0 - \frac{\nu RT}{V} = p_0 \left(1 - \frac{TV_0}{T_0 V}\right),$$

где V_0, T_0 – объем и давление, соответствующие комнатным, поскольку при этих условиях давлением жидкости по сравнению с атмосферным можно пренебречь. Таким образом можно получить зависимость давления от температуры.

Из этой зависимости можно найти теплоту преобразования через уравнение Клайперона-Клаузиуса

$$p = p_0 \cdot \exp \left(\frac{L}{R} \left(\frac{1}{T_{100}} - \frac{1}{T} \right) \right).$$

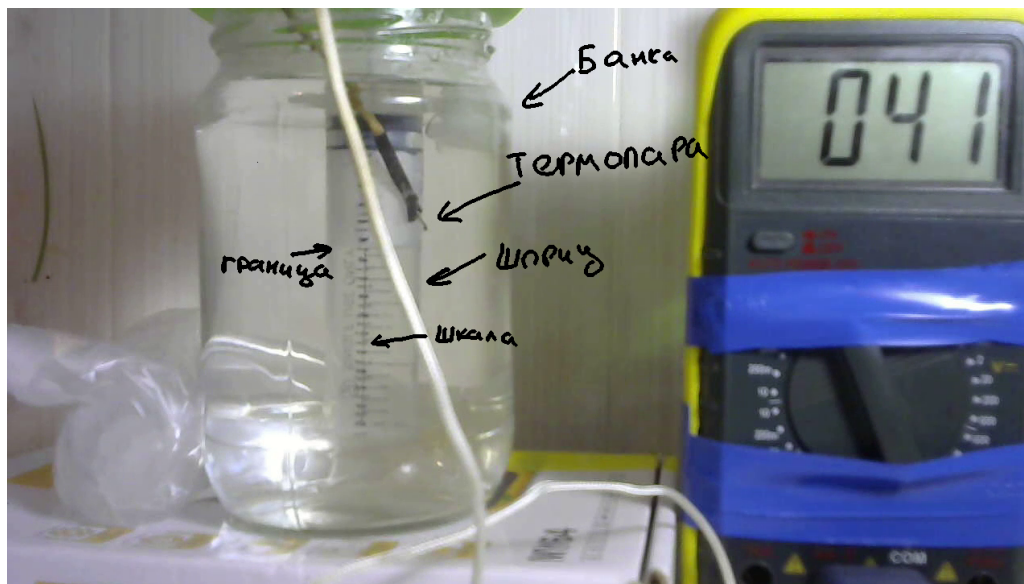
Построив график $\ln(p/p_0)$ от $1/T$, можно найти L – молярную теплоту парообразования воды.

Ход работы, результаты и обработка

1

Соберем установку:

1. Прodelаем в крышке банки отверстия для шприца и термопары и установим их,
2. Зальем в банку кипяток и закроем крышкой.



2

Проведем измерения:

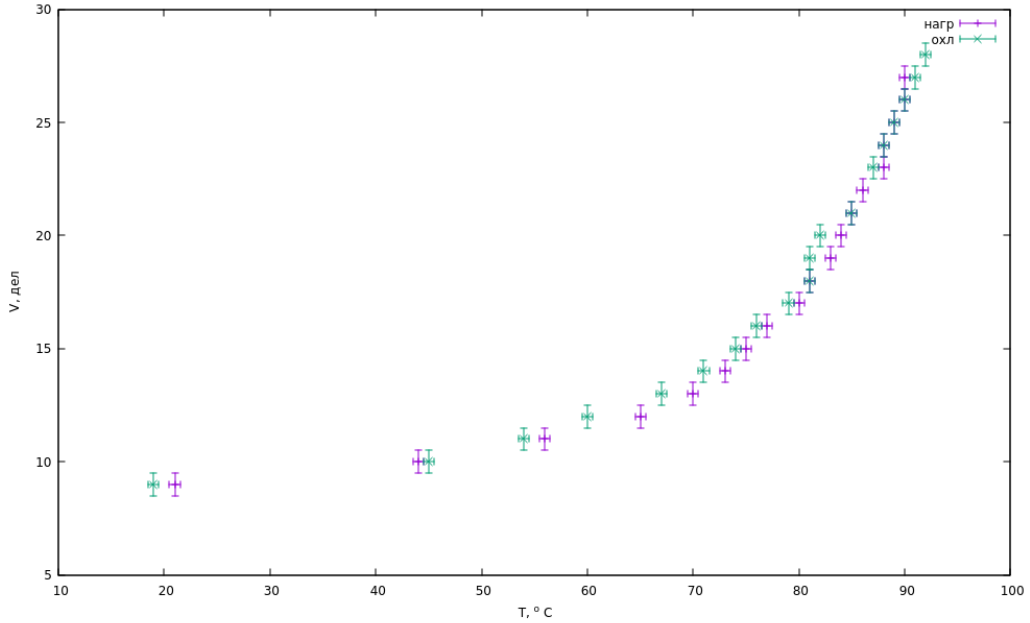
1. Начнем измерение зависимости $V(T)$ в диапазоне $90^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$, когда смесь воздуха и водяного пара перестанет выходить из шприца в конце процесса установки равновесия. При низких температурах ($< 40^{\circ}\text{C}$) добавим лед в воду, чтобы ускорить падение температуры.
2. Повторим те же измерения при повышении температуры. Для этого банку надо поставить в водяную баню и повторить измерения из прошлого пункта.

У нашей установки был недочет – мы не двигали термопару так, чтобы она была в середине столба воздуха. Будем надеяться, что, поскольку во время водяной бани мы нагревали банку снизу, а льдом мы охлаждали сверху, из-за конвекции в банке поддерживалась постоянная температура. То, имело ли это место, можно будет увидеть по результатам.

V , дел	$T_{\text{нагр}}$, °C	$T_{\text{охл}}$, °C
9.0	21.0	19.0
10.0	44.0	45.0
11.0	56.0	54.0
12.0	65.0	60.0
13.0	70.0	67.0
14.0	73.0	71.0
15.0	75.0	74.0
16.0	77.0	76.0
17.0	80.0	79.0
18.0	81.0	81.0
19.0	83.0	81.0
20.0	84.0	82.0
21.0	85.0	85.0
22.0	86.0	—
23.0	88.0	87.0
24.0	88.0	88.0
25.0	89.0	89.0
26.0	90.0	90.0
27.0	90.0	91.0
28.0	—	92.0

$$\Delta V = 0.5 \text{ дел}, \Delta T_{\text{нагр}} = 0.5 \text{ °C}, \Delta T_{\text{охл}} = 0.5 \text{ °C}.$$

3



У полученных зависимостей должно быть резкое изменение объема в диапазоне температур между 75°C и 90°C , и медленный линейный рост при низких ($< 35^{\circ}\text{C}$) температурах. В наших данных присутствует резкий рост, но, из-за недостаточно маленьких делений на шприце (а они у нас были 2.5 мм), при низких температурах изменение объема почти не наблюдалось. Вообще, из малости следует линейность, но напрямую мы это не проверили.

4, 5

Из данных можно найти $V_0 = (9 \pm 0.5)$ дел и $T_0 = (20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Зная это, можно найти p по формуле из пункта про обработку данных. Сделаем этот расчет для точек с температурой $> 70^\circ\text{C}$.

Нагрев:

V , дел	T , $^\circ\text{C}$	p/p_a	$\Delta p/p_a$	$\ln(p/p_a)$	$\Delta \ln(p/p_a)$	$1000\text{K}/T$	$\Delta 1000\text{K}/T$
13.0	70.0	0.19	0.07	-1.6	0.4	2.913	0.004
14.0	73.0	0.24	0.07	-1.4	0.2	2.888	0.004
15.0	75.0	0.29	0.06	-1.2	0.2	2.871	0.004
16.0	77.0	0.33	0.06	-1.1	0.1	2.855	0.004
17.0	80.0	0.36	0.05	-1.01	0.15	2.830	0.004
18.0	81.0	0.40	0.05	-0.92	0.13	2.822	0.003
19.0	83.0	0.42	0.04	-0.8	0.1	2.807	0.003
20.0	84.0	0.45	0.04	-0.7	0.1	2.799	0.003
21.0	85.0	0.48	0.04	-0.74	0.09	2.791	0.003
22.0	86.0	0.50	0.04	-0.69	0.08	2.783	0.003
23.0	88.0	0.52	0.03	-0.65	0.07	2.768	0.003
24.0	88.0	0.54	0.03	-0.61	0.06	2.768	0.003
25.0	89.0	0.56	0.03	-0.58	0.06	2.760	0.003
26.0	90.0	0.57	0.03	-0.55	0.05	2.753	0.003
27.0	90.0	0.59	0.03	-0.53	0.05	2.753	0.003

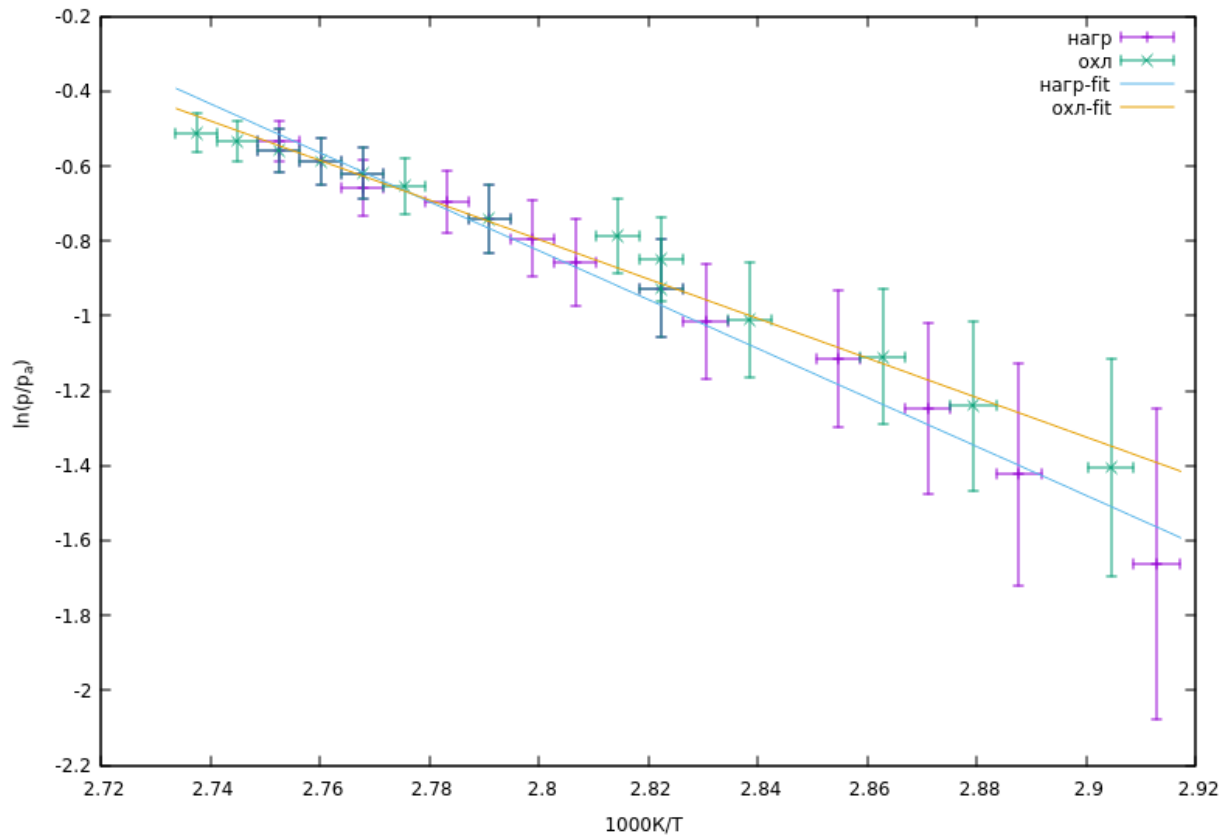
$$\Delta V = 0.5 \text{ дел}, \Delta T = 0.5^\circ\text{C}.$$

Охлаждение:

V , дел	T , $^\circ\text{C}$	p/p_a	$\Delta p/p_a$	$\ln(p/p_a)$	$\Delta \ln(p/p_a)$	$1000\text{K}/T$	$\Delta 1000\text{K}/T$
14.0	71.0	0.25	0.07	-1.4	0.2	2.904	0.004
15.0	74.0	0.29	0.06	-1.2	0.2	2.879	0.004
16.0	76.0	0.33	0.06	-1.1	0.1	2.863	0.004
17.0	79.0	0.36	0.05	-1.01	0.15	2.838	0.004
18.0	81.0	0.40	0.05	-0.92	0.13	2.822	0.003
19.0	81.0	0.43	0.04	-0.8	0.1	2.822	0.003
20.0	82.0	0.45	0.04	-0.7	0.1	2.815	0.003
21.0	85.0	0.48	0.04	-0.74	0.09	2.791	0.003
23.0	87.0	0.52	0.03	-0.65	0.07	2.775	0.003
24.0	88.0	0.54	0.03	-0.61	0.06	2.768	0.003
25.0	89.0	0.56	0.03	-0.58	0.06	2.760	0.003
26.0	90.0	0.57	0.03	-0.55	0.05	2.753	0.003
27.0	91.0	0.59	0.03	-0.53	0.05	2.745	0.003
28.0	92.0	0.60	0.03	-0.51	0.05	2.737	0.003

$$\Delta V = 0.5 \text{ дел}, \Delta T = 0.5^\circ\text{C}.$$

С помощью этих данных, можно построить зависимость $\ln(\frac{p}{p_a})$ от $1/T$. Коэффициент наклона A у этой линейной зависимости равен $-\frac{L}{R}$. Из этого найдем L :



Из графика:

$$A_{\text{нагр}} = -(6.5 \pm 0.2) \text{ КК}, A_{\text{охл}} = -(5.3 \pm 0.2) \text{ КК}.$$

Если учитывать приборную погрешность:

$$\delta A = \sqrt{\delta A^2 + \left(\frac{\langle \Delta \ln(p) \rangle}{\ln(p)_{\max} - \ln(p)_{\min}} \right)^2 + \left(\frac{\langle \Delta 1/T \rangle}{(1/T)_{\max} - (1/T)_{\min}} \right)^2}.$$

$$A_{\text{нагр}} = -(6.5 \pm 0.9) \text{ КК}, A_{\text{охл}} = -(5.3 \pm 0.5) \text{ КК}.$$

Получаются значения теплоемкости:

$$L_{\text{нагр}} = (54 \pm 7) \frac{\text{КДж}}{\text{моль}}, L_{\text{охл}} = (44 \pm 4) \frac{\text{КДж}}{\text{моль}}.$$

Удельные теплоемкости $r = L/\mu$:

$$L_{\text{нагр}} = (3.0 \pm 0.4) \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}, L_{\text{охл}} = (2.4 \pm 2) \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}.$$

Табличное значение $r = 2.3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ Значения сходятся (ну, порядок точно сходится, при охлаждении все хорошо, а нагрев отличается на 30%).

Вывод

Мы научились находить зависимость давления паров жидкости от температуры и находить удельную температуру испарения по этой зависимости через закон Клайперона-Клаузиуса. Полученное значение сходится с табличным не смотря на плохое расположение термопары, хотя, возможно, именно из-за этого при нагреве было отклонение 30%. Возможно, также, что это отклонение вызвано тем, что мы слишком быстро нагревали банку, температура бани была заметно выше температуры банки из-за того, что мы выбрали скороводку для того, чтобы ее (баню) сделать, и площадь омывания водой была слишком маленькая.