

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.4.1

Определение теплоты испарения жидкости

Пилюгин Л. С.
Б02-212
7 марта 2023 г.

1 Аннотация

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

Оборудование: термостат, герметический сосуд, заполненный исследуемой жидкостью, отсчётный микроскоп.

2 Теоритические сведения

Испарение — переход вещества из жидкого в газообразное состояние. При нем с поверхности вылетают молекулы, образуя пар. Вылетая, они преодолевают силы молекулярного сцепления. Также при испарении совершается работа против внешнего давления P , т.к. объем жидкости меньше объема пара. Такой переход совершают только частицы с достаточной энергией, поэтому испарение приводит к охлаждению жидкости. Для сохранения температуры, к жидкости надо подводить тепло. Количество теплоты, необходимое для изотермического испарения одного моля жидкости при внешнем давлении, равном упругости ее насыщенных паров, называется молярной теплотой испарения.

Теплоту испарения можно измерить непосредственно, но так нельзя получить точный результат из-за неконтролируемых потерь тепла. В данной работе используется косвенный метод, основанный на формуле Клапейрона-Клаузиуса:

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

P — давление насыщенного пара при температуре T , L — теплота испарения, V_2 — объем пара, V_1 — объем жидкости. Найдя из опыта dP/dT , T , V_1 и V_2 , можно получить L путем расчета. Величины L , V_1 и V_2 должны относиться к одному количеству вещества (1 моль).

В опыте измерения производятся при давлениях, меньше атмосферного.

Параметры измеряемого вещества (воды):

$$\begin{aligned}T_{\text{кип}} &= 373 \text{ К} \\V_1 &= 18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль} \\V_2 &= 31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль} \\b &= 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль} \\a &= 0,4 \text{ Па} \cdot \text{м}^6/\text{моль}^2\end{aligned}$$

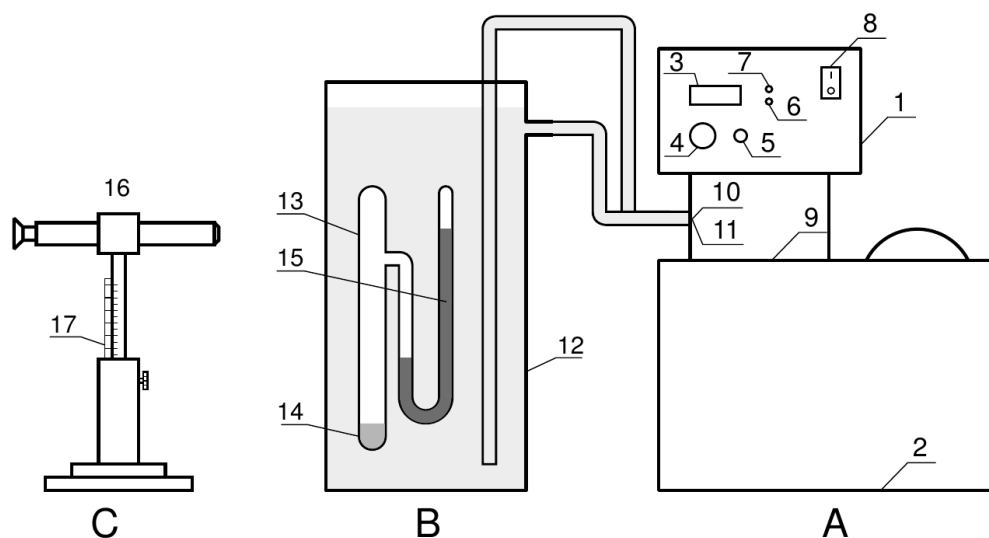
a и b — параметры газа Ван-дер-Ваальса:

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

V_1 очень мало по сравнению с V_2 , поэтому им можно пренебречь. Газ можно описывать идеальным: $PV = RT$. Тогда

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

Температура жидкости измеряется термометром, давление пара определяется манометром, $d \ln P / d(1/T)$ находится из наклона графика в соответствующих координатах.



3 Оборудование

Схема установки изображена на рисунке. Она включает термостат А, экспериментальный прибор В и отсчётный микроскоп С.

Прибор В представляет собой емкость 12, заполненную водой. В нее погрузили запаянный прибор 13 с исследуемой жидкостью 14. Перед заполнением исследуемой жидкостью воздух из запаянного прибора был удален, так что над жидкостью находится ее насыщенный пар. Его давление определяется по ртутному манометру 15, соединенному с емкостью 13. Численная величина давления измеряется по разности показаний отсчётного микроскопа 16, настраиваемого последовательно на нижний и верхний уровни столбика ртути манометра. Показания микроскопа снимаются по шкале 17.

Преимущество метода измерения заключается в том, что при непосредственном методе измерения теплоты испарения опыты нужно проводить при неизменном давлении, и прибор не может быть запаян. При этом невозможно обеспечить такую чистоту и неизменность экспериментальных условий.

Опиманный прибор обладает недостатком: термометр определяет температуру термостата, а не исследуемой жидкости. Эти температуры близки лишь при медленном нагревании. Температуру в калориметре следует менять не быстрее, чем на 1 К в течении 1–3 минут.

4 Результаты измерений

h_2 — высота столба ртути в трубке, соединенной с запаянной жидкостью, h_1 — высота столба ртути в другой трубке. Над трубкой, примыкающей к сосуду с жидкостью, образовался водяной столб высотой $\Delta h = 8,4 \pm 0,0025$ см, который надо учитывать.

Плотность ртути из таблицы $\rho_{\text{Hg}} = 13550 \text{ кг/м}^3$, воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Давление в сосуде находим по формуле

$$P = \rho_{\text{Hg}}g(h_1 - h_2) - \rho g\Delta h$$

Строим графики и находим их наклоны:

$$k_1 = 232 \pm 6 \text{ Па/К}$$

$$k_2 = -4710 \pm 60 \text{ К}$$

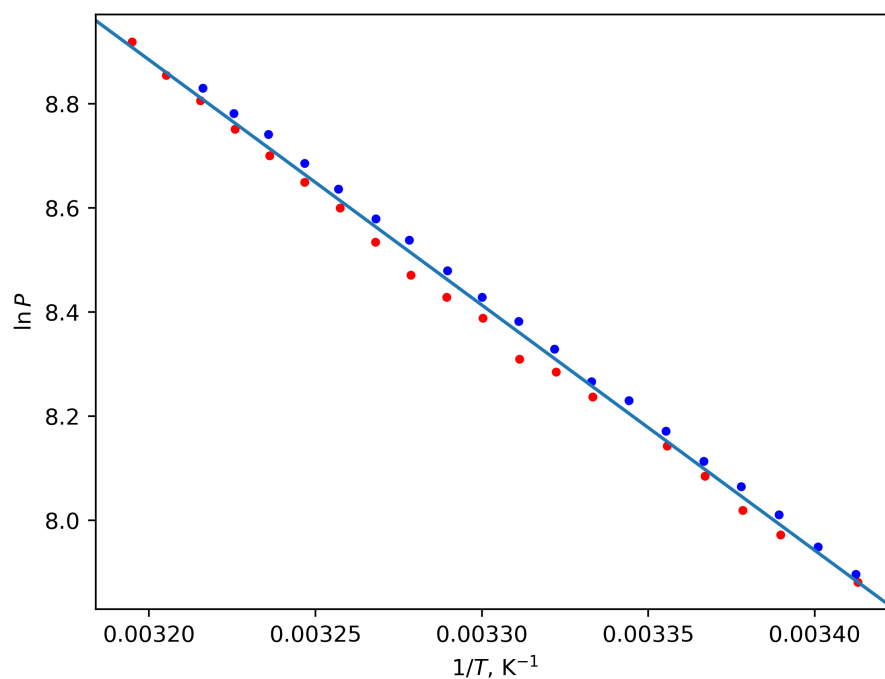
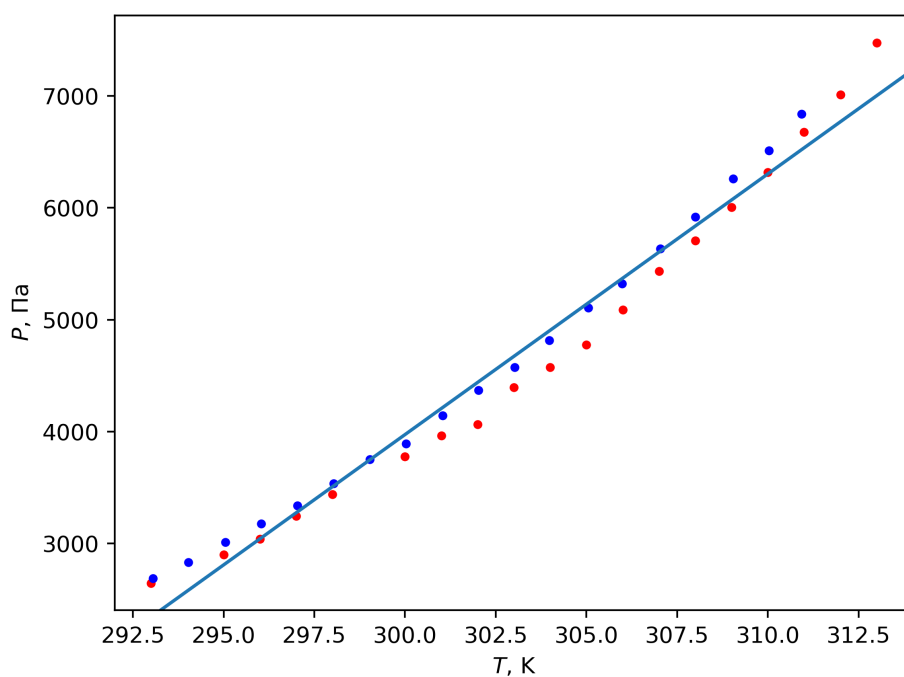
Тогда теплоты испарения:

$T, \pm 0.05 \text{ K}$	$h_1, \pm 0.0025 \text{ cm}$	$h_2, \pm 0.0025 \text{ cm}$
293	5.19	2.58
295	5.3	2.5
296	5.345	2.44
297	5.42	2.36
298	5.5	2.295
299	5.55	2.34
300	5.645	2.185
301	5.71	2.11
302	5.695	2.02
303	5.88	1.955
304	5.94	1.88
305	6.02	1.81
306	6.135	1.69
307	6.27	1.565
308	6.38	1.47
309	6.49	1.355
310	6.61	1.24
311	6.74	1.1
312	6.89	1
313	7.07	0.83
310.93	6.81	1.05
310.03	6.705	1.19
309.04	6.62	1.295
308	6.49	1.42
307.04	6.38	1.525
305.98	6.26	1.64
305.05	6.16	1.7
303.98	6.06	1.82
303.02	5.95	1.89
302.02	5.885	1.98
301.04	5.795	2.06
300.03	5.705	2.16
299.03	5.65	2.21
298.03	5.55	2.27
297.03	5.47	2.34
296.04	5.41	2.4
295.05	5.34	2.455
294.03	5.28	2.53
293.05	5.22	2.58

$$L_1 = \frac{R\bar{T}^2}{\bar{P}} k_1 = 38 \pm 1 \text{ Дж/моль}$$

$$L_2 = -Rk_2 = 39,1 \pm 0,5 \text{ Дж/моль}$$

\bar{T} — среднее значение температуры, \bar{P} — среднее значение давления за время проведения эксперимента.



5 Вывод

Результаты эксперимента согласуются друг с другом и табличным значением. Наиболее точен метод с графиком в нелинейных координатах.