



**Лабораторная работа 2.4.1.
Определение теплоты испарения жидкости.**

Ребрий Лидия Павловна
Б02-307

9 марта 2024 г.

1 Введение

Цель работы: пользуясь формулой Клапейрона-Клаузиуса, по косвенным измерениям получить значение теплоты испарения исследуемой жидкости.

В работе используются: термостат, герметический сосуд, заполненный водой, отсчетный микроскоп.

2 Теоретическая часть

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса

Испарением называется переход вещества из жидкого в газообразное состояние. Оно происходит на свободной поверхности жидкости. При испарении с поверхности вылетают молекулы, образуя над ней пар. Для выхода из жидкости молекулы должны преодолеть силы молекулярного сцепления. Кроме того, при испарении совершается работа против внешнего давления P , поскольку объем жидкости меньше объема пара. Не все молекулы жидкости способны совершить эту работу, а только те из них, которые обладают достаточной кинетической энергией. Поэтому переход части молекул в пар приводит к обеднению жидкости быстрыми молекулами, т. е. к ее охлаждению. Чтобы испарение проходило без изменения температуры, к жидкости нужно подводить тепло. Количество теплоты, необходимое для изотермического испарения одного моля жидкости при внешнем давлении, равном упругости ее насыщенных паров, называется молярной теплотой испарения (парообразования).

Около тройной точки теплота сублимации q_s равна сумме теплоты плавления q_m и испарения q_e , поэтому кривая сублимации идет круче, чем линия испарения: Теплоту парообразования жидкостей можно измерить непосредственно при помощи калориметра. Такой метод, однако, не позволяет получить точных результатов из-за неконтролируемых потерь тепла, которые трудно сделать малыми. В настоящей 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. Величины L , V_2 и V_1 в формуле (1) должны относиться к одному и тому же количеству вещества; мы будем относить их к одному молю.

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

В таблице для ряда жидкостей приведены: температура, при которой давление насыщенных паров равно атмосферному, величины V_2 и V_1 , которые входят в (1), а также константы a и b в уравнении Ван-дер-Ваальса.

Из таблицы видно, что величина V_1 не превышает 0,5% от V_2 . Для нашей точности эксперимента этой величиной можно пренебречь.

Вещество	$T_{\text{кип}}$ К	$V_1,$ 10^{-6} $\frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$	$V_2,$ 10^{-3} $\frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$	$b,$ 10^{-6} $\frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$	a $\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^2}$	a/V_2^2 кПа
Вода	373	18	31	26	0,4	0,42
CCl_4	350	97	29	126	1,95	2,3
Этиловый эфир	307	104	25	137	1,8	2,9
Этиловый спирт	351	58	29	84	1,2	1,4

Обратимся теперь к V_2 , которое в дальнейшем будем обозначать 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 рассмотрения таблицы 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) и разрешая уравнение относительно L , получаем:

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

Эта формула является окончательной.

В нашем эксперименте температура жидкости определяется термометром, давление пара определяется с помощью манометра, а производные dP/dT и $d(\ln P)/d(1/T)$ можно найти из углового коэффициента касательной к графику $P(T)$ или как коэффициент наклона прямой на графике с осями $\ln P$ и $1/T$.

3 Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рисунке 1. Наполненный водой резервуар 1 играет роль термостата. Нагревание термостата производится спиралью 2, подогреваемой

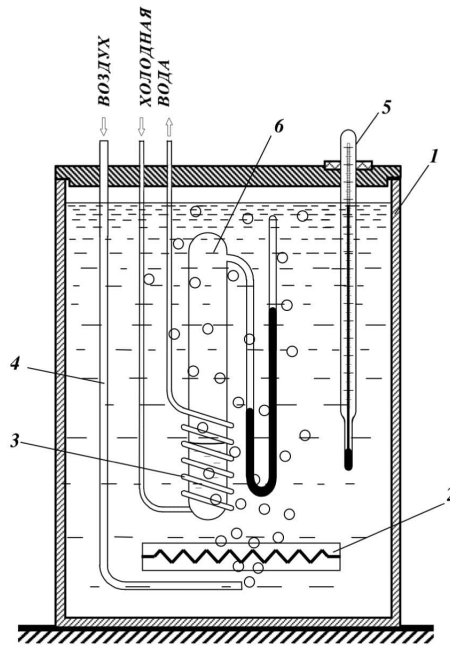


Рис. 1: Схема установки для определения теплоты испарения

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.

4 Экспериментальная часть

Проводя прямые измерения получаем данные, представленные в Таблицах 1 и 2.

Здесь и далее плотность ртути $\rho_q = 13600 \text{ кг/м}^3$. Давление рассчитывается по формуле $P = 2\rho g \Delta h$, где $\Delta h = h_2 - h_1$ – измеренная разность высот столбов ртути.

На основе полученных значения построим графики $P(T)$ и линеаризованный $\ln(P)(\frac{1}{T})$.

Извлекая из $\ln(P)(\frac{1}{T})$ угловой коэффициент и пользуясь соотношением (4), находим теплоту парообразования:

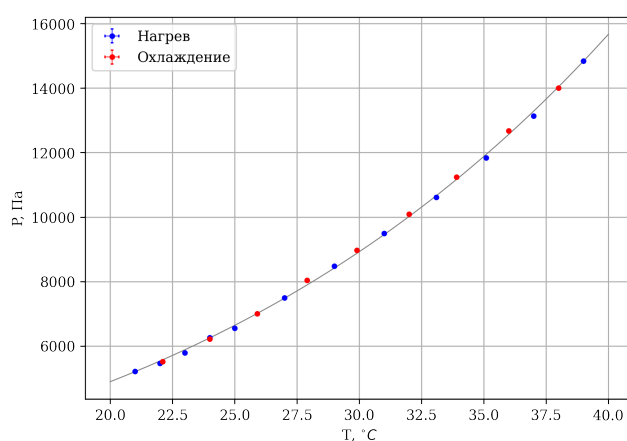
$$L = (44.7 \pm 0.3) \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \quad \epsilon = 0.6\%$$

Таблица 1
Данные при нагреве

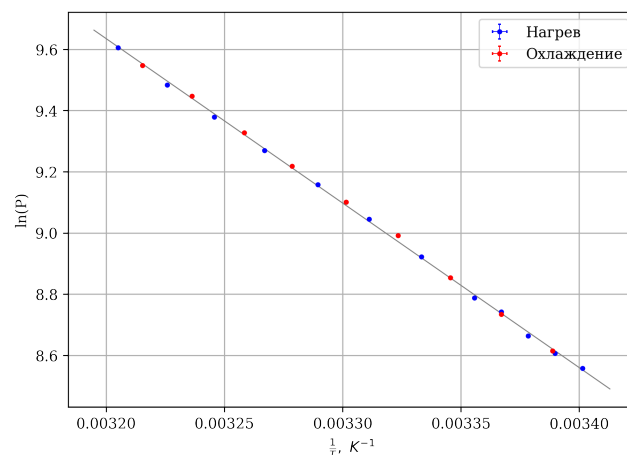
$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta h, \text{мм}$
21	39.04
22	40.97
23	43.38
24	46.92
25	49.11
27	56.18
29	63.57
31	71.13
33.1	79.54
35.1	88.74
37	98.48
39	111.26

Таблица 2
Данные при охлаждении

$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta h, \text{мм}$
38	104.98
36	95.01
33.9	84.25
32	75.59
29.9	67.23
27.9	60.26
25.9	52.49
24	46.56
22.1	41.34



Экспоненциальный вид зависимости $P(T)$



Линейризованный график $\ln(P)(\frac{1}{T})$

Рис. 2: Давление насыщенных паров от температуры

5 Выводы

Полученное в эксперименте значение удельной теплоты парообразования сильно отличается от табличного значения для этилового спирта $L_0 = 38.6 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$.

Точки на графике для измерений при нагреве и охлаждении очень близки, что говорит о достаточном времени ожидания теплового равновесия между исследуемым спиртом и термостатом.

Точность полученного значения в 0.6 % также свидетельствует об аккуратности полученных данных.

Полученное большое отклонение от табличного значения может быть предположительно объяснено тем, что исследуемая в эксперименте жидкость не этиловый спирт, а какой-либо другой или его смесь.