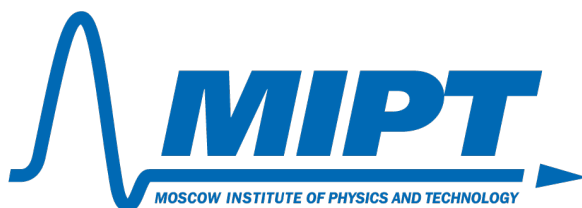


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ



Лабораторная работа № 2.4.1
Определение теплоты испарения жидкости

Баранов Даниил
Группа Б02-103

Долгопрудный, 2022 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, отсчетный микроскоп.

1 Теоретическое введение

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.

Из таблицы (4) видно, что величина V_1 не превышает 0,5% от V_2 . Для нашей точности эксперимента этой величиной можно пренебречь.

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 (4) 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

$$P = \frac{RT}{V} \quad (3)$$

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 $1/T$.

2 Экспериментальная установка

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

3 Результаты измерений

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.

Погрешность расчёта давления составила $\varepsilon_P \approx 3\%$. Погрешность же измерения температуры составляет не более 1%.

Графики зависимости давления от температуры представлены на Рис.2 и Рис.3.

Из графика 2 хорошо видно, что зависимость не является линейной. По наклону построенных графиком можем оценить величину L и погрешность её определения. При нагревании она составила $L_H = 42 \pm 1,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$. При охлаждении теплота испарения составила $L_O = 41 \pm 1,7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$. Погрешности взяты из ошибок в определении коэффициентов фугирующих прямых с помощью МНК. Заметим, что полученные результаты совпадают в пределах погрешности с теоретическим значением $L_O = 40,7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$.

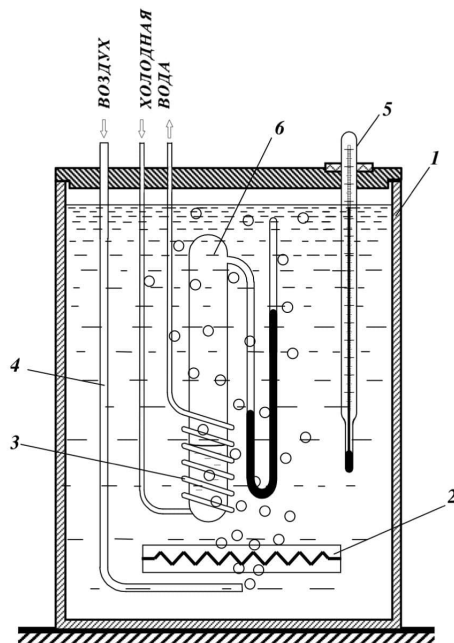


Рис. 1: Схема установки для определения теплоты испарения

4 Приложение

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

$T_{\text{init}}, ^\circ\text{C}$	$h_1, \text{мм}$	$h_2, \text{мм}$	$\delta h, \text{мм}$	$P_{\text{init}}, \text{Па}$
21,3	72,6	93,5	20,9	2788

Таблица 1: Начальные измерения

$T, ^\circ C$	$\Delta h,$	$P, \text{Па}$
24,0	22,7	3087
27,0	26,7	3631
30,0	31,5	4284
33,0	36,5	4964
36,0	43,3	5889
39,0	50,3	6841
42,0	58,5	7956
45,0	68,9	9370
48,0	79,1	10758
50,0	88,9	12090

Таблица 2: Измерения при нагреве

$T, ^\circ C$	$\Delta h,$	$P, \text{Па}$
45,9	74,1	10078
43,0	63,9	8690
40,0	54,9	7466
37,0	46,9	6378
34,0	40,3	5481
31,0	34,3	4665
28,0	28,9	3930
25,0	24,3	3305

Таблица 3: Измерения при охлаждении

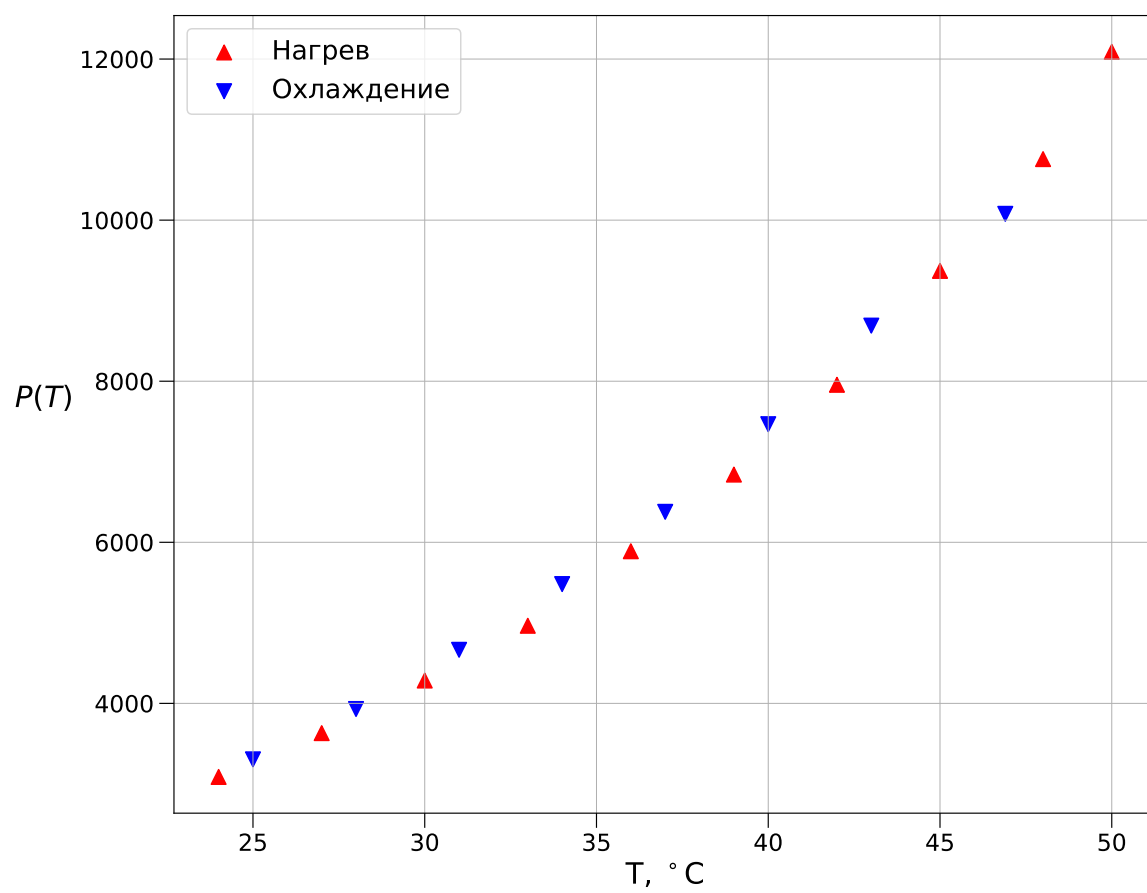


Рис. 2: Зависимость $P(T)$

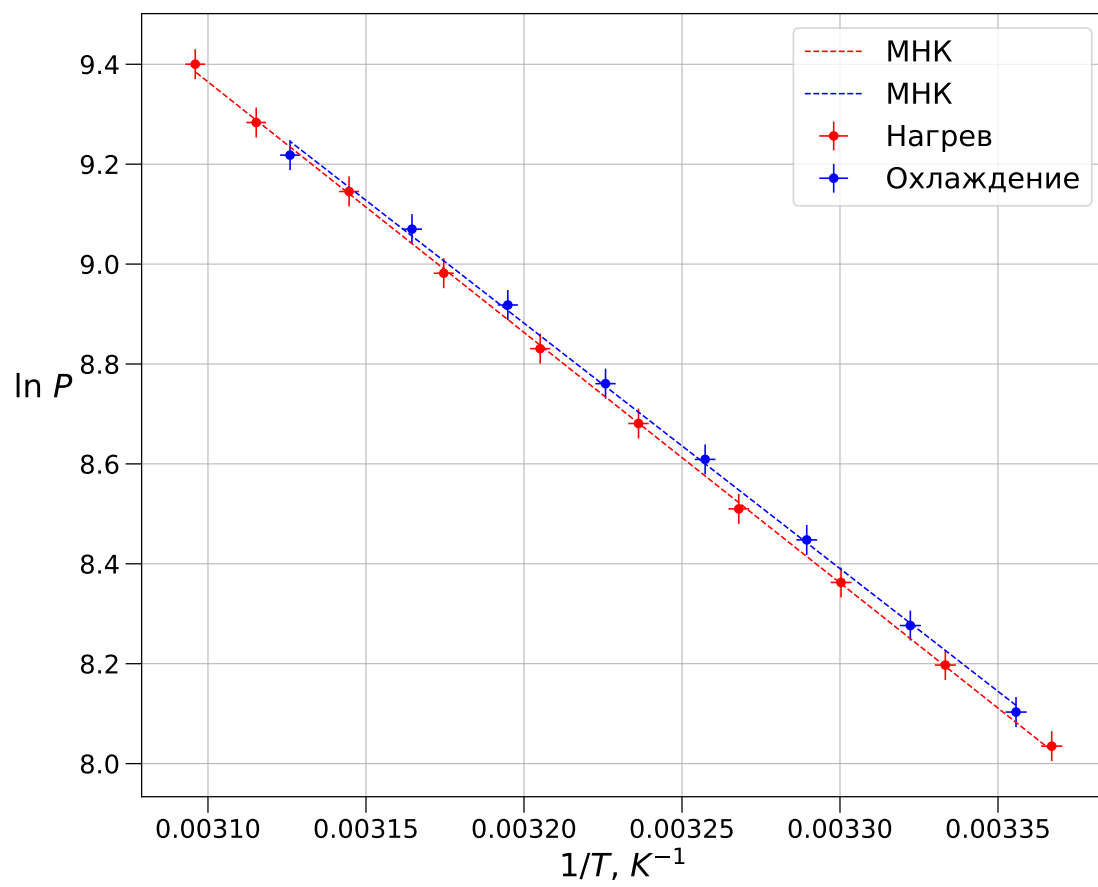


Рис. 3: Зависимость $\ln P$ от $1/T$