

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА ФИЗИКИ И ИССЛЕДОВАНИЙ им. ЛАНДАУ

Лабораторная работа № 2.4.1
Определение теплоты испарения жидкости

Плотникова Анастасия Александровна
Группа Б02-406

Долгопрудный, 2025 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 Теоретическая справка

Испарение — переход вещества из жидкого в газообразное состояние на свободной поверхности жидкости.

Для выхода из жидкости молекула должны совершить работу против сил молекулярного сцепления, внешнего давления, для чего должны обладать достаточной кинетической энергией. Переход части быстрых молекул в пар сопровождается потерями энергии, следовательно, и охлаждением жидкости.

Молярная теплота испарения (парообразования) — количество теплоты, необходимое для изотермического испарения одного моля жидкости при внешнем давлении, равном упругости ее насыщенных паров.

В настоящей работе для определения теплоты испарения применен косвенный метод, основанный на формуле Клапейрона-Клаузиуса:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)} \quad (1)$$

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.

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

Таблица 1: Табличные данные

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.

Измерения проводятся при давлениях ниже атмосферного.

Из табличных данных видно, что V_1 не превосходит 0.5% от V_2 .

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 (1) 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.

2 Экспериментальная установка

Схема установки изображена на рисунке (1).

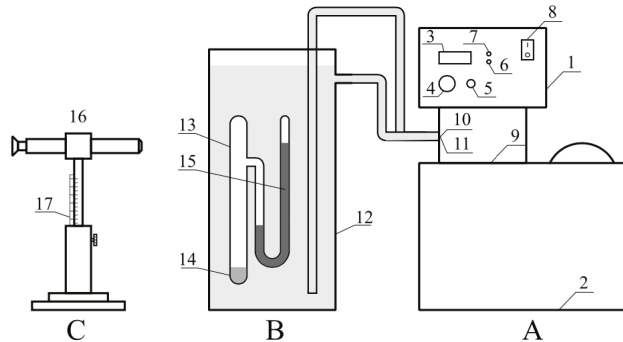


Рис. 1: Схема установки для определения теплоты испарения

12. Емкость, заполненная водой.
13. Запаянный прибор с исследуемой жидкостью (14). Перед заполнением исследуемой жидкостью воздух из запаянного прибора был удалён, так что над жидкостью находится только её насыщенный пар.
14. Исследуемая жидкость.
15. Ртутный манометр, соединённый с ёмкостью (13).
16. Отсчётного микроскопа, настраиваемого последовательно на нижний и верхний уровни столбика ртути манометра.
17. Штангенциркуль.

В эксперименте T и P определяются термостатом и разницей высот ртутных столбов, соответственно. Производные $\frac{dP}{dT}$ и $\frac{d(\ln P)}{d(\frac{1}{T})}$ можно найти из углового коэффициента касательной к графику $P(T)$ или как коэффициент наклона прямой на графике с осями $\ln P$ и $\frac{1}{T}$.

3 Ход эксперимента

1. При начальных условиях измерим разность уровней в ртутном U-образном манометре три раза с помощью микроскопа. Для этого на одном из менисков установим значение нуля, и измерим модуль значения второго мениска. С помощью термостата измерим температуру до и после начала этих трёх измерений. Полученные значения занесём в таблицу (2).
2. Включим термостат. Будем подогревать воду в калориметре, повышая температуру с 20°C до 40°C. Измерим температуру и разницу уровней менисков аналогичным образом. Результаты занесём в таблицу (??).
3. Рассчитаем среднюю температуру, среднюю разницу уровня ртути, давление, а также их погрешности. Построим графики в координатах T , P и в координатах $1/T$, $\ln P$.
4. Вычислим L , пользуясь формулой (4) и данными, полученными сначала из одного, а потом из другого графика. Сравним результаты, оценим ошибку измерений.

4 Результаты измерений

$$\rho_{Hg} = 13600 \text{ кг/м}^3$$

$$P = 2\rho g \Delta h, \text{ где } \Delta h = h_2 - h_1 \text{ — разность высот столбов ртути}$$

Графики зависимости давления от температуры представлены на Рис.2 и Рис.3. Из графика (2) хорошо видно, что зависимость не линейная.

$T_0^1, ^\circ\text{C}$	$T_0^2, ^\circ\text{C}$	$\Delta h_1, \text{ мм}$	$\Delta h_2, \text{ мм}$	$\Delta h_3, \text{ мм}$	$\Delta h, \text{ мм}$	$dh, \text{ мм}$	$P_0, \text{ Па}$
18.67	18.79	18.32	17.03	16.95	17.43	0.6	4651

Таблица 2: Начальные измерения

$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$dT, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_T, \%$	$h_1, \text{ мм}$	$h_2, \text{ мм}$	$h_3, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$	$dh, \text{ мм}$	$\varepsilon_h, \%$
20.09	20.00	20.05	0.05	0.22	16.17	17.41	16.82	16.80	0.40	2.5
21.00	21.01	21.00	0.01	0.02	18.20	18.60	19.00	18.60	0.30	1.4
22.07	22.04	22.06	0.01	0.07	19.75	19.66	19.33	19.58	0.20	0.9
23.02	23.04	23.03	0.01	0.04	21.26	21.28	21.35	21.30	0.04	0.2
23.99	24.01	24.00	0.01	0.04	22.92	22.53	23.18	22.88	0.20	1.0
25.02	25.03	25.03	0.01	0.02	24.64	24.40	24.42	24.49	0.10	0.4
25.99	26.01	26.00	0.01	0.04	25.45	25.82	25.95	25.74	0.20	0.8
27.00	27.00	27.00	0.00	0.00	27.79	27.30	27.06	27.38	0.30	1.0
28.04	27.99	28.02	0.03	0.09	28.97	28.79	28.80	28.85	0.08	0.3
29.01	29.01	29.01	0.00	0.00	30.82	30.65	30.68	30.72	0.07	0.2

Таблица 3: Измерения при нагреве, их погрешности

5 Вывод

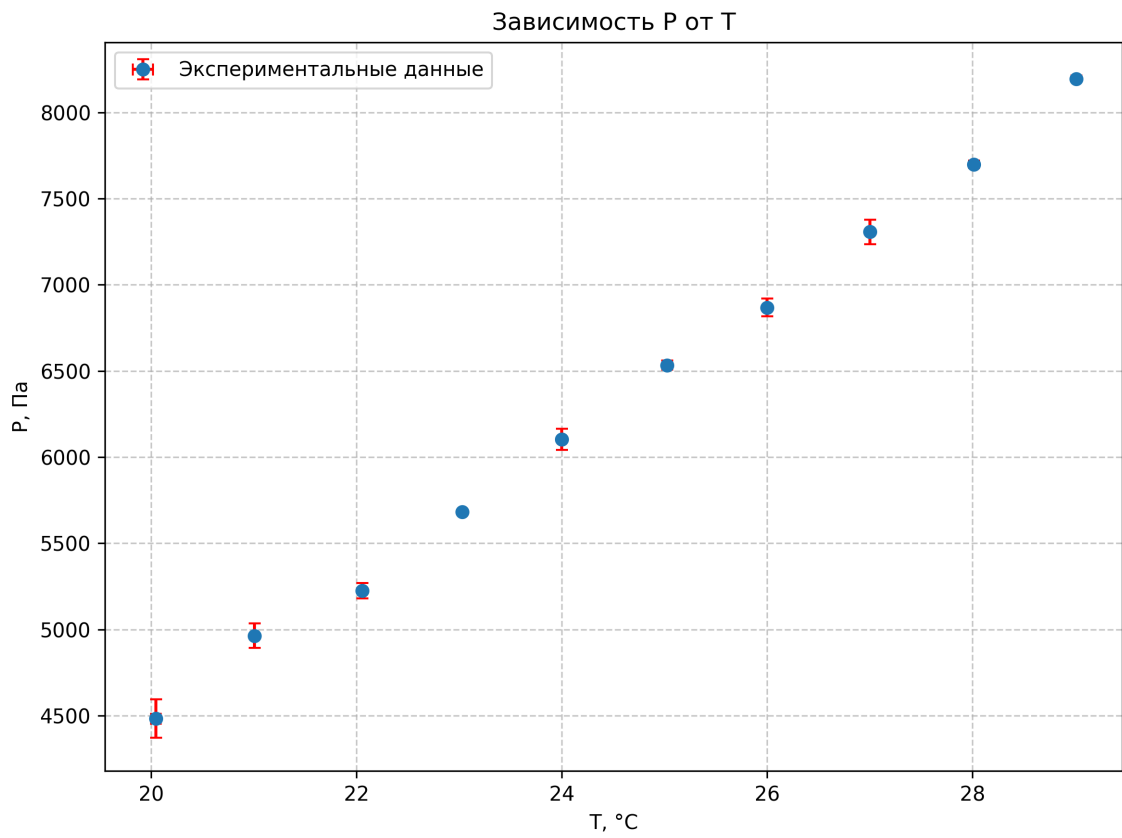


Рис. 2: График зависимости $P(T)$

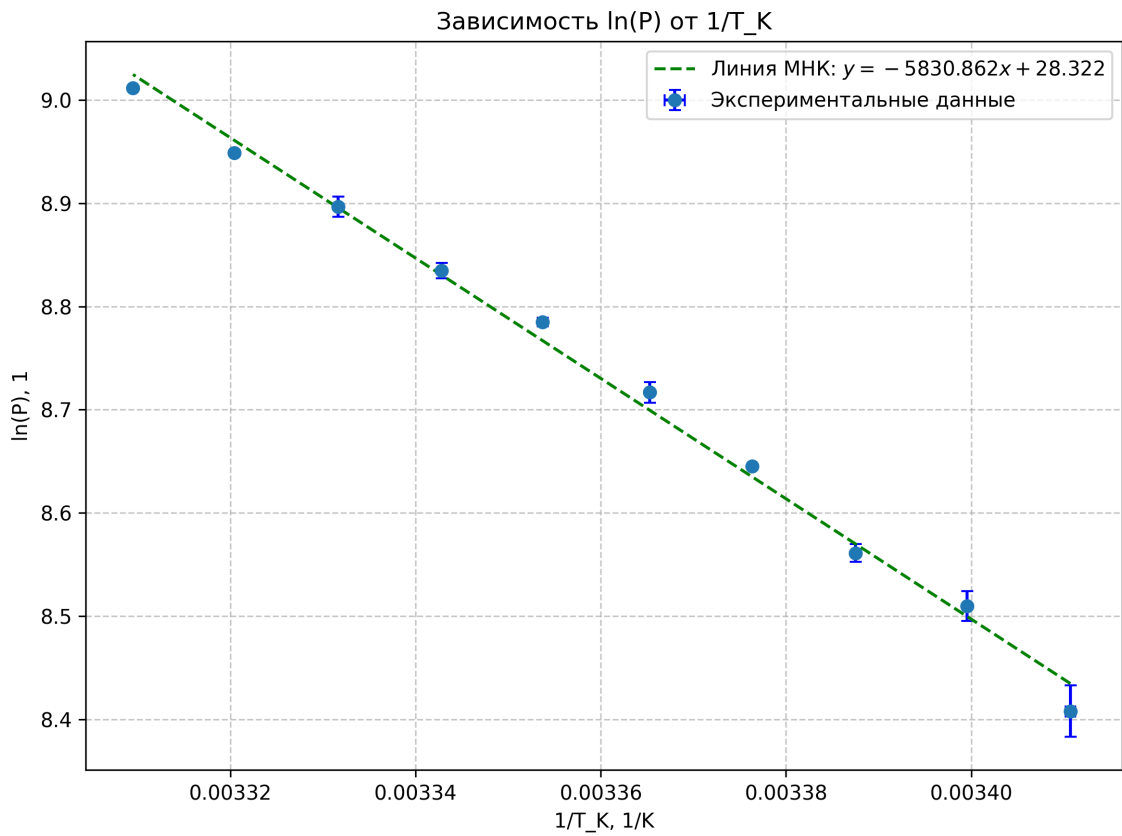


Рис. 3: График зависимости $\ln P$ от $1/T_K$

P , Па	dP , Па	T , °C	dT , °C	$\ln P$	$1/T$, K ⁻¹
4482	110	20.05	0.05	8.41	0.00341
4963	70	21.00	0.01	8.51	0.00339
5224	40	22.06	0.01	8.56	0.00337
5682	9	23.03	0.01	8.64	0.00335
6104	60	24.00	0.01	8.72	0.00333
6533	30	25.03	0.01	8.78	0.00331
6868	50	26.00	0.01	8.84	0.00329
7306	70	27.00	0.00	8.90	0.00327
7698	20	28.02	0.03	8.95	0.00325
8196	20	29.01	0.00	9.01	0.00323

Таблица 4: Таблица данных P , dP , T , dT и вычисленных значений $\ln P$ и $1/T$