

# Отчёт о выполнении лабораторной работы

## 2.4.1

### Определение теплоты испарения жидкости

6.02.2023

Сулимов Марк Дмитриевич Б02-202

#### 1 Аннотация

Работа посвящена определению теплоты испарения спирта. Для этого реализуется косвенный метод измерений, использующий уравнение Клапейрона - Клаузиуса. В ходе работы было получено значение  $L_{\text{нагр}} = 43.69 \pm 1.37 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ . Оценено отклонение от результатов, полученных в других работах [1].

#### 2 Введение

Теплота парообразования - количество теплоты, которое необходимо подвести одному молу жидкости для его изотермического испарения при внешнем давлении равном давлению ее насыщенных паров [1].

Несмотря на то, что теплоту парообразования можно непосредственно измерить с помощью калориметра, этот способ имеет ряд существенных недостатков. Такой опыт должен проводиться при постоянном давлении, следовательно, калориметр не может быть запаян. Однако при этом тяжело будет добиться контролируемых потерь тепла, которые можно было бы компенсировать.

Описанный же в работе метод не требует постоянства давления, температуры или выполнения каких-то других специальных условий.

#### 3 Методика измерений

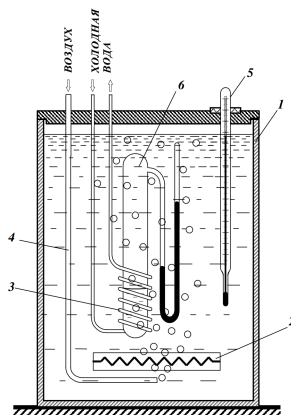


Рис. 1: Схема установки: 1 - резервуар с водой 2 - нагревающий элемент 3 - труба с холодной водой для охлаждения исследуемой жидкости 4 - трубка с воздухом для перемешивания жидкости 5 - термометр 6 - запаянная колба с исследуемой жидкостью и подсоединенным манометром - объем жидкости.

Установка показанная на рис.1 состоит из резервуара наполненного водой, контролируемой температуры, в резервуаре находится запаянная колба с исследуемой жидкостью (вода), давление насыщенных паров которой, измеряется с помощью термометра.

Используя закон Клапейрона - Клаузиуса, выведенный, например, в [2], получим формулу для теплоты испарения

$$L = \frac{dP}{dT} \cdot T(V_{\text{пара}} - V_{\text{жидкости}}),$$

где  $P$  - давление,  $T$  - температура,  $V_{\text{пара}}$  - объем пара,  $V_{\text{жидкости}}$

Считая насыщенный пар идеальным газом, а объем пара много большим объема жидкости получим

$$L = -R \frac{d(\ln P)}{d(\frac{1}{T})},$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная. Если нормировать температуру и давление на некоторые известные  $P_0, T_0$  (например данные при первом измерении), окончательно получаем:

$$L = -RT_0 \frac{d(\ln \frac{P}{P_0})}{d(\frac{T_0}{T})},$$

Измерения проводились в два этапа: сначала при повышающейся температуре, затем при понижающейся. Данные, полученные в ходе эксперимента вы можете найти в приложении А.

Были построены графики зависимости  $\ln \frac{P}{P_0}$  от  $\frac{T_0}{T}$  они отражены на рис.2 и рис.3. Погрешность измерения давления оказалась много больше погрешности измерения температуры, по этому на графике указаны только вертикальные части крестов погрешности. Аппроксимация проводилась в программе SicDAVis по методу хи-квадрат.

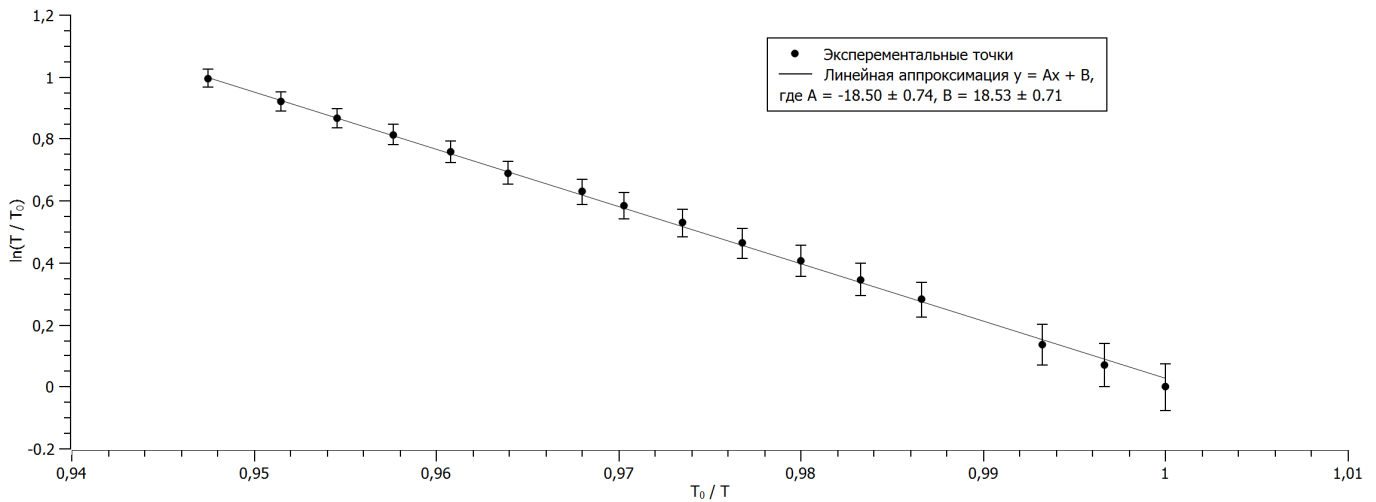


Рис. 2: Зависимость  $\ln \frac{P}{P_0}$  от  $\frac{T_0}{T}$  при нагревании жидкости

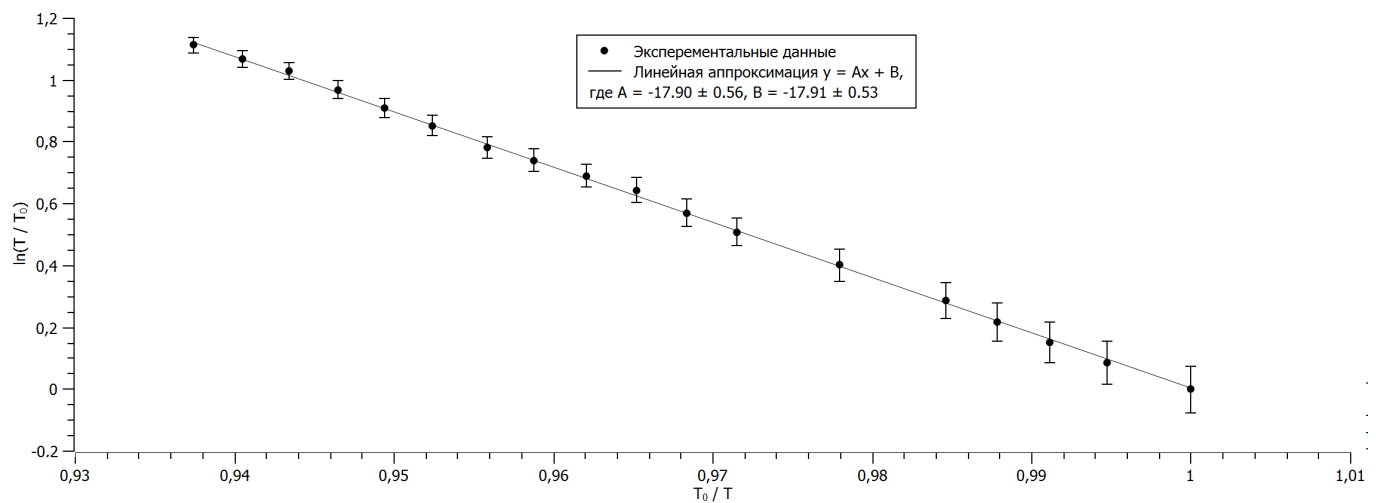


Рис. 3: Зависимость  $\ln \frac{P}{P_0}$  от  $\frac{T_0}{T}$  при охлаждении жидкости

Отношение дифференциалов величин равно угловому коэффициенту прямой. Из первого графика находим  $L_{\text{нагр}} = 43.69 \pm 1.37 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$  при  $\chi^2 \approx 0.8$ .  $L_{\text{охл}} = 45.19 \pm 1.81 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$  при  $\chi^2 \approx 0.6$ .

## 4 Обсуждение результатов

Заметим, что линейный вид зависимости давления от температуры в выбранных координатах согласуется с экспоненциальной зависимостью давления от величины обратной температуре.

Как и ожидалось, теплота испарения отличается при нагревании и охлаждении, это происходит по ряду причин: действие капиллярных эффектов, неодинаковый теплообмен в каждом из случаев. При этом в процессе нагревания  $\chi^2$  оказался больше, по этому выберем его в качестве результата. Заметим, что значение  $L_{\text{нагр}} = 43.69 \pm 1.37 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$  ближе к указанному в [1].

Для увеличения точности работы достаточного увеличить время релаксация системы и радиус трубки манометра, что бы капиллярные эффекты меньше сказывались на точности измерения давления.

## 5 Выводы

Приведен метод измерения теплоты парообразования, измерено значение теплоты парообразования воды  $L_{\text{нагр}} = 43.69 \pm 1.37 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$ ,  $\epsilon = 4\%$  - относительная погрешность.

## Список литературы

- [1] Д. Гладун А., А. Александров Д., Игошин Ф. Ф. и др. Лабораторный практикум по общей физике: Т. 1. Термодинамика и молекулярная физика. М.: МФТИ, 2012. 292 с.
- [2] Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5-ти томах. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Физматлит, 2020. 560 с.

## А Экспериментальные данные

В приложении приведены таблицы и измеренными значениями.

Начальная разница уровней  $\Delta h = 52$  мм давление определялось как

$$P = \rho_{\text{ртути}} \cdot g \cdot (\Delta h + 2(h - h_0)),$$

где  $h - h_0$  - разность текущего измерения высоты и первого измерения. Погрешность измерения высоты столба ртути оценим в 3 мм.

Ниже приведена таблица с измеренными данным

P (Па)	T (К)	$\frac{T_0}{T}$	$\ln(\frac{P}{P_0})$	$\sigma_{\ln}$
5239,705	293,760	1,000	0,000	0,076
5720,753	295,330	0,995	0,088	0,070
6106,124	296,380	0,991	0,153	0,065
6510,098	297,380	0,988	0,217	0,061
6977,858	298,360	0,985	0,286	0,057
6464,917	299,360	0,981	0,210	0,062
7830,987	300,380	0,978	0,402	0,051
8266,854	300,360	0,978	0,456	0,048
8721,325	302,390	0,971	0,510	0,046
9279,448	303,350	0,968	0,572	0,043
9975,772	304,350	0,965	0,644	0,040
10456,820	305,340	0,962	0,691	0,038
10996,338	306,390	0,959	0,741	0,036
11442,836	307,320	0,956	0,781	0,035
12295,966	308,450	0,952	0,853	0,032
13032,156	309,410	0,949	0,911	0,031
13805,554	310,370	0,946	0,969	0,029
14650,710	311,370	0,943	1,028	0,027
15267,302	312,350	0,940	1,069	0,026
15950,338	313,360	0,937	1,113	0,025

Таблица 1: Данные, полученные при нагревании

P (Па)	T (К)	$\frac{T_0}{T}$	$\ln(\frac{P}{P_0})$	$\sigma_{\ln}$
14302,548	310,220	0,947	0,997	0,028
13260,720	308,930	0,951	0,921	0,030
12569,711	307,930	0,955	0,867	0,032
11918,569	306,930	0,958	0,814	0,033
11264,768	305,930	0,961	0,758	0,035
10536,552	304,930	0,964	0,691	0,038
9909,328	303,660	0,968	0,630	0,040
9470,804	302,930	0,970	0,584	0,042
8976,467	301,930	0,974	0,531	0,044
8397,083	300,930	0,977	0,464	0,047
7934,639	299,930	0,980	0,407	0,050
7466,879	298,930	0,983	0,347	0,053
6999,119	297,930	0,987	0,282	0,057
6985,831	296,750	0,990	0,280	0,057
6042,338	295,930	0,993	0,135	0,066
5667,599	294,930	0,997	0,071	0,070
5279,571	293,930	1,000	0,000	0,076

Таблица 2: Данные, полученные при охлаждении