

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

Лабораторная работа 2.4.1

Определение теплоты испарения жидкости

Выполнил студент группы Б02-202
Хомченков Александр Павлович

Долгопрудный, 2023 г.

Аннотация

В работе была исследована молярная теплота испарения воды при температуре от 20°C до 30°C . Для проведения измерений был использован косвенный метод, основанный на применении формулы Клапейрона-Клаузиуса. Полученные результаты позволили определить теплоту парообразования воды с точностью в $\varepsilon = 1,5\%$.

Введение

Количество теплоты, необходимое для изотермического испарения одного моля жидкости при внешнем давлении, равном упругости ее насыщенных паров, называется молярной теплотой испарения (парообразования). Её необходимо знать, чтобы использовать жидкость в тепловых процессах, например, в холодильных установках. 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.

Методика

Удельная теплота парообразования была найдена по формуле, полученной в источнике [1]

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

Здесь P – давление насыщенного пара жидкости при температуре T , T – абсолютная температура жидкости и пара, L – теплота испарения жидкости. В нашем опыте температура жидкости измеряется термометром, давление пара определяется при помощи манометра, а производная $d(\ln P)/d(1/T)$ находится графически как угловой коэффициент касательной к кривой, у которой по оси абсцисс отложено $1/T$, а по оси ординат $\ln P$.

Схема использованной установки изображена на рисунке 1. Установка включает термостат А, экспериментальный прибор В и отсчетный микроскоп С.

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

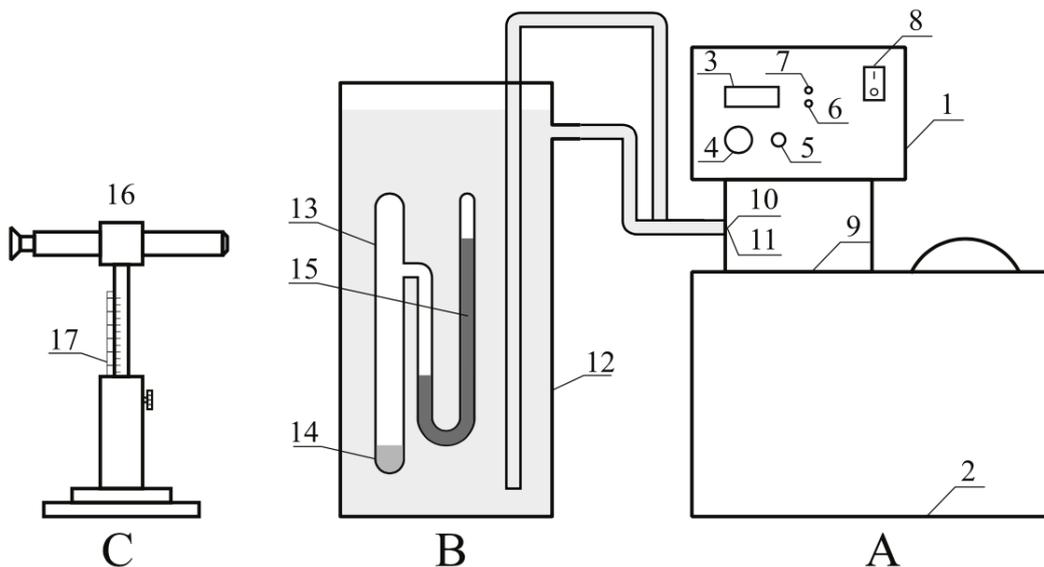


Рис. 1: Схема установки

Результаты и их обсуждение

Для определения теплоты парообразования были измерены значения давления насыщенного пара при различных значениях температуры при охлаждении и при нагревании жидкости. Результаты измерений представлены в приложении. По этим данным был построен график линеаризованной зависимости $\ln(P)$ от $(1/T)$, представленный на рис. 2.

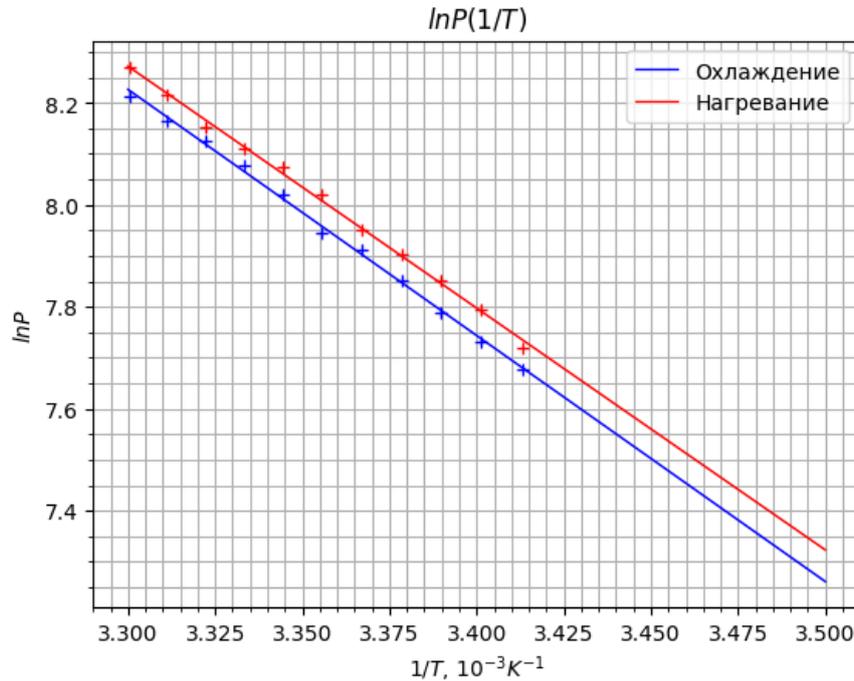


Рис. 2: Зависимость $\ln P$ от $1/T$

С помощью метода наименьших квадратов вычислим значение коэффициента $\frac{d(\ln P)}{d(1/T)}$. Таким образом, получаем

$$\left(\frac{d(\ln P)}{d(1/T)}\right)_{\text{нагр}} = (-4743 \pm 69) \text{ К},$$

$$\left(\frac{d(\ln P)}{d(1/T)}\right)_{\text{охл}} = (-4826 \pm 67) \text{ К}.$$

По формуле (1) вычисляем теплоту парообразования. Получаем:

$$L_{\text{нагр}} = (39,4 \pm 0,6) \frac{\text{кДж}}{\text{моль}},$$

$$L_{\text{охл}} = (40,1 \pm 0,6) \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Значение теплоты испарения, полученное при нагревании, $L = (39,4 \pm 0,6) \text{ кДж/моль} \cdot \text{К}$. Значение, полученное при охлаждении, $L = (40,1 \pm 0,6) \text{ кДж/моль} \cdot \text{К}$.

Вывод

Значение, полученное при охлаждении, $L = (40,1 \pm 0,6) \text{ кДж/моль} \cdot \text{К}$, совпадает со значением, приведённым в [1]: $L = 40,7 \text{ кДж/моль} \cdot \text{К}$, относительная погрешность измерений составляет примерно $\varepsilon = 1,5 \%$.

Зависимость $\ln(P)$ от $(1/T)$ имеет линейный характер, что подтверждает экспоненциальный характер зависимости $P(T)$ и правильность уравнения Клапейрона-Клаузиуса. Различие теплоты испарения при нагревании и охлаждении может быть связано с капиллярными эффектами и разным теплообменом в этих процессах.

Список литературы

- [1] Лабораторный практикум по общей физике: учебное пособие. В 3 томах. Том 1. Термодинамика и молекулярная физика; Под ред. А. Д. Гладуна, 2012. — 292 с.
- [2] Д.В. Сивухин. Общий курс физики. В 5-ти томах. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика Физматлит, 2006. — 544 с.

1 Приложение 1

| Охлаждение | | Нагрев | |
|------------|----------|---------|----------|
| T , К | P , Па | T , К | P , Па |
| 293 | 2160,5 | 293 | 2253,5 |
| 294 | 2280,1 | 294 | 2426,3 |
| 295 | 2413 | 295 | 2572,5 |
| 296 | 2572,5 | 296 | 2705,4 |
| 297 | 2731,9 | 297 | 2838,2 |
| 298 | 2825 | 298 | 3037,6 |
| 299 | 3037,6 | 299 | 3210,3 |
| 300 | 3223,6 | 300 | 3329,9 |
| 301 | 3383,1 | 301 | 3476,1 |
| 302 | 3516 | 302 | 3702 |
| 303 | 3688,7 | 303 | 3901,3 |

Таблица 1: Полученные данные, T - температура пара, P - давление пара