

Лабораторная работа 2.4.1

"Определение теплоты испарения жидкости"

Белов Михаил Б01-302

25 апреля 2024 г.

Аннотация:

Цель лабораторной работы: 1) измерение давления насыщенного пара жидкости при разной температуре; 2) вычисление по полученным данным теплоты испарения с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса.

Теоретические сведения:

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 (??) 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 (??) 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

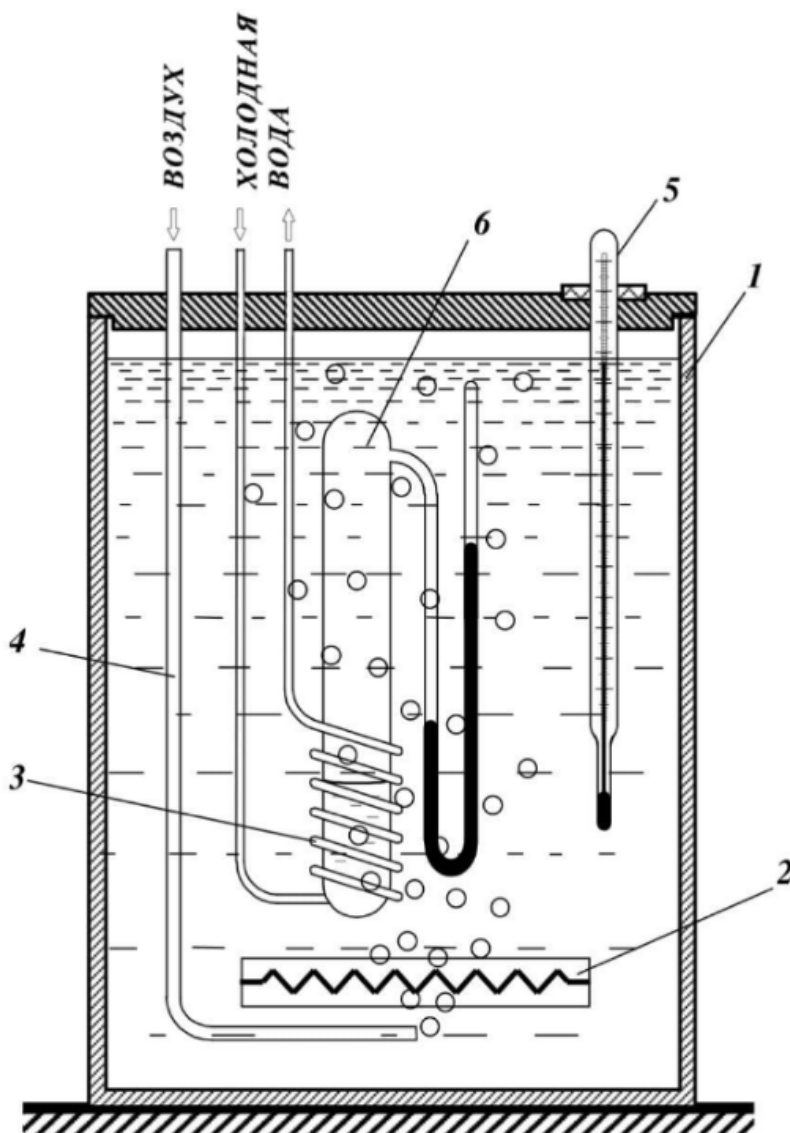
$$P = \frac{RT}{V} \quad (3)$$

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 $1/T$.



Результаты измерений:

Для температур в промежутке от 24 до 40 градусов измерим разность высоты столбиков ртути в U-образной трубке:

| T, C° | Δh , mm | T, C° | Δh , mm |
|-------|-----------------|-------|-----------------|
| 24.25 | 17.2 | 40 | 49.8 |
| 26 | 19.7 | 37.95 | 46.3 |
| 28 | 23.1 | 36.03 | 42.3 |
| 30 | 26.5 | 34 | 38.1 |
| 32 | 30.6 | 32 | 33.5 |
| 34.04 | 35 | 30 | 29.3 |
| 36 | 39.8 | 27.78 | 25.6 |
| 38 | 44.2 | 25.94 | 22.8 |
| 40 | 49.8 | 23.94 | 19.4 |

С погрешностями:

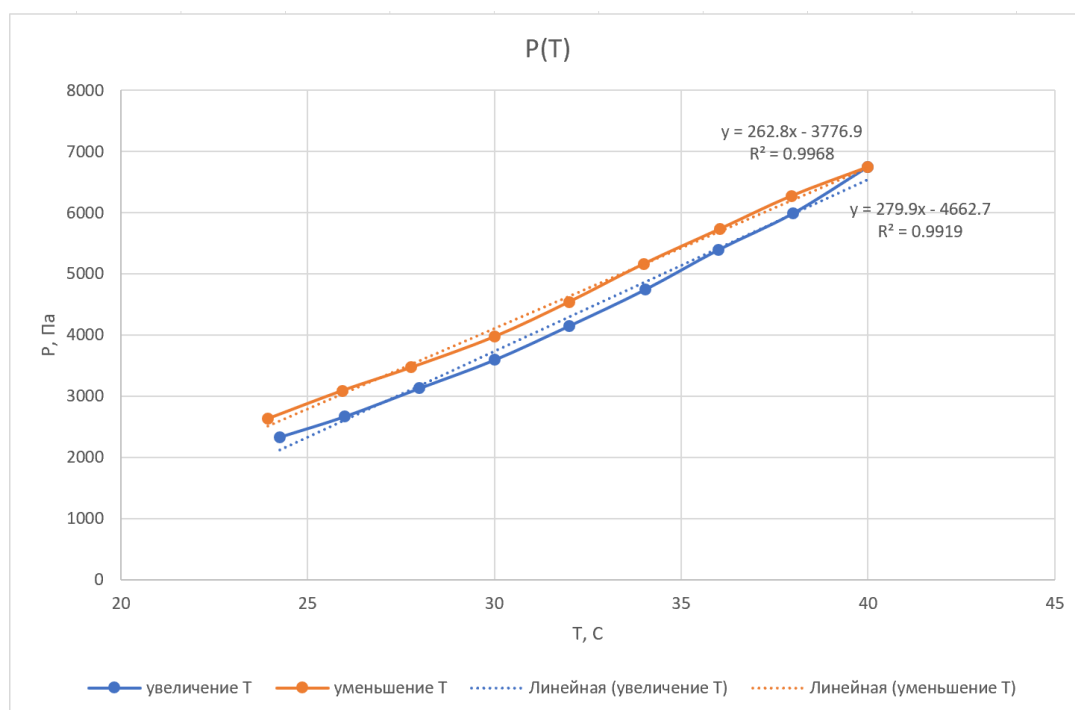
$$\delta_T = 0.01 \text{ C}^\circ$$

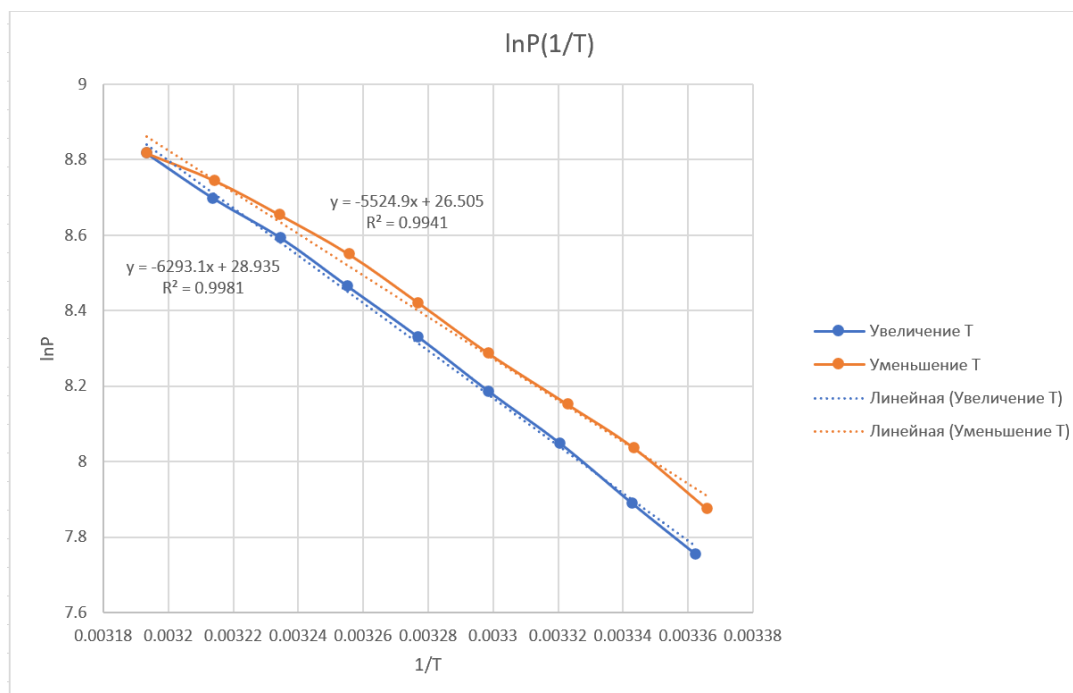
$$\delta_h = 0.1 \text{ mm}$$

По эти данным вычислим величину давления P:

$$P = \rho g \Delta h$$

Построим графики зависимостей $P(T)$ и $\ln P(\frac{1}{T})$:





Затем при помощи МНК оценим угловые коэффициенты наклона графиков:

| k | P(T) | $\ln P(\frac{1}{T})$ |
|------|-------|----------------------|
| incr | 279.9 | -6293.1 |
| decr | 262.8 | -5924.9 |

И их погрешность:

| δk | P(T) | $\ln P(\frac{1}{T})$ |
|------------|------|----------------------|
| incr | 9.6 | 164.2 |
| decr | 5.6 | 121.3 |

Отсюда по формуле (4) рассчитаем величину L и её погрешность:

| L | P(T) | $\ln P(1/T)$ |
|------|---------|--------------|
| incr | 47720.3 | 45995.6 |
| decr | 43336.4 | 45211.9 |

| δL | P(T) | $\ln P(1/T)$ |
|------------|--------|--------------|
| incr | 1636.7 | 694.1 |
| decr | 923.4 | 171.4 |

Обсуждение результатов и вывод:

Таким образом мы исследовали зависимость давления насыщенного пара от температуры, а затем по этой зависимости нашли теплоты испарения воды двумя способами. При табличном значении $L = 40.7 \frac{kJ}{mol}$ в обоих способах мы получили примерно $L = 45.6 \frac{kJ}{mol}$, однако второй способ дал погрешность менее 1%, а второй около 3%. Несмотря на маленькую погрешность, из-за разницы значений при нагревании и остывании воды видна систематическая неточность проводимого эксперимента.