

Задача 37. Фазовая диаграмма и энтальпия испарения

Введение

В этом эксперименте строят часть кривой равновесия жидкость-газ на фазовой диаграмме воды. По полученным данным, используя уравнение Клаузиуса-Клапейрона, определяют среднее значение энтальпии испарения воды.

Теория

Каждая жидкость может находиться в равновесии со своим паром. Давление пара над однокомпонентной жидкостью зависит от природы жидкости и температуры. При той температуре, когда давление пара равно общему давлению, жидкость закипает. Нормальная температура кипения соответствует давлению 1 атм (= 1.013 бар = 101 325 Па). На фазовой диаграмме откладывают зависимость давления от температуры (или наоборот). Для большинства соединений существуют области диаграммы, где показана каждая фаза (например, твердая, жидкая, газообразная), а границы между областями существования фаз соответствуют кривым двухфазных равновесий.

Из основных принципов термодинамики следует уравнение Клапейрона

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H}{T\Delta V},$$

где dP/dT – наклон кривой равновесия, ΔH – изменение молярной энтальпии, T – температура, ΔV – разница молярных объемов.

Рассматривая равновесия жидкость-газ или твердая фаза-газ, можно допустить, что: а) газ подчиняется уравнению состояния идеального газа, б) молярный объем газа намного превышает молярный объем конденсированной фазы. При таких предположениях приходим к уравнению Клаузиуса-Клапейрона:

$$\frac{d \ln P}{d(1/T)} = -\frac{\Delta H}{R}.$$

Производная в левой части уравнения представляет собой наклон зависимости $\ln P$ от $1/T$.

Метод

Мы можем построить участок фазовой диаграммы, наполнив водой герметически закрывающийся сосуд и следя за изменением давления и температуры по мере нагревания.

Аппаратура

Простой нагреватель (100-200 Ватт), термометр для диапазона 0-200 °С, датчик давления для диапазона 0-20 Бар (пружинный манометр – он же манометр с трубкой Бурдона), изолирующая алюминиевая фольга, стальная трубка, H₂O.

Методика

Сборка прибора: плотно обернуть алюминиевой фольгой сосуд с водой (оснащенный измерителем давления) с присоединенным термометром. Поместить прибор в нагреватель и надежно закрепить. Включить нагреватель. Наблюдать за изменением температуры и давления и прекратить нагревание, когда или давление превзойдет 16 Бар, или температура превысит 180 °С. По мере охлаждения прибора записывать давление и температуру, соответствующие каждому делению на шкале манометра. Записи прекратить, когда прибор остынет ниже 80 °С. Занести результаты измерений в таблицу, указав номер точки, давление (единицы измерения), температуру (единицы измерения).

Представление результатов

Нанесите все записанные результаты на график зависимости P от T (постройте фазовую диаграмму), выявите и отбросьте ошибочные (сильно выпадающие) измерения. Расширьте упомянутую таблицу, добавив столбцы для $\ln P$, T , $1/T$. Рассчитайте $\ln P$, T , $1/T$. Нарисуйте график зависимости $\ln P$ от $1/T$. Проведите прямую линию через точки упомянутой диаграммы. Определите наклон линии и рассчитайте энтальпию испарения воды.

Результаты–обсуждение–дополнительные вопросы

На основе своих измерений оцените стандартную температуру кипения воды. Сравните ее с известным значением и прокомментируйте возможное расхождение. Подобным же образом рассчитайте температуру варки в скороварке с клапаном безопасности, который включается при усилии 3 Н и имеет диаметр 6 мм.