

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.2 - С.153-156

ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ПЕРВОГО РОДА

*Замолотов С.С.,
Каминский К.И.
студенты 1 курса,
г. Нур-Султан, КАТУ им.
С.Сейфуллина,*

*«Три пути ведут к знанию: путь
размышления – самый благородный,
путь подражания – самый лёгкий – и
путь опыта – самый горький».*

Конфуций

В зависимости от внешних условий одно и то же вещество может находиться в различных агрегатных состояниях: в твёрдом, в жидком или в газообразном. Многие вещества при изменении условий могут переходить из одного агрегатного состояния в другое. Переход вещества от одного состояния к другому называется фазовым переходом.

Переход вещества из газообразного состояния в жидкое называется конденсацией. Переход вещества из жидкого состояния в газообразное называется испарением. При всех этих явлениях частицы вещества не разрушаются. Таким образом, вещество, изменяя агрегатное состояние, не превращается в другое вещество.

Английский физик Т. Эндрюс одним из первых более детально исследовал свойства углекислого газа при различных давлениях и температурах. Сжимая газ под поршнем, он обнаружил, что при уменьшении объема давление газа сначала увеличивалось, а затем, начиная с некоторого объема, оставалось постоянным, но при этом в цилиндре появлялась жидкость: сначала в виде отдельных капель, а затем при дальнейшем сжатии она постепенно заполняла весь объем. При этом жидкость и ее пар все время находились в состоянии термодинамического равновесия друг с другом, они имели одинаковые температуру и давление.

Однако это превращение происходило только при достаточно низких температурах. Начиная с некоторой критической температуры газ можно было в принципе сжать до любого давления, и он оставался всего лишь сильно сжатым газом, но не превращался в жидкость. Позднее голландский

физик И. Ван-дер-Ваальс создал первую теорию фазовых переходов, в которой он качественно объяснил подобные превращения.

В данной работе моделируются классические опыты изменения агрегатных состояний вещества, то есть исследуется фазовый переход испарение-конденсация. Существует температура, называемая критической T_k , при которой горизонтальный участок изотермы стягивается в точку. При этом удельные объемы и плотности вещества в жидком и газообразном состояниях становятся одинаковыми. Таким образом, фактически исчезает всякое различие между жидкостью и газом. При этой температуре обращается в нуль теплота испарения и поверхностное натяжение на границе жидкости и пара. Критической температуре соответствуют также вполне определенные для данного вещества значения давления P_k и объема V_k , называемые критическими [1].

При температуре выше критической тепловое движение настолько сильно, что вещество может существовать только в газообразном состоянии при как угодно высоких давлениях и плотностях. Конечно, в принципе можно сжать газ до плотностей даже более высоких, чем у жидкостей, но при снятии нагрузки молекулы вещества мгновенно разлетаются, занимая весь предоставленный им объем, как и положено молекулам газа.

Молекулы в любом веществе взаимодействуют друг с другом: отталкиваются на малых расстояниях и притягиваются на больших. Ясно, что критические параметры зависят от взаимодействия молекул друг с другом: например, критический объем тем больше, чем сильнее отталкиваются друг от друга молекулы на малых расстояниях. Критическая температура тем больше, чем сильнее молекулы притягиваются друг к другу на больших расстояниях: при сильном притяжении тепловое движение должно быть весьма интенсивным, чтобы разрушить стремление молекул объединиться и образовать жидкость.

Для превращения жидкости в пар при постоянной температуре необходимо сообщить жидкости дополнительное количество теплоты Q , а при обратном процессе конденсации пара эта теплота поглощается [2]. Эта дополнительная теплота называется скрытой теплотой парообразования, в процессе испарения она расходуется на преодоление сил межмолекулярного притяжения в жидкости.

Давление насыщенного пара зависит от температуры. Действительно, при повышении температуры увеличивается число испаряющихся молекул, то есть, чтобы пар остался равновесным, должно увеличиться и число влетающих из пара в жидкость молекул, а для этого должны увеличиться плотность и давление пара.

Для получения зависимости давления насыщенного пара от температуры рассмотрим замкнутый процесс - цикл (рис. 1).

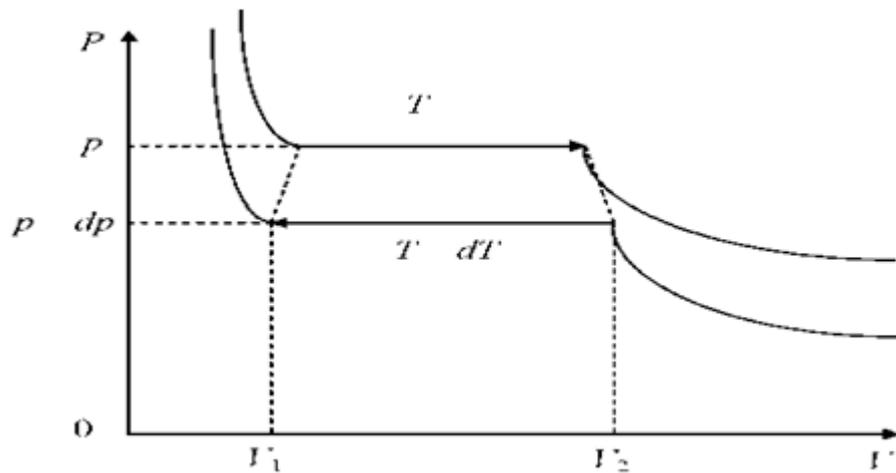


Рисунок 1 – Фазовая диаграмма жидкости-пара

Пусть при какой-то температуре T жидкость полностью превращается в пар, оставаясь все время в равновесии с ним. Затем полученный пар охлаждается адиабатически до температуры $(T - dT)$, после чего пар снова превращается в жидкость при этой температуре, причем пар опять находится в состоянии насыщения. Полученную жидкость нагревают адиабатически до начальной температуры T .

Таким образом, наш замкнутый процесс представляет из себя равновесный цикл Карно, состоящий из двух изотерм при температурах T и $(T - dT)$ и двух адиабат. Коэффициент полезного действия цикла Карно равен

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

где в этой формуле T_1 - температура нагревателя, а T_2 - температура холодильника. В нашем случае - это T и $(T - dT)$. Таким образом, к. п. д. цикла $\eta = dT/T$.

С другой стороны, к. п. д. любого цикла равен отношению работы, совершенной рабочим телом за цикл, к полученному количеству теплоты. Работа за цикл равна площади внутри кривой, изображающей его в переменных давление - объем. Таким образом, работа равна $dp (V_2 - V_1)$, где dp - изменение давления насыщенного пара при изменении температуры на величину dT , а V_1 и V_2 - соответственно объем данного количества вещества в жидком и газообразном состоянии. За цикл вещество получило количество теплоты Q_{12} , равное скрытой теплоте испарения данного количества вещества.

Существуют фазовые переходы, похожие по своим свойствам на превращение газ-жидкость [3]. К таким переходам относятся все переходы между агрегатными состояниями, например, плавление или возгонка, и некоторые другие. Эти переходы - переходы первого рода - обладают следующими общими свойствами:

➤ Фазы, между которыми происходит фазовый переход, могут находиться в состоянии равновесия друг с другом. Состояния, между которыми осуществляется фазовый переход, сильно отличаются по своим свойствам: в этих состояниях у вещества сильно различается плотность, мера хаотичности (энтропия) и другие свойства.

➤ При переходах первого рода наблюдается скачок плотности (или объема) и энтропии. Такие переходы начинаются с образования зародышей новой фазы внутри старой. Затем эти зародыши растут до тех пор, пока все вещество перейдет в новое состояние. Если процесс роста зародышей подавлен, то вещество может долго находиться в метастабильном состоянии, нехарактерном для новых внешних условий. Например, хорошо очищенную и многократно прокипяченную воду в хорошем сосуде можно нагреть до температуры 105 градусов, и она не закипит.

➤ Для всех таких переходов существует скрытая теплота, связанная с сильным различием свойств состояний. Она равна $Q_{12} = T(S_2 - S_1)$, где T - температура фазового перехода, S_1 и S_2 - энтропия данного количества вещества соответственно в начальном и конечном состоянии. Отсюда видно, что скрытая теплота положительна, если переход осуществляется из более упорядоченного (с меньшей энтропией) в более хаотичное состояние и наоборот. Например, скрытая теплота плавления положительна, а теплота кристаллизации из пара отрицательна.

➤ Для всех переходов первого рода справедливо уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Отметим, что существуют также фазовые переходы второго рода, все свойства которых противоположны изложенным выше свойствам переходов первого рода. Самый известный переход 2-го рода - переход ферромагнетика из магнитного в немагнитное состояние.

Исследование фазового перехода первого рода проходило на виртуальной установке [4], представляющей собой цилиндр с поршнем, в котором находится газ (рис. 2).

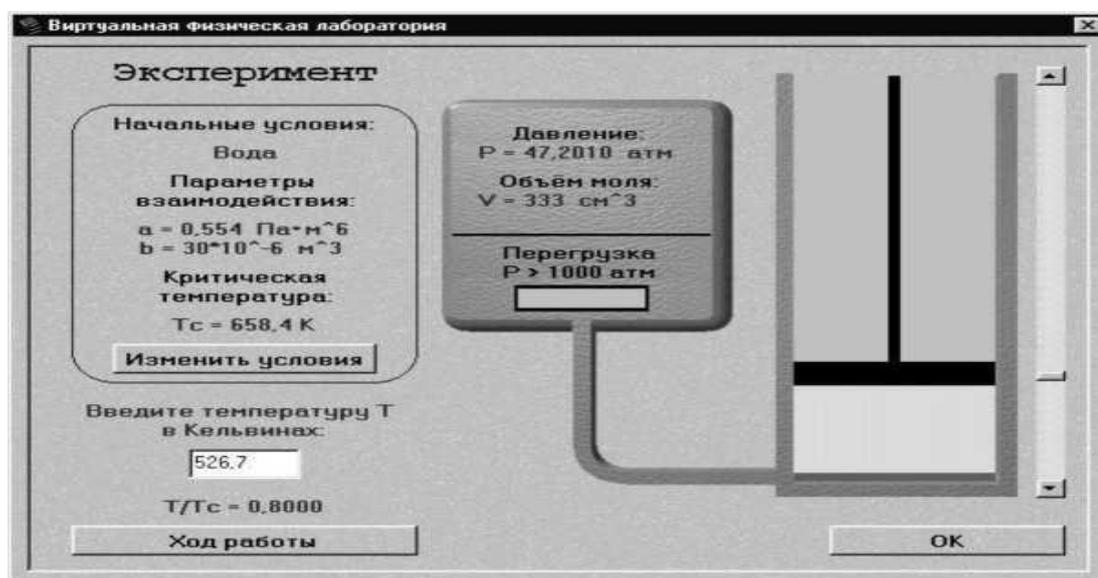


Рисунок 2 – Схема установки для изучения переходов испарение – конденсация

Объем этого газа изменяют при помощи поршня при постоянной температуре, измеряя при этом также давление газа. Как только в цилиндре появится жидкая фаза, следует измерить объем газа непосредственно в момент ее появления и давление насыщенного пара, которое остается постоянным при дальнейшем сжатии теперь уже двухфазной системы. Как только весь газ превратится в жидкость, то сразу нужно измерить ее объем.

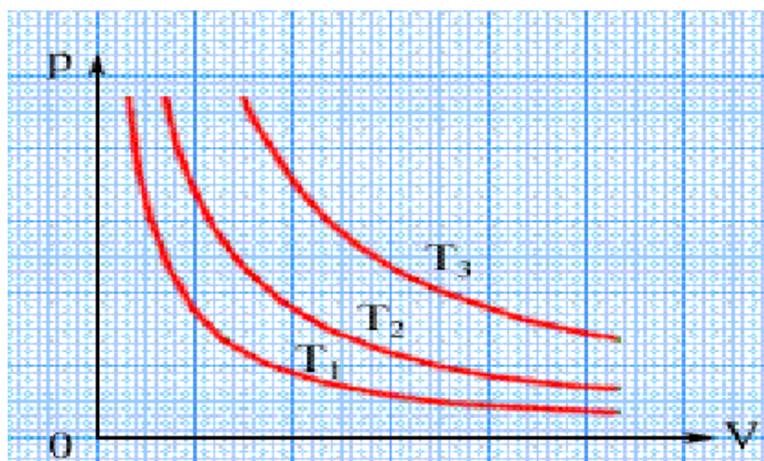


Рисунок 3 – График зависимости давления от объема газа

В ходе исследования изучались фазовые переходы различных веществ, таких как вода, углекислый газ, кислород, азот, аргон и водород. Определялись критические параметры фазовых переходов при испарении и конденсации изучаемых веществ. По полученным данным построены графики зависимости давления насыщенного пара от температуры.

Список используемой литературы

- 1 Толстик А.М. Изучение фазового перехода испарение - конденсация. - Томск : [б. и.], 2015. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000516568>.
- 2 Lu, M., Connell, L.D., Pan, Z. Wetting fluid behaviour with phase transition in geological nanopores: Liquid film, capillary condensation and evaporative flow. // Journal of Petroleum Science and Engineering. (-Scopus).- 2020. -Vol. 195. - P. 107570.
- 3 Wen, C., Gong, L., Ding, H., Yang, Y. Phase Change Steam Ejector Performance for Multi-Stage Distillation with Thermal Steam Compression Desalination System (MED-TVC). // Applied Energy. (-Scopus).- 2020. -Vol. 279. - P. 115831.

- 4 AbeldinaZh.,Makysh G., MoldumarovaZh., Abeldina R., MoldumarovaZhuldyz. Virtual Environment as a Tool for Increasing Students' Natural Science Literacy.// International Journal of Engineering & Technology. - (ISSN **2227-524X** - Scopus). -2018. -Vol. 7, No 4.38. - P. 1 - 6.