

О НЕОБХОДИМОСТИ ОСОЗНАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ И ПРОЦЕССОВ В ЗАДАЧАХ О ПАРАХ

Грачёв Александр Васильевич

к. ф.-м. н., доцент кафедры общей физики физического факультета МГУ

Грачёва Мария Александровна

к. х. н., научный сотрудник центра энергетических исследований



Термодинамика

Термодинамическая система – объект изучения.

Состояние (равновесные, неравновесные) характеризуют набором макропараметров.

Процесс (квазиравновесные и ...) – переход из одного состояния в другое. Параметры изменяются (если определимы).

Насыщенный пар – пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Происходит ли испарение воды?

Да!

Происходит ли конденсация пара?

Да!

Изменяется ли количество пара? А количество жидкости?

Нет и нет.

При условии, что $T = const$, $\mu = const$, $V = const$

$p_n(T)$ и $p_n(T)$ – табличные величины !!!

Зависимости имеют сложный вид – за рамками школьной программы!

При увеличении T и $p_{n,l}$ и p_n увеличиваются.

! Не зависят от наличия каких-либо газов или паров других веществ!

Ненасыщенный пар

Нет воды	Есть вода
Равновесное состояние	Испарение преобладает над конденсацией (идет процесс)

Перенасыщенный пар

Конденсация преобладает над испарением (процесс)

Характеристики

Абсолютная влажность – плотность пара.

Относительная влажность

$$\phi = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}}} * 100\% = \frac{p}{p_{\text{H}}} * 100\%$$

при той же температуре.

Процессы (что происходит?)

3. Отметьте знаком ✓ правильные утверждения.

А) В закрытом жёстком сосуде постоянного объёма находятся вода, её насыщенный пар и воздух. Сосуд с его содержимым медленно нагревают. В результате

1) плотность водяного пара

увеличивается не изменяется

уменьшается дать однозначный ответ невозможно

2) давление водяного пара

увеличивается не изменяется

уменьшается дать однозначный ответ невозможно

3) масса жидкой воды

увеличивается не изменяется

уменьшается дать однозначный ответ невозможно

4) парциальное давление воздуха

увеличивается не изменяется

уменьшается дать однозначный ответ невозможно

5) абсолютная влажность воздуха

увеличивается не изменяется

уменьшается дать однозначный ответ невозможно

6) относительная влажность воздуха

увеличивается не изменяется

уменьшается дать однозначный ответ невозможно

Б) В закрытом жёстком сосуде постоянного объёма находятся вода, её насыщенный пар и воздух. Сосуд с его содержимым медленно охлаждают. В результате

А если медленно увеличивать объем и поддерживать температуру постоянной?

Что будет происходить?

Последовательно!!!

Малое увеличение объема!

$V \uparrow \Rightarrow \rho \downarrow \Rightarrow$ нарушение равновесия (пар ненасыщенный)

\Rightarrow Испарение $>$ конденсации

До восстановления равновесия ! Пока ρ не станет прежней (ρ_n и ρ_n)

Следствия!!!?

Масса пара, масса воды, ρ , ρ и т. д.

До какого состояния? А дальше?

А если медленно уменьшать объем при $T = const$?

$V \downarrow \Rightarrow \rho \uparrow \Rightarrow$ нарушение равновесия (пар ненасыщенный)

\Rightarrow Конденсация $>$ испарения

До восстановления равновесия ! Пока ρ не станет прежней

Следствия!!!

До какого состояния?

А дальше?

Задача 1

В сосуде под поршнем находятся насыщенный пар и вода. Начальный объём всей системы $V_0 = 1 \text{ м}^3$. Плотность насыщенного пара $\rho_n = 30 \text{ г/м}^3$. Масса воды $m_v = 75 \text{ г}$. Поршень медленно поднимают, изотермически увеличивая объём системы «пар – жидкость» в k раз. Определите конечную плотность пара.

Решение.

Сразу отметим, что в большинстве задач объём, занимаемый водой, которая образовалась в результате конденсации пара, считают пренебрежимо малым по сравнению с объёмом пара, так как даже при $100\text{ }^\circ\text{C}$ плотность насыщенного пара примерно в 2000 раз меньше плотности воды.

Исследуем, что будет происходить с рассматриваемой системой при увеличении её объёма, например, в $k = 2$ раза. В этом случае увеличение объёма на $\Delta V = 1\text{ м}^3$ приведёт к испарению части воды и увеличению количества пара на $\Delta m_{\text{в}} = \rho_{\text{н}} \Delta V = 30\text{ г}$. При этом пар останется насыщенным, поскольку часть воды, масса которой будет равна $m_{\text{в}} - \Delta m_{\text{в}} = 75 - 30 = 45\text{ (г)}$, останется в жидком состоянии.

Понятно, что при любом значении k , пока будет оставаться хоть малая часть воды в жидком состоянии и масса пара не станет равной сумме начальных масс жидкости и её пара ($m_{\text{в}} + \rho_{\text{н}} V_0$), пар по-прежнему будет оставаться насыщенным. Поэтому и плотность, и давление пара будут оставаться неизменными, пока объём системы будет меньше $V_{\text{кр}} = k_{\text{кр}} V_0 =$

$$= \frac{m_{\text{в}} + \rho_{\text{н}} V_0}{\rho_{\text{н}} V_0} V_0 = 3,5\text{ (м}^3\text{)}.$$

Ситуация изменится, когда объём системы увеличится в $k_{кр} = 3,5$ раза. К этому моменту вся вода испарится. Если объём продолжать увеличивать, то пар перестанет быть насыщенным. В результате его плотность и давление начнут уменьшаться практически обратно пропорционально увеличению объёма. Например, если объём пара увеличить до значения $2V_{кр} = 7 \text{ м}^3$, то можно считать, что плотность пара станет в два раза меньше плотности насыщенного пара: $\rho_{п} = \frac{\rho_{н}}{2} = 15 \text{ г/м}^3$.

Таким образом, при $k \leq 3,5$ пар будет оставаться насыщенным и его плотность будет равна плотности насыщенного пара $\rho_{кр} = \rho_{н} = 30 \text{ г/м}^3$. Напротив, при $k > 3,5$ пар будет ненасыщенным, а его плотность будет во столько раз меньше плотности насыщенного пара, во сколько раз его конечный объём $V_{к}$ будет больше критического объёма $V_{кр}$: $\rho = \rho_{н} \frac{V_{кр}}{V_{к}}$.

В результате мы приходим к выводу, что ответ принципиально зависит от числового значения коэффициента k увеличения объёма.

Другими словами, решение задач о парах требует расчёта числовых значений плотности (или давления) пара, чтобы, сравнивая эти значения с табличными (см. табл. 4), контролировать процесс перехода насыщенного пара в ненасыщенный или обратно.

3. В цилиндре под поршнем находятся воздух, водяные пары и вода.

Рис. 245

Число молей воздуха в $n = 3$ раза превышает число молей водяного пара, а масса воды равна массе водяных паров. Объём смеси изотермически увеличивают, пока вся вода не испарится. Определите отношение давлений в цилиндре в конечном и начальном состояниях.

6. Лёгкий гладкий поршень делит закрытый цилиндр на две равные части. В одной из них находится воздух, в другой — вода и пар. При медленном нагревании всего сосуда поршень начинает двигаться и в некоторый момент времени останавливается. В этот момент он делит сосуд на части в отношении 1 : 3. Пренебрегая объёмом воды, определите отношение массы воды к массе пара в начальном состоянии.

Решение.



ФИЗИКА

Спасибо за внимание!