

(Начало см. на с. 31)

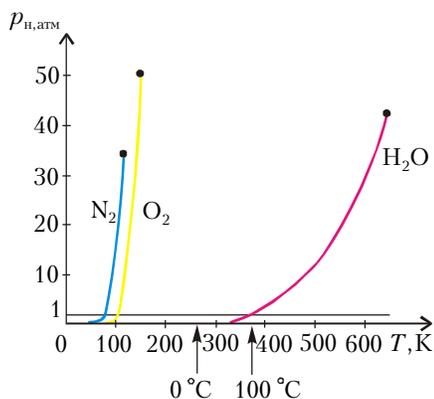


Рис. 1

Особенно отмечен температурный интервал от 0 до 100 °С, в котором существует жидкая вода при нормальном давлении в 1 атмосферу. Уже из самого вида этих кривых понятно, почему воздух не конденсируется «при нормальном давлении» – для этого понадобилось бы сильное охлаждение.

А почему вообще молекулы воды «хотят» сконденсироваться, а молекулы воздуха – «не хотят» (и слава Богу)? Это можно объяснить, например, при помощи графика потенциальной энергии Φ взаимодействия двух молекул, находящихся на расстоянии r друг от друга (рис.2; здесь k – постоянная Больцмана). Если это расстояние велико ($r \rightarrow \infty$),

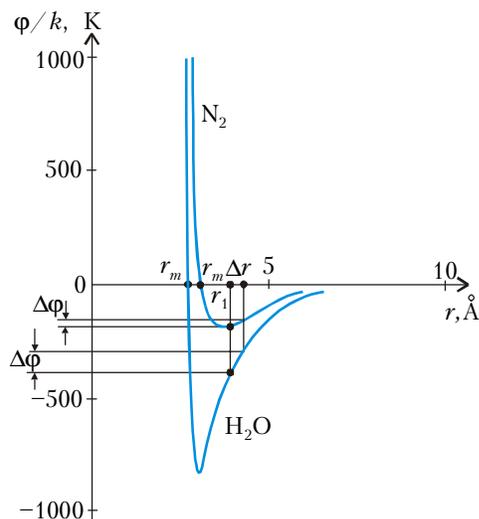


Рис. 2

то энергия взаимодействия почти ноль – молекулы «не чувствуют» друг друга. Но по мере сближения (r уменьшается) молекулы попадают на склон графика (например, в точку r_1) и, как санки с горы, устремляются в потенциальную «яму», где Φ минимально. (Вспомним, что в поле тяготения Земли каждый предмет тоже старается занять положение с наименьшей потенциальной энергией – в этом можно убедиться, например, слегка столкнув карандаш со стола на стул, а со стула – на пол.)

Ту же мысль можно выразить в терминах сил взаимодействия. Известно, что чем круче гора, тем быстрее мчатся санки. Значит, сила взаимодействия (санок с Землей или молекул друг с другом) зависит от крутизны склона, а эту крутизну можно охарактеризовать быстротой изменения потенциала при изменении расстояния:

$$F = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta r}.$$

Здесь знак «минус» указывает, что сила направлена в сторону дна «ямы». Чем больше наклон кривой $\Phi(r)$, тем больше сила взаимодействия. Теперь понятно, что глубина

потенциальной «ямы» тесно связана с удельной теплотой испарения (фазового перехода) L , а именно: $\Phi_{\min} \sim L$. Кстати, теперь в качестве масштаба силы можно ввести отношение глубины потенциальной ямы к характерному размеру молекулы r_m :

$$F \sim \frac{|\Phi_{\min}|}{r_m} \sim \frac{L}{r_m}.$$

Найдя в справочниках значения L и r_m , сравним силы, действующие между парой молекул воды и парой молекул азота:

$$\frac{F_{\text{H}_2\text{O}}}{F_{\text{N}_2}} \sim \frac{L_{\text{H}_2\text{O}}}{L_{\text{N}_2}} \frac{r_{m\text{N}_2}}{r_{m\text{H}_2\text{O}}} \sim \frac{2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}}{0,2 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}} \frac{3,8 \text{ \AA}}{2,6 \text{ \AA}} \sim 20.$$

Можно сказать, что молекулы воды «любят друг друга» в двадцать раз сильнее, чем молекулы азота.

Итак, в принципе все молекулы жаждут объединиться. Что же им мешает? Их кинетическая энергия. Ведь на дне «ямы» они будут иметь большую скорость – как камень, сброшенный с крыши, имеет максимальную скорость у земли. Тут нужен третий участник процесса – кто-то должен унести эту кинетическую энергию, чтобы пара молекул осталась рядом друг с другом. Конечно, это должна быть третья молекула. Но для того чтобы начался процесс образования *зародышей конденсации*, газ должен стать довольно холодным – чтобы его молекулы двигались достаточно медленно, успевали сблизиться и отдавать третьему участнику избыток энергии. Какой энергии? Конечно же, теплоты конденсации!

Вот тут-то мы и подошли к кострам в поле.

Расчет теплообмена подогретой воздушной массы с землей и остальной атмосферой – сложная метеорологическая задача. (Всплывающий теплый пузырь, называемый термиком, уносит тепло костра вверх, что нам совершенно ни к чему.) Мы для определенности предположим, что нагретый костром воздух охлаждается изобарически, т.е. давление остается постоянным. Значит, с падением температуры (например, за счет теплового излучения или теплоотвода в почву) растет плотность смеси воздуха с парами воды. В координатах p, T этот процесс (рис.3) изображается горизонтальной линией ODW , где точка O – начальное состояние (вечером, перед заморозками). Если пар не конденсируется, то в процессе охлаждения изобара пересечет кривую насыщения в «точке росы» D , затем уйдет левее, в область пересыщения ($p > p_n$), и, если отношение p/p_n станет значительным, жидкость начнет выпадать в виде микрокапель с выделением тепла. Точка W называется точкой Вильсона (того самого, который разработал «туманную камеру» для регистрации треков элементарных частиц на порожденных ими ионах в пересыщенном паре).

Но этот процесс спонтанной (самопроизвольной) конденсации может начаться при слишком низких температурах, недопустимых для живых растений. Вот тут-то и приходят на помощь частички дыма. Они предоставляют свою поверхность для «посадки» на нее молекул воды, отводят избыточную теплоту конденсации, а затем отдают ее другим молекулам, соударяющимся с частичей. Теперь,

Рис. 3

