

в отличие от спонтанной конденсации, эта *гетерогенная конденсация* происходит без пересыщения пара. Система воздух – пар как бы застревает в точке росы  $D$ .

Пора сделать количественные оценки.

Если концентрация частичек сажи (их количество в единице объема)  $n$ , а массовая плотность пара  $\rho_{\text{п}}$ , и если весь водяной пар сконденсируется на этих частичках, то масса каждой капельки будет

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{n},$$

где  $a$  – радиус капельки,  $\rho_{\text{в}}$  – плотность жидкой воды. Следовательно, радиус капельки равен

$$a = \left( \frac{\rho_{\text{п}}}{4\pi \rho_{\text{в}} n/3} \right)^{1/3}.$$

Конечно, тут предполагается, что все капельки одинаковы.

Выше мы обозначили через  $L$  удельную теплоту испарения. Теперь оценим приращение температуры воздуха  $\Delta T$  вследствие конденсации всего пара:  $c_p \rho_{\text{воз}} \Delta T \sim \rho_{\text{п}} L$ , где  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении,  $\rho_{\text{воз}}$  – плотность воздуха, откуда

$$\Delta T \sim \frac{\rho_{\text{п}} L}{c_p \rho_{\text{воз}}}.$$

Известно, что  $L \sim 2,5$  МДж/кг,  $c_p \sim 1$  кДж/(кг · К),  $\rho_{\text{воз}} \sim 1$  кг/м<sup>3</sup>. Если принять, что к вечеру количество пара в воздухе составляет  $\rho_{\text{п}} \sim 1$  г/м<sup>3</sup>, а концентрация частичек сажи от костра порядка  $n \sim 10^{11}$  м<sup>-3</sup>, то

$$a \sim \left( \frac{10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 10^{11}/3} \right)^{1/3} \text{ м} \sim 10^{-6} \text{ м} = 1 \text{ мкм}$$

и

$$\Delta T \sim \frac{10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^6}{10^3 \cdot 1} \text{ К} = 2,5 \text{ К}.$$

Это уже кое-что: тепло, выделившееся при конденсации водяного пара на твердых частичках, порожденных кострами, позволяет на несколько градусов отдалиться от точки замерзания воды, опасной для растений.

Но при чем здесь русская баня? А при том, что в ней имеется отделение, которое прямо так и называется: *парная*. Там водяной пар конденсируется на теле купальщика, которое представляется очень холодной поверхностью в сильно нагретом воздухе. Именно выделяющееся тепло конденсации и обжигает тело, что и доставляет удовольствие знатокам этого дела. Так что, пребывая в бане, думайте о термодинамике!

# Свист поезда и свет галактик

**А.СТАСЕНКО**

*...всегда до ушей достигают  
Медленней звуки, чем то, что дает впечатления глазу.  
В этом нетрудно тебе убедиться: коль издали смотрим,  
Как дровосек топором двусторонним деревья срубает,  
Видим мы раньше удар, а потом уже звук раздается  
В наших ушах. Потому мы и молнию видим сначала,  
Прежде чем слышится гром...*

Лукреций

**И** ТАК, УЖЕ ДРЕВНИЕ ФИЗИКИ-ФИЛОСОФЫ ЗНАЛИ, что звук движется медленнее света, во всяком случае, что скорость звука конечна (т.е. ограничена по величине). Но что любопытно: ни один ученый древности не отмечает еще одно явление, связанное с распространением волн, а именно изменение высоты звука при перемещении его источника относительно слушателя. В нашу эпоху этот факт, известный как *эффект Доплера*, регистрируется и используется в случае не только звуковых волн, но и электромагнитных тоже. Однако рассмотрим все по порядку: сначала акустику, затем оптику.

Пусть источник звука неподвижен, а приемник движется к нему со скоростью  $v$  (рис.1,а). Если в данный момент времени расстояние между источником и приемником  $x$ , то на нем уместилось бы число волн  $N = x/\lambda = xv/c$ , где  $\lambda$  – длина волны, излучаемой источником,  $v$  – частота излучения,  $c$  – скорость звука. Но пока приемник доберется до источника, пройдет дополнительное время  $\Delta t = x/v$ , и за это

время источник излучит еще  $\Delta N = v\Delta t$  волн. Итого, приемник зарегистрирует  $N + \Delta N$  колебаний, что равносильно частоте

$$v' = \frac{N + \Delta N}{\Delta t} = \frac{xv/c + vx/v}{x/v} = v \left( 1 + \frac{v}{c} \right).$$

Перепишем эту зависимость в безразмерном виде:

$$\frac{v'}{v} = 1 + \frac{v}{c}. \tag{1}$$

Теперь поменяем местами приемник и источник звука (рис.1,б). Пусть приемник звука неподвижен, а источник

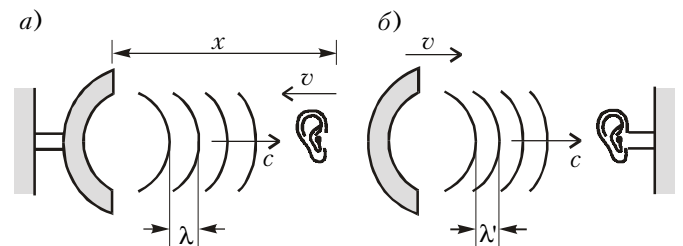


Рис. 1

движется к нему со скоростью  $v$ . При этом длина волны в неподвижном воздухе уменьшается:

$$\lambda' = \lambda \frac{c - v}{c},$$

где  $\lambda$  – длина волны в случае неподвижного источника (при  $v = 0$ ). (Отсюда, видно, например, что при  $v = c$  получим  $\lambda' = 0$ : «хвост» волны догоняет ее «голову».) Тогда неподвижный приемник будет «слышать» звуковую волну  $\lambda'$ , которой соответствует частота

$$v' = \frac{c}{\lambda'} = v \frac{c}{c - v}.$$