

## Испарение льда

Как известно, вещество из конденсированного состояния может испаряться, если к нему подводится теплота. Например, для превращения в пар 1 моля жидкой воды при температуре  $t_1 = +100^\circ\text{C}$  при внешнем давлении  $10^5$  Па требуется  $L_{\text{ж} \rightarrow \text{п}, 100} = 40$  кДж тепловой энергии. Известно, также, что для плавления 1 моля льда при  $0^\circ\text{C}$  и  $P_{\text{внешн}} = 10^5$  Па требуется  $L_{\text{л} \rightarrow \text{ж}, 0} = 6$  кДж энергии. А сколько энергии потребуется, чтобы перевести в газообразное состояние 1 моль льда при  $0^\circ\text{C}$  и  $P_{\text{внешн}} = 10^5$  Па?

Решение:

Будем считать, что внутренняя энергия одного моля воды в газообразном состоянии равна  $3RT$ , так как в состав одной молекулы входят 3 атома. При переходе 1 моля воды из конденсированного состояния с высокой плотностью вещества (неважно из какого конкретно) в пар с невысокой плотностью совершается работа против внешних сил, равная  $RT$ .

Из закона сохранения энергии (первого закона термодинамики) следует:

$$U_{\text{ж}, 100^\circ} + L_{\text{ж} \rightarrow \text{п}, 100^\circ} = 3RT_1 + RT_1 = 4RT_1$$

Здесь символами:  $U_{\text{ж}, 100^\circ}$  обозначена внутренняя энергия жидкой воды при температуре  $100^\circ\text{C}$ .

При нагревании воды от  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении потребляется теплота в количестве  $7,56$  кДж и при этом, поскольку плотность воды уменьшается, совершается совсем небольшая положительная работа:

$$A_{\text{ж}, 0^\circ \rightarrow \text{ж}, 100^\circ} = P \times \left[ \frac{\mu}{\rho_{\text{в}, 100^\circ}} - \frac{\mu}{\rho_{\text{в}, 0^\circ}} \right] \approx +0,075 \text{ Дж}$$

То есть можно считать, что вся теплота, полученная водой при нагреве от  $0^\circ$  до  $100^\circ$ , пошла на изменение внутренней энергии воды:

$$U_{\text{ж}, 0^\circ} + L_{\text{ж}, 0^\circ \rightarrow \text{ж}, 100^\circ} = U_{\text{ж}, 100^\circ}$$

При переходе воды из твердого состояния в жидкое состояние также вследствие изменения плотности вещества совершается отрицательная и весьма малая работа:

$$A_{\text{т} \rightarrow \text{ж}} = P \times \left[ \frac{\mu}{\rho_{\text{в}}} - \frac{\mu}{\rho_{\text{л}}} \right] \approx -0,2 \text{ Дж}$$

То есть тоже можно считать, что вся полученная при плавлении льда теплота пошла на изменение внутренней энергии вещества:

$$U_{\text{л}, 0^\circ} + L_{\text{л} \rightarrow \text{ж}, 0^\circ} = U_{\text{ж}, 0^\circ}$$

Если лед превращается в пар при температуре  $0^\circ\text{C}$ , то в соответствии с первым законом термодинамики:

$$U_{\text{л}, 0^\circ} + L_{\text{л} \rightarrow \text{п}, 0^\circ} = 3RT_2 + RT_2 = 4RT_2$$

Комбинируя все полученные уравнения, находим:

$$L_{\text{л} \rightarrow \text{п}, 0^\circ} = 4RT_2 + L_{\text{л} \rightarrow \text{ж}, 0^\circ} + L_{\text{ж}, 0^\circ \rightarrow \text{ж}, 100^\circ} + L_{\text{ж} \rightarrow \text{п}, 100^\circ} - 4RT_1 = 50,236 \text{ (кДж)}$$