

ТЕРМОДИНАМИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Энтропия при изменении
агрегатного состояния

Лекция 10

Энтропия в процессах

Лекция 10

1. Фазовый переход «Твердое тело-Жидкость». (Плавление. Затвердевание)

Плавление: $T = \text{const}$ – температура плавления, $T_{пл}$

$$dQ = \lambda dm$$

dQ – количества теплоты необходимая для расплавления массы dm

λ – удельная теплота плавления

$dQ = -\lambda dm$ – при затвердевании

Энтропия. (Полагаем процесс равновесным, $T \ll T_{пл}$)

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \pm \int_1^2 \frac{\lambda dm}{T} = \pm \frac{\lambda}{T_{пл}} \int_1^2 dm = \pm \frac{\lambda m}{T_{пл}}$$

При плавлении энтропия растет, при затвердевании – уменьшается.

Энтропия в процессах

Лекция 10

2. Фазовый переход «**Жидкость-Газ**». (**Испарение. Конденсация**)

Процесс происходит при $T = \text{const}$, $T = T_{\text{кип}}$

Энтропия.

$$dQ = \pm r dm$$

dQ — теплота необходимая для испарения массы dm

r — удельная теплота испарения

Энтропия. (Полагаем процесс равновесным, $T \ll T_{\text{кип}}$)

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \pm \int_1^2 \frac{r dm}{T} = \pm \frac{r}{T_{\text{кип}}} \int_1^2 dm = \pm \frac{r m}{T_{\text{кип}}}$$

При испарении энтропия растет, при конденсации — уменьшается.

Энтропия в процессах

Лекция 10

3. Нагрев вещества.

Найдем изменение энтропии при нагреве твердого тела (*m*) или жидкости (*ж*) массой *m* от T_1 до T_2 .

$$\delta Q = mC_{\text{ж}} dT$$

*С*_ж — *Специфическая теплоёмкость*

Полагаем процесс равновесным. Тогда

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \pm \int_1^2 mC_{\text{ж}} \frac{dT}{T}$$

Полагаем, что $mC_{\text{ж}} = \text{const}$

$$\Delta S = mC_{\text{ж}} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

При нагревании $T_2 > T_1 \rightarrow \ln() > 0$, энтропия растет

При охлаждении $T_2 < T_1 \rightarrow \ln() < 0$, энтропия уменьшается

Энтропия в процессах

Лекция 10

Задача. В бокал с коктейлем бросают кубик льда. $T_{\text{кокт}}=20$ С, масса 20 г, $T_{\text{лед}}=0$ С, масса 10 г. Насколько изменится энтропия бокала к тому моменту, когда кубик полностью растает.

Удельные теплоемкости и теплота плавления:

$$C_{\text{кокт}} = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \quad C_{\text{вода}} = 4.2 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, \quad \lambda_{\text{лед}} = 3.35 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{кг}}$$

Решение:

2-е начало, энтропия либо растет, либо неизменна. Равновесия нет, лед тает, коктейль охлаждается. В итоге энтропия растет.

Аддитивность энтропии. $\Delta S = \Delta S_{\text{кокт}} + \Delta S_{\text{лед}}$

Используем уравнения теплового баланса для процессов:

1. Коктейль отдает тепло: Q
2. Лед получает тепло: Q

Энтропия в процессах

Лекция 10

Тепло, полученное льдом, идет на плавление льда Q_1 и на нагревание Q_2 талой воды до T_2

$$Q_1 = \lambda_{\text{лед}} m_{\text{лед}}$$

$$Q_2 = m_{\text{вода}} c_{\text{лед}} (T_{\text{пл}} - T_2)$$

Полученное льдом тепло: $Q = Q_1 + Q_2$

Тепло, отданное коктейлем. Коктейль остывает от T_k до T и отдает при этом тепло, равное:

$$Q = m_{\text{коктейль}} c_{\text{коктейль}} (T_k - T)$$

Баланс: $C_{\text{коктейль}} m_{\text{коктейль}} (T_k - T) = \lambda_{\text{лед}} m_{\text{лед}} + C_{\text{вода}} m_{\text{лед}} (T - T_{\text{пл}})$

Решаем относительно T :

$$T = \frac{C_{\text{коктейль}} m_{\text{коктейль}} T_k + C_{\text{вода}} m_{\text{лед}} T_{\text{пл}} - \lambda_{\text{лед}} m_{\text{лед}}}{C_{\text{коктейль}} m_{\text{коктейль}} + C_{\text{вода}} m_{\text{лед}}}$$

Энтропия в процессах

Лекция 10

А) Энтропия льда возрастает в двух процессах: $\Delta S_{\text{лед}} = \Delta S'_{\text{лед}} + \Delta S''_{\text{лед}}$

1. Лед тает:
$$\Delta S'_{\text{лед}} = \frac{\lambda_{\text{лед}} m_{\text{лед}}}{T_{\text{пл}}} = 12.27 \frac{\text{дж}}{\text{К}}$$

2. Растаявший лед превратился в воду, и она нагрелась:

$$\Delta S''_{\text{лед}} = m_{\text{вода}} \ln \frac{T_2}{T_1} = 2.25 \frac{\text{дж}}{\text{К}}$$

Итак, энтропия льда увеличилась на: $\Delta S_{\text{лед}} = \Delta S'_{\text{лед}} + \Delta S''_{\text{лед}} = 14.52 \frac{\text{дж}}{\text{К}}$

В) Энтропия коктейля.

Коктейль остывает, его энтропия уменьшается:

$$\Delta S'_{\text{коктейль}} = m_{\text{коктейль}} \ln \frac{T_2}{T_1} = -13.77 \frac{\text{дж}}{\text{К}}$$

Результат:
$$\Delta S = \Delta S_{\text{лед}} + \Delta S_{\text{коктейль}} = 14.52 - 13.77 = 0.75 \frac{\text{дж}}{\text{К}}$$