

+

×

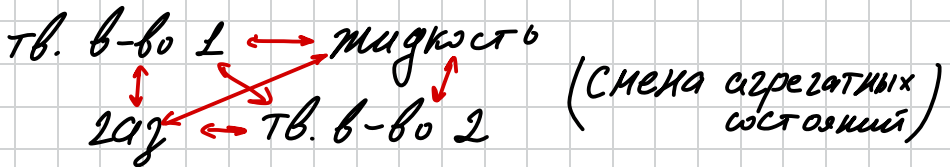
—

÷

## §2. Фазовые переходы

Опр: Фаза - макроскопическая однородная часть в-ва, отделенная границей раздела от остальных частей

Фазовые переходы I рода: (их мы и будем рассматривать)



Фазовые переходы II рода:

Ферромагнетик  $\longleftrightarrow$  парамагнетик  
сверхпроводящее  $\longleftrightarrow$  обычное

Рассмотрим фазовые переходы I рода:  $T = \text{const!}$

1) Плавление (кристаллизация):

$$Q = \lambda m$$

↑  
удельная теплота  
плавления

!  $Q > 0$  для плавления !

•  $Q < 0$  для кристаллизации •

2) Парообразование (конденсация):

Замечание: Испарение и кипение 2 разных процесса  
- испарение происходит с поверхности жидкости, при любой  $T$ ; кипение - переход из жидкого в газообразное состояние, но по всему объему в-ва

$$Q = L m$$

↑  
удельная теплота  
парообразования

3) Сгорание (обычно в задачах про топливо):

$$Q = q m$$

↑  
удельная теплота  
сгорания

Обратите внимание, что у сгорания нет обратного процесса.

№1

Какое количество тепла необходимо для нагревание 1 кг свинца от -20 до 400 градусов Цельсия

$$t_1 = -20^\circ\text{C} \quad 1) t_{\text{плав}} = 327,5^\circ\text{C} < t_2 \Rightarrow \text{свинец расплавится в процессе}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$Q = ?$$

2) Для большинства тел (кроме воды)

теплоемкость твердой фазы равна теплоем-

кости жидкой фазы

3) Учитывая 1) и 2), запишем кол-во теплоты:

$$Q = C_{\text{тв}} m (t_{\text{пл}} - t_1) + C_{\text{жидкой}} m (t_2 - t_{\text{пл}}) + \lambda m =$$

Т.к.  $C_{\text{тв}} = C_{\text{жидкой}}$   
 $C m (t_2 - t_1) !!!$

(для воды так не работает)

$$= C m (t_2 - t_1) + \lambda m = \dots$$

№2

Сколько кубиков льда потребуется для охлаждения до 5 градусов Цельсия воды массой 200 грамм, если начальная температура 20 градусов Цельсия

$$t_k = 5^\circ\text{C}$$

$$m = 0,2 \text{ кг}$$

$$t_n = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{л_0} = -10^\circ\text{C}$$

$$Q = 1 \text{ см}$$

$N = ?$

1) Найдем массу одного кубика:

$$m_1 = \rho_1 Q^3 = 0,9 \cdot 1^3 = 0,9 \text{ гр}$$

2) Составим ур-е теплового баланса в форме: "полученное" = "отданное"

$$Q_{пол} = |Q_{отд}|$$

$$C_0 m (t_n - t_k) = C_n N m_1 (t_{пл} - t_{л_0}) + \lambda N m_1 +$$

↑  
получила  
вода

↑  
нагреваем лед  
до 0°C

↑  
растопили  
лед

$$+ C_0 N m_1 (t_k - t_{пл})$$

↑  
догрели растопивший  
лед

$$N = \frac{\dots}{\dots} = 38$$

№3

В сосуд поместили 1 кг воды при температуре 50 градусов Цельсия и некоторое количество льда при температуре -10 градусов Цельсия.

Сколько могло быть льда, если после завершения теплообмена температура содержимого сосуда оказалась 0 градусов Цельсия

$m_0 = 1 \text{ кг}$   
 $t_1 = 50^\circ\text{C}$   
 $t_2 = -10^\circ\text{C}$   
 $t = 0^\circ\text{C}$

1) При тупе сосуществуют две фазы лёд и вода. Соответственно, есть 2 граничных случая - весь лёд растаял и вода замерзла

2) Рассмотрим случай, когда лёд растаял:

$$C_0 m_0 (t_1 - t) = C_1 m_1 (t - t_2) + \lambda m_1$$

$$m_1 = \frac{C_0 m_0 (t_1 - t)}{C_1 (t - t_2) + \lambda} = 0,6 \text{ кг}$$

3) Рассмотрим случай, когда вода замерзла:

$$C_0 m_0 (t_1 - t) + \lambda m_0 = C_1 m_1 (t - t_2)$$

$$m_1 = 25,7 \text{ кг}$$

№4

Смесь из 5 кг льда и 15 кг воды при 0 градусов Цельсия нужно нагреть до 80 градусов, пропуская через нее водяной пар. Найдите необходимую для этого массу водяного пара

$$m_{\text{л}} = 5 \text{ кг}$$

$$m_{\text{в}} = 15 \text{ кг}$$

$$t_0 = 0^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 80^\circ \text{C}$$

$$t_{\text{п}} = 100^\circ \text{C}$$

$$m_{\text{п}} = ?$$

1) Будем считать, что пар остается в сосуде

2) Запишем ур-е теплового баланса:

$$\lambda m_{\text{л}} + C_{\text{в}}(m_{\text{в}} + m_{\text{п}})(t_2 - t_0) = L m_{\text{п}} + C_{\text{в}} m_{\text{п}}(t_{\text{п}} - t_2)$$

$$m_{\text{п}} = \dots = 3,5 \text{ кг}$$

№5

Космонавт вышел в отсек орбитальной станции с сосудом с водой массой  $m$ , давление в отсеке 0,01 Па, а температура 0 градусов Цельсия. Какова будет масса образовавшегося льда?

1) В начале, нужно понимать, что кипение происходит не всегда при  $100^\circ \text{C}$ . Кипение наступает тогда, когда **давление насыщенных паров** (давление, при котором вода и ее пар находятся в динамическом равновесии, т.е. сколько молекул испарилось, столько и конденсировалось) равняется внешнему давлению.

2) Т.е. вода кипит  $\Rightarrow$  испаряется  $\Rightarrow$  уносит энергию  $\Rightarrow$  это продолжается до тех пор пока не останется только лед.

3) Запишем ур-е теплового баланса:

$$\lambda m = L(M - m)$$

$$m = \frac{LM}{\lambda + L}$$

№6

Один известный экспериментатор проводил эксперименты по растворимости веществ — для этого он брал 1 кг воды при 30 градусах Цельсия и помешивал, досыпая некоторое вещество, пока оно не переставало растворяться. В одном из опытов экспериментатор взял снег при температуре -10 градусов. Найдите значение растворимости снега в данном эксперименте

$$m_в = 1 \text{ кг}$$

$$t_в = 30^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -10^\circ\text{C}$$

$$\text{раств} = \frac{m_л}{m_в} = ?$$

1) Когда лед перестанет растворяться? Когда температура воды станет равна  $0^\circ\text{C}$

2) Запишем ур-е теплового баланса

$$C_в m_в (t_в - t) = C_л m_л (t - t_2) + \lambda m_л$$

$$\frac{m_л}{m_в} = \frac{C_в (t_в - t)}{C_л (t - t_2) + \lambda} = 0,36$$



№7

В калориметр поместили 100 грамм льда и налили 25 грамм воды. После установления теплового равновесия оказалось, что масса льда не изменилась. Какие значения температуры могли быть у льда в этом эксперименте?

$m_1 = 100 \text{ г}$  | 1) Если масса льда не изменилась, то фазовых переходов не было.  
 $m_2 = 25 \text{ г}$

$t_n = ?$  | 2) Какие граничные случаи могут быть?

Первый очевиден -  $t_1 = 0^\circ \text{C} \Rightarrow t_n = 0^\circ \text{C}$

Второй - возьмем  $t_{\text{воды}} = 100^\circ \text{C}$ . Запишем ур-е теплового баланса.

$$C_1 m_2 (t_2 - t) = C_1 m_1 (\overset{\text{от}}{t''} - t_n)$$

$$t_n = - \frac{2 m_2 t_2}{m_1} = -50^\circ \text{C}$$

Рассмотрим задачу на смешивание 2-х фаз,  
когда непонятно какое будет конечное состояние  
Решим первый пример, чтобы понять характерные ве-  
личины:

№1

 1 кг воды и 1 кг льда  
 $t_{\min} - ?$  0°C  
*↑  
чтобы растопить  
лёд*

1) Запишем ур-е теплового баланса:

$$1 \text{ кг} \cdot C_{\text{в}} (t_{\min} - 0^\circ\text{C}) = 1 \text{ кг} \cdot \lambda$$

$$t_{\min} = \frac{\lambda}{C_{\text{в}}} \approx 79^\circ\text{C} \quad \text{— не зависит! от } m$$

$\Rightarrow$  вода лед, 0°C

1 кг 20°C 0,2 кг — это будет в конце?

Чтобы растопить этот лед нужно 0,2 кг воды при  $\approx 80^\circ\text{C} \Rightarrow \frac{Q}{C} \approx 16 < 1 \text{ кг} \cdot 20 = 20 \Rightarrow$  в конце будет вода

!Т.е. нужно сравнить  $m_n \cdot \delta O$  и  $m_i \cdot t_\delta$  !