

Изменение агрегатных состояний вещества

Любое вещество при определенных условиях может находиться в различных агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. Переход из одного состояния в другое называется фазовым переходом. Переход вещества из одной фазы в другую при постоянном давлении происходит при строго определенной температуре.

Рассмотрим следующие фазовые переходы:

- плавление (твёрдое тело $\rightarrow$ жидкость);
- кристаллизация (жидкость $\rightarrow$ твёрдое тело);
- парообразование (жидкость $\rightarrow$ пар);
- конденсация (пар $\rightarrow$ жидкость)

Формула для вычисления количества теплоты, которое получает тело при нагревании или отдает при охлаждении (без фазового перехода):

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

где m – масса тела, c – удельная теплоемкость, t_2 – конечная температура тела, t_1 – начальная температура тела.

Введя обозначение $\Delta t = t_2 - t_1$, получим также:

$$Q = cm\Delta t$$

Удельная теплоемкость – это скалярная физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое тело массой 1 кг получает или отдает при изменении его температуры на 1 К. Обозначение – c , в СИ единица измерения – $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

При решении задач на расчет количества теплоты при нагревании или охлаждении можно не переводить температуру в кельвины $\Delta T = \Delta t$.

Плавление и кристаллизация

Плавление – процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое.

Чтобы происходило плавление твердого тела, к нему необходимо подводить тепло (Q). Плавление твердого тела происходит при определенной температуре, называемой температурой плавления.

При плавлении амплитуда колебаний частиц, находящихся в узлах кристаллической решетки, увеличивается и становится сравнимой с расстоянием между частицами. Притяжение частиц вещества становится слабее. В результате в процессе плавления происходит разрушение кристаллической решетки. В процессе плавления твердое тело существует одновременно в твердом и жидком состояниях. При плавлении температура тела не меняется и равна температуре плавления.

Количество теплоты, необходимое для плавления, вычисляется по формуле:

$$Q = \lambda m$$

где λ (греч. “лямбда”) – удельная теплота плавления вещества, m – масса вещества.

Удельная теплота плавления вещества – это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкость той же температуры. Единица измерения в СИ – Дж/кг.

Кристаллизация (отвердевание) – переход вещества из жидкого состояния в твердое.

Кристаллизация происходит при постоянной температуре, равной температуре плавления. Кристаллизация начинается вблизи центров кристаллизации – примесей, пылинок. Около них начинается упорядочение структуры в расположении частиц и образование кристаллической решетки. Кристаллизация сопровождается выделением тепла:

$$Q = - \lambda m$$

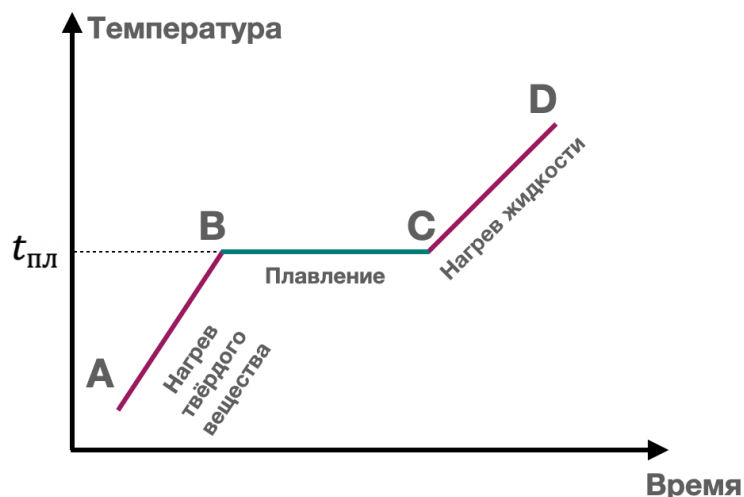
График плавления

Пусть в начальный момент времени (точка А на графике) тело является кристаллическим и имеет некоторую температуру t_A .

Затем к телу начинает подводиться тепло (скажем, тело поместили в плавильную печь), и температура тела повышается до величины $t_{пл}$ — температуры плавления данного вещества. Это участок АВ графика.

При достижении температуры плавления (в точке В) ситуация качественно меняется. Несмотря на то, что тепло продолжает подводиться, температура тела остаётся неизменной! Всё подводимое тепло идёт на совершение работы по разрыву связей, удерживающих частицы в узлах кристаллической решётки, т. е. на увеличение потенциальной энергии частиц. Кинетическая энергия частиц при этом остаётся прежней, так что температура тела не меняется. На участке ВС происходит плавление тела — его постепенный переход из твёрдого состояния в жидкое.

Внутри участка ВС мы имеем смесь твёрдого вещества и жидкости, и чем ближе к точке С, тем меньше остаётся твёрдого вещества и тем больше появляется жидкости. В точке С твердое тело полностью превратилось в жидкость. Участок CD соответствует дальнейшему нагреванию жидкости (или, как говорят, расплава).



Внутренняя энергия при фазовых переходах изменяется (несмотря на то, что температура остается постоянной).

Внутренняя энергия увеличивается за счет увеличения потенциальной энергии взаимодействия частиц, а кинетическая энергия частиц не меняется (температура остается неизменной). Вещество в жидком состоянии при температуре плавления обладает большей внутренней энергией, чем в твердом.

График кристаллизации

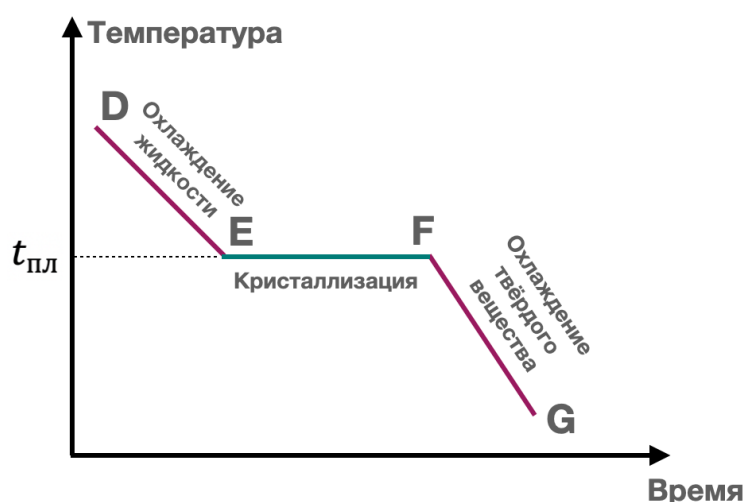
Теперь перейдём к рассмотрению кристаллизации — процесса, обратного плавлению. Начинаем с точки D предыдущего рисунка. Предположим, что в точке D нагревание расплава прекратилось (печку выключили и расплав выставили на воздух).

Жидкость остывает (участок DE), пока её температура не достигнет температуры кристаллизации, которая совпадает с температурой плавления $t_{пл}$.

С этого момента температура расплава меняться перестает, хотя тепло по-прежнему уходит от него в окружающую среду. На участке EF происходит кристаллизация расплава — его постепенный переход в твёрдое состояние. Внутри участка EF мы снова имеем смесь твёрдой и жидкой фаз, и чем ближе к точке F, тем больше становится твёрдого вещества и тем меньше — жидкости. Наконец, в точке F жидкости не остаётся вовсе — она полностью кристаллизовалась.

Следующий участок FG соответствует дальнейшему остыванию твёрдого тела, возникшего в результате кристаллизации.

Выделяющееся в ходе кристаллизации тепло в точности компенсирует потерю тепла в окружающую среду, и потому температура на участке EF не меняется.



Парообразование и конденсация

Парообразование — это переход жидкости в газообразное состояние (в пар). Существует два способа парообразования: испарение и кипение.

Конденсация - процесс перехода пара в жидкость.

Кипение

Кипение — это парообразование, происходящее по всему объёму жидкости.

Кипение оказывается возможным потому, что в жидкости всегда растворено какое-то количество воздуха, попавшего туда в результате диффузии. При нагревании жидкости этот воздух расширяется, пузырьки воздуха постепенно увеличиваются в размерах и становятся видны невооружённым глазом (в кастрюле с водой они осаждают дно и стенки). Внутри воздушных пузырьков находится пар.

Чем крупнее становятся пузырьки, тем большая действует на них архимедова сила, поэтому пузырьки всплывают. Поднимаясь вверх, пузырьки попадают в менее нагретые слои жидкости; пар в них конденсируется, и пузырьки сжимаются опять. Схлопывание пузырьков вызывает знакомый нам шум, предшествующий закипанию чайника. Наконец, с течением времени вся жидкость равномерно прогревается, пузырьки достигают поверхности и лопаются, выбрасывая наружу воздух и пар — шум сменяется бульканьем, жидкость кипит.

При температуре кипения давление пара становится равно внешнему давлению на жидкость (в частности, атмосферному давлению). Чем больше внешнее давление, тем при более высокой температуре начнётся кипение.

При нормальном атмосферном давлении ($1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па}$) температура кипения воды равна 100°C . Поэтому давление водяного пара при температуре 100°C равно 10^5 Па . Этот факт необходимо знать для решения задач — часто он считается известным по умолчанию.

На вершине Эльбруса атмосферное давление равно $0,5 \text{ атм}$, и вода там закипит при температуре 82°C . А под давлением 15 атм вода начнёт кипеть только при 200°C .

Температура кипения (при нормальном атмосферном давлении) является строго определённой для данной жидкости величиной. Так, спирт кипит при 78°C , эфир — при 35°C , ртуть — при 357°C .

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости, нагретой до температуры кипения, в пар, вычисляется по формуле:

$$Q = Lm$$

где L — удельная теплота парообразования вещества, m — масса вещества.

Удельная теплота парообразования вещества — это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для превращения 1 кг жидкости при постоянной температуре в пар.

Единица измерения удельной теплоты парообразования в СИ — Дж/кг.

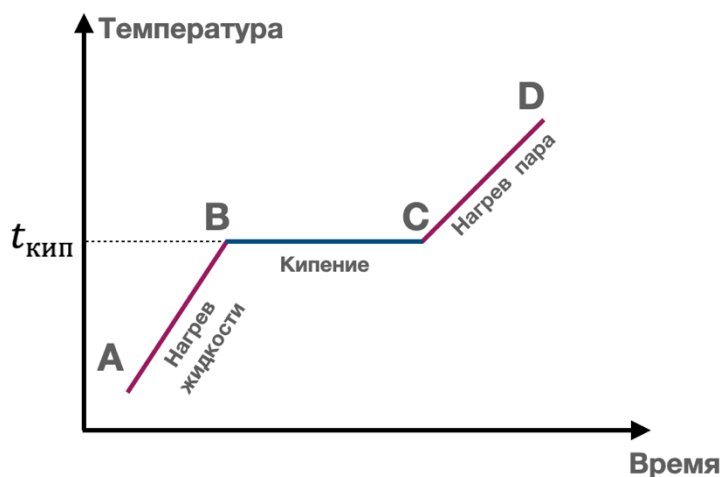
При конденсации пара выделяется такое же количество теплоты:

$$Q = - Lm$$

График кипения и конденсации

Рассмотрим графическое представление процесса нагревания жидкости — график кипения. $t_{\text{кип}}$ — температура кипения данного вещества.

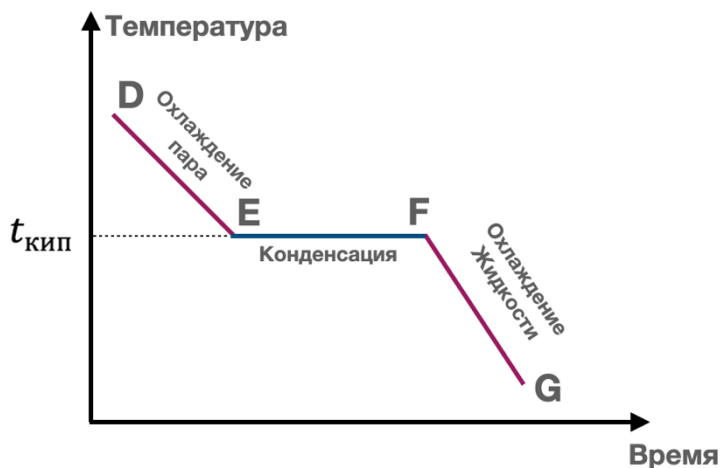
Участок АВ соответствует нагреванию жидкости до температуры кипения. На участке ВС жидкость кипит, её масса уменьшается. Температура жидкости в процессе кипения не изменяется! В точке С жидкость выкипает полностью.



Процесс конденсации пара и последующего остывания жидкости выглядит на графике симметрично процессу нагревания и кипения.

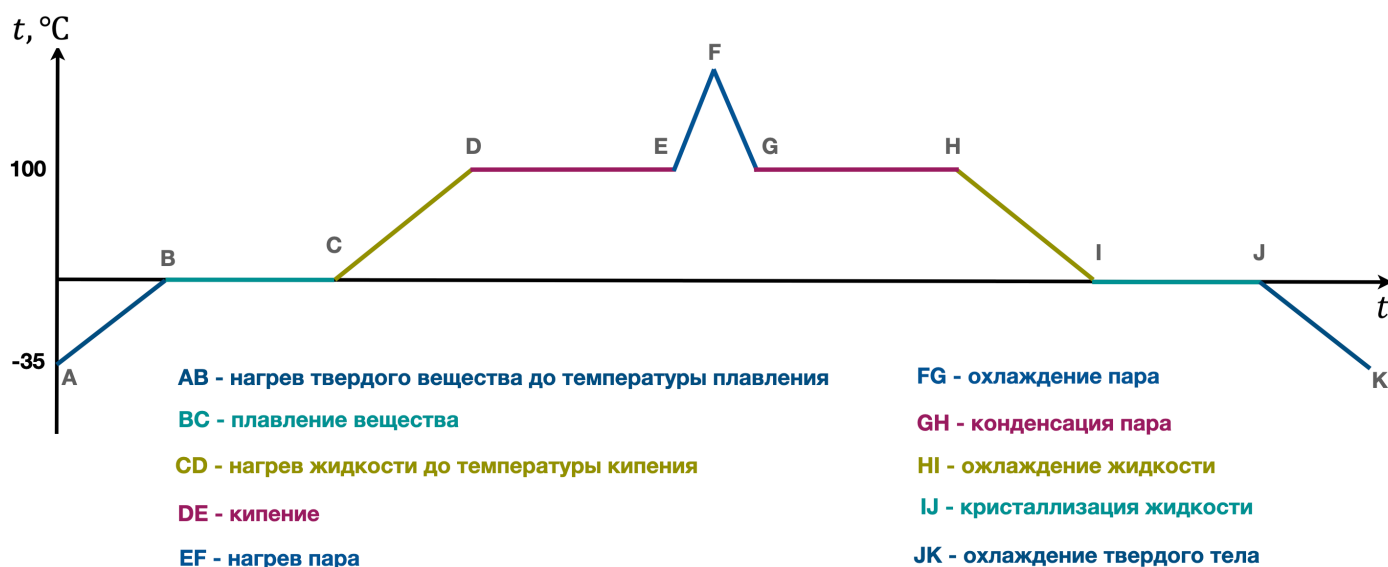
В точке С имеем пар при температуре кипения. На участке CD идёт конденсация; внутри этого участка — смесь пара и жидкости при температуре кипения. В точке D пара больше нет, имеется только жидкость при температуре кипения. Участок DE — остывание этой жидкости.

Внутренняя энергия пара при температуре кипения всегда больше внутренней энергии жидкости при той же температуре.



Рассмотрим все фазовые переходы на одном графике

Пример — лед, взятый при температуре -35°C .



Уравнение теплового баланса

Рассмотрим теплоизолированную систему из двух тел с разными температурами. При контакте между ними будет проходить теплообмен. Тело с большей температурой будет отдавать некоторое количество теплоты, а тело с меньшей температурой — получать, пока температуры тел не станут равными. Количество теплоты, отданное при теплообмене телом с большей температурой, равно по модулю количеству теплоты, полученному телом с меньшей температурой:

$$|Q_{\text{получ}}| = |Q_{\text{отд}}|$$

Другая формулировка: если тела образуют замкнутую систему и между ними происходит только теплообмен, то алгебраическая сумма отданных и полученных количеств теплоты равна нулю:

$$Q_{\text{получ}} + Q_{\text{отд}} = 0$$

$$Q_{\text{отд}} < 0, Q_{\text{получ}} > 0$$