

Количество теплоты. Уравнение теплового баланса.

ТЕПЛООБМЕН В ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЕ

- Уравнение теплового баланса

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

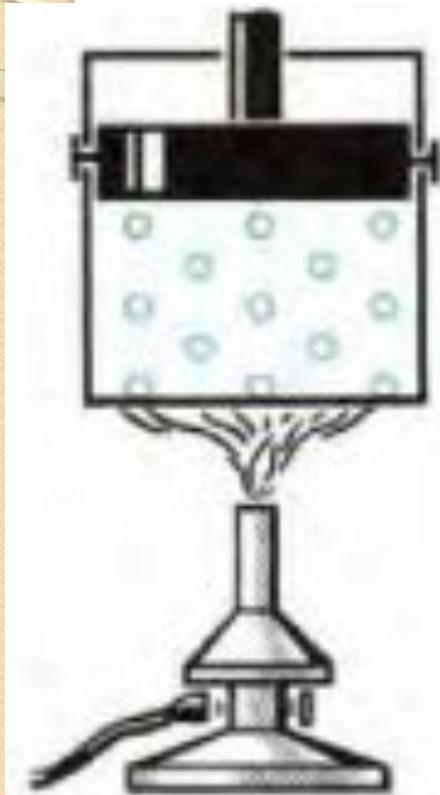
Сколько теплоты отдают нагретые тела, столько же теплоты получают в процессе теплообмена холодные тела

Количество теплоты

Если закрепить поршень, то объём газа при нагревании не меняется и работа не совершается. Но температура газа и его внутренняя энергия возрастают. Внутренняя энергия может увеличиваться и уменьшаться, поэтому количество теплоты может быть положительным и отрицательным.

Процесс передачи энергии от одного тела другому без совершения работы называют **теплообменом**.

Количественную меру изменения внутренней энергии при теплообмене называют **количеством теплоты**.



Теплообмен



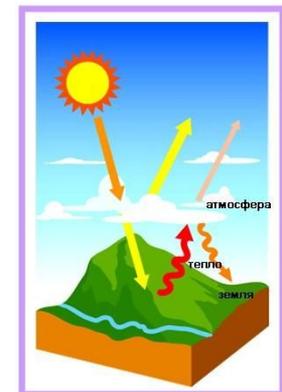
При теплообмене на границе между телами происходит взаимодействие медленно движущихся молекул холодного тела с быстро движущимися молекулами горячего тела. В результате кинетические энергии молекул выравниваются и скорости молекул холодного тела увеличиваются, а горячего уменьшаются.

При теплообмене не происходит превращения энергии из одной формы в другую, часть внутренней энергии более нагретого тела передаётся менее нагретому телу.

Вспоминаем три вида теплопередачи:

- 1.
- 2.
- 3.

Привести примеры.



Количество теплоты и теплоемкость

Вам уже известно, что для нагревания тела массой m от температуры t_1 до температуры t_2 необходимо передать ему количество теплоты:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm \Delta t. \quad (I)$$

При остывании тела его конечная температура t_2 оказывается меньше начальной температуры t_1 и количество теплоты, отдаваемой телом, отрицательно.

Коэффициент c в формуле называют **удельной теплоёмкостью** вещества.

Удельная теплоёмкость — это величина, численно равная количеству теплоты, которую получает или отдаёт вещество массой 1 кг при изменении его температуры на 1 К.

Удельная теплоёмкость газов зависит от того, при каком процессе осуществляется теплопередача. Если нагревать газ при постоянном давлении, то он будет расширяться и совершать работу.

Для нагревания газа на 1 °С при постоянном давлении ему нужно передать большее количество теплоты, чем для нагревания его при постоянном объёме, когда газ будет только нагреваться. Жидкие и твёрдые тела расширяются при нагревании незначительно. Их удельные теплоёмкости при постоянном объёме и постоянном давлении мало

различаются.

Удельная теплота парообразования.

Для превращения жидкости в пар в процессе кипения необходима передача ей определённого количества теплоты. Температура жидкости при кипении не меняется. Превращение жидкости в пар при постоянной температуре не ведёт к увеличению кинетической энергии молекул, но сопровождается увеличением потенциальной энергии их взаимодействия. Ведь среднее расстояние между молекулами газа много больше, чем между молекулами жидкости.

Величину, численно равную количеству теплоты, необходимой для превращения при постоянной температуре жидкости массой 1 кг в пар, называют **удельной теплотой парообразования**.

Эту величину обозначают буквой r и выражают в джоулях на килограмм (Дж/кг).

Для превращения жидкости массой m в пар требуется количество теплоты, равное:

$$Q_{\text{п}} = rm. \quad (2)$$

При конденсации пара происходит выделение такого же количества теплоты:

$$Q_{\text{к}} = -rm. \quad (3)$$

Удельная теплота плавления.

При плавлении кристаллического тела всё подводимое к нему тепло идёт на увеличение потенциальной энергии взаимодействия молекул. Кинетическая энергия молекул не меняется, так как плавление происходит при постоянной температуре.

Величину, численно равную количеству теплоты, необходимой для превращения кристаллического вещества массой 1 кг при температуре плавления в жидкость, называют **удельной теплотой плавления** и обозначают буквой λ .

При кристаллизации вещества массой 1 кг выделяется точно такое же количество теплоты, какое поглощается при плавлении.

Для того чтобы расплавить кристаллическое тело массой m , необходимо количество теплоты, равное:

$$Q_{\text{пл}} = \lambda m. \quad (4)$$

Количество теплоты, выделяемой при кристаллизации тела, равно:

$$Q_{\text{кр}} = -\lambda m. \quad (5)$$

Уравнение теплового баланса.

Рассмотрим теплообмен внутри системы, состоящей из нескольких тел, имеющих первоначально различные температуры, например теплообмен между водой в сосуде и опущенным в воду горячим железным шариком. Согласно закону сохранения энергии количество теплоты, отданной одним телом, численно равно количеству теплоты, полученной другим.

Отданное количество теплоты считается отрицательным, полученное количество теплоты — положительным. Поэтому суммарное количество теплоты $Q_1 + Q_2 = 0$.

Если в изолированной системе происходит теплообмен между несколькими телами, то

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0.$$

Уравнение называется **уравнением теплового баланса**.

Здесь Q_1, Q_2, Q_3 — количества теплоты, полученной или отданной телами. Эти количества теплоты выражаются формулой (1) или формулами (2)—(5), если в процессе теплообмена происходят различные фазовые превращения вещества (плавление, кристаллизация, парообразование, конденсация).

Упражнения

I. В алюминиевой кастрюле массой 1,5 кг находится 5 кг воды при температуре 20 °С . Найти количество теплоты, необходимое для нагревания воды до температуры кипения. Передачей тепла в окружающую среду пренебречь.

Решение:

Для нагревания алюминиевой кастрюли нужно: $Q_1 = c_{\text{алюм}} \cdot m_{\text{кастр}} \cdot \Delta t_{\text{кастр}}$

Для нагревания воды нужно: $Q_2 = c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{воды}} \cdot \Delta t_{\text{воды}}$

Всего нужно передать: $Q = Q_1 + Q_2$

Массы воды и кастрюли даны в условии, удельные теплоемкости можно найти в таблице. Вода должна нагреться от 20 до кипения, то есть до 100 °С . Кастрюля нагревается вместе с водой, поэтому изменение ее температуры будет таким же: $\Delta t_{\text{кастр}} = \Delta t_{\text{воды}} = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}$

Осталось подставить численные данные и найти ответ.

$$Q_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 1,5 \text{ кг} \cdot 80 ^\circ\text{С} = 110\,400 \text{ Дж} \approx 110 \text{ кДж} \quad Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 5 \text{ кг} \cdot 80 ^\circ\text{С} = 1\,680\,000 \text{ Дж} = 1680 \text{ кДж}$$

$$Q = 110 \text{ кДж} + 1680 \text{ кДж} = 1790 \text{ кДж} = 1,79 \text{ МДж}$$

Упражнения

2. В чашке находится горячий чай при температуре $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Масса чая – 150 г . Определите массу холодной воды, которую нужно долить в чашку с чаем, чтобы понизить температуру чая до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура холодной воды – $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Теплоемкость чая считать равной теплоемкости воды, потерями тепла пренебречь.

Решение:

Почему чай будет остывать? Мы долили в чашку холодную воду, поэтому чай будет отдавать тепло, его температура будет уменьшаться. Вода будет получать тепло, ее температура будет увеличиваться. В некоторый момент температура воды станет равной температуре чая, теплообмен прекратится. В условии сказано, что потерями тепла можно пренебречь, значит, все тепло, которое отдал чай, получит вода.

Чай отдал $Q_{\text{чая}} = c_{\text{чая}} m_{\text{чая}} \Delta t_{\text{чая}}$, вода получила $Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}$.

$$|Q_{\text{чая}}| = |Q_{\text{в}}|$$

Тогда $\Delta t_{\text{чая}} = t_{\text{чая кон}} - t_{\text{чая нач}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C} - 95\text{ }^{\circ}\text{C} = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Q чая и воды имеют противоположные знаки.

$$\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в кон}} - t_{\text{в нач}} = 60\text{ }^{\circ}\text{C} - 5\text{ }^{\circ}\text{C} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$|c_{\text{чая}} m_{\text{чая}} \Delta t_{\text{чая}}| = |c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}|$$

$$|m_{\text{чая}} \Delta t_{\text{чая}}| = |m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}|$$

$$|150\text{ г} \cdot (-35\text{ }^{\circ}\text{C})| = |m_{\text{в}} \cdot 55\text{ }^{\circ}\text{C}|$$

$$m_{\text{в}} = \frac{150\text{ г} \cdot 35\text{ }^{\circ}\text{C}}{55\text{ }^{\circ}\text{C}} \approx 95\text{ г}$$

Упражнения

1. Воду массой 100 г при температуре 12 °С поместили в калориметр, где находился лёд при температуре -5 °С. После установления теплового равновесия температура льда повысилась до 0 °С, но масса льда не изменилась. Пренебрегая потерями тепла, оцените, чему была равна начальная масса льда в калориметре. Удельная теплоёмкость льда равна 2100 Дж/(кг · К), удельная теплоёмкость воды равна 4200 Дж/(кг · К).
2. Для охлаждения лимонада массой 200 г в него бросают кубики льда при 0 °С. Масса каждого кубика 8 г. Первоначальная температура лимонада 30 °С. Сколько целых кубиков надо бросить в лимонад, чтобы установилась температура 15 °С? Тепловые потери не учитывайте. Удельная теплоёмкость лимонада такая же, как у воды. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · К), удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг.
3. В сосуд с водой опущена трубка. По трубке через воду пропускают пар при температуре 100 °С. Вначале масса воды увеличивается, но в некоторый момент, масса воды перестаёт увеличиваться, хотя пар по-прежнему пропускают. Первоначальная масса воды 230 г, а её первоначальная температура 0 °С. На сколько увеличилась масса воды? Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · К), удельная теплота парообразования воды 2300 кДж/кг.

Домашнее задание

1. В воду объёмом 1 л, температура которой 20 °С, бросают кусок железа массой 100 г, нагретый до 500 °С. При этом температура воды повышается до 24 °С и некоторое количество её обращается в пар. Определите массу обратившейся в пар воды.
2. К чайнику с кипящей водой подводится каждую секунду энергия, равная $1,13$ кДж. Определите скорость истечения пара из носика чайника, площадь поперечного сечения которого равна 1 см². Плотность водяного пара считайте равной 1 кг/м³.
3. Определите массу снега, который растает при температуре 0 °С под колёсами автомобиля, если автомобиль буксует в течение 20 с, а на буксовку идёт 50% всей мощности? Мощность автомобиля $1,7 \cdot 10^4$ Вт, удельная теплота плавления льда $3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг.
4. Свинцовая пуля массой $0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью 500 м/с, попадает в неподвижный стальной кубик массой 90 г, лежащий на гладком горизонтальном столе. Чему будет равна температура обоих тел после удара? Удар считайте абсолютно неупругим, температура пули в момент удара 30 °С, кубика — 20 °С. Потерями тепла можно пренебречь. Удельная теплоёмкость свинца 126 Дж/кг · К), стали — 460 Дж/(кг · К).