

Тепловое равновесие и уравнение теплового баланса

Тела, температура которых отличается, могут обмениваться тепловой энергией. То есть, между телами будет происходить теплообмен. Самостоятельно тепловая энергия переходит от более нагретых тел к менее нагретым.

Что такое теплообмен и при каких условиях он происходит

Тела, имеющие различные температуры, будут обмениваться тепловой энергией. Этот процесс называется теплообменом.

Теплообмен – процесс обмена тепловой энергией между телами, имеющими различные температуры.

Рассмотрим два тела, имеющие различные температуры (рис. 1).

Тело, имеющее более высокую температуру, будет остывать и отдавать тепловую энергию телу, имеющему низкую температуру. А тело с низкой температурой будет получать количество теплоты и нагреваться.

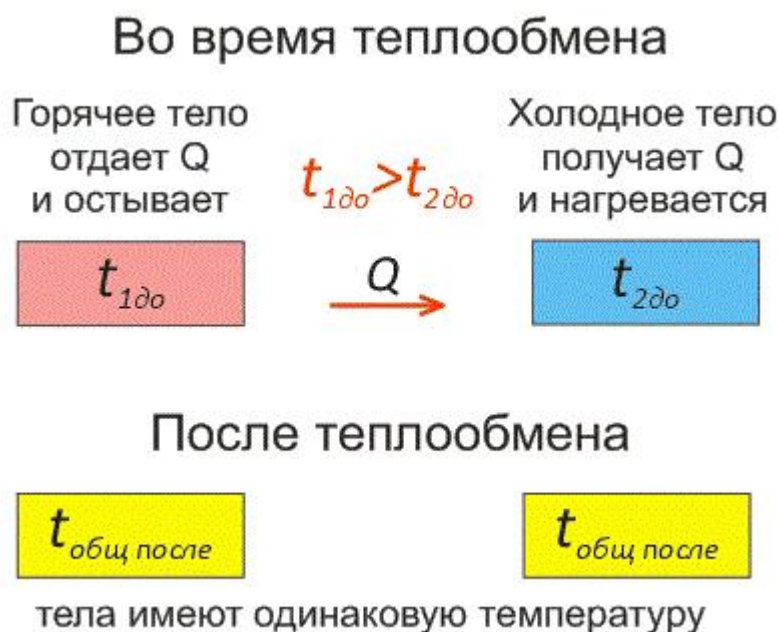


Рис.1. Два тела во время теплообмена и после

На рисунке, горячее тело имеет розовый оттенок, а холодное изображено голубым цветом.

Когда температуры тел выравниваются, теплообмен прекращается.

Чтобы теплообмен происходил, нужно, чтобы тела имели различные температуры.

Когда температура тел выравнивается, теплообмен прекратится.

Тепловое равновесие — это состояние, при котором тела имеют одинаковую температуру.

Уравнение теплового баланса и сохранение тепловой энергии

Когда тело остывает, оно отдаёт тепловую энергию (теплоту). Утерянное количество теплоты Q имеет знак «минус».

А когда тело нагревается — оно получает тепловую энергию. Приобретённое количество теплоты Q имеет знак «плюс».

Эти факты отражены на рисунке 2.

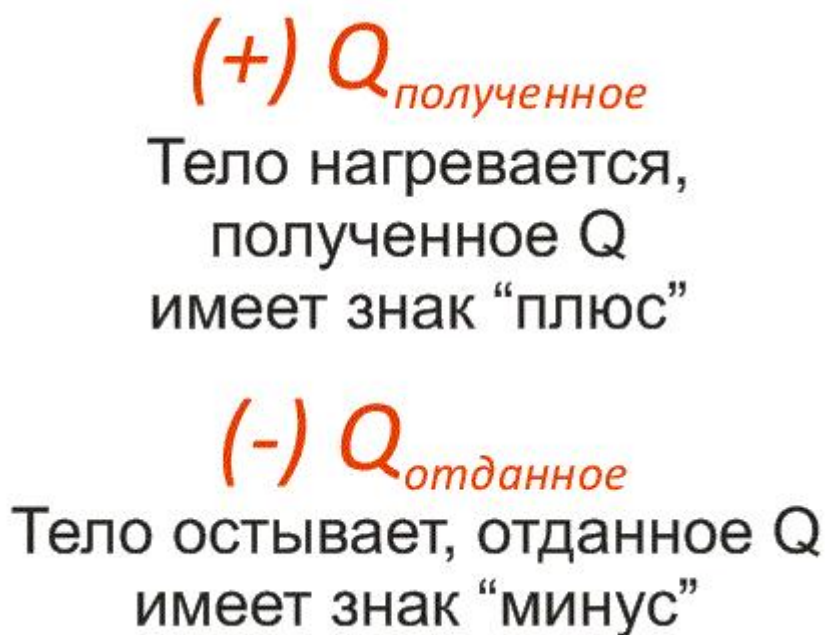


Рис. 2. Полученное количество теплоты имеет знак «+», а отданное Q — знак «-»

Закон сохранения тепловой энергии: Количество теплоты, отданное горячим телом равно количеству теплоты, полученному холодным телом.

Примечание: Существует и другая формулировка **закона сохранения энергии**: Энергия не появляется сама собой и не исчезает бесследно. Она переходит из одного вида в другой.

Уравнение теплового баланса

Тот факт, что тепловая энергия сохраняется, можно записать с помощью математики в виде уравнения. Такую запись называют уравнением теплового баланса.

Запишем уравнение теплового баланса для двух тел, обменивающихся тепловой энергией:

$$Q_{\text{остывания горяч}} + Q_{\text{нагрева холод}} = 0$$

$Q_{\text{остывания горяч}}$ (Дж) – это количество теплоты горячее тело теряет.

$Q_{\text{нагрева холод}}$ (Дж) – это количество теплоты холодное тело получает.

В левой части уравнения складываем количество теплоты каждого из тел, участвующих в теплообмене.

Записываем ноль в правой части уравнения, когда теплообмен с окружающей средой отсутствует. То есть, теплообмен происходит только между рассматриваемыми телами.

В некоторых учебниках применяют сокращения:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

Примечание: Складывая два числа мы получим ноль, когда эти числа будут:

- ✓ равными по модулю и
- ✓ имеют различные знаки (одно число — знак «плюс», а второе – знак «минус»).

Если несколько тел участвуют в процессе теплообмена

Иногда в процессе теплообмена участвуют несколько тел. Тогда, для каждого тела нужно записать формулу количества теплоты Q . А потом все количества теплоты подставить в уравнение для теплового баланса:

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

При этом:

- ✓ Q для каждого нагреваемого тела будет обладать знаком «+»,
- ✓ Q для каждого охлаждаемого тела — знаком «-».

Пример расчётов для теплообмена между холодным и горячим телом

К горячей воде, массой 200 грамм, имеющей температуру +80 градусов Цельсия, добавили холодную воду, в количестве 100 грамм при температуре +15 градусов Цельсия. Какую температуру будет иметь смесь после установления теплового равновесия? Считать, что окружающая среда в теплообмене не участвует.

Примечание: Здесь мы рассматриваем упрощённую задачу, для того, чтобы облегчить понимание закона сохранения энергии. Мы не учитываем в этой задаче, что вода содержится в ёмкости. И часть тепловой энергии будет затрачиваться на то, чтобы изменить температуру ёмкости.

При решении других задач обязательно учитывайте, что ёмкость, в которой будет содержаться вещество, имеет массу. И часть тепловой энергии будет затрачиваться на то, чтобы изменить температуру ёмкости.

Решение:

В условии сказано, что окружающая среда в теплообмене не участвует. Поэтому, будем считать рассматриваемую [систему замкнутой](#). А в замкнутых системах выполняются законы сохранения. Например, [закон сохранения энергии](#).

Иными словами, с сосудом и окружающим воздухом теплообмен не происходит и, все тепловая энергия, отданная горячей водой, будет получена холодной водой.

1). Запишем уравнение теплового баланса, в правой части которого можно записать ноль:

$$Q_{\text{остывания горяч}} + Q_{\text{нагрева холод}} = 0$$

2). Теперь запишем формулу для каждого количества теплоты:

$$Q_{\text{остывания горяч}} = c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{горяч}} \cdot (t_{\text{общ}} - t_{\text{горяч}})$$

$$Q_{\text{нагрева холод}} = c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{холодн}} \cdot (t_{\text{общ}} - t_{\text{холодн}})$$

Примечания:

- ✓ $c_{\text{воды}}$ — [удельную теплоемкость](#) воды находим в справочнике;
- ✓ Массу воды переводим в килограммы;
- ✓ Горячая вода остывает и отдает тепловую энергию. Поэтому, разность $(t_{\text{общ}} - t_{\text{горяч}})$ будет иметь знак «минус», потому, что конечная температура горячей воды меньше ее начальной температуры;

Холодная вода получает тепловую энергию и нагревается. Из-за этого, разность $(t_{\text{общ}} - t_{\text{холодн}})$ будет иметь знак «плюс», потому, что конечная температура холодной воды больше ее начальной температуры;

3). Подставим выражения для каждого Q в уравнение баланса:

$$c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{горяч}} \cdot (t_{\text{общ}} - t_{\text{горяч}}) + c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{холодн}} \cdot (t_{\text{общ}} - t_{\text{холодн}}) = 0$$

4). Для удобства, заменим символы числами:

$$4200 \cdot 0,2 \cdot (t_{\text{общ}} - 80) + 4200 \cdot 0,1 \cdot (t_{\text{общ}} - 15) = 0$$

Проведем упрощение:

$$840 \cdot (t_{\text{общ}} - 80) + 420 \cdot (t_{\text{общ}} - 15) = 0$$

Раскрыв скобки и решив это уравнение, получим ответ:

$$t_{\text{общ}} = 58,33$$

Ответ: Температура смеси после прекращения теплообмена будет равна 58,33 градуса Цельсия.

Задача для самостоятельного решения:

В алюминиевом калориметре массой 100 грамм находится керосин массой 250 грамм при температуре +80 градусов Цельсия. В керосин поместили свинцовый шарик, массой 300 грамм. Начальная температура шарика +20 градусов Цельсия. Найдите температуру тел после установления теплового равновесия. Внешняя среда в теплообмене не участвует.

Примечание к решению: В левой части уравнения теплового баланса теперь будут находиться три слагаемых. Потому, что мы учитываем три количества теплоты:

- ✓ Q_1 – охлаждение алюминия от температуры +80 градусов до конечной температуры;
- ✓ Q_2 – охлаждение керосина от температуры +80 градусов до конечной температуры;
- ✓ Q_3 – нагревание свинца от температуры +20 градусов до конечной температуры;

А справа в уравнение теплового баланса запишем ноль. Так как внешняя среда в теплообмене не участвует.

Выводы

- ✓ Если тела имеют **различную температуру**, то между ними возможен обмен тепловой энергией, т. е. теплообмен;
- ✓ Когда тела будут иметь равную температуру, теплообмен прекратится;
- ✓ Тело с высокой температурой, отдаёт тепловую энергию (теплоту) и остывает. Отданное количество теплоты Q имеет знак «минус»;

- ✓ А тело с низкой температурой получает тепловую энергию и нагревается. Полученное количество теплоты Q имеет знак «плюс»;
- ✓ Количество теплоты, отданное горячим телом равно количеству теплоты, полученному холодным телом. Это – закон сохранения тепловой энергии;
- ✓ Сохранение тепловой энергии можно записать в виде уравнения теплового баланса;
- ✓ В левой части уравнения складываем количества теплоты (всех тел, участвующих в теплообмене);
- ✓ В правой части уравнения записываем ноль, когда теплообмен с окружающей средой отсутствует.