



§ 6.

Расчет количества теплоты при нагревании и охлаждении. Удельная теплоемкость

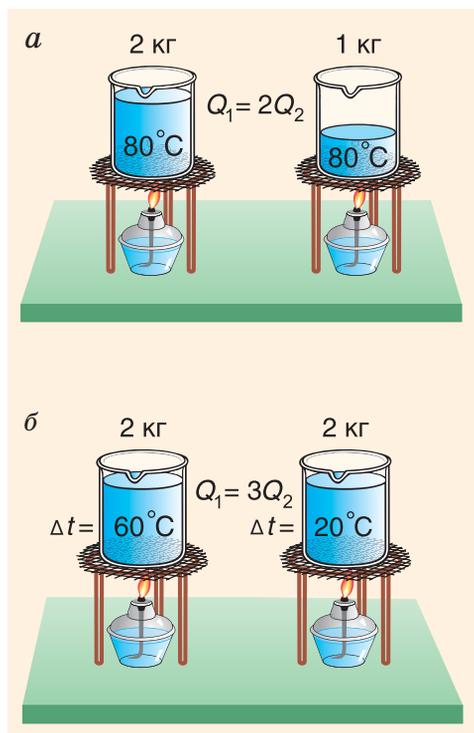


Рис. 42

Вы уже знаете, что изменить внутреннюю энергию тела можно передачей ему количества теплоты. Как связано изменение внутренней энергии тела, т. е. количество теплоты, с характеристиками самого тела?

Внутренняя энергия тела есть суммарная энергия всех его частиц. Значит, если массу данного тела увеличить в два или три раза, то и количество теплоты, необходимое для его нагревания на одно и то же число градусов, увеличится в два или три раза. Например, на нагревание двух килограммов воды от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ потребуется в два раза больше теплоты, чем на нагревание одного килограмма воды (рис. 42, а).

Очевидно также, что для нагревания воды на $\Delta t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ нужно передать ей в 3 раза большее количество теплоты, чем для нагревания на $\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 42, б).

Из этих рассуждений следует подтвержденный опытами вывод. *Количество теплоты, необходимое для нагревания тела, прямо пропорционально его массе и изменению температуры.*

А зависит ли количество теплоты, идущее на нагревание, от рода вещества, которое нагревается?

Для ответа на этот вопрос проведем опыт. В два одинаковых стакана нальем по 150 г подсолнечного масла и воды. Поместим в них термометры и поставим на нагреватель (рис. 43). Получив за одинаковое время от нагревателя равное с водой количество теплоты, масло нагрелось больше, чем вода. Значит, для изменения температуры масла на одну и ту же величину требуется меньше теплоты, чем для изменения температуры такой же массы воды.

Поэтому для всех веществ вводят специальную величину — удельную теплоемкость вещества. Эту величину обозначают буквой c (от лат.

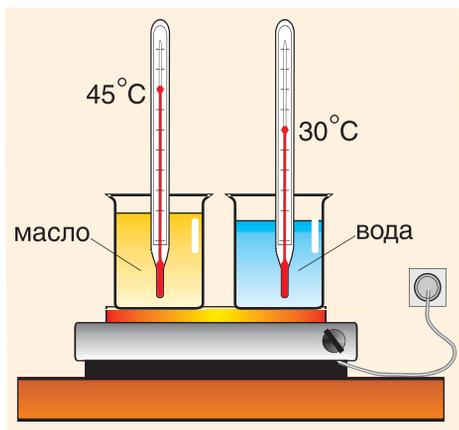


Рис. 43

capacitas — емкость, вместимость). Теперь мы можем записать строгую формулу для количества теплоты, необходимого для нагревания тела от температуры t_1 до температуры t_2 :

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

Выразим из этой формулы c :

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

Удельная теплоемкость есть физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать 1 кг данного вещества, чтобы увеличить его температуру на 1 °С. Удельная теплоемкость измеряется в джоулях на килограмм-градус Цельсия $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}\right)$.

▼ Для любознательных

Часто формулу $Q = cm(t_2 - t_1)$ записывают в виде $Q = C(t_2 - t_1)$. Здесь величина $C = cm$ называется теплоемкостью тела (обратите внимание — не вещества). Она численно равна количеству теплоты, необходимому для нагревания всей массы тела на 1 °С. Измеряется теплоемкость тела в джоулях на градус Цельсия $\left(\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{С}}\right)$.

В таблице 1 представлены значения удельной теплоемкости различных веществ (в различных состояниях). Как следует из этой таблицы, среди жидкостей максимальное значение удельной теплоемкости имеет вода: для нагревания 1 кг воды на 1 °С требуется 4200 Дж теплоты. Это почти в 2,5 раза больше, чем для нагревания 1 кг подсолнечного масла, и в 35 раз больше, чем для нагревания 1 кг ртути.

Формула $Q = cm(t_2 - t_1)$ дает возможность найти и выделяемую при охлаждении тела теплоту. Так как конечная температура t_2 остывшего тела меньше начальной t_1 , то изменение температуры оказывается отрицательным числом. Значит, и выделяемое телом количество теплоты выражается отрицательным числом, что обозначает не рост, а убыль внутренней энергии тела.

В заключение заметим, что при теплообмене двух или нескольких тел абсолютное значение количества теплоты, которое отдано более нагретым телом (телами), равно количеству теплоты, которое получено более холодным телом (телами):

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

Это равенство называется **уравнением теплового баланса** и выражает, по сути, закон сохранения энергии. Оно справедливо при отсутствии потерь теплоты.

Таблица 1. Удельная теплоемкость некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении и температуре $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$)

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Твердые тела			
Алюминий	$920 = 9,2 \cdot 10^2$	Олово	$250 = 2,5 \cdot 10^2$
Бетон	$880 = 8,8 \cdot 10^2$	Парафин	$3200 = 3,2 \cdot 10^3$
Дерево	$2700 = 2,7 \cdot 10^3$	Песок	$970 = 9,7 \cdot 10^2$
Железо, сталь	$460 = 4,6 \cdot 10^2$	Платина	$130 = 1,3 \cdot 10^2$
Золото	$130 = 1,3 \cdot 10^2$	Свинец	$120 = 1,2 \cdot 10^2$
Кирпич	$750 = 7,5 \cdot 10^2$	Серебро	$250 = 2,5 \cdot 10^2$
Латунь	$380 = 3,8 \cdot 10^2$	Стекло	$840 = 8,4 \cdot 10^2$
Лед	$2100 = 2,1 \cdot 10^3$	Цемент	$800 = 8,0 \cdot 10^2$
Медь	$380 = 3,8 \cdot 10^2$	Цинк	$400 = 4,0 \cdot 10^2$
Никель	$460 = 4,6 \cdot 10^2$	Чугун	$550 = 5,5 \cdot 10^2$
Жидкости			
Ацетон	$2200 = 2,2 \cdot 10^3$	Керосин	$2140 = 2,14 \cdot 10^3$
Вода	$4200 = 4,2 \cdot 10^3$	Масло подсолнечное	$1700 = 1,7 \cdot 10^3$
Глицерин	$2400 = 2,4 \cdot 10^3$	Ртуть	$120 = 1,2 \cdot 10^2$
Железо	$830 = 8,3 \cdot 10^2$	Спирт этиловый	$2400 = 2,4 \cdot 10^3$
Газы (при постоянном давлении)			
Азот	$1000 = 1,0 \cdot 10^3$	Воздух	$1000 = 1,0 \cdot 10^3$
Водород	$14\,300 = 1,43 \cdot 10^4$	Кислород	$920 = 9,2 \cdot 10^2$
Водяной пар	$2200 = 2,2 \cdot 10^3$	Углекислый газ	$830 = 8,3 \cdot 10^2$

□ Главные выводы

1. Количество теплоты, необходимое для нагревания тела (выделившееся при охлаждении), прямо пропорционально его массе, изменению температуры тела и зависит от вещества тела.
2. Удельная теплоемкость вещества численно равна количеству теплоты, которое надо передать 1 кг данного вещества, чтобы изменить его температуру на 1 °С.
3. При теплообмене количество теплоты, отданное более горячим телом, равно по модулю количеству теплоты, полученному более холодным телом, если нет потерь теплоты.

? Контрольные вопросы

1. Какая физическая величина определяет количество теплоты, которое выделяется при охлаждении на $\Delta t = 1\text{ °С}$ тела массой $m = 1\text{ кг}$? А тела массой m ?
2. В каких единицах выражается удельная теплоемкость вещества? Как это доказать?
3. Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$. Что это означает?
4. Почему по формуле $Q = cm\Delta t$ можно рассчитывать значение как количества теплоты, необходимого для нагревания, так и количества теплоты, выделяемого при охлаждении тела?
5. Что называется уравнением теплового баланса? В чем его смысл?

→ Домашнее задание

Налейте в литровую банку до половины объема холодной воды ($t_1 = 15\text{--}20\text{ °С}$), добавьте горячей воды ($t_2 = 60\text{--}70\text{ °С}$), заполнив объем банки полностью. Измерьте температуру воды в банке. Сделайте вывод.



Пример решения задачи

Для купания ребенка в ванночку влили холодную воду массой $m_1 = 20\text{ кг}$ при температуре $t_1 = 12\text{ °С}$. Какую массу горячей воды при температуре $t_2 = 80\text{ °С}$ нужно добавить в ванночку, чтобы окончательная температура воды стала $t_3 = 37\text{ °С}$? Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$.

Дано:

$m_1 = 20 \text{ кг}$

$t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$

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

$t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$

$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$

$m_2 = ?$

Решение

По закону сохранения энергии $|Q_{\text{отд}}| = Q_{\text{получ}}$. Отдавала теплоту горячая вода, изменяя свою температуру от $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$|Q_{\text{отд}}| = |cm_2(t_3 - t_2)|.$$

Холодная вода получила эту теплоту и нагрелась от $t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{\text{получ}} = cm_1(t_3 - t_1).$$

Так как нас интересует только модуль $Q_{\text{отд}}$, то можно записать:

$$Q_{\text{отд}} = cm_2(t_2 - t_3).$$

Тогда $cm_2(t_2 - t_3) = cm_1(t_3 - t_1)$, или $m_2(t_2 - t_3) = m_1(t_3 - t_1)$;

$$m_2 = \frac{m_1(t_3 - t_1)}{t_2 - t_3} = \frac{20 \text{ кг} \cdot (37 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C})}{80 \text{ }^\circ\text{C} - 37 \text{ }^\circ\text{C}} \approx 12 \text{ кг}.$$

При решении мы пренебрегали потерями теплоты на нагревание ванночки, окружающего воздуха и т. д.

Возможен и другой вариант решения.

Рассчитаем сначала количество теплоты, которое было получено холодной водой:

$$Q_{\text{получ}} = cm_1(t_3 - t_1) = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 20 \text{ кг} \cdot (37 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C}) = \\ = 2\,100\,000 \text{ Дж} = 2,1 \text{ МДж}.$$

Полагая, что эта теплота отдана горячей водой, запишем: $Q_{\text{отд}} = cm_2(t_3 - t_2)$. Выразим искомую массу:

$$m_2 = \frac{Q_{\text{отд}}}{c(t_3 - t_2)} = \frac{-2\,100\,000 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} (37 \text{ }^\circ\text{C} - 80 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 12 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_2 \approx 12 \text{ кг}$.

Упражнение 5

1. Чайная ложка, получив количество теплоты $Q_1 = 690 \text{ Дж}$, нагрелась на $\Delta t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$. Какое количество теплоты выделится при остывании этой ложки на $|\Delta t| = 75 \text{ }^\circ\text{C}$?

2. Какое количество теплоты потребуется, чтобы нагреть до кипения воду объемом $V = 1,0 \text{ л}$ и температурой $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$? Температуру кипения воды примите равной $t_{\text{к}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Из какого вещества изготовлена статуэтка массой $m = 200$ г, если на ее нагревание от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 30$ °С потребовалось количество теплоты $Q = 500$ Дж?

4. Цыплят поят теплой водой, температура которой $t = 33$ °С. Определите объем горячей воды при температуре $t_1 = 81$ °С, которую необходимо смешать с холодной водой объемом $V_2 = 160$ мл при температуре $t_2 = 18$ °С, чтобы приготовить воду для питья цыплятам. Потерями теплоты пренебречь.

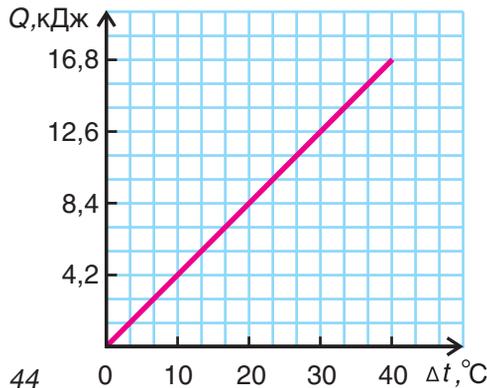


Рис. 44

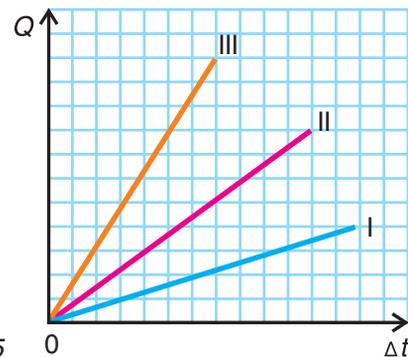


Рис. 45

5. На рисунке 44 представлен график физического процесса. Какой процесс происходит с веществом массой $m = 0,10$ кг? Какое это вещество?

6. На рисунке 45 изображены графики зависимости количества теплоты от изменения температуры для тел I, II и III одинаковой массы, но изготовленных из разных веществ. Сравните удельные теплоемкости веществ этих тел.

 7. В металлическую кастрюлю при температуре $t_0 = 10$ °С наливают один литр горячей воды, имеющей температуру $t = 90$ °С. После установления теплового равновесия температура воды оказалась равной $t_1 = 70$ °С. Затем в эту же кастрюлю доливают еще два литра горячей воды, температура которой $t = 90$ °С. Какая температура установится в кастрюле? Потерями теплоты пренебречь.

 8. В алюминиевый сосуд массой $m = 200$ г, содержащий воду массой $m_1 = 0,92$ кг при температуре $t_1 = 10$ °С, погрузили чугунный цилиндр при температуре $t_2 = 50$ °С. В результате теплообмена установилась температура $t_3 = 30$ °С. Какова масса цилиндра, если потери энергии составили 8,0 %?