

Министерство образования и науки Российской Федерации
Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Заочная физико-техническая школа

ФИЗИКА

Тепловые явления

Задание №2 для 8-х классов

(2016 – 2017 учебный год)



г. Долгопрудный, 2016

Составитель: Д.В. Мокроусова, преподаватель ЗФТШ МФТИ, аспирант 3 года ФОПФ.

Физика: задание №2 для 8-х классов (2016 – 2017 учебный год), 2016, 24 с.

Дата отправления заданий по физике и математике – 29 ноября 2016 г.

Составитель:

Мокроусова Дарья Вадимовна

Подписано 03.10.16. Формат 60×90 1/16.

Бумага типографская. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,5.

Уч.-изд. л. 1,33. Тираж 1000. Заказ №38-з.

Заочная физико-техническая школа
Московского физико-технического института
(государственного университета)

ООО «Печатный салон ШАНС»

Институтский пер., 9, г. Долгопрудный, Москов. обл., 141700.

ЗФТШ, тел./факс (495) 408-5145 – **заочное отделение,**

тел./факс (498) 744-6351 – **очно-заочное отделение,**

тел. (499) 755-5580 – **очное отделение.**

e-mail: zftsh@mail.mipt.ru

Наш сайт: www.school.mipt.ru

© МФТИ, ЗФТШ, 2016

Все права защищены. Воспроизведение учебно-методических материалов и материалов сайта ЗФТШ в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения правообладателей.

Тепловые явления

Явления, протекающие в телах при их нагревании и охлаждении либо при изменении их агрегатного состояния, называются тепловыми явлениями. Примерами могут служить: кипение воды, таяние льда, нагревание воздуха в комнате.

Введение

Посмотрите вокруг. Вас окружает множество предметов: стол, стулья, стены, потолок, ручка, тетрадь. Все окружающие вас тела состоят из молекул, и даже если тело покоится, составляющие его мельчайшие частички находятся в постоянном движении, называемом тепловым движением. При этом чем теплее тело, тем быстрее движутся эти частички. Их движение хаотическое – молекулы движутся с различными скоростями в различных направлениях, постоянно меняя скорость в процессе взаимодействия с другими молекулами. Как вы знаете, всякое движение и взаимодействие тел характеризуется кинетической и потенциальной энергиями. При протекании тепловых явлений энергия молекул изменяется. Для количественного описания таких явлений как нагревание, плавление и т. д. нужно уметь рассчитывать суммарную энергию молекул.

Возможны два подхода к решению этой задачи. Первый предполагает описание движения и взаимодействия каждой молекулы. Это очень трудоёмко (например, в 1 см^3 воды содержится около $3 \cdot 10^{22}$ молекул), и даже самые мощные современные компьютеры не в силах справиться с такой задачей. Второй подход предполагает рассмотрение вещества «в целом», введение таких его характеристик, как температура и теплоёмкость. Именно ими мы и будем пользоваться для описания тепловых явлений.

Температура

В повседневной жизни термин «температура» мы чаще всего используем для описания степени нагретости тел. Например, фраза «в кружке вода холодная, а в стакане – горячая» равносильна фразе «температура воды в кружке меньше температуры воды в стакане».

Наши ощущения тепла и холода зависят как от свойств тел, так и от нашего состояния. Например, на морозе металлические предметы кажутся холоднее, чем деревянные, а на самом деле их температуры одинаковы и равны температуре окружающей среды. Другой пример: если

мы заходим в комнату с мороза, то нам воздух в ней кажется теплее, чем людям, которые долго находятся в этой комнате.

Для того чтобы определять температуру окружающих тел вне зависимости от нашего состояния, влияющего на измерение, используются специальные приборы – термометры.

Допустим, что необходимо измерить температуру горячей воды в ванне. После помещения термометра в воду следует подождать некоторое время, пока показания термометра перестанут изменяться. Это означает, что теплообмен между водой и термометром прекратился, и их температуры сравнялись. Этот пример иллюстрирует понятие теплового равновесия: два (или более) тела находятся в тепловом равновесии, если передачи тепла от одного тела другому не происходит. Тела, находящиеся в тепловом равновесии, имеют одинаковые температуры. Заметим, что термометр всегда измеряет именно свою температуру.

При изменении температуры тела изменяются практически все его характеристики (объём, электрическое сопротивление и др.), и по их изменению мы можем судить о температуре исследуемого тела. Работа самого распространенного вида термометров (жидкостного) основана на явлении теплового расширения тел. Например, при нагревании медицинского термометра изменяется видимая длина столбика находящейся в нём ртути.

Важным элементом термометра является измерительная шкала (без неё невозможно определить численное значение температуры). Есть несколько общепринятых шкал температуры: Фаренгейта, Цельсия и Кельвина. Идея шкал Фаренгейта и Цельсия основывается на использовании двух реперных точек (то есть точек, соответствующих некоторым постоянным температурам) и делении расстояния между ними на равные промежутки (по 1°). В обеих шкалах реперными точками выступают температура таяния льда $t_{\text{л}}$ и температура кипения воды $t_{\text{к}}$ при нормальном атмосферном давлении.

По шкале Фаренгейта $t_{\text{л}} = 32^\circ F$, $t_{\text{к}} = 212^\circ F$, по шкале Цельсия $t_{\text{л}} = 0^\circ C$, $t_{\text{к}} = 100^\circ C$. Перевод из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия можно осуществлять по формуле $t(^{\circ}C) = \frac{5}{9}(t(^{\circ}F) - 32)$. Шкала Цельсия наиболее часто используется в быту. Шкала Фаренгейта является общепринятой в некоторых странах, например, в США.

В современной физике широко используется шкала Кельвина. Один градус Кельвина равен одному градусу Цельсия ($1\text{K}=1^\circ\text{C}$), при этом температура таяния льда по Кельвину $T_{\text{л}} = 273,15\text{ K}$. Температура же $T = 0\text{ K}$ является так называемым «абсолютным нулём», то есть минимальным пределом температуры вещества. Более подробно об этой шкале и её пользе вы узнаете при изучении молекулярно-кинетической теории газов. В настоящем задании мы будем пользоваться исключительно шкалой Цельсия.

В молекулярно-кинетической теории тепловых явлений, основанной на идеях о молекулярном строении вещества и непрерывном беспорядочном движении молекул, указывается на тесную связь температуры тела и средней кинетической энергией его молекул: при повышении температуры тела увеличивается и средняя кинетическая энергия его молекул, и наоборот.

Следует отметить, что встречаются ситуации, когда невозможно правильно измерить температуру при помощи термометра. Например, если мы попытаемся термометром, имеющим комнатную температуру, измерить температуру капельки горячей воды, то, скорее всего, результат измерения не совпадет с её реальной температурой. Пока капелька будет отдавать тепло термометру, её температура будет понижаться. Понижение температуры капельки в процессе измерения может быть заметным, если она передаст термометру значительную часть своей энергии. Таким образом, измерение температуры можно считать достоверным, если оно не сильно изменило начальное состояние исследуемого тела или среды.

Внутренняя энергия и способы ее изменения

Любое тело состоит из громадного числа молекул, которые находятся в непрерывном тепловом движении и взаимодействуют друг с другом. В молекулярно-кинетической теории строения вещества вводят понятие *внутренней энергии* тела, которая определяется как сумма кинетической энергии хаотичного движения всех молекул тела и потенциальной энергии взаимодействия этих молекул друг с другом (но не с другими телами). Обычно она обозначается буквой U .

Как сказано выше, при изменении температуры тела изменяется средняя кинетическая энергия его молекул. Следовательно, изменяется и его внутренняя энергия. Однако изменение внутренней энергии тела не обязательно происходит только при изменении его температуры.

Например, при таянии льда его температура остаётся постоянной, а внутренняя энергия изменяется. Это связано с тем, что в этом процессе изменяется взаимное расположение молекул, а значит, изменяется и потенциальная энергия их взаимодействия. Изменение внутренней энергии тела без изменения температуры называется изменением агрегатного состояния вещества. Об этом пойдёт речь далее.

При рассмотрении некоторых тепловых явлений удобно воспользоваться законом сохранения полной энергии тела, которую определим как сумму его механической и внутренней энергий. В отсутствие взаимодействия тела (или системы тел) с другими телами его полная энергия сохраняется. При этом часть механической энергии может перейти во внутреннюю, и наоборот. Это и есть закон сохранения энергии в общем случае. Рассмотрим пример.

Пример 1. Два пластилиновых шарика каждый массой 100 г летели навстречу друг другу со скоростями 1м/с. После столкновения они слиплись и остановились. Найти изменение внутренней энергии шариков.

Решение. В процессе столкновения полная энергия шариков сохраняется, поскольку шарики взаимодействуют только друг с другом. Кинетическая энергия (то есть энергия движения) каждого шарика до удара $E_{\text{кин до}} = \frac{mv^2}{2}$, обоих шариков $E_{\text{кин до}} = 2 \cdot \frac{mv^2}{2} = mv^2$, после удара $E_{\text{кин после}} = 0$, поскольку шарики остановились. По закону сохранения полной энергии $E_{\text{полн}} = E_{\text{кин до}} + U_{\text{до}} = E_{\text{кин после}} + U_{\text{после}}$, откуда для изменения внутренней энергии получаем $\Delta U = U_{\text{после}} - U_{\text{до}} = E_{\text{кин до}} - E_{\text{кин после}} = mv^2 = 0,1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}^2/\text{с}^2 = 0,1 \text{ Дж}$. (Здесь и далее ΔX обозначает изменение любой величины X , а именно разность конечного и начального значения $\Delta X = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}}$.)

Ответ: внутренняя энергия шариков увеличилась на $\Delta U = 0,1 \text{ Дж}$.

Внутренняя энергия тела может измениться в процессе совершения работы. Если работа совершается над телом (например, при трении одного деревянного бруска о другой, при сгибании и разгибании проволоки), то внутренняя энергия тела увеличивается. Если же тело само совершает работу (например, газ в сосуде расширяется и толкает пробку), то его внутренняя энергия уменьшается.

Внутреннюю энергию тела можно изменить и без совершения работы, приводя его в контакт с другим телом, температура которого отличается от температуры рассматриваемого тела. Этот способ называется теплопередачей – передачей энергии от одного тела другому без совершения работы. Существует три механизма теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение. Рассмотрим каждый из них подробнее.

Теплопроводность. Если два тела с разными температурами привести в контакт друг с другом (например, опустить разогретую «до красна» кочергу в ведро с водой и оставить там), то с течением времени температуры этих тел изменятся. Одно тело при этом нагреется, а другое остынет. Нагревание одного тела и охлаждение другого тела будут происходить до тех пор, пока их температуры не сравняются.

Как показывает опыт, температура каждого из тел в процессе нагревания или охлаждения в различных точках неодинакова и со временем изменяется. Сначала изменится температура в местах соприкосновения тел. Затем изменение температуры произойдёт в точках, прилежащих к месту контакта и, наконец, это изменение температуры захватит самые дальние точки тел. Такой процесс выравнивания температур сопровождается передачей некоторой доли кинетической энергии молекул одной части тела молекулам другой его части, т. е. передачей тепла, а сам процесс перехода тепла от одной части тела к другой называется теплопроводностью. Важно заметить, что при теплопроводности само вещество не перемещается, а теплопередача всегда идёт в определённом направлении: внутренняя энергия горячего тела уменьшается, а внутренняя энергия холодного тела увеличивается.

Наилучшей теплопроводностью обладают металлы, воздух проводит тепло плохо, а самым плохим проводником тепла является вакуум (пространство, в котором нет атомов и молекул).

Конвекция. Такой способ передачи энергии имеет место в жидкостях и газах. При конвекции, в отличие от теплопроводности, энергия переносится самим веществом. Обычно чем теплее слой жидкости или газа, тем меньше его плотность и, соответственно, тем он легче. Под действием силы Архимеда, теплые слои поднимаются вверх, а холодные опускаются вниз. Например, в стоящей на плите кастрюле с водой нижние слои воды нагреваются при соприкосновении с горячим дном и начинают подниматься вверх, им на смену приходят более холодные, которые тоже нагреваются и снова сменяются более холодными слоями.

Именно конвекцию учитывают при выборе расположения нагревателей в комнате (батареи ставятся внизу, а форточки обычно располагаются наверху комнаты). Такое расположение гарантирует как более эффективный обогрев помещения (теплый воздух поднимается вверх и заполняет всю комнату), так и более эффективное охлаждение (холодный воздух опускается вниз).

Испускание и поглощение излучения. Если поднести руку к горячему утюгу снизу (чтобы исключить влияние конвекции), то мы почувствуем жар. Утюг испускает электромагнитное излучение, которое мы не видим, но воспринимаем как тепло. Это излучение называется инфракрасным. Его испускают все нагретые тела, хотя и с разной интенсивностью, причём чем горячее тело, тем больше интенсивность этого излучения. Важное свойство излучения состоит в том, что для его распространения не нужна среда (вещество) – оно может распространяться в вакууме (например, Солнце далеко от нас в космосе, но мы всё равно чувствуем его излучение). Этим данный способ теплопередачи отличается от теплопроводности и конвекции, которые невозможны без «переносчиков» теплоты – атомов и молекул.

Когда тело поглощает излучение, его внутренняя энергия увеличивается. При этом способности тел к поглощению различны. Тела, имеющие светлую окраску, поглощают излучение хуже, чем тела, имеющие темную окраску. Поэтому крылья самолетов красят в серебристый цвет, и летом рекомендуется носить светлую одежду. Солнечные батареи, преобразующие энергию солнечного излучения в электричество, имеют темную окраску.

Количество теплоты. Теплоемкость.

Количество теплоты – энергия, которой тело обменивается с окружающей средой (или другим телом) в процессе теплопередачи. Его обычно обозначают буквой Q . Так как количество теплоты по сути есть изменение энергии, его измеряют в тех же единицах, что и энергию. В системе СИ количество теплоты Q измеряется в джоулях (Дж). Однако в быту используют другую единицу измерения – калорию. Калория – это количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на 1°C , при этом $1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}$.

Как указывалось ранее, полная энергия тела (или системы тел), определяемая как сумма его механической и внутренней энергий ($E = E_{\text{мех}} + U$), может измениться в процессе совершения внешними силами работы A и в процессе передачи телу теплоты Q . Это утверждение является по сути законом сохранения и превращения энергии, распространенным на тепловые явления, и называется первым началом (первым законом) термодинамики. Обычно его записывают в следующем виде

$$\Delta E = \Delta E_{\text{мех}} + \Delta U = A + Q, \text{ или}$$

$$\Delta U = A + Q - \Delta E_{\text{мех}}.$$

Следует заметить, что здесь A и Q характеризуют взаимодействие рассматриваемой системы с окружающей средой, а $\Delta E_{\text{мех}}$ – процессы и взаимодействия, происходящие внутри системы. Если тело (система) получает теплоту Q , то $Q > 0$, если тело отдаёт теплоту Q , то $Q < 0$, если теплообмена нет, то $Q = 0$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела на 1°C , называется теплоёмкостью тела. Теплоёмкость тела обозначается буквой C . Пусть телу сообщили небольшое количество теплоты ΔQ , а его температура изменилась на Δt градусов (и при этом агрегатное состояние тела не изменилось). Тогда теплоёмкость C тела определяется выражением

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Для большинства жидких и твёрдых веществ при обычных температурах ($-70^\circ\text{C} \div +100^\circ\text{C}$) теплоёмкость практически не зависит от температуры, поэтому мы будем в расчётах предполагать её постоянной. В системе СИ теплоёмкость измеряется в Дж/ $^\circ\text{C}$. Теплоёмкость тела в общем случае зависит от его агрегатного состояния, массы и химического состава.

Кроме теплоёмкости C тела вводят ещё удельную теплоёмкость c – теплоёмкость единицы массы вещества, численно равную количеству теплоты, которое нужно передать 1 кг тела, чтобы нагреть его на 1°C (при условии сохранения агрегатного состояния). Удельная теплоём-

кость c измеряется в системе СИ в Дж/(кг·°С) и связана с теплоёмкостью C тела соотношением:

$$C = c \cdot m. \quad (2)$$

Приведённые формулы позволяют рассчитать, количество теплоты Q , необходимое для изменения температуры тела массы m от начального значения t_1 до конечного значения t_2 :

$$Q = C \cdot \Delta t = C \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1). \quad (3)$$

Если $t_2 > t_1$ (температура тела увеличивается), то $Q > 0$, т. е. тело получает теплоту $Q_{\text{пол}} = Q = cm(t_2 - t_1)$. Если же $t_2 < t_1$ (температура тела уменьшается), то $Q < 0$, т. е. тело отдаёт теплоту

$$Q_{\text{отд}} = -Q = cm(t_1 - t_2) > 0.$$

Калориметр и уравнение теплового баланса

Если тело окружить не проводящей тепло оболочкой и предоставить самому себе, то его температура будет оставаться постоянной в течение длительного времени. В реальной жизни таких идеальных оболочек, конечно, не существует, но существуют оболочки, которые по своим свойствам приближаются к таковым: например, обшивка космических кораблей, сосуды Дьюара и даже обычный термос.

В школе при изучении тепловых явлений используется калориметр. Он представляет собой большой тонкостенный стакан, поставленный на кусочки пробки внутрь другого большого стакана так, чтобы между стенками оставался слой воздуха. Сверху стакан закрыт пробковой (или другой плохо проводящей тепло) крышкой. При помощи калориметра измеряется количество теплоты и теплоёмкость тел.

Благодаря конструкции «оболочки» калориметра обеспечивается практически полное отсутствие теплообмена между телами, помещёнными внутрь калориметра, и окружающей средой. Тела, находящиеся в «идеальном» калориметре, будут составлять замкнутую систему, и для них будет выполняться закон сохранения полной энергии. Однако не стоит забывать, что мы никогда не сможем сделать калориметр идеальным, и теплообмен с окружающей средой всё равно будет. При этом и сам калориметр будет поглощать или отдавать тепло.

Пример 2. В калориметр теплоёмкостью C при температуре t_1 поместили тело удельной теплоёмкостью c_m и массой m при температуре t_2 ($t_2 > t_1$). Найти температуру t после установления теплового равновесия. Теплообменом с окружающей средой пренебречь. Считать, что механическая энергия системы не изменяется и работа внешних сил равна нулю.

Решение. Поскольку теплообменом с окружающей средой можно пренебречь, то $Q = 0$. Кроме того, по условию $A = 0$ и $\Delta E_{\text{мех}} = 0$.

Тогда из первого закона термодинамики следует, что сумма изменений внутренних энергий тела и калориметра равна нулю:

$$\Delta U_{\text{калориметра}} + \Delta U_{\text{тела}} = 0,$$

или, переходя к количествам теплоты, $Q_{\text{калориметра}} + Q_{\text{тела}} = 0$.

По формуле (3)

$$Q_k = C(t - t_1),$$

$$Q_r = c_m \cdot m \cdot (t - t_2).$$

Отсюда

$$C(t - t_1) + c_m \cdot m \cdot (t - t_2) = 0,$$

$$(c_m \cdot m + C) \cdot t = C \cdot t_1 + c_m \cdot m \cdot t_2$$

$$t = \frac{C \cdot t_1 + c_m \cdot m \cdot t_2}{(c_m \cdot m + C)} = t_2 + \frac{C \cdot (t_1 - t_2)}{(c_m \cdot m + C)}.$$

Из ответа мы видим, что, если теплоёмкость калориметра C мала по сравнению с теплоёмкостью тела $c_m \cdot m$, то температура тела после помещения его в калориметр практически не изменится (добавка будет мала). Если же они сравнимы, то, не учтя этого, можно сильно ошибиться в расчетах и измерениях.

Представим, что в идеальный калориметр поместили несколько тел при разных температурах. Они будут обмениваться теплотой, пока не достигнут теплового равновесия и одинаковой температуры. При этом одни тела (более нагретые) будут охлаждаться и отдавать тепло, а другие будут нагреваться и получать тепло.

При рассмотрении таких задач удобно использовать уравнение теплового баланса. Поясним его суть. Допустим, что в процессе теплооб-

мена менее нагретые тела получили суммарное количество теплоты $Q_{\text{пол}}$, а тела более нагретые отдали суммарное количество теплоты $Q_{\text{отд}}$. Так как теплообмена с окружающей средой нет (тела находятся в калориметре), то из закона сохранения энергии следует, что

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}. \quad (4)$$

Это и есть уравнение теплового баланса. Оно означает, что суммарная энергия (количество теплоты), отданная одними телами равно суммарной энергии (количество теплоты), полученному другими телами.

Изменение агрегатного состояния вещества

Как было отмечено ранее, изменение внутренней энергии не всегда сопровождается изменением температуры. В таких случаях тепловой процесс сопровождается изменением агрегатного состояния вещества. Например, при таянии льда его температура остается постоянной, а внутренняя энергия изменяется. Это связано с тем, что в этом процессе изменяется взаимное расположение молекул, а значит, и их потенциальная энергия. Мы рассмотрим основные виды переходов (превращений) между тремя агрегатными состояниями вещества – твердым, жидким и газообразным.

Плавление – процесс превращения твёрдого тела в жидкость. В случае кристаллического твёрдого тела процесс происходит при постоянной температуре, при этом тепло поглощается. Например, плавление льда происходит при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ (при нормальном атмосферном давлении).

Удельная теплота плавления λ равна количеству теплоты, необходимому для того, чтобы расплавить 1 кг кристаллического вещества, взятого при температуре плавления. Количество теплоты, которое требуется для перевода твёрдого тела массы m при температуре плавления в жидкое состояние, равно

$$Q_{\text{пл}} = \lambda \cdot m. \quad (5)$$

Поскольку температура тела при плавлении остаётся постоянной, то количество теплоты, передаваемое телу, идёт на увеличение потенциальной энергии взаимодействия молекул, при этом происходит разрушение кристаллической решетки.

Кристаллизация – это процесс, обратный процессу плавления. При кристаллизации жидкость превращается в твёрдое тело, и выделяется количество теплоты, также определяемое формулой (5).

Пример 3. Определить количество теплоты, необходимое для плавления 1 кг льда, находящегося при температуре $t = -10^\circ\text{C}$.

Решение. Для того чтобы лёд начал плавиться, необходимо сначала нагреть его до температуры плавления $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Получается, что полное количество теплоты складывается из теплоты, необходимой для нагревания льда от t до t_0 , и теплоты, необходимой для его плавления. Используя формулы (3) и (5), имеем:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_0 - t) + \lambda \cdot m.$$

Используя численные значения удельной теплоёмкости льда $c = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ и удельной теплоты плавления льда $\lambda = 0,33 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, получаем

$$Q = 1\text{кг} \cdot \left(2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 10^\circ\text{C} + 0,33 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = 351\text{кДж} = 3,5 \cdot 10^5 \text{Дж}.$$

Испарение – это процесс превращения жидкости в пар. Испарение происходит с открытой поверхности жидкости. В процессе испарения жидкость покидают самые быстрые молекулы – те, которые способны преодолеть силу притяжения со стороны других молекул жидкости. Вследствие этого, если нет подвода теплоты (жидкость теплоизолирована), средняя кинетическая энергия её молекул уменьшается и она охлаждается.

Удельная теплота парообразования L равна количеству теплоты, необходимому для того, чтобы превратить в пар 1 кг жидкости без изменения её температуры. Тогда количество теплоты, которое потребуется для превращения в пар жидкости массой m , равно

$$Q_{\text{исп}} = L \cdot m. \quad (6)$$

Конденсация – процесс, обратный процессу испарения. При конденсации пар переходит в жидкость. При этом выделяется количество теплоты, определяемое по формуле (6).

Кипение – процесс, при котором парообразование происходит не только со свободной поверхности жидкости, но и по всему её объёму.

В жидкости всегда имеются пузырьки воздуха, и когда давление внутри них достигает значения, равного сумме атмосферного давления и гидростатического давления окружающей жидкости, они начинают расширяться, при этом жидкость испаряется внутрь пузырьков. С увеличением объёма растёт и архимедова подъёмная сила, и под её действием пузырьки поднимаются вверх. Стоит заметить, что если сосуд с

жидкостью велик настолько, что давление, создаваемое жидкостью, сравнимо с атмосферным, либо внешнее давление не равно нормальному атмосферному, то температура кипения будет отличаться от табличных значений. Например, в горах на высоте 3000 м над уровнем моря вода закипает при температуре около 90 °С.

Возгонка (сублимация) – процесс перехода вещества из твёрдого состояния непосредственно в газообразное. Именно благодаря сублимации мы чувствуем запахи некоторых твердых веществ, например, нафталина и камфары. По этой же причине мокрое белье, вывешенное на мороз, высыхает. Обратный процесс называется десублимацией. Примером десублимации служат «узоры» на окнах, образующиеся из водяного пара, находящегося в воздухе и кристаллизующегося на поверхности стекла.

Удельная теплота сгорания топлива

Увеличить внутреннюю энергию тела можно двумя способами: 1) за счёт совершения над ним работы внешними силами, 2) за счёт теплообмена с телом, имеющим более высокую температуру, чем само тело. В некоторых случаях, например, для плавления металлов, необходимо очень большое количество теплоты и высокая температура. Таких условий можно достичь, используя какое-либо топливо (уголь, нефть, природный газ, дерево и т. д.). При его сгорании, т. е. при химической реакции соединения с кислородом, будет выделяться теплота. Это связано с тем, что в процессе химической реакции горения кинетическая энергия получаемых частиц вещества (продуктов сгорания) становится больше, чем кинетическая энергия исходных частиц вещества.

Энергия, выделяющаяся при сгорании топлива, называется теплотой сгорания. Удельная теплота сгорания топлива – это количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1 кг топлива. Она обозначается буквой q . Количество теплоты, выделившееся при сгорании массы m топлива, равно

$$Q = q \cdot m. \quad (7)$$

Примеры решения задач

Пример 4. Оцените максимальную теплоёмкость термометра, которым мы можем измерить температуру воды в стакане (250 мл) с точностью до $\delta t = 1^\circ\text{C}$. Начальная разность температур воды и термометра $\Delta t = 15^\circ\text{C}$. Теплоёмкостью стакана и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Решение. Пусть для определённости начальная температура воды выше, чем температура термометра (в обратном случае решение и ответ будут такими же). Так как температуры термометра и воды в начальный момент различны, то при помещении термометра в воду между ними начнётся теплопередача. При этом температура воды будет понижаться, а температура термометра – повышаться. Максимально допустимое изменение температуры воды в процессе измерения δt . Тогда для количества теплоты, переданного водой термометру, получаем

$$Q_{\text{отд}} = c \cdot m \cdot \delta t = c\rho V \cdot \delta t,$$

где c , ρ , V – удельная теплоёмкость, плотность и объём воды соответственно. Количество теплоты, полученное термометром составит

$$Q_{\text{пол}} = C \cdot (\Delta t - \delta t).$$

Из уравнения теплового баланса получаем:

$$c \cdot V \cdot \rho \cdot \delta t = C \cdot (\Delta t - \delta t),$$

откуда находим δt :

$$\delta t = \frac{\Delta t}{1 + \frac{c\rho V}{C}}.$$

Из полученного выражения видно, что для достижения требуемой точности теплоёмкость термометра не должна превышать некоторого максимального значения (чем больше значение теплоёмкости термометра, тем меньше знаменатель этой дроби и тем больше становится сама дробь, т. е. δt). Для максимальной теплоёмкости получаем

$$C_{\text{max}} = \frac{c\rho V \cdot \delta t}{(\Delta t - \delta t)}.$$

Подставим числовые значения:

$$\begin{aligned} c &= 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж / (кг} \cdot ^\circ\text{C)}, \\ V &= 250 \text{ мл} = 0,25 \text{ дм}^3 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad \rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг / м}^3, \\ C_{\text{max}} &= \frac{4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж / (кг} \cdot ^\circ\text{C)} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 1000 \text{ кг / м}^3 \cdot 1^\circ\text{C}}{15^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C}} = \\ &= \frac{4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж / кг} \cdot 0,25 \text{ кг}}{14^\circ\text{C}} = \frac{1,05 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{14^\circ\text{C}} = 75 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}. \end{aligned}$$

Ответ: максимальная теплоёмкость термометра $C_{\text{max}} = 75 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}.$

Пример 5. В алюминиевую кастрюлю массой 0,5 кг налит 1 литр воды. Кастрюля довольно долго стоит на газовой плите, от которой каждую секунду получает 100 Дж теплоты, но не закипает. Плиты выключили? Через какое время после этого момента температура воды понизится на 1 градус? Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоёмкость воды и алюминия $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$, $c_{\text{ал}} = 900 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{С)}$.

Решение. Чем больше разница температур окружающей среды и системы кастрюля + вода, тем больше тепла теряется в единицу времени. То, что кастрюля довольно долго стоит на плите и не закипает, означает, что температура воды и кастрюли такова, что количество теряемой ими за некоторое время теплоты равно количеству теплоты, передаваемому им газовой плитой за то же время: $Q_{\text{потерь}} = Q_{\text{плиты}} = \Delta Q$.

Будем считать, что потери теплоты не изменятся существенно при уменьшении температуры системы на 1°С , поскольку это уменьшение температуры мало.

При уменьшении температуры системы вода + кастрюля за искомое время охлаждения τ на $\Delta t = 1^\circ\text{С}$ окружающей среде будет передано количество теплоты $\Delta Q = c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot \Delta t + c_{\text{ал}} \cdot m_{\text{ал}} \cdot \Delta t$, где $m_{\text{в}} = V \cdot \rho$. Количество теплоты, передаваемое системе вода + кастрюля за то же время, равно $Q_{\text{плиты}} = \tau \cdot N$, где N – мощность (то есть энергия, подводимая от плиты в единицу времени) подвода тепла от плиты. По условию $N = 100 \text{ Дж/с}$.

Окончательно получаем

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{(c_{\text{в}} \cdot V \cdot \rho + c_{\text{ал}} \cdot m_{\text{ал}}) \cdot \Delta t}{N} = \\ &= \frac{\left(4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 0,5 \text{ кг} \right) \cdot 1^\circ\text{С}}{100 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}} = \\ &= \frac{(4200 + 450) \text{ Дж}}{100 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}} = 46,5 \text{ с.} \end{aligned}$$

Ответ: кастрюля с водой остынет на 1°С за время $\tau = 46,5 \text{ с}$.

Пример 6. В воду массой $m_1 = 1$ кг, взятую при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$, бросают кусок железа массой $m_2 = 0,1$ кг, нагретый до $t_2 = 500^\circ\text{C}$. Некоторое количество воды обращается в пар. После установления теплового равновесия температура воды оказалась равной $t = 24^\circ\text{C}$. Пренебрегая потерями теплоты, найти массу испарившейся воды. Удельные теплоёмкости воды и железа $c_1 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, $c_2 = 460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота парообразования воды $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Решение. В данной задаче отдаёт тепло только кусок железа, при этом

$$Q_{\text{отд}} = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t).$$

Оно расходуется на нагрев всей воды до температуры t , на нагрев искомой массы m воды до температуры кипения и на её испарение:

$$Q_{\text{пол}} = c_1 \cdot m_1 \cdot (t - t_1) + c_1 \cdot m \cdot (t_{\text{кип}} - t) + L \cdot m.$$

Искомую массу найдём из уравнения теплового баланса $Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}$:

$$c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t) = c_1 \cdot m_1 \cdot (t - t_1) + (c_1 \cdot (t_{\text{кип}} - t) + L) \cdot m.$$

Получаем

$$\begin{aligned} m &= \frac{c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t) \cdot c_1 \cdot m_1 (t - t_1)}{(c_1 \cdot (t_{\text{кип}} - t) + L)} = \\ &= \frac{460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 476^\circ\text{C} - 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} 1 \text{ кг} \cdot 4^\circ\text{C}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} 76^\circ\text{C} + 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \\ &= \frac{21896 \text{ Дж} - 16800 \text{ Дж}}{3192200 \text{ Дж/кг} + 2300000 \text{ Дж/кг}} = \frac{5096 \text{ Дж}}{2619200 \text{ Дж/кг}} = 0,0019 \text{ кг} = 1,9 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: масса испарившейся воды $m = 1,9 \text{ г}$.

О пользе расчёта в общем виде

Встречаются задачи, где не даны численные значения величин. В таких случаях следует оформлять решение в общем виде, то есть «в буквах», не подставляя числовые значения. Но даже когда численные значения величин даны, ответ тоже надо представить в виде финальной формулы «в буквах», а только потом подставлять численные значения. И на то есть несколько причин.

Во-первых, по виду финальной формулы можно судить о характере зависимости одних величин от других (см. Пример 2). При внимательном анализе можно проверить, насколько полученные зависимости правдоподобны, и использовать это для самопроверки. Например, если в задаче получается, что чем больше топлива мы сжигаем, тем меньше металла можем расплавить, это повод задуматься и проверить правильность решения.

Во-вторых, в физике большинство величин имеют размерность. Приравнивать между собой величины разных размерностей (например, вес и массу, работу и теплоемкость) – очень грубая ошибка. Чтобы исключить возможность её появления, полезно проверить по финальной формуле, что размерность искомой величины совпадает с размерностью выражения, к которому она приравнена. Здесь же хотелось бы отметить, что при подстановке в формулу числовых значений не следует опускать размерности. Это уменьшает вероятность того, что Вы пропустите по невнимательности какой-либо множитель или взаимно сократите величины из разных систем единиц (например, граммы с килограммами).

Кроме того, когда Вы подставляете числовые значения в промежуточных результатах, Вы в большинстве случаев округляете. Округление может не отразиться на ответе, а может отразиться весьма существенно. Допустим, что в задаче спрашивается, сколько раз нужно сделать качаний насосом, или сколько упаковок топлива необходимо использовать. Тогда ответ заведомо будет целым, и, если округлить до промежуточного результата, можно ошибиться – пусть даже немного, на процент. И казалось бы – ну какая разница! Но, если, во-первых, задача прикладная – то есть вы действительно собираетесь качать этим насосом, а во-вторых, этот процент по сути есть, например, 6 качаний насоса, то вы не добьетесь необходимого результата. И потом будете долго искать ошибку – вы же посчитали правильно, так почему же тогда не работает? Потому что округлили в середине решения.

В-четвёртых, бывают случаи, когда необходимо в одну и ту же формулу подставлять разные значения величин. Вместо того чтобы выводить каждый раз эту формулу и считать все промежуточные значения, лучше её один раз обосновать, а потом просто подставлять в ответ числовые значения. Это экономит время и уменьшает вероятность ошибки.

Пример 7. Пусть в процессе решения некоторой задачи получена система уравнений

$$\begin{cases} (L + c\Delta t)M = \lambda m \\ m_1 = m + M \end{cases}.$$

Выразить λ и M через остальные величины.

Решение. Выразим M из второго уравнения системы и подставим в первое:

$$\begin{aligned} M &= m_1 - m, \\ (L + c\Delta t)(m_1 - m) &= \lambda m, \end{aligned}$$

отсюда $\lambda = \frac{(L + c\Delta t)(m_1 - m)}{m}.$

Ответ: $M = m_1 - m, \lambda = \frac{(L + c\Delta t)(m_1 - m)}{m}.$

Пример 8. На улицу выставили ведро с 5 кг воды, ночью вода замёрзла. Температура получившегося льда равна температуре воздуха на улице $t_{\text{возд}} = -10^\circ\text{C}$. Нужно превратить лёд в воду при температуре $t = 40^\circ\text{C}$. Для получения необходимого количества теплоты можно использовать разные виды горючего: древесный уголь, дрова и бензин. Какие массы этих видов топлива нужно взять по отдельности для превращения льда в воду? Теплоёмкостью ведра и потерями теплоты пренебречь.

Решение. Определим, какое количество теплоты необходимо передать ведру со льдом, чтобы нагреть его до 40°C . Сначала лёд необходимо нагреть до температуры плавления $t_{\text{пл}} = 0^\circ\text{C}$, затем расплавить его, и, наконец, нагреть полученную воду.

$$Q_{\text{нагр}} = mc_{\text{льда}} \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{возд}}) + m \cdot \lambda + m \cdot c_{\text{воды}} \cdot (t - t_{\text{пл}}).$$

Массы горючего хватит, если теплота его сгорания $Q_{\text{топл}}$ будет больше, чем $Q_{\text{нагр}}$. При сгорании топлива массой m выделяется количество теплоты $Q_{\text{топл}} = q \cdot m_{\text{топл}}$. Значит, горючего хватит тогда и только тогда, когда $q \cdot m_{\text{топл}} > Q_{\text{нагр}}$. Следовательно, $m_{\text{топл}} > Q_{\text{нагр}}/q$, или

$$m_{\text{топл}} > \frac{m \cdot c_{\text{льда}} \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{возд}}) + m \cdot \lambda + m \cdot c_{\text{воды}} \cdot (t - t_{\text{пл}})}{q} = m_{\text{топл мин}}.$$

Пусть индекс «1» относится к углю ($q_1 = 34$ МДж/кг), индекс «2» к дровам ($q_2 = 10$ МДж/кг), индекс «3» к бензину ($q_3 = 46$ МДж/кг). Тогда

$$m_{\text{мин}} = \frac{5 \text{ кг} \left(2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} \cdot 10^\circ\text{C} + 0,33 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} + 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} \cdot 40^\circ\text{C} \right)}{34 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} =$$

$$= \frac{5 \cdot 10^3 (21 + 330 + 164)}{34 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 76 \text{ г.}$$

$$m_{\text{2мин}} = \frac{5 \text{ кг} \left(2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} \cdot 10^\circ\text{C} + 0,33 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} + 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} \cdot 40^\circ\text{C} \right)}{10 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} =$$

$$= \frac{2575 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{10 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 0,26 \text{ кг.}$$

$$m_{\text{3мин}} = \frac{5 \text{ кг} \left(2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} \cdot 10^\circ\text{C} + 0,33 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} + 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}} \cdot 40^\circ\text{C} \right)}{10 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} =$$

$$= \frac{2575 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{46 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 56 \text{ г.}$$

Ответ: достаточно 76 г угля, 260 г дров или 56 г бензина.

О точности при получении численного ответа

Математика имеет дело с идеально ровными прямыми, не имеющими размеров точками и числами, которые абсолютно точны. В ней редко находится место округлениям и приблизительным расчётам. Физика – экспериментальная наука, в ней мы имеем дело с другими объектами. Всё, что мы знаем в физике, мы знаем из эксперимента – мы это измерили. Чтобы измерить, нам нужен прибор, потому что при помощи наших органов чувств, «на глаз», мы можем измерить только с очень большой ошибкой. Обычно шкала прибора представляет собой набор меток (рисок), с которым сравниваются значения. При этом измерение не точно: всегда есть погрешность, равная половине цены деления прибора (например, у линейки она 0.5 мм, у штангенциркуля 0.05 мм).

Все физические величины определены с некоторой точностью. Например, если мы говорим, что температура тела равна 20°C , мы подразумеваем, что она лежит в диапазоне от 19.5°C до 20.5°C . Любая запись значения физической величины должна содержать столько значащих цифр, с какой точностью известна эта величина. То есть мы всегда должны быть уверены в последней цифре.

Почему это важно? Цель физики – описать и предсказать явления природы, теория без эксперимента не позволит достичь этой цели. Если в теоретическом расчёте мы превысим точность (укажем больше значащих цифр, чем нужно) и попытаемся проверить его на практике, то результаты скорее всего не совпадут. Это произойдёт потому, что невозможно создать условия проведения эксперимента абсолютно точно (например, отмеренный литр воды на самом деле 998 мл, температура не 25.0° , а 25.2°). В итоге ответ не попадёт в пределы погрешности, заданные теоретическим расчётом. И теоретический расчёт окажется не соответствующим реальности, а значит неверным.

Запомните, что если вы пишете много значащих цифр, то вы заведомо ошибаетесь, а количество значащих цифр в ответе не может превышать количество значащих цифр в условии.

Пример 9. В эксперименте измерение трёх рёбер прямоугольного параллелепипеда дало значения $a = 0,12\text{м}$, $b = 1,2 \cdot 10^{-2}\text{м}$, $c = 121\text{мм}$. Требуется вычислить его объём, ответ дать в кубических миллиметрах.

Решение. Поскольку нам необходимо вычислить объём в миллиметрах, приведём все результаты измерений в миллиметрах:

$$a = 0,12\text{м} = 0,12 \cdot 10^3 \text{мм} = 12 \cdot 10\text{мм}$$

$$b = 1,2 \cdot 10^{-2}\text{м} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 \text{мм} = 12\text{мм}$$

$$c = 121\text{мм}.$$

Объём равен произведению сторон

$$V = a \cdot b \cdot c = 12 \cdot 10\text{мм} \cdot 12\text{мм} \cdot 121\text{мм} = 174240\text{мм}^3 \approx 1,7 \cdot 10^5 \text{мм}^3.$$

Исходные данные содержали минимум 2 значащие цифры, поэтому необходимо и ответ округлить до двух значащих цифр.

Ответ: Объём параллелепипеда $V = 1,7 \cdot 10^5 \text{мм}^3$.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение удельной теплоёмкости. От чего зависит удельная теплоёмкость тела?

2. При добавлении пара массой $m_{\text{п}}$ при температуре кипения $t_{\text{к}}$ к холодной воде массы $m_{\text{в}}$ при температуре t_1 в тепловом равновесии установилась температура T . Уравнение теплового баланса имеет вид $Lm_{\text{п}} + c_{\text{в}}m_{\text{п}}(t_{\text{к}} - T) = m_{\text{в}}c_{\text{в}}(T - t_1)$. Выразите равновесную температуру T через остальные величины.

3. Известно, что объём куба $V = 111 \text{ см}^3$. Определить его ребро.

Указание: следите за количеством значащих цифр.

4. В калориметр, содержащий 0,5 кг воды при температуре 20°C , поместили предмет массой 0,21 кг из неизвестного металла, имевший температуру 100°C . После установления равновесия, температура в калориметре стала 23°C . Найти теплоёмкость материала предмета. Что это мог быть за металл? Калориметр считать идеальным.

5. Если телу передаётся тепло, то его полная энергия увеличивается. Как это согласуется с законом сохранения полной энергии?

6. Как, имея в наличии калориметр, в который налит 1л воды, термометр и линейку, определить, есть ли пустота внутри прямоугольного параллелепипеда, сделанного из стали? Обозначьте все необходимые результаты измерений буквами и напишите условие, при выполнении которого параллелепипед имеет полость. Температура воды изначально выше температуры стального параллелепипеда.

7. Как заставить воду кипеть без нагревания?

8. В каком случае бочка, доверху заполненная горячей водой, остынет быстрее: если её поставить на лёд, или если лёд положить на её крышку? Ответ обоснуйте.

9. Рассчитайте, какое количество теплоты отдаст кирпичная печь, сложенная из 300 кирпичей, при остывании от 70°C до 20°C . Масса одного кирпича 5,6 кг, его удельная теплоёмкость $0,88 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

Задачи

1. Для измерения температуры воды, имеющей массу 66 г, в неё погружили термометр, который показал температуру $t_1 = 32,4^\circ\text{C}$. Какова была начальная температура воды, если теплоёмкость термометра $C = 1,9 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$, а перед погружением в воду он показывал температуру $t = 17,8^\circ\text{C}$?

2. В колбе находилась вода при 0°C . Откачивая из колбы воздух с парами воды, воду заморозили посредством собственного испарения. Какая часть воды испарилась, если притока теплоты извне не было?

3. В алюминиевый сосуд массой $m_1 = 2 \text{ кг}$, и имеющий температуру $t_1 = 40^\circ\text{C}$, налили $m_2 = 3 \text{ кг}$ воды температура которой $t_2 = 15^\circ\text{C}$. Сосуд с водой поставили на солнце. Через $\tau = 2$ часа его температура стала $t = 35^\circ\text{C}$. Мощность солнечного излучения, падающего на сосуд, равна 200 Вт. Найти, какую долю от солнечной энергии он поглощает. Взаимодействием сосуда с окружающей средой пренебречь.

4. Для нагревания котла водяного отопления требуется $3,4 \cdot 10^9 \text{ Дж}$ в сутки. Сколько кубометров дров потребуется для обогрева здания в течение недели? Удельная теплота сгорания дров $q = 12,6 \text{ МДж/кг}$, их плотность 810 кг/м^3 .

5. На лёд, температура которого 0°C , положили кусок металла массой 3 кг, прогретый в кипящей воде. Расплавилось 360 г льда. Найти теплоёмкость металла.

6. В калориметр, содержащий $m = 1 \text{ кг}$ льда при температуре $T_1 = -10^\circ\text{C}$ долили 200 г воды при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Найти температуру t и объём смеси V после установления теплового равновесия. Теплоёмкостью калориметра и потерями тепла пренебречь.

7. В идеальном калориметре находилась вода при температуре 10°C . В воду поместили тело, имеющее температуру 100°C . Через некоторое время в калориметре установилась температура 40°C . Какова будет равновесная температура в калориметре, если в него поместить ещё одно такое же тело с температурой 100°C , не вынимая первого.

8. Имеется несколько кипятильников с мощностями: а) 300 Вт; б) 500 Вт; в) 750 Вт; г) 1 кВт. Сколько каждому из них потребуется времени, чтобы вскипятить 1 л воды, начальная температура которой 20°C ? Вода находится в сосуде теплоёмкостью $200 \text{ Дж/}^{\circ}\text{C}$. Потери тепла при нагревании принять равными 10%.

Указание: получите общую формулу, а затем подставляйте значения.

9. В узком закрытом с двух сторон картонном цилиндре длиной 40 см находится цинковый шарик. Если цилиндр резко перевернуть, шарик упадёт на другой конец цилиндра. Сколько раз необходимо перевернуть цилиндр, чтобы повысить температуру шарика на 1°C ? Считать, что вся механическая энергия шарика переходит в теплоту. Теплоёмкостью картонного цилиндра и теплообменом с окружающей средой пренебречь.