



Всероссийская школа математики и физики
«Авангард»

Е. Н. ФИЛАТОВ

ФИЗИКА

8

Экспериментальный учебник

Часть 1

Тепловые явления

МОСКВА 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие для ученика	4
Предисловие для учителя	5
1. Математическое введение: уравнения, в которых одни только буквы, а чисел почти совсем нет	19
2. О точности вычислений	33
3. Внутренняя энергия. Теплопередача. Количество теплоты. Теплоемкость. Удельная теплоемкость	40
4. Уравнение теплового баланса. Калориметр	60
5. Плавление и отвердевание. Удельная теплота парообразования. Переохлажденная жидкость	74
6. Испарение и конденсация. Удельная теплота парообразования. Кипение. Перегретая жидкость	102
7. Теплота сгорания топлива. Коэффициент полезного действия нагревателя. Тепловая мощность нагревателя	121
8. Теплопроводность	136
9. Конвекция и излучение	153
10. Тепловые двигатели	160
Приложение	173
Подсказки	175
Ответы	188

Предисловие для ученика

Научиться физике = научиться решать задачи по физике.

Это основная формула данного учебника. Учебник составлен так, что его можно проходить как в школе, на уроках, так и дома самостоятельно. Главное при этом, прочитав определенный кусок текста, обязательно остановиться и решить несколько задач на эту тему.

Задачи находятся в конце каждого параграфа. Задач много. Все они условно разбиты на пять категорий: очень легкие, легкие, средней трудности, трудные и очень трудные. К каждой задаче в конце учебника дана *подсказка*, поэтому если, прочитав условие задачи, вы не поняли, как к ней подступиться, посмотрите подсказку. Кроме того, почти ко всем задачам даны ответы, поэтому правильность решения можно проверить самостоятельно.

Помните: для того чтобы научиться решать задачи по физике, надо... их решать! Поэтому постарайтесь решить больше задач.

Желаю вам успеха!

Автор

Предисловие для учителя

В чем главная особенность данного учебника? Автор на основе своего многолетнего опыта сформулировал для себя главный принцип, придерживаясь которого можно добиться успеха в преподавании физики в школе. Этот принцип можно кратко выразить формулой:

Научить физике = научить решать задачи по физике.

Представляется совершенно очевидным и не требующим доказательств утверждение, что если ученик хорошо понимает физику, то он может успешно решать задачи по физике. Верно и обратное утверждение: если ученик свободно решает задачи по физике, то он хорошо понимает физику.

Скажем прямо: в традиционном курсе физики для средней школы задачам отводится вспомогательная роль – на них зачастую просто не находится времени. Главное внимание уделяется усвоению теории. Но что греха таить: под усвоением часто кроется запоминание, причем запоминание без понимания. Не потому ли физика считается едва ли не самым трудным предметом школьной программы, а оценки по физике почти в любом классном журнале в среднем ниже, чем по той же математике?

Данный учебник позволяет так организовать учебный процесс, что главным «действующим персонажем» на уроке становится задача по физике, а главной целью учебного процесса – научить ребят решать задачи по физике.

Что же касается собственно теории, то, как это ни парадоксально, если ее специально не заучивать, она запоминается значительно лучше, как бы «сама собой». Это не удивительно: ведь без многократного обращения к теории (причем осмысленного обращения!) просто невозможно решить большое количество задач.

На какую программу ориентирован учебник? Учебник ориентирован на самую, что ни на есть *обычную* программу для средней общеобразовательной школы: физика (7–9 классы с сеткой 2+2+3 час. в неделю) (см.: Программы общеобразовательных учреждений. Физика. Астрономия. М.: Просвещение, 1996). Последовательность изложения материала в общем соответствует традиционному школьному учебнику А.В. Перышкина, поэтому начинать работать по этому учебнику с 8 класса можно и в том случае, если в 7 классе обучение велось по обычному учебнику.

Структура учебника. Учебник разбит на параграфы, каждый из которых включает определенную (иногда достаточно обширную) тему. Всего в книге 10 параграфов. Если считать, что в первом полугодии 16 учебных недель, то в среднем на прохождение одного параграфа приходится 1,6 учебной недели, т.е. 3,2 урока. Но, конечно, параграфы неравноценные, кроме того, часть учебного времени уйдет на фронтальные лабораторные работы и на контроль успеваемости.

Каждый параграф содержит в себе теоретические сведения, которые иногда излагаются в форме диалога Автора с Читателем. Это сделано для того, чтобы читатель воображаемый мог заострить внимание читателя реального (т.е. ученика) на тех вопросах, в которых учащиеся обычно допускают ошибки. Кроме того, диалог (в умеренных дозах) несколько оживляет повествование.

В теоретический материал вставлены разобранные задачи по следующему принципу: как только теоретических сведений данного параграфа становится достаточно для того, чтобы приступить к решению очередной группы задач (как расчетных, так и качественных), изложение теории прерывается и дается подробное решение характерной задачи на данную тему. Прочитав решение задачи, учащиеся должны прекратить на время дальнейшее чтение параграфа и решить несколько аналогичных задач самостоятельно (из числа приведенных в конце данного параграфа). Затем чтение продолжается.

В конце каждого параграфа приведено достаточно много задач (в среднем около 50). О принципах подбора задач скажем особо.

1. Задачи отбирались *строго по теме*, т.е. задачи, не относящиеся непосредственно к материалу данного параграфа полностью исключены.

2. Все задачи разбиты на пять условных категорий: А – задачи очень легкие, Б – задачи легкие, В – задачи средней трудности, Г – задачи трудные; Д – задачи очень трудные. *Очень легкие* – это задачи, в которых требуется лишь подстановка численных данных в известную формулу. *Легкие* – это задачи, для решения которых требуется решение одного линейного уравнения первой степени с одним неизвестным. В задачах *средней трудности* требуется составить и решить одно линейное уравнение, но при этом решение требует определенных алгебраических преобразований (раскрытия скобок, переноса членов из одной части уравнения в другую и т.п.). В *трудных задачах*, как правило, требуется составить и решить несколько

линейных уравнений, причем необходимо достаточно уверенно владеть аппаратом элементарной алгебры. *Очень трудные* – это типичные задачи физических олимпиад, для решения которых требуется нестандартный подход, творческая интуиция.

3. Никаких знаний, выходящих за пределы данного параграфа, для решения любой из приведенных задач не требуется (иногда, правда, требуются сведения из ранее пройденных параграфов).

4. К каждой задаче имеется *подсказка*, т.е. указание, которое позволяет даже слабому ученику начать работу над решением задачи. Обычно это ссылка на конкретную разобранную в тексте задачу или на приведенную в данном параграфе формулу.

5. К каждой расчетной задаче дается ответ, позволяющий ученикам самостоятельно убедиться в правильности своего решения.

Всего в учебнике 511 задач (только в 1-й части 8-го класса!). Возникает резонный вопрос: мыслимое ли это дело восьмикласснику столько решить? Может быть учебник рассчитан все-таки на одаренных детей? Отвечаю: нет! Учебник рассчитан на *обычные* школы и на *обычных* детей, среди которых есть и сильные, и средние, и слабые.

Под слабым учеником здесь и далее мы будем понимать ученика, который к концу восьмого класса с большим трудом складывает дроби с одинаковыми знаменателями и не слишком уверенно решает уравнение вида $2x = 3$. А дроби с разными знаменателями он складывать не умеет и решить уравнение вида $4(x+1) = x$ не может.

Учебник предусматривает наличие в классе таких учеников. И эти ученики должны *работать*, по мере возможности повышая свой уровень и *не мешая при этом более сильным ученикам*. Иными словами, учебник хорошо приспособлен для работы с *разноуровневым* классом. При этом предполагается, что самые слабые ученики должны за полугодие решить самостоятельно 50–70 задач, а наиболее сильные – 300–400. Скажу более: почти наверняка найдутся в классе и такие «фанаты» (2–3 человека), которые решат всё или почти всё! И именно эти ребята привезут в школу дипломы победителей районной олимпиады по физике.

Новая образовательная технология. Ясно, что учебный процесс, организованный на основе данного учебника, должен проходить иначе, чем при работе с традиционными учебниками. Объясним подробно, как следует организовать учебный процесс.

Урок (после необходимых организационных моментов) начинается с того, что учащиеся открывают учебники на том месте, где начинается материал данного урока. После этого учитель вслух *читает* текст параграфа, а ученики следят по книге. Как правило, чтение должно длиться не более 5–7 минут. Чтение следует прекратить сразу же после первой разобранной в тексте задачи. Затем учитель предлагает учащимся открыть тетради и записать тему урока, после чего разбирает *на доске* задачу, аналогичную той, что только что была прочитана в учебнике. Ученики записывают решение с доски к себе в тетради. Далее учитель записывает на доске номера тех задач, которые ученики должны решить самостоятельно. Например: А3, Б2, Б4, Г1 (обычно 4–5 задач). Задачи должны быть по возможности разного уровня трудности. Затем класс минут 5–7 самостоятельно решает задачи, аккуратно записывая решения в классные тетради. Учитель в это время помогает наиболее слабым ученикам. Крайне важно, чтобы к концу срока, отведенного на решение данной серии задач, *каждый* ученик самостоятельно решил хотя бы одну задачу (пусть даже с помощью учителя).

Первым трем–пяти учащимся, первыми решившими все задачи данной серии, учитель назначает «премию» (обычно в условных баллах, о которой речь пойдет ниже).

Целесообразно закончить работу класса над данной серией задач после того, как с ней полностью справятся три ученика.

Далее продолжается чтение учителем учебника, потом решение следующей серии задач и т.д. Реально за один урок (45 минут) решить 2 серии по 5 задач (в не очень сильном классе).

Возникает вопрос: *следует ли разбирать* решенные задачи? Отвечаю: если задачи качественные, т.е. не требуют никаких расчетов, то после окончания времени на самостоятельное решение эти задачи следует устно разобрать. Желательно, чтобы разбор проходил в форме устных ответов тех учеников, которые решили эти задачи. Все остальные при этом записывают правильное решение. Ученик, давший правильный ответ, получает определенное число премиальных баллов.

Сразу отметим, что ставить за устные ответы оценки по 5-балльной системе не следует, так как опасение получить невысокую отметку будет сковывать инициативу выступающих и, в конечном счете, учителю придется разбирать задачи самому. Если же придерживаться принципа: за правильный ответ – премиальные баллы, а за неправильный – ничего, учащиеся, как правило, работают активно.

Если же задачи расчетные, то разбирать их в классе *не надо*! Благодаря ответам ребята сами могут определить, правильно ли они решили ту или иную задачу.

В конце урока (лучше в конце изучения параграфа) можно дать самостоятельную работу из 3–4 задач с полной или выборочной проверкой.

На дом обычно задаются все задачи, относящиеся к данному параграфу. Если кто-то из ребят забежит вперед и решит задачи, относящиеся к будущему уроку, большой беды не будет. При этом учитель объясняет, что решать все задачи совершенно необязательно, но чем больше задач решит данный ученик, тем выше будет его *рейтинг* по физике, а значит, и четвертная оценка.

Контроль знаний. Возникает вопрос: как чисто практически контролировать, во-первых, работу учащихся в течение урока, а во-вторых, решение ими домашних заданий? Отвечаю: для этого существует успешно апробированная автором система «деклараций о доходах». Образцы таких «деклараций» приведены ниже. Каждый раз в конце урока каждый ученик на отдельном листе выписывает номера всех решенных им задач и подсчитывает общее число заработанных им баллов (по указанной учителем методике) за эти задачи. Точно так же составляется отчет-декларация и за все решенные к данному моменту домашние задачи. Учителю остается только собрать эти листочки и внести сведения из деклараций в свою учетную тетрадь.

Конечно, могут возникнуть сомнения в достоверности предоставляемой учащимися информации. (Такое, конечно, бывает.) Поэтому для поддержания чувства ответственности полезно время от времени проверять тетради на предмет проверки соответствия «деклараций» реальности. К нарушителям могут быть применены «санкции» в форме вычитания определенного числа баллов.

Дата 15 апреля

Лист учета самостоятельной работы
учащегося на уроке

Сучилин Дмитрий, 8А

№	Балл	+/-	№	Балл	+/-
§5			A11	1	+
A2	1	+	B15	2	+
B1	2	+	A13	1	+
B2	2	+	A14	1	+
B5	2		A15	1	+
B1	3		A16	1	+
B3	3		B7	2	+

Всего баллов: 14

Подпись учащегося:

Сучилин

«Декларация» за классную работу

Как выставять оценки? Мы уже говорили, что все задачи, решенные учащимися, а также устные ответы на уроке следует оценивать не по 5-бальной системе, а в условных баллах. Рекомендуются следующие «расценки»: правильно решенная задача группы А – 1 балл, Б – 2 балла, В – 3 балла, Г – 5 баллов, Д – 20 баллов (возможны и другие пропорции по усмотрению учителя).

Таким образом, каждый ученик по завершении каждого урока, сдав учителю «декларацию» за самостоятельную работу в классе и за выполненную домашнюю работу набирает определенное число баллов. Возникает вопрос: как «конвертировать» эти баллы в оценки в классном журнале? Тут возможны варианты. Например, можно в начале четверти объявить, что все, кто наберут к концу четверти меньше 100 баллов, получают оценку «два», набравшие от 100 до 200 баллов – оценку «три», от 300 до 400 – «четыре», а более 400 баллов – «пять». Можно ввести соответствующие расценки и на более короткий срок, например, на месяц или на 2 недели. Но в любом случае у учителя в руках будет достаточно информации, чтобы обоснованно выставить оценку хоть в каждую клеточку классного журнала.

Отчет по решению домашних заданий по физике

ученика 8 класса «Б»

Белозерова Кирилла

за период с 01.10 по 07.10 1999 г.

Мною решены следующие задачи:

§ 5: А1, А2, А3, А4, А5, А6, А7, А8, А9, А10, А11, Б16, Б15, Б14, Б1, Б3, Б4

§6: А1, Б12, Б13, Б14, Б15, Б16, А10, А9, А11, А12

§8: А1, А2, Б4, В5, Г1, Д2

§9: Б6

Общее число баллов за эти задачи составляет:

А: $1 \times 18 = 18$

Б: $2 \times 13 = 26$

В: $3 \times 1 = 3$

Г: $5 \times 1 = 5$

Д: $20 \times 1 = 20$

Всего: 72 балла

Подпись учащегося: Белозеров

«Декларация» о домашних работах

Прежде чем мы перейдем к подробным рекомендациям по изучению каждого параграфа, я отвечу на некоторые вопросы, которые обычно возникают у учителей, впервые познакомившихся с этой методикой.

Вопрос: По данной методике устных опросов учащихся у доски вообще не предусмотрено. Правильно ли это?

Ответ: Автор абсолютно убежден, что правильно. Давайте проведем несложный арифметический подсчет. Допустим, в Вашем классе 30 учеников, причем каждого из них необходимо 5 раз в полугодие опросить у доски. Допустим, каждый опрос занимает 5 минут. Значит, за полугодие это составляет: 5 мин. $\times$ 30 уч-ся $\times$ 5 раз = 750 мин. = 16,6 уроков. В течение этих 17 уроков дети не получают *никакой* новой информации, а будут выступать в роли пассивных слушателей пересказов текста учебника. Причем пересказы эти будут, с точки зрения лекторского мастерства, достаточно слабыми, а то и просто безграмотными.

Ясно, что уровень знаний по физике от таких «слушаний» не повышается, а вот драгоценного времени, которого нам всегда так катастрофически не хватает, тратится очень много. Кроме того, вызов к доске – болезненно неприятное событие для ученика. Само ожидание такого вызова зачастую превращает урок, а значит, и предмет, в нечто нежелательное.

Вопрос: Вы предлагаете учителю *читать* текст учебника. А не лучше ли изложить своими словами?

Ответ: Нет, не лучше! Текст, написанный в учебнике, тщательно выверен автором, там учтено все вплоть до интонации и решительно нет ничего лишнего. Поэтому если попытаться *пересказать* этот текст своими словами, получится хуже. Автор сам пытался это делать и убедился – не стоит. Не говоря уже о том, что при пересказе легко забыть какую-нибудь важную деталь, пересказ занимает значительно больше времени.

Вопрос: А как быть с фронтальными лабораторными работами?

Ответ: Здесь ничего не надо менять. Проводите лабораторные работы в строгом соответствии с программой.

Вопрос: А имеются ли какие-то предварительные результаты по использованию данной методики?

Ответ: Да. В течение двух лет «испытательным полигоном» этой книги была Всероссийская школа математики и физики «Авангард». Тестирование показало, что качество знаний учащихся в различных разноуровневых классах было стабильно выше 65% (тесты проводились по пособию: Кабардин Ф.Ф. Задания для итогового контроля знаний учащихся по физике 7–11. М.: Просвещение, 1994).

Вопрос: А нельзя ли воспользоваться данной методикой не полностью, а частично?

Ответ: Можно! Здесь работает принцип: «маслом кашу не испортишь». Но учтите, при частичном использовании методики результат тоже будет «частичным».

Поурочное планирование. Сразу оговоримся, что строгое «централизованное» планирование каждого урока я считаю нецелесообразным хотя бы потому, что материал в данном учебнике дан по сравнению с традиционным учебником с запасом и полное его прохождение не является строго обязательным. Есть и еще одно соображение: практика показала, что более эффективно работать по данной методике на «сдвоенных» уроках. А при планировании «пары» все несколько иначе, чем при планировании двух «одинарных» уроков. Поэтому приводимые ниже рекомендации более правильно было бы назвать не поурочным, а «попараграфовым» планированием. А конкретные поурочные планы лучше составить учителю самостоятельно с учетом данных рекомендаций и специфики того класса, в котором ведется преподавание.

§ 1. УРАВНЕНИЯ, В КОТОРЫХ ОДНИ ТОЛЬКО БУКВЫ, А ЧИСЕЛ ПОЧТИ СОВСЕМ НЕТ. Этот параграф *чрезвычайно* важен для успешного изучения курса физики 8 класса. Ни в коем случае не следует его пропускать или выносить на самостоятельную работу дома. Ведь одной из бед школьной физики является неумение ребят решать физические уравнения, т.е. уравнения «с буквами». Спрашивается: а почему дети не умеют решать такие уравнения? Да потому, что в школе их этому *не учат!* Ни на физике, ни на математике. Пора решить эту проблему. Для этого и дается §1.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст с начала по Пример 2. Разбирается на доске задание А1. Учащиеся решают самостоятельно: А2, А3, А4 (а), А5 (3 минуты).

Читается текст по Пример 3. Разбирается у доски задание А7 (а). Учащиеся решают самостоятельно: А7 (б), Б1, Б3 (а, б), Б5 (а, б, в), Б13 (а, б), Б14 (а, б) (примерно 7 минут).

Читается текст по Пример 4. Разбираются у доски задания Б2 и Б15. Учащиеся решают самостоятельно: Б6, В1, В2 (а, б, в), В3, В6, В12 (10 минут).

Читается текст по Пример 7. Разбор у доски задания Б23. Учащиеся решают самостоятельно: Б24, Б25, Б26, В15, В16 (3–5 минут).

Читается текст по Пример 11. Разбирается у доски задание В22. Учащиеся решают самостоятельно: А8, А9, В17, В18, В19, В20 (7–10 минут).

Читается текст по Пример 12. Разбирается у доски задание В21. Учащиеся решают самостоятельно: В22, В23, В24, Г1 (7–10 минут).

Читается текст по Пример 15. Разбирается у доски задание В27. Учащиеся решают самостоятельно: В28, В29, В30, В31 (5–10 минут).

Читается текст по Пример 17. Разбирается у доски задание Г9. Учащиеся решают самостоятельно: Г10, Г11, Д2 (10–15 минут).

Читается текст по Пример 20. Разбирается у доски задание Д1. Учащиеся решают самостоятельно: Д4, Д6, Д7 (10–15 минут).

Отметим, что полностью этот параграф имеет смысл проходить только в сильном классе. В среднем классе разумно закончить классную работу Примером 15, а в слабом – Примером 12, предложив желающим разобраться с остальным материалом дома самостоятельно. Обычно на изучение этого параграфа уходят 3 урока.

§2. О ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ. Этот же параграф дословно приведен в учебнике для 7 класса (часть 1), поэтому проходить его следует только тем, кто начал работу над учебниками данного автора с 8 класса. Цель параграфа: во-первых, научить детей правильно округлять результаты вычислений при решении физических задач, а во-вторых, научить их работать с представлениями чисел с помощью степени числа 10. Практика показывает, что на математике этим вопросам не уделяется достаточного внимания.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст с начала до подзаголовка: «Запись чисел с помощью степени числа 10». Разбирается у доски задание А1 (г). Учащиеся решают самостоятельно: А1 (а, б, в) (3 минуты).

Читается текст до подзаголовка: «Примеры решения задач». Разбираются у доски задания: А2 (б), А2 (п), Б2 (г), Б2 (л). Учащиеся решают самостоятельно: А2 (а, в, г, д, е, ж, з, и, к, л), Б2 (а–в), Б2 (д–к) (10 минут).

Читается текст по задаче 2.2. Разбирается у доски задание: Б1(а). Учащиеся решают самостоятельно: Б1 (б–е).

Читается текст до задачи 2.4. Разбирается у доски задание В1 (а). Учащиеся решают самостоятельно: В1 (б–ж).

Читается текст задачи 2.4. Разбирается у доски задание А3 (е). Учащиеся решают самостоятельно: А3 (а–д).

Для прохождения этого параграфа требуется 1,5–2 урока. В слабом классе задачу 2.4 можно опустить.

§3. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ТЕПЛОЕМКОСТЬ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст с начала до подзаголовка «Удельная теплоемкость». Это довольно длительное чтение – около 20 минут. Но поскольку материал изложен достаточно интересно, учащиеся обычно спокойно дослушивают текст до конца. Затем читается задача 3.1. Разбирается на доске задача А1. Учащиеся решают самостоятельно: А2, А3 (3 минуты).

Читается текст по задаче 3.2. Разбирается у доски задача А5. Учащиеся решают самостоятельно: А4, А6, А8, Б6, Б13 (5–7 минут).

Читается текст по задаче 3.3. Разбирается у доски задача А11. Учащиеся решают самостоятельно: А12, А13, Б7, Б16 (5–7 минут).

Читается текст по задаче 3.4. Разбирается у доски задача В8. Учащиеся решают самостоятельно: В9, В10, В11 (5-7 минут).

Читается текст по задаче 3.5. Разбирается у доски задача В14. Учащиеся решают самостоятельно: В15, В16.

Заметим, что в слабом классе задачи 3.4 и 3.5 можно не разбирать. Изучение параграфа занимает 2-3 урока.

§4. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА. КАЛОРИМЕТР.

Это важный и трудный для ребят параграф. Главная трудность – это решение большого числа уравнений с буквами. Уровень усвоения материала параграфа очень сильно зависит от того, насколько хорошо учащиеся усвоили курс алгебры, а также насколько хорошо они прорешали задания §1 данного учебника. На изучение данного параграфа целесообразно обвести 3-4 урока.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст с начала до слов «Способ 2» (в тексте задачи 4.1).

Разбирается у доски задача А1 (первым способом).

Учащиеся решают самостоятельно (первым способом из описанных в тексте задачи 4.1) задачи: А2, Б1, В4 (3–5 минут).

Читается текст до слов «Способ 3». Разбирается у доски уже разобранный ранее задача А1, но вторым способом. Учащиеся решают самостоятельно вторым способом задачи: А2 (еще раз), Б2, В1 (3-5 минут).

Читается текст до слов: «Как измерить удельную теплоемкость вещества?» Разбирается у доски снова задача А1, но уже третьим способом. Учащиеся решают самостоятельно: Б2 (еще раз), В2, В3 третьим способом (3–5 минут).

Читается текст до подзаголовка: «Как определить теплоемкость калориметра?» Разбирается у доски задача Б3 способом №2. Учащиеся решают самостоятельно: Б10, Б8, Б9 (5–7 минут).

Читается текст до задачи 4.4. Разбирается у доски задача Б6. Учащиеся решают самостоятельно: Б7, Б5, В9, В10 (7–10 минут). Читается текст задачи 4.4.

Разбирается у доски задача В6. Учащиеся решают самостоятельно: В7, В8, В13 (7–10 минут).

В слабых классах задачу 4.4 можно опустить, а при разборе задачи 4.1 ограничиться лишь первым способом.

§5. ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. ПЕРЕОХЛАЖДЕННАЯ ЖИДКОСТЬ. Это достаточно большой, насыщенный теорией и задачами параграф. Его изучение потребует 3–4 урока.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст с начала до задачи 5.1. Таблицы температур плавления и удельных теплот плавления рекомендуется прочитать не спеша. Как ни странно, подобная справочная информация воспринимается с интересом. Затем, ничего не разбирая у доски, следует предложить учащимся самостоятельно решить следующие качественные задачи: А1, А2, А3, А4, А5, А6, А7, А8, Б1, Б4, Б5, Б7, Б9. Несмотря на то, что задач много, их решение должно занять 10-15 минут. После этого следует провести устный разбор всех этих задач. Это займет 10-15 минут.

Читается текст задачи 5.1. Разбирается у доски задача Б12. Учащиеся решают самостоятельно: А9, Б13, Б14, Б18 (5–7 минут).

Читается текст до подзаголовка: «Как объяснить плавление и кристаллизацию с молекулярной точки зрения?» Разбирается у доски задача Б14. Учащиеся решают самостоятельно: Б15, Б17, Б12 (3–5 минут).

Читается текст до задачи 5.4. Разбирается у доски задача А10. Учащиеся решают самостоятельно: А11, А12, Б25, Б23, В4 (5–6 минут).

Читается текст до задачи 5.5. Разбирается у доски задача В6. Учащиеся решают самостоятельно: В7, В8, В9 (5–7 минут).

Читается текст до задачи 5.6. Разбирается у доски задача Г3. Учащиеся решают самостоятельно: Г4, Г5, Г6 (10–15 минут).

Читается текст до конца параграфа. Разбирается у доски задача Г13. Учащиеся решают самостоятельно: Г14, Г15, Г16 (10–20 минут).

Заметим, что задачу 5.5 имеет смысл разбирать только в сильном, а задачу 5.6 – в очень сильном классе. В слабом классе можно не разбирать даже задачу 5.4, а ограничиться задачами 5.1, 5.2 и 5.3. Отметим также, что материал, связанный с молекулярным строением твердых, жидких и газообразных «тел» является повторительным: эти вопросы уже обсуждались в курсе 7 класса (часть 1).

§6. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ. КИПЕНИЕ. ПЕРЕГРЕТАЯ ЖИДКОСТЬ. На изучение этого параграфа потребуется 2-3 урока.

Порядок изучения параграфа..

Читается текст сначала до слов «Примеры, решения задач». Рекомендуется подробно остановиться на таблицах температур кипения и удельных теплот парообразования. Чтение займет около 20 минут.

Учащиеся самостоятельно решают следующие качественные задачи: А1, А2, А3, А4, А5, А6, А7, Б1, Б2, Б3, Б7, В1, Г1 (10–15 минут). Устный разбор задач учащимися.

Читается текст задачи 6.1. Разбирается у доски задача А8. Учащиеся решают самостоятельно: Б10, Б11, Б4 (3–5 минут).

Читается текст задачи 6.2. Разбирается у доски задача А9. Учащиеся решают самостоятельно: А10, А11, Б13, В7 (7–10 минут).

Читается текст задачи 6.3. Разбирается у доски задача В10. Самостоятельно учащиеся решают: В11, В12 (7–10 минут).

Читается текст задачи 6.4. Разбирается у доски задача Г4. Учащиеся решают самостоятельно: Г6, Г12, Г9 (10–15 минут).

Читается текст задачи 6.5. Разбирается у доски задача Г13. Учащиеся решают самостоятельно: Г14, Г15, Д1 (15–20 минут).

Заметим, что задачу 6.5 есть смысл разбирать только в очень сильном классе. В слабом классе можно ограничиться только задачами 6.1 и 6.2. В среднем классе стоит разобрать задачи 6.3 и 6.4.

§7. ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ НАГРЕВАТЕЛЯ. ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ НАГРЕВАТЕЛЯ. Этот параграф содержит много необязательного, но очень полезного в плане пропедевтики материала. Поэтому при нехватке времени изучение данного параграфа можно существенно ограничить, не рассматривая материал после подзаголовка «Коэффициент полезного действия нагревательных приборов». В этом случае параграф проходится за 1 урок.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст до слов «Коэффициент полезного действия или теплоотдача нагревательных приборов». Разбирается у доски задача А4. Учащиеся решают самостоятельно: А6, А5, Б3 (а, б), Б4 (5–7 минут).

Читается текст до подзаголовка «Тепловая мощность нагревателя». Разбирается у доски задача Б7. Учащиеся решают самостоятельно: Б8, В4, В5 (5–7 минут).

Читается текст до подзаголовка: «Примеры решения задач». Разбирается у доски задача В10. Учащиеся решают самостоятельно: В11, В12, В13 (7–10 минут).

Читается текст задачи 7.4. Разбирается у доски задача В6. Учащиеся решают самостоятельно: В9, В7, В8 (7–10 минут).

Читается текст задачи 7.5. Разбирается у доски задача В15. Учащиеся решают самостоятельно: В16, Г2, Г3.

Читается текст задачи 7.6. Разбирается у доски задача В17. Учащиеся решают самостоятельно задачи: Д1, Д2 (15–20 минут).

Заметим, что задачи 7.5 и 7.6 имеет смысл разбирать только в очень сильных классах.

§ 8. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ. Сразу оговоримся, что материал этого параграфа значительно превосходит материал традиционного школьного курса физики для 8 класса. Вводится коэффициент теплопроводности материала и понятие теплового потока. Практика показала, что в среднем классе этот материал не вызывает серьезных затруднений, но в слабом классе можно ограничиться рассмотрением только качественных задач. В этом случае параграф можно изучить за 1 урок.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст с начала до слов «Примеры решения задач». Учащиеся самостоятельно решают качественные задачи: А1–А8, Б2, Б4, Б6, Б8, Б13, В2 (15 минут). Устный разбор задач учащимися.

Читается текст до задачи 11.2. Разбирается у доски задача Б15. Учащиеся решают самостоятельно: Б16, В13, В14 (10–12 минут). Разбор у доски задачи В17. Учащиеся решают самостоятельно: В18, В12 (7–10 минут).

Читается задача 8.2. Разбирается у доски задача В19. Учащиеся решают самостоятельно: В20, В21 (7–10 минут).

Читается текст задачи 8.3. Разбирается у доски задача Г6. Учащиеся решают самостоятельно: Г7, Д4 (15–20 минут).

Заметим, что в слабом классе задачу 8.3 разбирать нецелесообразно.

§9. КОНВЕКЦИЯ И ИЗЛУЧЕНИЕ. Этот параграф содержит только качественные задачи, поэтому его изучение обычно не вызывает затруднений. При необходимости весь материал можно пройти за 1 урок.

Порядок изучения параграфа..

Читается текст с начала до подзаголовка «Излучение». Учащиеся решают самостоятельно: А1, А2, А3, Б1, Б4, Б5, Б6, Б12, В6 (7–10 минут). Устный разбор решенных задач учащимися.

Читается текст до конца параграфа. Учащиеся решают самостоятельно: А6, А8, Б13, Б14, В9, Г5. Устный разбор учащимися решенных задач.

§10. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ. Главная задача параграфа – познакомить ребят с устройством двигателя внутреннего сгорания и особенностями его работы. Для технически грамотных ребят параграф простой, для технически безграмотных – сложный. На изучение параграфа разумно отвести 2 урока.

Порядок изучения параграфа.

Читается текст до подзаголовка: «Устройство бензинового двигателя внутреннего сгорания». Учащиеся решают самостоятельно: А1, А2, А3, А4, Б1, Б2, Б3, Б4 (7 минут). Устный разбор решенных задач.

Читается текст до подзаголовка: «Сколько цилиндров нужно двигателю?» Учащиеся решают самостоятельно: Б5, Б6, Б7, В1, В2, В3 (5–7 минут). Устный разбор задач учащимися.

Читается текст до задачи 10.1. Учащиеся решают самостоятельно: Б8, Б10, В4, В5, В7, В8, В9 (5–7 минут). Устный разбор задач учащимися.

Читается текст задачи 10.1. Учащиеся решают самостоятельно: Б9, В10, В11 (3–5 минут).

Читается текст до конца параграфа. Разбор у доски задачи Б12. Учащиеся решают самостоятельно: А5, Б13, В12, В15, В16.

В заключение отметим, что учебное время на изучение темы «Тепловые явления» немного превышает отведенное официальной программой. Этот «перерасход» будет компенсирован при прохождении темы «Электричество», поскольку на электричество расчетные задачи, как правило, значительно проще в математическом смысле.

Необходимо также иметь в виду, что рекомендованное число часов на каждый параграф и номера рекомендованных для разбора на уроке задач – не более чем рекомендации. Поэтому учитель вправе вносить любые разумные коррективы в предложенное поурочное планирование.

4. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА.

КАЛОРИМЕТР

Если два тела, имеющие различные температуры, привести в соприкосновение, то между ними начнется *процесс теплопередачи*: более горячее тело, остывая, будет отдавать часть своей внутренней энергии более холодному, а более холодное тело, нагреваясь, будет эту энергию получать. Процесс будет длиться до тех пор, пока не установится общая для обоих тел температура.

Если система теплоизолирована, то есть никакие другие тела в процессе теплопередачи не участвуют, то общая внутренняя энергия двух тел должна сохраняться:

$$U^{\text{нач}} = U^{\text{кон}}, \quad (4.1)$$

или

$$U^{\text{кон}} - U^{\text{нач}} = 0,$$

или

$$\Delta U = U^{\text{кон}} - U^{\text{нач}} = 0. \quad (4.2)$$

В то же время внутренняя энергия *каждого отдельного тела* в процессе теплопередачи меняется: у горячего тела уменьшается, а у холодного увеличивается, но в сумме эти изменения равны нулю:

$$\begin{aligned} U^{\text{кон}} - U^{\text{нач}} &= (U_{\text{гор}}^{\text{кон}} + U_{\text{хол}}^{\text{кон}}) - (U_{\text{гор}}^{\text{нач}} + U_{\text{хол}}^{\text{нач}}) = \\ &= (U_{\text{гор}}^{\text{кон}} - U_{\text{гор}}^{\text{нач}}) + (U_{\text{хол}}^{\text{кон}} - U_{\text{хол}}^{\text{нач}}) = 0 \end{aligned}$$

или более кратко:

$$\Delta U = \Delta U_{\text{гор}} + \Delta U_{\text{хол}} = 0. \quad (4.3)$$

Понятно, что изменение внутренней энергии холодного тела положительно: $U_{\text{хол}}^{\text{кон}} - U_{\text{хол}}^{\text{нач}} = \Delta U_{\text{хол}} > 0$, так как $U_{\text{хол}}^{\text{кон}} > U_{\text{хол}}^{\text{нач}}$, а изменение внутренней энергии горячего тела отрицательно: $U_{\text{гор}}^{\text{кон}} - U_{\text{гор}}^{\text{нач}} = \Delta U_{\text{гор}} < 0$, так как $U_{\text{гор}}^{\text{кон}} < U_{\text{гор}}^{\text{нач}}$.

Количество теплоты, полученное холодным телом, равно *изменению* его внутренней энергии:

$$Q_{\text{пол}} = U_{\text{хол}}^{\text{кон}} - U_{\text{хол}}^{\text{нач}} = \Delta U_{\text{хол}}.$$

Количество теплоты, отданное горячим телом, равно *убыли* его внутренней энергии:

$$Q_{\text{отд}} = U_{\text{гор}}^{\text{нач}} - U_{\text{гор}}^{\text{кон}} = -(U_{\text{гор}}^{\text{кон}} - U_{\text{гор}}^{\text{нач}}) = -\Delta U_{\text{гор}}.$$

Отсюда $\Delta U_{\text{гор}} = -Q_{\text{отд}}$.

Подставив значения $\Delta U_{\text{хол}} = Q_{\text{пол}}$ и $\Delta U_{\text{гор}} = -Q_{\text{отд}}$ в (4.3), получим:

$$-Q_{\text{отд}} + Q_{\text{пол}} = 0$$

или

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}. \quad (4.4)$$

Равенства (4.1), (4.2), (4.3) и (4.4) представляют собой разные формы записи одного и того же закона: **если в изолированной от окружающих тел системе происходит только процесс теплопередачи, то внутренняя энергия этой системы сохраняется.** А указанные равенства называются **уравнениями теплового баланса.** С их помощью можно решить большое число практических задач.

Задача 4.1. В сосуд, в котором находилось $m_1 = 100$ г подсолнечного масла при $t_1 = 20$ °С, долили $m_2 = 20$ г подсолнечного масла при температуре $t_2 = 120$ °С. Найти установившуюся температуру. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

$$m_1 = 100 \text{ г}$$

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

$$m_2 = 20 \text{ г}$$

$$t_2 = 120 \text{ °С}$$

$$\theta = ?$$

Решение. Решим эту задачу *тремя способами.*

Способ 1. Воспользуемся уравнением теплового баланса (4.4) $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$. Пусть c – удельная теплоемкость подсолнечного масла (неизвестная нам величина), а θ^1 – установившаяся температура. Тогда:

$$Q_{\text{пол}} = cm_2(\theta - t_1) \quad (\text{по формуле (3.4)}),$$

$$Q_{\text{отд}} = cm_1(t_2 - \theta) \quad (\text{по формуле (3.5)}).$$

Отсюда $cm_2(t_2 - \theta) = cm_1(\theta - t_1)$. Неизвестная нам удельная теплоемкость благополучно сокращается, далее раскрываем скобки и решаем это уравнение относительно неизвестной θ :

$$m_2 t_2 - m_2 \theta = m_1 \theta - m_1 t_1$$

$$m_1 t_1 + m_2 t_2 = m_1 \theta + m_2 \theta;$$

$$m_1 t_1 + m_2 t_2 = \theta(m_1 + m_2);$$

$$\frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \theta \quad \text{или} \quad \theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

Проверим размерность: $[\theta] = \frac{[m][t]}{[m]} = \frac{\cancel{г} \cdot \text{град}}{\cancel{г}} = \text{град}.$

Подставим численные значения:

$$\theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{100 \text{ г} \cdot 20^\circ\text{С} + 20 \text{ г} \cdot 120^\circ\text{С}}{100 \text{ г} + 20 \text{ г}} = 36,7^\circ\text{С} \approx 37^\circ\text{С}.$$

Способ 2. Запишем уравнение теплового баланса (4.3):

$$\Delta U = (\Delta U_{\text{гор}} + \Delta U_{\text{хол}}) = 0,$$

где U – полная внутренняя энергия системы, состоящей из холодного и горячего масла; ΔU – изменение внутренней энергии системы.

$$\Delta U_{\text{хол}} = Q_{\text{пол}} = cm_1(\theta - t_1) - \text{изменение внутренней энергии холодного масла};$$

$$\Delta U_{\text{гор}} = -Q_{\text{отд}} = -cm_2(t_2 - \theta) = cm_2(\theta - t_2) - \text{изменение внутренней энергии горячего масла}.$$

(Заметим, что $\Delta U_{\text{хол}} > 0$, так как энергия холодного масла при нагревании увеличивается, а $\Delta U_{\text{гор}} < 0$, так как при остывании энергия горячего масла уменьшается.)

Тогда

$$\Delta U = (\Delta U_{\text{гор}} + \Delta U_{\text{хол}}) = cm_1(\theta - t_1) + cm_2(\theta - t_2) = 0,$$

откуда находим искомую температуру θ :

$$cm_1 \theta - cm_1 t_1 + cm_2 \theta - cm_2 t_2 = 0$$

$$cm_1 \theta + cm_2 \theta = cm_1 t_1 + cm_2 t_2;$$

¹ Напомним: θ – греческая буква тэта.

$$c\theta (m_1 + m_2) = c(m_1 t_1 + m_2 t_2);$$

$$\theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$$

– это та же формула, что и при решении первым способом.

Способ 3. Сначала немного теории. Рассмотрим некоторое тело при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Пусть абсолютное значение его внутренней энергии равно U_0 .

Читатель: Но мы же никогда не сможем определить это значение!

Автор: А оно нам и не понадобится. Теперь с помощью теплопередачи изменим (увеличим или уменьшим) температуру нашего тела до некоторой величины t .

Пусть внутренняя энергия тела при этой температуре равна $U(t)$. Тогда $U(t) = U_0 + \Delta U$, где ΔU – это количество теплоты, полученное телом. Если теплоемкость тела равна C , то

$$\Delta U = C \cdot \Delta t = C(t - 0)^\circ\text{C} = Ct.$$

Заметим, что если $t < 0^\circ\text{C}$, то и $\Delta U < 0$. Это значит, что внутренняя энергия тела уменьшилась, или можно сказать, что тело получило отрицательное количество теплоты. Итак:

$$U(t) = U_0 + Ct. \quad (4.5)$$

Теперь рассмотрим два тела с теплоемкостями C_1 и C_2 и начальными температурами t_1 и t_2 .

Пусть между телами начался процесс теплообмена, в результате которого температура обоих тел стала равной θ . Запишем уравнения теплового баланса в виде (4.1):

$$U^{\text{нач}} = U^{\text{кон}}.$$

Пусть U_{10} и U_{20} – внутренние энергии тел при температуре 0°C . Тогда согласно формуле (4.5):

$$U^{\text{нач}} = U_1(t_1) + U_2(t_2) = (U_{10} + C_1 t_1) + (U_{20} + C_2 t_2),$$

$$U^{\text{кон}} = U_1(\theta) + U_2(\theta) = (U_{10} + C_1 \theta) + (U_{20} + C_2 \theta).$$

Приравнявая $U^{\text{нач}}$ и $U^{\text{кон}}$, получим

$$(U_{10} + C_1 t_1) + (U_{20} + C_2 t_2) = (U_{10} + C_1 \theta) + (U_{20} + C_2 \theta).$$

Как видим, неизвестные нам величины U_{10} и U_{20} благополучно сокращаются, а уравнение теплового баланса принимает вид:

$$C_1 t_1 + C_2 t_2 = C_1 \theta + C_2 \theta = \theta(C_1 + C_2). \quad (4.6)$$

Если в теплообмене принимают участие не два, а три или больше тел, то проводя аналогичные рассуждения, нетрудно получить уравнение теплового баланса в следующем виде:

$$C_1 t_1 + C_2 t_2 + \dots + C_n t_n = \theta(C_1 + C_2 + \dots + C_n), \quad (4.7)$$

где n – число тел, участвующих в теплообмене; $C_1, C_2, \dots, C_n$ – их теплоемкости, $t_1, t_2, \dots, t_n$ – их начальные температуры, а θ – установившаяся температура.

Теперь вернемся к нашей задаче.

Первое «тело» у нас – это масло массой m_1 , первоначально находившееся при t_1 , а второе «тело» – это масло массой m_2 , первоначально находившееся при температуре t_2 . Теплоемкости этих тел соответственно равны: $C_1 = cm_1$, $C_2 = cm_2$. Согласно формуле (4.6) можем записать:

$$cm_1 t_1 + cm_2 t_2 = (cm_1 + cm_2)\theta.$$

Отсюда

$$\theta = \frac{c(m_1 t_1 + m_2 t_2)}{c(m_1 + m_2)} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

Как видите, мы получили тот же результат, что и при решении задачи первыми двумя способами.

$$\text{Ответ: } \theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} \approx 37^\circ\text{C}.$$

Читатель: Так, каким же из трех способов надо решать эту задачу?

Автор: Каким хотите. С точки зрения математики, пожалуй, наиболее предпочтительней третий способ, так как в этом случае минимум алгебраических преобразований, а с точки зрения физики, в данном случае наиболее понятен, на мой взгляд, первый способ.

Как измерить удельную теплоемкость вещества?

Для измерения теплоёмкостей тел, а также удельных теплоёмкостей веществ пользуются КАЛОРИМЕТРОМ. Калориметр представляет собой металлический сосуд с крышкой, имеющий форму стакана. Сосуд ставят на пробки, помещенные в другой, бóльший сосуд так, что между обоими сосуда́ми остается слой воздуха (рис. 4.1). Все эти предосторожности уменьшают отдачу теплоты окружающим телам.

Сосуд наполняют известным количеством воды, температура которой до опыта измеряется (пусть она равна t_1). Затем берут тело, теплоёмкость которого хотят измерить, и нагревают до известной температуры t_2 (например, помещают в пары кипящей воды, так что температура $t_2 = 100\text{ }^\circ\text{C}$).

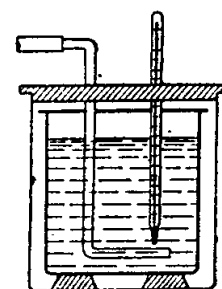


Рис. 4.1

Нагретое тело опускают в воду калориметра, закрывают крышкой и, помешивая мешалкой, ждут, пока температура в калориметре установится (это будет, когда вода и тело примут одинаковую температуру). Тогда отмечают эту температуру. Обозначим её греческой буквой θ .

Теперь, зная t_1 , t_2 , θ , массу воды m_1 и её удельную теплоёмкость c_1 , а также массу тела m_2 , можно рассчитать теплоёмкость тела, а также удельную теплоёмкость материала, из которого изготовлено тело.

Читатель: А как это сделать?

Автор: Давайте рассмотрим конкретную задачу.

Задача 4.2. В калориметр налили $m_1 = 200\text{ г}$ воды при температуре $t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ и опустили тело массой $m_2 = 50\text{ г}$ при температуре $t_2 = 100\text{ }^\circ\text{C}$. После этого в калориметре установилась температура $\theta = 25\text{ }^\circ\text{C}$. Определить теплоёмкость тела, а также удельную теплоёмкость материала, из которого изготовлено тело. Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

$$m_1 = 200\text{ г} = 0,200\text{ кг}$$

$$t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 50\text{ г} = 0,050\text{ кг}$$

$$t_2 = 100\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = 25\text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_2 = ? \quad C = ?$$

Решение. Обозначим искомую теплоёмкость тела буквой C , а удельную теплоёмкость материала, из которого изготовлено тело, буквой c_2 . Удельная теплоёмкость воды – табличная величина:

$$c_1 = 1000\text{ кал/}(\text{кг}\cdot\text{град}).$$

Тело в процессе теплопередачи отдаёт тепло, а вода это тепло получает. Если пренебречь потерями тепла на нагрев окружающей среды, а также мешалки, градусника и самого калориметра, то количество теплоты, отданное телом, равно количеству теплоты, полученному водой: $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$.

$$1. \text{ Согласно формуле (3.4): } Q_{\text{пол}} = c_1 m_1 (\theta - t_1).$$

2. Согласно формуле (3.5): $Q_{отд} = c_2 m_2 (t_2 - \theta)$.

Приравнявая правые части этих равенств, получим:

$$c_2 m_2 (t_2 - \theta) = c_1 m_1 (\theta - t_1).$$

Отсюда $c_2 = \frac{c_1 m_1 (\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)}$. Проверим размерность:

$$[c_2] = \frac{[c_1][m_1][t]}{[m_2][t]} = \frac{\text{кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot \text{кг} \cdot \text{град}}{\text{кг} \cdot \text{град}} = \text{кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}).$$

Подставляя численные значения, получим:

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{c_1 m_1 (\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)} = \\ &= \frac{1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 0,200 \text{ кг} \cdot (25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{0,050 \text{ кг} \cdot (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})} = \\ &= 266,7 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \approx 2,7 \cdot 10^2 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}). \end{aligned}$$

Зная удельную теплоёмкость, легко найти теплоёмкость тела

$$\begin{aligned} C &= c_2 m_2 = 2,7 \cdot 10^2 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 0,050 \text{ кг} = \\ &= 13,5 \text{ кал}/\text{кг} \approx 14 \text{ кал}/\text{кг}. \end{aligned}$$

$$\text{Ответ: } c_2 = \frac{c_1 m_1 (\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)} \approx 2,7 \cdot 10^2 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}),$$

$$C = c_2 m_2 \approx 14 \text{ кал}/\text{кг}.$$

Как определить теплоемкость калориметра?

Читатель: Мы пренебрегли теплоёмкостью калориметра... А нельзя ли и её определить экспериментально?

Автор: Рассмотрим задачу.

Задача 4.3. В калориметр налили $m_1 = 200$ г воды при температуре $t_1 = 100$ °С. При этом установившаяся температура оказалась равной $\theta = 98$ °С. Какова теплоёмкость калориметра, если его начальная температура $t_2 = 20$ °С?

$$m_1 = 200 \text{ г} = 0,200 \text{ кг}$$

$$c_1 = 1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$$

$$t_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta = 98^\circ\text{C}$$

$$C = ?$$

Решение. В данном случае калориметр получает тепло, а вода отдаёт, поэтому: $Q_{пол} = C(\theta - t_2)$, $Q_{отд} = c_1 m_1 (t_1 - \theta)$. Отсюда

$$C(\theta - t_2) = c_1 m_1 (t_1 - \theta),$$

$$C = \frac{c_1 m_1 (t_1 - \theta)}{\theta - t_2}.$$

Проверим размерность:

$$[C] = \frac{[c_1][m_1][t]}{[t]} = \frac{\frac{\text{кал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot \text{кг} \cdot \text{град}}{\text{град}} = \frac{\text{кал}}{\text{град}}.$$

Подставляя численные значения, получим:

$$C = \frac{1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 0,200 \text{ кг} \cdot (100 - 98)^\circ\text{C}}{(98 - 20)^\circ\text{C}} =$$

$$= 5,13 \text{ кал}/\text{град} \approx 5,1 \text{ кал}/\text{град}.$$

Ответ: $C = \frac{c_1 m_1 (t_1 - \theta)}{\theta - t_2} \approx 5,1 \text{ кал}/\text{град}.$

Читатель: По-моему, теплоёмкость калориметра неправдоподобно мала. Ведь если взять всего $m = 5,1 \text{ г}$ воды, удельная теплоемкость которой $c = 1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$, то *теплоемкость* этого количества воды будет равна:

$$C = cm = 1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 5,1 \text{ кал}/\text{град},$$

то есть такая же, как у нашего калориметра! Разве это возможно?

Автор: Хороший калориметр как раз и должен иметь маленькую теплоемкость. Допустим, калориметр сделан из меди ($c = 94 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$) и имеет массу $m = 50 \text{ г}$. Тогда его теплоемкость равна:

$$C = cm = 94 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 4,7 \text{ кал}/\text{град}.$$

Даже меньше, чем у нас. Не забывайте, что по сравнению с металлами удельная теплоемкость воды больше примерно в 10 раз! А теперь давайте посмотрим, можно ли хотя бы для грубых расчетов при экспериментальном определении теплоёмкости тела пренебрегать теплоёмкостью калориметра. Для этого ещё раз вычислим удельную теплоёмкость тела из задачи 4.2, но уже с учетом теплоемкости калориметра, значение которой мы получили в задаче 4.3.

Задача 4.4. В калориметр налили $m_1 = 200 \text{ г}$ воды при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и опустили тело из неизвестного материала массой $m_2 = 50 \text{ г}$ при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Теплоёмкость калориметра $C = 5,1 \text{ кал}/\text{град}$. Определите удельную теплоёмкость материала, из которого изготовлено тело, если установившаяся температура в калориметре $\theta = 25^\circ\text{C}$. Начальная температура калориметра $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

$m_1 = 200 \text{ г} = 0,200 \text{ кг}$ $t_1 = 20^\circ\text{C}$ $c_1 = 1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ $C = 5,1 \text{ кал}/\text{град}$ $m_2 = 50 \text{ г} = 0,050 \text{ кг}$ $t_2 = 100^\circ\text{C}$ $\theta = 25^\circ\text{C}$ $c_2 = ?$	Решение. Воспользуемся уравнением теплового баланса в виде (4.2): $\Delta U = 0$. В нашем случае $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3,$ где $\Delta U_1 = C(\theta - t_1)$ – изменение внутренней энергии калориметра; $\Delta U_2 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$ – изменение внутренней энергии воды; $\Delta U_3 = c_2 m_2 (\theta - t_2)$ – изменение внутренней энергии тела. $\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 0,$
---	---

$$C(\theta - t_1) + c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_2) = 0,$$

$$C(\theta - t_1) + c_1 m_1 (\theta - t_1) = -c_2 m_2 (\theta - t_2),$$

$$C(\theta - t_1) + c_1 m_1 (\theta - t_1) = +c_2 m_2 (t_2 - \theta),$$

$$c_2 = \frac{C(\theta - t_1) + c_1 m_1 (\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)}.$$

Можно еще «для красоты» вынести в числителе за скобки общий множитель $(\theta - t_1)$:

$$c_2 = \frac{(C + c_1 m_1)(\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)}.$$

Проверим размерность:

$$[c_2] = \frac{([C] + [c_1][m_1])[t]}{[m_2][t]} = \frac{\left(\frac{\text{кал}}{\text{град}} + \frac{\text{кал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot \text{кг} \right) \cdot \text{град}}{\text{кг} \cdot \text{град}} =$$

$$= \frac{\frac{\text{кал}}{\text{град}}}{\text{кг}} = \frac{\text{кал}}{\text{град}} \cdot \frac{\text{кг}}{1} = \frac{\text{кал} \cdot 1}{\text{град} \cdot \text{кг}} = \frac{\text{кал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}.$$

Подставим численные значения:

$$c_2 = \frac{(C + c_1 m_1)(\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)} =$$

$$= \frac{\left(5,1 \frac{\text{кал}}{\text{град}} + 1000 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 0,200 \text{ кг} \right) \cdot (25 - 20)^\circ \text{C}}{0,050 \text{ кг} \cdot (100 - 25)^\circ \text{C}} =$$

$$= 273,467 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \approx 2,7 \cdot 10^2 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}).$$

$$\text{Ответ: } c_2 = \frac{(C + c_1 m_1)(\theta - t_1)}{m_2 (t_2 - \theta)} \approx 2,7 \cdot 10^2 \text{ кал}/(\text{кг} \cdot \text{град}).$$

Как видите, при нашей точности вычислений (до двух значащих цифр) учет теплоемкости калориметра вообще никак не повлиял на численный ответ.

Задачи для самостоятельного решения

Задачи очень легкие

- A1.** На свиноводческой ферме смешали 100 кг воды при температуре 90°C и 200 кг воды из водопровода, температура которой 6°C . Определите температуру смеси.
- A2.** В ванну залили 100 кг воды при температуре 12°C , после чего добавили 50 кг горячей воды при температуре 86°C . Чему равна температура смеси? Теплоту, которая пошла на нагревание ванны, не учитывать.

Задачи легкие

- Б1.** В сосуд, в котором содержится $m = 150$ г воды при температуре $t_1 = 16^{\circ}\text{C}$, добавили некоторое количество воды при температуре $t_2 = 80^{\circ}\text{C}$. Какую массу воды добавили, если температура смеси стала $\theta = 32^{\circ}\text{C}$?
- Б2.** В ванну налили $m_1 = 100$ кг воды при некоторой температуре, после чего добавили $m_2 = 50$ кг горячей воды при температуре $t_2 = 86^{\circ}\text{C}$. Температура смеси оказалась равной $\theta = 36,7^{\circ}\text{C}$. Какова начальная температура воды в ванной?
- Б3.** В сосуд с этиловым спиртом, температура которого $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, положили кусочек серы массой $m_2 = 10$ г при температуре $t_2 = 0^{\circ}\text{C}$, в результате чего температура спирта понизилась до $\theta = 19^{\circ}\text{C}$. Какова масса спирта?
- Б4.** В воду массой $m_1 = 1,0$ кг при температуре $t_1 = 100^{\circ}\text{C}$ опустили медный брусок массой $m_2 = 0,50$ кг при температуре $t_2 = 0^{\circ}\text{C}$. Найдите установившуюся температуру.
- Б5.** В машинное масло массой $m_1 = 2,0$ кг при температуре $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$ опустили чугунную болванку массой $m_2 = 1,0$ кг при температуре $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$. Найдите установившуюся температуру.
- Б6.** В сосуд с керосином, масса которого $m_1 = 100$ г, находящийся при температуре $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, положили стальную деталь массой $m_2 = 10$ г при температуре $t_2 = -20^{\circ}\text{C}$. Найдите установившуюся температуру. Теплоёмкость сосуда не учитывать.
- Б7.** В калориметр теплоёмкостью $C = 20$ Дж/град, находящийся при температуре $t_2 = 0^{\circ}\text{C}$, налили $m_1 = 100$ г неизвестной жидкости при температуре $t_1 = 50^{\circ}\text{C}$, после чего в калориметре установилась температура $\theta = 45^{\circ}\text{C}$. Найдите удельную теплоёмкость жидкости.
- Б8.** В калориметр теплоёмкостью $C = 30$ Дж/град, находящийся при температуре $t_2 = 0^{\circ}\text{C}$, налили ртуть при температуре $t_1 = 100^{\circ}\text{C}$, после чего в калориметре установилась температура $\theta = 50^{\circ}\text{C}$. Найдите массу налитой ртути.
- Б9.** В калориметр теплоёмкостью $C = 45$ Дж/град, находящийся при температуре $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, налили $m_1 = 200$ г воды при температуре $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$. Найдите установившуюся температуру.
- Б10.** В калориметр теплоёмкостью $C = 20$ Дж/град, находящийся при температуре $t_1 = 25^{\circ}\text{C}$, налили $m_2 = 150$ г машинного масла при температуре $t_2 = 80^{\circ}\text{C}$. Найдите установившуюся температуру.

Задачи средней трудности

- В1.** В ванну, в которой находилось 80 л воды, долили ещё 16 л воды при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, после чего в ванне установилась температура $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какова была начальная температура воды в ванне? Теплоёмкость ванны не учитывать.
- В2.** Мальчик наполнил стакан, ёмкость которого 200 см^3 , на $3/4$ кипятком и дополнил его холодной водой. Определите, какая установилась температура воды, если температура холодной воды равна $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Потери теплоты на нагревание сосуда не учитывать.
- В3.** В каком отношении следует смешать две массы воды, взятые при температурах 50 и $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы температура смеси была $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- В4.** Сколько нужно добавить холодной воды при температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 50 л воды, имеющей температуру $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, для получения смеси с температурой $45\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- В5.** Для ванны нужно приготовить 350 л воды при температуре $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. В колонке температура нагретой воды $76\text{ }^{\circ}\text{C}$, а из водопровода идёт вода при температуре $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сколько надо взять горячей и холодной воды для приготовления ванны?
- В6.** В стакан теплоёмкостью $C = 50\text{ Дж/град}$ налили $m_1 = 200\text{ г}$ спирта при температуре $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и бросили оловянный шарик массой $m_2 = 20\text{ г}$. Какой была температура шарика, если температура смеси $\theta = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$? Начальные температуры спирта и стакана равны.
- В7.** В калориметре теплоёмкостью $C = 25\text{ Дж/град}$ при температуре $t_1 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ находится $m_1 = 200\text{ г}$ машинного масла. В калориметр положили кусочек льда массой $m_2 = 20\text{ г}$ при температуре $t_2 = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какова установившаяся температура?
- В8.** В стакан теплоёмкостью $C = 50\text{ Дж/град}$ налили $m_1 = 100\text{ г}$ этилового эфира. После этого в стакан положили кусочек цинка массой $m_2 = 50\text{ г}$ при температуре $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какова была начальная температура эфира, если установившаяся температура смеси $\theta = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$? Начальная температура стакана такая же, как у эфира.
- В9.** До какой температуры нагрелась во время работы стальная фреза массой $1,00\text{ кг}$, если после опускания ее в калориметр температура $1,00\text{ л}$ воды повысилась от $11,3$ до $30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$? Теплоёмкость калориметра не учитывать.
- В10.** В фарфоровую чашку массой 100 г при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ влили 200 см^3 кипятку. Окончательная температура оказалась равной $93\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определите теплоёмкость чашки и ее удельную теплоёмкость.
- В11.** Для измерения температуры воды массой $m = 66\text{ г}$ в неё погрузили термометр, который показал температуру $t_1 = 32,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какова действительная температура θ воды, если теплоёмкость термометра $C_T = 1,9\text{ Дж/град}$, и перед погружением в воду он показывал температуру помещения $t_2 = 17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$? Удельная теплоёмкость воды составляет $c = 4,2\text{ кДж/(кг}\cdot\text{град)}$.
- В12.** В стакане содержится 250 см^3 воды. Опущенный в стакан термометр показал $78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какова действительная температура воды, если теплоёмкость термометра 20 Дж/град , а до опускания в воду он показывал $20\text{ }^{\circ}\text{C}$? Теплоёмкостью стакана пренебречь.

- В13.** В чашку теплоёмкостью $C = 100$ Дж/град налили $m_1 = 100$ г глицерина при температуре $t_1 = 20,0$ °С и положили кусочек никеля при температуре $t_2 = 100$ °С. Установившаяся температура смеси $\theta = 21,0$ °С. Начальная температура чашки $20,0$ °С. Какова масса никеля?
- В14.** В латунный калориметр массой 128 г, содержащий 240 г воды при $8,4$ °С, опущено металлическое тело массой 192 г, нагретое до 100 °С. Окончательная температура, установившаяся в калориметре, $21,5$ °С. Определите удельную теплоёмкость испытуемого тела.
- В15.** В стеклянный стакан налили $m_1 = 200$ г ацетона при температуре $t_1 = 20$ °С и насыпали $m_2 = 50$ г песка при температуре $t_2 = 100$ °С, после чего установилась температура $\theta = 25$ °С. Найдите теплоёмкость стакана.
- В16.** В стакан с горячим чаем первый раз опустили серебряную ложку, а во второй раз – алюминиевую такого же объёма. В каком случае понижение температуры в стакане оказалось более значительным?

Задачи трудные

- Г1.** Смешано 24 л воды при 12 °С и 40 л воды при 80 °С. Определите установившуюся температуру, если во время смешения тепловые потери составляли 420 кДж.
- Г2.** В сосуде смешиваются три химически не взаимодействующих жидкости, имеющие: массы $m_1 = 1,0$ кг, $m_2 = 10,0$ кг, $m_3 = 5,0$ кг, температуры $t_1 = 6,0$ °С, $t_2 = -40$ °С, $t_3 = 60$ °С; удельные теплоёмкости $c_1 = 2,0$ кДж/(кг·град), $c_2 = 4,0$ кДж/(кг·град), $c_3 = 2,0$ кДж/(кг·град). Найдите температуру θ смеси и количество теплоты, необходимое для последующего нагревания смеси до $t = 6$ °С. Теплоёмкость сосуда не учитывать.
- Г3.** Для определения удельной теплоёмкости масла в калориметр с теплоёмкостью 15 кал/град налили 250 г масла при температуре 12 °С, а затем опустили туда медное тело массой 500 г при 100 °С. Общая температура смеси стала равной 33 °С. Какова удельная теплоёмкость масла?
- Г4.** Для определения температуры нагревателя в него поместили стальной шарик массой 20 г. После этого шарик опустили в алюминиевый калориметр массой 60 г, содержащий 200 г воды при температуре 18 °С. В результате этого температура воды в калориметре повысилась до 26 °С. Определите температуру нагревателя. Потерями теплоты пренебречь.

Задачи очень трудные

- Д1.** После опускания в воду, имеющую температуру 10 °С, тела, нагретого до 100 °С, через некоторое время установилась общая температура 40 °С. Какой станет температура воды, если, не вынимая первого тела, в неё опустить ещё одно такое же тело, нагретое до 100 °С?
- Д2.** Смесь из свинцовых и алюминиевых опилок с общей массой 150 г и температурой 100 °С погружена в калориметр с водой, температура которой 15 °С, а масса 230 г. Окончательная температура установилась 20 °С. Теплоёмкость калориметра 42 Дж/град. Сколько свинца и алюминия было в смеси?
- Д3.** В два одинаковых сосуда, содержащих воду (в одном масса воды $m_1 = 0,10$ кг при температуре $t_1 = 45$ °С, в другом масса воды $m_2 = 0,50$ кг при температуре $t_2 = 24$ °С),

налили поровну ртуть. После установления теплового равновесия в обоих сосудах оказалось, что температура воды в них одна и та же и равна $\theta = 17^\circ\text{C}$. Найдите теплоёмкость C_c сосудов. Удельная теплоёмкость воды $c = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$.

- Д4.** Имеются два теплоизолированных сосуда. В первом из них находится 5,0 л воды при температуре $t_1 = 60^\circ\text{C}$, во втором – 1,0 л воды при температуре $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Сначала часть воды перелили из первого сосуда во второй. Затем, когда во втором сосуде установилось тепловое равновесие, из него в первый сосуд отлили столько воды, чтобы её объёмы в сосудах стали равны первоначальным. После этих операций температура воды в первом сосуде стала равной $t = 59^\circ\text{C}$. Сколько воды переливали из первого сосуда во второй и обратно?
